

A monitoração eletrônica de veículos e seu impacto nos custos operacionais de frotas³

Nelson Tadashi Kayano
Netz Engenharia Automotiva
E-mail: nelson@netz.com.br

Nicolau D. Fares Gualda
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Transportes
E-mail: ngualda@usp.br

ABSTRACT

This study proposes a methodology of analysis which allows the correlation of factors which influence in the operation of commercial motor vehicles and their fuel consumption.

As a first step to this process, some theoretical aspects related to the use of ICE based on the Diesel cycle and vehicle dynamics were evaluated, trying to identify relevant indexes which describe the performance of a vehicle. Next, by means of statistical tools, mathematical models were built, whose adequacy to estimate data and prediction power were tested.

As a basis to the proposed model, field data were collected in customer application with the use of onboard computers, besides logistics information, such as delivery schedules and consumption data. The practical application data refer to a palletized load transfer in a road operation from São Paulo to Rio de Janeiro, and only the trips carried out by vehicles of certain makes/models were selected.

Thus processed, the data allowed concluding that, within the appropriate limits, the proposed methodology is valid as demonstrated by the calculated determination coefficients and the model prediction capacity.

Key words: vehicle monitoring, vehicle operating cost, fuel consumption, automotive engineering

RESUMO

Este estudo apresenta uma proposta de metodologia de análise que permita correlacionar fatores influentes na operação de veículos automotores comerciais ao consumo de combustível dos mesmos.

Inicialmente foram avaliados aspectos teóricos relativos ao funcionamento de motores de ciclo Diesel e à dinâmica veicular, buscando identificar indicativos que descrevam o desempenho de um veículo. A seguir, aplicando ferramentas estatísticas, foram construídos modelos matemáticos, com posterior adequação aos dados de estimação e teste do poder de predição.

Como alicerce para o modelamento proposto, procedeu-se a levantamento de dados em campo, coletados em aplicação real com computadores de bordo, além de informações logísticas, como programação de viagens e dados de abastecimento. Os dados de aplicação prática referem-se a uma operação de transferência de carga fracionada entre São Paulo e Rio de Janeiro, tendo sido selecionadas apenas as viagens realizadas por veículos de uma determinada marca/modelo.

Assim processados, os dados permitiram concluir que, dentro dos limites apropriados, a metodologia proposta é válida, como demonstraram os coeficientes de

³ Artigo extraído da dissertação de Nelson Tadashi Kayano, apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Automotiva, sob a orientação do Prof. Dr. Nicolau D. Fares Gualda.

determinação calculados e a capacidade preditiva do modelo.

Palavras-chave: monitoração de veículos, custo operacional, consumo de combustível, engenharia automotiva

INTRODUÇÃO

OBJETIVOS - O objetivo deste estudo é apresentar uma metodologia para análise de dados de operação de veículos comerciais e, com o uso de ferramentas estatísticas, estabelecer correlações matemáticas entre as condições de operação e o consumo de combustível delas resultantes.

Tomando por base os modelos resultantes desta avaliação, procura-se demonstrar a influência do comportamento do motorista sobre os resultados financeiros de uma empresa de transporte, por meio de uma simulação de redução de custos operacionais decorrente da adequação na forma de condução do veículo.

COLOCAÇÃO DO PROBLEMA - Conforme dados apontados por Feltrin (2000), o segmento rodoviário movimentou, no ano de 1999, um total de 447 bilhões de toneladas-quilômetro, o que representa aproximadamente 60% do setor de transporte de carga no Brasil. Isto significa que a frota total de 1,4 milhão de caminhões movimentou em torno de R\$ 15 bilhões ao ano, ou seja, 2% do PIB do país.

Apesar das cifras bastante eloquentes e do fato da matriz de transportes não vir apresentando modificações sensíveis nos últimos anos, o setor enfrenta diversas ameaças, em particular com relação aos custos que, se hoje não comprometem diretamente a sua hegemonia, tendem a limitar a sua expansão. Algumas das causas para o aumento de custos são bem conhecidas, como pedágios ou as precárias condições das rodovias nacionais. Nenhum desses fatores, entretanto, é mais influente do que o custo-combustível, cuja participação sobre os custos variáveis do transporte já chega a 40% do total, conforme levantamento do Sindicato das Empresas de Transportes de Carga de São Paulo e Região (Setcesp) (2005).

Por outro lado, limitado pelo mercado, que não admite majoração no preço do frete, e pela escassez de recursos para investimento, uma das únicas saídas que restam ao transportador é rever seus processos de trabalho. Isso deve incluir, necessariamente, estudos logísticos e a adoção de novos padrões de desempenho, visando à redução dos custos operacionais.

O PROBLEMA NA LITERATURA

São apresentadas, a seguir, algumas abordagens e estudos realizados recentemente a respeito dos principais temas com os quais este trabalho se relaciona: gerenciamento de custos e ferramentas de controle e análise, ambos voltados à gestão de frotas.

GERENCIAMENTO DE CUSTOS – Conforme mostram Valente; Passaglia; Novaes (1997), Torres; Reis; Carvalho (1997) e Tacla; Yoshizaki (2001), partindo de dados históricos de manutenção e com a aplicação de planilhas de cálculo, é relativamente simples chegar ao valor do custo direto do frete.

Quanto ao processo de redução de custos, normalmente é feita uma comparação com índices de referência que contemplem veículos e aplicações semelhantes (*benchmarking*), como apontam pesquisas do Setcesp (2005). Outra fonte de informação são catálogos de Pós-Vendas das montadoras, como ilustra a DaimlerChrysler do Brasil (1988), especialmente no que se refere ao consumo de combustível e a hábitos salutarés na manutenção de veículos.

Observa-se ainda que uma grande dificuldade prática encontrada no controle operacional de frotas é detectar o grau de maturidade de condutores e comprovar se as orientações transmitidas em cursos de condução econômica ou técnica como, por exemplo, os ministrados pelo Serviço Social do Transporte / Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte (SEST/SENAT) (2005), são efetivamente colocadas em prática.

FERRAMENTAS DE CONTROLE E ANÁLISE - Como visto acima, fica clara para o transportador a necessidade de ter um “retrato” da operação do veículo ou, ainda, de “colocar o olho do dono dentro do veículo”. É evidente que qualquer melhoria em termos de operação acarreta em benefícios gerais ao veículo, e pode ser traduzida em redução de custos. Este fato é comprovado por Silveira; Machado; Souza (2004) em estudo ilustrativo do emprego de recursos de eletrônica embarcada, por meio do registro dos tempos de operação em marcha-lenta, excesso de rotação e ponto neutro (“banguela”) em uma operação de trítrem em aplicação madeireira, e conseqüente estimativa dos custos extras representados pela queima desnecessária de combustível nessas condições.

Gentil; Kayano (2002) apresentam resultados obtidos em programas de capacitação de motoristas, com treinamento orientado por levantamento em campo com coletores de dados. Os resultados, além de considerarem aspectos quantitativos, representados por redução de custos com combustível e reposição de itens de desgaste, levam em conta igualmente os aspectos qualitativos da operação, como melhoria no nível do serviço prestado.

Estimativas do cálculo teórico do consumo em motores de combustão interna são efetuadas com base na demanda da energia necessária para tirar o veículo da inércia e mantê-lo em movimento, condição a ser satisfeita pelo poder calorífico presente no combustível.

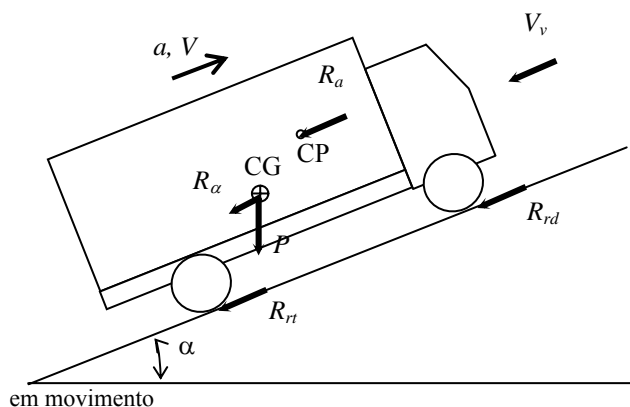
Quanto ao uso de ferramentas estatísticas para análise de processos, particularmente de regressão linear múltipla, os exemplos são vários, e cobrem os mais diversos ramos do conhecimento, desde a agricultura, como demonstra Vieira (2004), até a medicina, em estudo de Pestana (2001).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta parte são apresentados os principais fundamentos utilizados na construção dos modelos matemáticos propostos, baseados em conceitos de dinâmica veicular, análise de regressão múltipla e custos operacionais no setor de transporte de cargas.

DINÂMICA VEICULAR – Ao se aplicar um “volume de controle” sobre um veículo em movimento, observa-se uma série de forças resistentes nele atuantes, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Esquema de forças resistentes atuantes sobre veículo



No esquema acima vale a seguinte convenção:

P = peso do veículo

M = massa do veículo

a = aceleração

V = velocidade

α = ângulo de aclave

Conforme Madureira (2001) e Gillespie (1996), para que possa se deslocar e acelerar, o veículo deve vencer as seguintes forças resistentes:

- Resistência ao rolamento (R_r), calculada como:
 $R_r = P f \cos \alpha$
- Resistência aerodinâmica, dada por:
 $R_a = (\rho / 2) C_a A (V - V_v)^2$
- Resistência de aclives, calculada como: $R_\alpha = P \sin \alpha$
- Resistência de inércia, estimada $R_i = \gamma M a$ como:

onde:

f = coeficiente de rolamento ao atrito

ρ = massa específica do ar

C_a = coeficiente de arraste aerodinâmico

A = área frontal projetada

V_v = velocidade do vento

γ = fator de massas rotativas

A resistência total Z a ser vencida será, portanto:

$$Z = R_r + R_a + R_\alpha + R_i$$

CONSUMO DE COMBUSTÍVEL - De maneira bastante resumida, o consumo de combustível B , admitindo-se rendimento do motor constante, rotação em terreno plano ($\alpha = 0$) e sem influência do vento ($V_v = 0$), é dado por (Mitschke, 1982):

$$\frac{B}{L} = \frac{1}{\bar{\eta}_m \bar{\eta}_k} \frac{1}{H} \frac{1}{L} \int_0^T Z v dt$$

onde:

$\bar{\eta}_m$ = rendimento médio do motor

$\bar{\eta}_k$ = rendimento médio do sistema de transmissão

H = calor específico do combustível

L = distância percorrida

Expandindo as forças resistentes ao movimento nas componentes de resistência ao rolamento, de inércia e aerodinâmica, vem:

$$\frac{B}{L} = \frac{1}{\bar{\eta}_m \bar{\eta}_k} \frac{1}{H L} \left[f P + \frac{\rho}{2} C_\alpha A \bar{v}^2 \left(1 + \frac{3\sigma_v^2}{\bar{v}^2} \right) \right]$$

= matriz dos níveis das variáveis explicativas

onde:

$\hat{\beta} = (\mathbf{X}' \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}' \mathbf{y}$ = vetor de estimador de mínimos quadrados

\bar{v} = velocidade média do veículo

σ_v^2 = variância da velocidade

A expressão acima indica que o consumo de combustível está intimamente relacionado com o peso do veículo (e, conseqüentemente, com a carga transportada) e à velocidade desenvolvida, tanto a média como a sua variância. Entretanto, pelo fato de o rendimento do motor ser fortemente influenciado a cada instante pela carga nele aplicada e pela sua rotação, na chamada condição em carga parcial, não é viável trabalhar com valores médios de η_m .

Conclui-se assim que, na realidade, o consumo de combustível B é resultante da soma dos consumos instantâneos b ao longo do tempo T necessário para percorrer determinado trecho L , sendo fortemente influenciado pela carga aplicada, relação velocidade/rotação (determinada pela marcha do câmbio engatada) e aceleração do veículo:

$$\frac{B}{L} = \frac{1}{L \rho} \int_0^T b \, dt$$

Outro fator a ser considerado nos cálculos é o consumo em marcha-lenta, particularmente relevante em aplicações urbanas, devido ao tempo parado em semáforos ou congestionamentos.

ANÁLISE DE REGRESSÃO - Conforme Werkema; Aguiar (1996), a Análise de Regressão é uma das técnicas estatísticas mais empregadas para investigar e modelar o relacionamento existente entre as diversas variáveis de um processo, expresso na forma de uma equação matemática.

Nos casos em que o comportamento de determinado fenômeno é descrito por mais de uma variável explicativa, são construídos os modelos de regressão linear múltipla, cuja equação representativa do modelo ajustado aos dados é dada por:

$$\hat{y} = \mathbf{X} \hat{\beta}$$

onde:

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \text{vetor das observações}$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nk} \end{bmatrix}$$

CÁLCULO DO CUSTO OPERACIONAL - O método utilizado neste trabalho foi o de custos desagregados, baseado na apropriação de cada componente, como depreciação, combustíveis, salários ou manutenção, no cálculo do custo operacional. Valente; Passaglia; Novaes (1997) mencionam os principais itens de custos, fixos e variáveis:

- Custos fixos: compostos pela depreciação mensal, remuneração do capital, licenciamento do chassi (Cfc) e do implemento (Cfi) e também pelos salários da tripulação (Cso)
- Custos variáveis: formados pelas parcelas relativas à rodagem do chassi (pneus, manutenção corretiva e preventiva, lavagem, lubrificação, combustível e óleos lubrificantes) e do implemento (pneus, manutenção corretiva e preventiva, lavagem e lubrificação), representadas pelas variáveis Cvc e Cvi , respectivamente.

O custo direto operacional do veículo (Cdo) é calculado pela soma dos custos fixos e variáveis do chassi e do implemento. Assim, para um período mensal, com rodagem do veículo Qmv :

$$Cdo = (Cvc + Cve) \cdot Qmv + Cfc + Cso + Cfi$$

METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho deu-se por etapas, com atividades bem definidas e seqüenciadas, conforme descrição abaixo:

- definir o modelo matemático e selecionar indicativos de desempenho da operação que possam influir no nível de consumo de combustível;
- eleger como fonte de informações uma empresa transportadora com mercado de atuação determinado e estrutura administrativa eficiente;
- obter dados de campo, por intermédio de instrumentação de veículos com computadores de bordo e do histórico de abastecimentos de combustível;
- construir modelo matemático com o auxílio de ferramentas estatísticas, correlacionando as variáveis de processos anteriormente levantadas;

- simular cenários com os indicativos de desempenho e seu impacto no custo operacional, particularmente no tocante à conta combustível.

DEFINIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO - O primeiro passo na definição de um modelo de regressão é a seleção adequada das variáveis explicativas do fenômeno em estudo.

A partir dos elementos levantados na Fundamentação Teórica, pôde ser definido um primeiro conjunto de variáveis que descrevam o processo:

- carga média,
- rendimento do motor, representado pelo tempo de operação do motor em faixa econômica,
- velocidade média,
- variância da velocidade,
- tempo de operação em marcha-lenta.

A combinação das 5 variáveis explicativas (x_1 a x_5) acima deu origem a um modelo de regressão linear múltipla, cuja variável resposta foi o consumo de combustível (y).

Deve-se ainda ressaltar que, pelo fato do consumo ser proporcional ao quadrado da velocidade média, seria teoricamente mais correta a construção de um modelo polinomial com 5 variáveis explicativas. A grande dificuldade encontrada neste modelo seria o número de variáveis e a complexidade das expressões geradas, inclusive em termos de recursos computacionais. Como exemplo, um modelo polinomial de apenas duas variáveis apresentaria a seguinte formulação:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \varepsilon$$

Como a adição de 3 outras variáveis a esse modelo acrescentaria complexidade incompatível com o ganho na sua precisão, optou-se por um modelo linear, com as devidas restrições quanto à extrapolação de dados.

DEFINIÇÃO DA EMPRESA - A empresa a ser selecionada, fonte das informações a serem coletadas em campo, deveria satisfazer a uma série de requisitos:

- operar em rota cativa com alta frequência de viagens,
- dispor de frota numerosa, porém com pequena variedade de modelos de veículos,

- conservar os veículos e implementos em bom estado geral de manutenção,
- contar com recursos de eletrônica veicular embarcada (computador de bordo), sejam eles equipamentos de linha ou *after market*,
- manter registros confiáveis de carregamentos e abastecimentos por viagem.

A ausência ou não-conformidade aos itens acima poderia dar origem a dados inconsistentes, com conseqüente desvio nos resultados de análise.

COLETA DE DADOS - O processo de trabalho requerido para o levantamento dos indicativos de operação foi dividido em 5 etapas, como mostra a Figura 2.

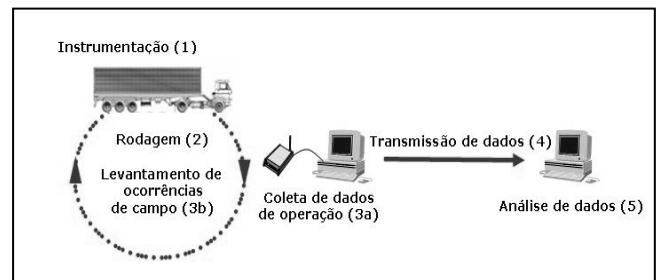


Figura 2- Processo de coleta de dados

- **instrumentação do veículo:** consiste na instalação de equipamentos de coleta de dados e de sensores adequados aos eventos de interesse. As variáveis monitoradas foram a velocidade e a rotação do motor.
- **coleta de dados de operação:** uma vez instrumentado o veículo, todos os dados de operação passam a ser gravados na memória do computador de bordo. A forma com que os dados são extraídos varia conforme o fabricante do equipamento: cabo serial, leitor de cartão, rádio-frequência, infravermelho, telefonia celular ou satélite.
- **anotações manuais:** os dados de abastecimento de combustível e carregamentos dos veículos, não disponíveis pela instrumentação eletrônica, também devem ser recolhidos.
- **transmissão de dados:** os dados coletados, tanto os de operação como as anotações manuais, são enviados ao local onde serão analisados, seja com o uso de disquetes ou *e-mail*.
- **processamento:** o processamento consiste na extração de dados do computador de bordo e anotações manuais, com posterior planilhamento das variáveis do processo, tanto as explicativas como a resposta, disponibilizando as informações para a fase de análise.

CONSTRUÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO - A análise de dados e a construção do modelo de regressão seguiram procedimento indicado por Werkema; Aguiar (1996), e a aplicação prática dessa estratégia encontra-se detalhada adiante.

SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS - Uma vez definido, testado e aprovado o modelo de regressão, podem ser efetuadas simulações com diferentes condições de operação na aplicação selecionada, desde que dentro dos limites impostos pelos respectivos intervalos de confiança. Os resultados, traduzidos em termos de consumo de combustível, podem ser então lançados nas planilhas de cálculo de custo operacional, obtendo-se uma estimativa da redução de custos na situação simulada.

APLICAÇÃO

Nesta parte são apresentados os detalhes da aplicação prática da metodologia descrita no anteriormente, considerando empresa, veículos, dados obtidos e análises matemáticas.

A EMPRESA - As informações analisadas foram levantadas em empresa do setor de transporte de cargas fracionadas do setor alimentício, com matriz no interior do Estado de São Paulo e filiais nos Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Goiás.

Sua frota é composta por 130 cavalos-mecânicos próprios e 50 de agregados, todos eles com potências na faixa de 310 a 420 cv. Os veículos traçam semi-reboques de carga seca com 3 eixos, com manutenção feita localmente após o término do período de garantia. A idade média da frota é de quinze anos, porém inclui veículos relativamente novos, que se prestam à análise pretendida.

A aplicação dos veículos é preponderantemente de transferência, com viagens a partir da matriz num raio de até 600 quilômetros e com duração média de 10 horas. O deslocamento entre os locais de coleta e entrega, com veículo carregado, é direto e sem paradas, exceto para descanso e refeição. As viagens de retorno, por outro lado, podem contar com paradas intermediárias para coleta no trajeto de volta.

Os motoristas possuem o ciclo fundamental de ensino e têm, em média, 13 anos de tempo de casa.

Desde o ano de 2002, veículos da frota têm sido monitorados com o uso de computadores de bordo, dentro de um processo de melhoria na gestão de desempenho operacional.

VEÍCULOS E ROTAS - Dentre os veículos da empresa encontram-se modelos diversos, com anos de fabricação também variados, das marcas Scania e Volvo.

Em função das diferenças técnicas e construtivas entre eles, seria demasiadamente complexa uma análise conjunta de toda a frota. Dessa forma, pelo fato de serem unidades relativamente recentes, de modelos ainda em linha e com bom histórico de dados, a avaliação foi concentrada em veículos da marca Scania, modelo R124 GA420, em número de oito, e cuja idade média é de cinco anos.

Devido à diversidade de rotas percorridas pela empresa, foi eleita uma única delas, a fim de uniformizar a base de comparação de topografia. O trajeto selecionado foi o que tem a cidade do Rio de Janeiro como destino, tendo como ponto de partida a matriz da empresa. O retorno poderia ser feito sem escalas ou, mais desejável do ponto de vista financeiro e logístico, com paradas para carregamento e descarregamento em localidades situadas ao longo do percurso de volta. Os valores de carga transportada não eram pré-determinados, podendo ocorrer variação entre viagens consecutivas. A caracterização da carga média, portanto, não se deu por um perfil de carga fixo (como, por exemplo, 50% do percurso carregado e 50% vazio) e valores de carregamento variáveis, mas sim pela conjunção “carga + quilometragem”, ambos variáveis. Esta aproximação mostrou-se válida quando considerada a topografia do trecho, que é plana, com exceção de trecho na região da Serra das Araras, no Estado do Rio de Janeiro – percurso pequeno, de 20 quilômetros, quando comparado com a extensão da viagem completa, de aproximadamente 1.100 quilômetros.

COLETA DE DADOS - A implementação da metodologia foi adequada às condições locais, sofrendo pequenos ajustes para que o fluxo de informações fosse mantido.

- **instrumentação:** conforme mencionado, a operação da frota encontrava-se monitorada, dentro do escopo de um programa de gestão de operação. O equipamento adotado era o computador de bordo Blue Bird, da IBM Brasil, configurado para coletar, além dos dados de velocidade e rotação do motor, os acionamentos do limpador de pára-brisa, dos freios de serviço e freio-motor do veículo e freio do implemento, com frequência de gravação de 0,1 Hz.
- **coleta de dados de operação:** a tecnologia empregada no computador de bordo para a coleta dos dados era baseada em rádio-frequência. Assim, a cada vez que o veículo retornava à garagem, os dados eram extraídos por uma unidade-base e armazenados em computador da empresa, sem nenhuma intervenção humana.
- **anotações manuais:** as informações de operação do veículo e de abastecimento de combustível foram fornecidas pela empresa em 3 planilhas de cálculo:
 - Programação: continha o planejamento de viagens de cada veículo, detalhando origem e destino,

distância padrão de cada trecho e em quais deles o veículo segue carregado ou vazio;

- Movimentação: fornecia o peso da carga transportada, trecho a trecho;
- Consumo: indicava o volume, em litros, de cada reabastecimento de combustível e a marcação de hodômetro parcial, ou seja, a distância percorrida entre abastecimentos.
- **transmissão de dados:** os dados coletados eram automaticamente transmitidos ao local de análise, com o uso de aplicativo desenvolvido sobre ftp (*file transfer protocol*) na internet.
- **processamento:** o processamento dos dados do computador de bordo foi feito em programa específico do fornecedor do equipamento, do qual foram extraídas diretamente as seguintes informações: velocidade média em movimento, faixa econômica em movimento e tempo em marcha-lenta. Com relação ao cálculo da variância da velocidade, foi exigido um procedimento adicional: emissão de relatório no formato *data logger*, seguida de exportação dos dados para planilha única no MS-Excel, onde foram armazenados todos os dados (operação, abastecimento e carga).

Além dos aspectos acima, uma série de detalhes operacionais deve ser mencionada, a fim de tornar mais transparente o processo de levantamento e análise dos dados:

- admitiu-se que todos os veículos de uma mesma marca/modelo tivessem peso em ordem de marcha similar, o mesmo ocorrendo para os implementos.
- casos em que existissem registros de trechos com carga, porém sem lançamento na planilha de movimentação, foram caracterizados como fretes para terceiros, nos quais não existe documentação fiscal própria da transportadora. Os valores de carga convencionados foram de 24.000 kg.
- foram eliminadas todas as viagens cujos registros não fossem completos, fosse com relação aos dados de abastecimento ou à captação dos dados dos coletores.
- é comum haver divergências nos cálculos de consumo em função do destravamento antecipado do gatilho da bomba, provocado pela formação de espuma no tanque quando do abastecimento, o que faria pressupor um consumo menor do que o real. Essa diferença seria compensada no abastecimento seguinte, mas trouxe uma certa flutuação no acompanhamento individual do consumo de combustível por viagem.

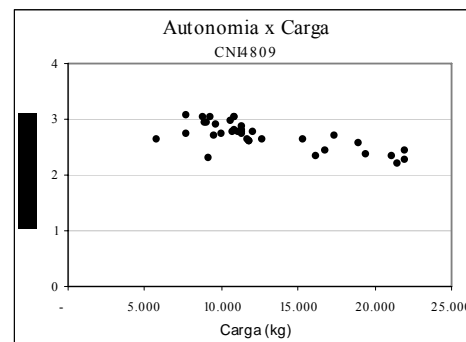
- a quilometragem entre abastecimentos foi baseada na marcação do hodômetro de cada veículo, podendo ser afetada pela calibração do velocímetro ou tacógrafo.

ANÁLISE DE REGRESSÃO – Os procedimentos a seguir ilustram os passos adotados para a construção de um modelo de regressão múltipla, inicialmente para um único veículo; os demais veículos obedeceram a processo idêntico. Os dados foram processados no programa Matlab, versão 6R12. As tabelas completas com os dados de estimação e validação encontram-se em Kayano (2005).

Veículo 1: CNI-4809

- Passo 1: Detecção de *outliers* - A primeira validação consistiu na verificação visual da presença de observações das variáveis explicativas muito divergentes em relação às demais (*outliers*). Para tanto, cada variável explicativa foi plotada em gráficos de dispersão contra a variável resposta, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Dispersão autonomia x carga



Visualmente, os gráficos de todas as variáveis explicativas contra a variável resposta não indicaram a presença de pontos fora do padrão esperado. Portanto, em primeira instância todas as observações foram consideradas válidas para análise.

- Passo 2: Tamanho mínimo da amostra - Na massa de dados selecionada, contaram-se 36 observações, quantidade adequada ao número mínimo de coletas, de

30 a 50 observações válidas, em função das 5 variáveis explicativas eleitas.

- Passo 3: Modelo de regressão linear múltipla

$$y = \begin{bmatrix} 2,62 \\ 2,33 \\ \vdots \\ 2,94 \end{bmatrix}; \quad X = \begin{bmatrix} 1 & 12,7 & 31 & 65 & 544 & 4,2 \\ 1 & 21,2 & 43 & 64 & 456 & 2,6 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 9,1 & 78 & 60 & 379 & 4,3 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} 2,6505 \\ -0,0333 \\ 0,0051 \\ 0,0041 \\ -0,0001 \\ -0,0047 \end{bmatrix}$$

O modelo de regressão ajustado aos dados foi:

$$\hat{y} = 2,6505 - 0,0333x_1 + 0,0051x_2 + 0,0041x_3 - 0,0001x_4 - 0,0047x_5$$

Esta primeira estimativa apontou que a autonomia seria aumentada em:

- 0,0333 km/l por tonelada a menos carregada,
- 0,0051 km/l por ponto percentual a mais de operação em faixa econômica,
- 0,0041 km/l por km/h a mais na velocidade média,
- 0,0001 km/l por ponto a menos na variância de velocidade,
- 0,0047 km/l por ponto percentual a menos em marcha-lenta.

Dos itens acima, apenas o c) fugiu ao senso comum e à formulação teórica, pois não é razoável admitir que, aumentando a velocidade média, a autonomia também aumente. Certamente esta variável estava associada a alguma outra já presente no modelo e, desta forma, testes estatísticos e busca de melhorias no modelo foram realizados em seguida.

- Passo 4: Teste de significância da regressão – Os parâmetros calculados na análise da significância da regressão são mostrados na tabela abaixo.

Tabela 1: Indicadores e estatísticas de teste para o modelo do veículo CNI-4809

| Indicador | Valor | Indicador | Valor |
|--------------|--------|----------------------|--------|
| <i>SQT</i> | 2,0161 | <i>QMReg</i> | 0,2781 |
| <i>SQReg</i> | 1,3905 | <i>QMR</i> | 0,0209 |
| <i>SQR</i> | 0,6256 | <i>F₀</i> | 13,34 |

Para um nível de significância $\alpha = 5\%$, concluiu-se que existe relação entre o consumo de combustível e as 5 variáveis listadas, uma vez que

$$F_0 = 13,34 > F_{0,05}(k, n-k-1) = F_{0,05}(5, 30) = 2,53$$

- Passo 5: Redução do número de variáveis explicativas
 - o Coeficientes de determinação múltipla - A divergência entre os valores de R^2 (69,0%) e R^2_{aj} (63,8%) permitiu concluir que o modelo proposto considerava um número excessivo de variáveis explicativas, ou seja, que não contribuíam de modo significativo para a qualidade do modelo ajustado.
 - o Seleção de variáveis relevantes, segundo o método *stepwise* – Conforme os sucessivos cálculos da estatística F_j para cada variável explicativa, observou-se que apenas duas variáveis, carga e tempo de operação em faixa econômica, eram representativas no modelo proposto.

- Passo 6: Refinamento do modelo

O novo modelo refinado de regressão linear múltipla obtido foi:

$$\hat{y} = 2,8846 - 0,0359x_1 + 0,0051x_2$$

- o Coeficiente de determinação múltipla ajustado - Os coeficientes R^2 e R^2_{aj} apresentaram valores relativamente próximos (68,2% e 66,3%, respectivamente), o que apontou para uma adequação do número de variáveis explicativas inseridas no modelo. O valor obtido para R^2_{aj} , segundo Vanni (1998), caracteriza um ajustamento regular dos dados ao modelo.
- o Análise de resíduos - Registraram-se dois resíduos padronizados fora do intervalo (-2,+2); neste ponto, o processo deveria remover estas duas observações e retomar todo o procedimento anterior. Para efeito de estudo, entretanto, este modelo manteve todas as amostras, uma vez que a influência destes resíduos não alterou significativamente o resultado final do modelamento, conforme mostram também os novos gráficos de resíduos contra o valor ajustado e contra cada uma das variáveis explicativas, como visto nas figuras 4 a 6.

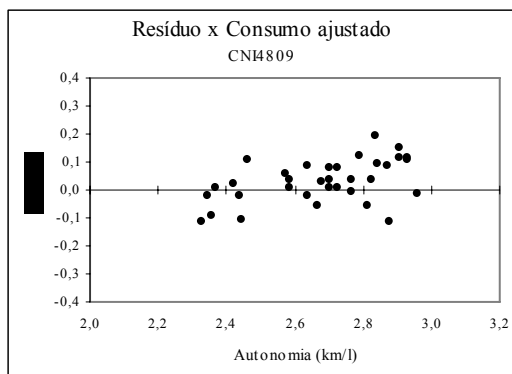


Figura 4: Dispersão resíduos x consumo ajustado

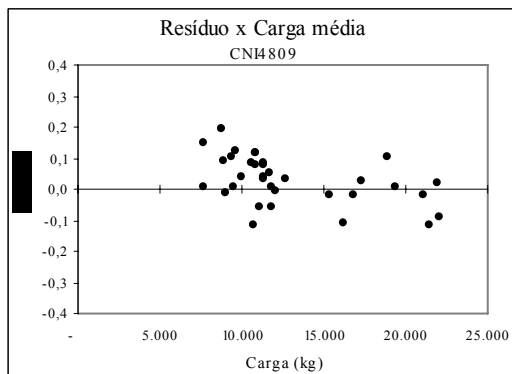


Figura 5: Dispersão resíduos x carga

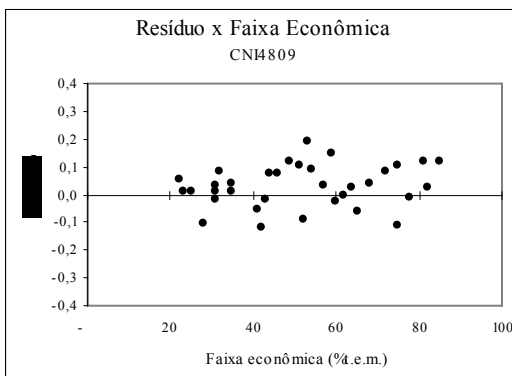


Figura 6: Dispersão resíduos x faixa econômica

- o Autocorrelação - Conforme a estatística de teste de Durbin-Watson, valores de D entre 1,5 e 2,5 não devem apresentar correlação positiva ou negativa. O valor calculado de D foi de 2,04, ou seja, não houve indícios de autocorrelação na amostra de dados coletados.
- o Multicolinearidade - O coeficiente de correlação linear r entre as variáveis x_1 e x_2 resultou em -0,15, valor que não é próximo a -1 ou +1, o que indicou a inexistência de correlação entre as duas variáveis.

- Passo 7: Validação - A validação do modelo foi feita com dados relativos ao ano de 2003, pelo fato dos dados de 2005 não se encontrarem disponíveis até a data deste estudo. No período em questão foram levantadas 38 novas observações, quantidade suficiente para validação da capacidade preditiva de um modelo, que é de 15 a 20 novas observações, conforme Werkema; Aguiar (1996).

- o Construção do modelo ajustado - O modelo ajustado, construído a partir da mesma seqüência já mostrada anteriormente, tem a forma:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2$$

- o Teste da capacidade preditiva do modelo - O quadrado médio do erro de predição, $QMEP_R$, para o novo conjunto de dados foi de 0,0170.

A Tabela 2 resume os valores de coeficientes de regressão, desvios padrão e estatísticas de teste para o modelo com os dados originais (ou de estimação) e os novos (ou de validação).

Tabela 2: Coeficientes e estatísticas de teste para estimação e de validação

| Estatística | Dados de estimação | Dados de validação |
|-----------------|--------------------|--------------------|
| $\hat{\beta}_0$ | 2,8846 | 2,6695 |
| $\hat{\beta}_1$ | -0,0359 | -0,0309 |
| $\hat{\beta}_2$ | 0,0051 | 0,0049 |
| $SQReg$ | 1,3743 | 0,9461 |
| QMR | 0,0194 | 0,0238 |
| $QMEP_R$ | - | 0,0170 |
| R^2 | 68% | 53% |

Observa-se uma boa equivalência entre as estatísticas de teste nos dois conjuntos de dados. A pequena diferença encontrada, especialmente nos valores de R^2 , pode ser explicada pelo fato de não ter sido efetuada filtragem prévia das observações referentes a 2003. Assim, as estatísticas do modelo de validação podem ter sido influenciadas por algum outlier.

- Passo 8: Conclusão

Dentro dos limites aceitos neste estudo, das cinco variáveis inicialmente selecionadas, somente duas delas apresentam significância estatística satisfatória: a carga transportada e o tempo de operação em faixa econômica.

A análise de validação também permitiu concluir que o modelo linear é adequado para a descrição do fenômeno em estudo.

Análise geral da frota - Seguindo procedimento análogo ao apresentado acima, foi efetuado o modelamento dos demais veículos. O resumo apresentado abaixo descreve os resultados gerais de teste, com uma análise inicial dos modelos completos e, em seguida, dos refinados.

- Modelo completo

- o Amostras: todos os modelos atenderam ao número mínimo de amostras (30).
- o Estatística de teste F_0 : todos os modelos atenderam ao valor mínimo de F_0 , que varia entre 2,42 e 2,60, em função do número de amostras.
- o Coeficiente de determinação múltipla R^2 : cinco veículos alcançaram o valor mínimo de 64% para este quesito, o que significa aderência dos dados ao modelo entre razoável e boa. Os outros três ficaram na faixa entre 34% e 50%, o que quer dizer que as variáveis não conseguiram explicar com segurança as variações do consumo.

- Modelo refinado

- o Variáveis explicativas: em todos os modelos a variável de maior influência foi a carga transportada, vindo em seguida o tempo de operação em faixa econômica. As outras três variáveis tiveram pouco peso sobre a variação do consumo (conforme a estatística F_0), sendo removidas do modelo refinado. No caso de três dos veículos, as estatísticas parciais F_0 não conseguiram comprovar a influência da variável faixa econômica, não apresentando, portanto, valor para o estimador $\hat{\beta}_2$.
- o Coeficiente de determinação múltipla R^2 : a variação deste índice em relação ao modelo completo foi da ordem de 3%, não afetando significativamente nos critérios de aprovação. É sintomático o fato de que, dos três veículos cujo R^2 não havia sido satisfatório, dois deles apresentavam $\hat{\beta}_2$ negativo, ou seja, apontaram melhoria no consumo com operação fora da faixa econômica. Deste ponto em diante, as análises concentraram-se somente sobre os cinco veículos cujo R^2 mostrou-se satisfatório

- o Nível de confiança: dos cinco veículos, três alcançaram nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), padrão normalmente adotado em estatísticas, segundo Werkema; Aguiar (1996). Os outros dois veículos alcançaram nível de confiança de 84% e 86%.

- o *Outliers*: observou-se a presença de *outliers* em todos os modelos construídos. Entretanto, pelo fato da divergência máxima em relação aos limites recomendados de desvio (-2,+2) ter sido de apenas 0,5, optou-se por manter todos os registros nos modelos.

- o Multicolinearidade: não observada em nenhum modelo.

- o Autocorrelação: três veículos apontaram indícios de correlação positiva. A influência que esta tendência pode vir a indicar merece uma avaliação posterior mais detalhada.

- o Validação: a avaliação foi, de certa maneira, influenciada pelo pequeno número de amostras de validação, como no caso de dois veículos que contavam com menos de 15 observações, valor mínimo recomendado por Werkema; Aguiar (1996). Nestes casos, verificou-se uma baixa aderência dos dados de validação ao modelo de estimação. Para os demais veículos, a aderência foi boa em um caso, enquanto que os outros dois apresentaram comportamento “invertido” com relação ao estimador $\hat{\beta}_2$, tendência que também merece avaliação posterior.

Resumo da análise de regressão: o modelo inicialmente proposto, fundamentado na teoria de propulsores e de dinâmica veicular, contemplava cinco variáveis explicativas. Nesse caso, o peso de cada uma delas não aparecia de forma explícita, apesar de ser intuitivo que a carga transportada devesse exercer influência sobre o consumo maior do que as demais. Os resultados mostraram que, numa primeira aproximação, além desse fator, deve-se dar atenção à forma de operação do motor e, em especial, à condução do veículo dentro da sua faixa econômica. Quanto às outras variáveis, seu peso foi relativamente reduzido frente às outras duas, apesar de certamente terem representatividade. Este assunto merece uma apreciação mais aprofundada em pesquisas futuras.

Em alguns casos, pelo fato do motorista ser já bastante capacitado, não se observou alteração significativa na forma de condução do veículo. Este fato é detectável no perfil dos tempos de operação do veículo em faixa econômica, cuja variação é bastante pequena ao longo do tempo, seja qual for a carga ou trecho percorrido. A avaliação estatística fica, assim, um pouco prejudicada,

uma vez que as curvas tiveram de ser interpoladas dentro de um intervalo relativamente estreito.

Algumas observações também deram origem a modelos ligeiramente fora do padrão esperado. É o caso, por exemplo, de veículos que supostamente melhoraram o consumo após aumentar a velocidade média ou mantendo o veículo ligado em marcha-lenta. Uma das explicações para o primeiro fato é que, com o veículo vazio, condição em que o consumo é mais reduzido, o motorista tem a oportunidade de dirigir em velocidades de cruzeiro mais elevadas. De qualquer maneira, essas pequenas distorções devem ser separadas do contexto geral, não se permitindo que conclusões apressadas venham a comprometer a segurança da operação ou trazer prejuízos ao meio ambiente.

ANÁLISE DE CUSTOS - O cálculo do custo operacional é dado por uma expressão matemática relativamente simples, apesar do grande número de fatores que a compõe. Entretanto, pelo fato de cada empresa carregar um ônus financeiro (como, por exemplo, a remuneração de capital) e despesas operacionais próprias (em função do nível de organização e de manutenção demandada na frota), tal cálculo pode dar origem a valores bastante díspares em empresas diferentes.

A fim de uniformizar o padrão de comparação, neste trabalho foi adotada uma planilha de custos elaborada pelo Departamento de Economia e Estatística do Setcesp (2005) que apresenta, para diversos tipos de veículos, valores médios para custos fixos e variáveis no transporte. O veículo usado como referência foi um cavalo-mecânico Scania modelo T330 4x2 cabina leito, com semi-reboque de três eixos, numa configuração semelhante à dos veículos aqui analisados, apesar de algumas diferenças na cabina e motorização.

Conforme os dados constantes naquela planilha, vem:

- total de custos fixos / mês ($C_{fc} + C_{so} + C_{fi}$): R\$ 12.382,24
- total de custos variáveis / km ($C_{vc} + C_{ve}$): R\$ 1,7758
- quilometragem média mensal (Q_{mv}): 9.800 km

Assim, $C_{do} = (C_{vc} + C_{ve}) \cdot Q_{mv} + (C_{fc} + C_{so} + C_{fi})$
 $= 1,7758 \cdot 9.800 + 12.382,24$

$\therefore C_{do} = \text{R\$ } 29.785,08 / \text{mês} / \text{veículo}$

Seguem abaixo dois cenários de simulação, com aplicação do modelo desenvolvido. É importante frisar que os limites de regressão devem ser sempre respeitados, isto é, os valores introduzidos devem manter-se dentro da faixa utilizada na sua construção.

Capacitação de motoristas – Inicialmente pôde ser feita uma avaliação do potencial de economia a ser atingido por meio da capacitação de motoristas, nas condições anteriormente estabelecidas. Tomando por base o veículo CNI-4809, cujo modelo refinado é

$$\hat{y} = 2,8846 - 0,0359x_1 + 0,0051x_2$$

e admitindo uma melhora de 10% no tempo de operação com o motor em faixa econômica, sem se alterar o perfil de carregamento do veículo, obteve-se um aumento na autonomia de 0,051 km/l.

Para um veículo que rode 10.000 km/mês, essa diferença significaria uma redução de consumo de combustível de 510 litros nesse período. Consultando a tabela de custos médios do Setcesp (2005), constatou-se que o preço do óleo diesel no mês de junho/2005 era de R\$ 1,689/l.

Conclui-se, dessa maneira, que um aumento de 10% no tempo de operação do veículo em faixa econômica contribuiria para uma redução de custos da ordem de R\$ 860,00 mensais, ou seja, 3% dos custos operacionais.

É importante lembrar que o valor acima pode ter seu sinal invertido, no caso de uma redução de 10% no tempo de operação em faixa econômica.

Aumento de demanda - Outro cenário que pode ser simulado a partir do modelo matemático é uma situação de aumento de demanda, o que implicaria maior número de trechos percorridos com o veículo carregado ou, ainda, partindo com maior carga por viagem.

Nessas condições, um aumento hipotético de 1 tonelada na carga média, mantida a forma de condução, resultaria em um aumento no consumo de combustível da ordem de 0,036 km/l.

Usando as mesmas bases de cálculo que no item anterior, concluiu-se que, rodando 10.000 km ao mês, o custo adicional em combustível seria de aproximadamente R\$ 600,00 mensais, o que representaria um aumento de 2% nos custos operacionais. Naturalmente, essa despesa adicional teria como contrapartida a maior receita proveniente do frete adicionado.

Resumo da análise de custos - A redução de custos por meio do aumento da capacitação dos operadores, apesar da simplicidade da simulação, apontou para cifras expressivas. Basta lembrar que, se numa frota de 100 veículos todos eles apresentassem resultados semelhantes ao longo de um ano de atividade, a economia, considerando somente o item combustível, poderia chegar à marca de R\$ 1 milhão, suficiente para a aquisição de quatro veículos novos.

RESUMO, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

OBJETIVOS E APLICAÇÃO - O objetivo deste estudo foi de levantar indicativos de desempenho em veículos comerciais e, por meio de ferramentas estatísticas, estabelecer correlações matemáticas entre as condições de operação e o consumo de combustível dela resultante. De posse desse modelo, tornou-se possível montar cenários de operações de transporte, simulando formas otimizadas de condução e/ou aumento na demanda de frete, com uma previsão dos conseqüentes custos ou economias incorridos no processo.

Os fundamentos teóricos que basearam o trabalho são princípios básicos do funcionamento de motores de ciclo diesel e dinâmica veicular e que, aliados a ferramentas estatísticas, permitiram a proposição de um modelo matemático para explicar o papel de variáveis significativas no consumo de combustível dos veículos considerados.

Para viabilizar a sua construção, foi fundamental que a coleta de dados tivesse sido realizada em campo, numa aplicação real em frotas. A obtenção de tais dados dependeu de duas condições básicas: instrumentação eletrônica embarcada adequada e uma base confiável de informações administrativas. Para atender a estes dois requisitos, foi selecionada uma empresa do ramo de transporte rodoviário de carga, cujos veículos são monitorados com computadores de bordo, e na qual o registro de dados históricos, constituídos principalmente pela movimentação de carga e consumo de combustível, fosse realizado de maneira criteriosa.

Os dados apurados foram processados pela análise de regressão linear múltipla, procurando-se estabelecer o peso de cada uma das variáveis explicativas do processo sobre a variável resposta, o consumo de combustível. Aqueles parâmetros cuja contribuição não fosse significativa foram filtrados, restando apenas aqueles efetivamente influentes sobre o processo.

CONCLUSÕES - O resultado final do estudo tomou forma de um modelo matemático que, com os coeficientes apurados, possui capacidade preditiva, utilizada para simular alguns cenários de operação de transporte, desde que respeitados os limites de interpolação adotados na sua elaboração.

A partir de algumas simulações bastante simples, ficou explícita a importância da correta operação dos veículos para se obter sua máxima rentabilidade, uma vez que a constatação é clara: economia de combustível tem impacto imediato sobre os resultados da empresa. Evidentemente, estes resultados são mais simbólicos do que uma verdade pura e simples, ou um número incontestável, e refletem a condição única da empresa analisada. De todo modo, eles sinalizam, de forma bastante concreta, uma

sugestão para tomadas de decisão bem fundamentadas. Além disso, fica comprovado que, a partir de uma metodologia estruturada, é possível modelar processos relativamente simples, porém repletos de minúcias e detalhes das mais diversas ordens, como é o caso da operação de veículos comerciais. Torna-se viável, portanto, replicar o processo sugerido em outras empresas de transporte, desde que satisfeitas as condições básicas para início de estudo, de forma a garantir a validação do modelo.

Nesses casos, é importante lembrar uma vez mais a importância fundamental do apoio de uma empresa parceira, que disponha de uma estrutura administrativa eficiente e, principalmente, tenha uma visão empresarial inovadora para compreender o processo e disponibilizar as informações necessárias.

Por fim, é importante salientar que não foi computada nestas simulações a economia adicional gerada a partir de mudanças na forma de condução, mas que se reflete em menores taxas de manutenção, segurança e até mesmo na melhoria da imagem institucional da empresa.

RECOMENDAÇÕES/EXPANSÕES - Em função dos resultados obtidos até o momento e do potencial de simulação que a ferramenta demonstra possuir, sugere-se a adoção de algumas medidas a serem incrementadas em cada uma das etapas da metodologia proposta, visando a uma aderência do modelo ainda maior à base teórica e aos dados de campo.

- Coleta de dados
 - aumento da frequência de gravação de dados no computador de bordo, preferencialmente até uma taxa de 1 Hz, uma vez que o lapso de gravação atual não permite um registro mais apurado da variação de algumas variáveis, especialmente da aceleração do veículo e rotação do motor;
 - isolar a análise de operação de trechos carregados dos vazios, de modo a não considerar valores de carga média por viagem. Tal procedimento demandaria alterações no processo de trabalho da empresa ou exigiria o emprego de medidores de fluxo apropriados, mas traria um ganho significativo na precisão dos cálculos.
- Análise
 - aumentar a base de dados para construção dos modelos, com a incorporação de dados referentes ao ano de 2003 à base de estimação e utilização de dados atualizados de 2005 para a validação da regressão;
 - construir um modelo matemático único por marca/modelo de veículo, objetivando padronização na gestão da frota;

- pesquisar regimes de rotação do motor distintos e verificar a existência de “faixas alternativas” para a condução econômica;
 - checar os efeitos de autocorrelação na precisão dos modelos;
 - testar modelos de regressão alternativos, com a aplicação, por exemplo, de transformações de variáveis ou adotar modelos de regressão não-lineares;
 - agregar variáveis ao modelo, caso haja Fundamentação Teórica para tanto.
- Aplicação
 - expandir o estudo para outros tipos de veículos (marcas/modelos) da frota;
 - aplicar o procedimento em outros casos e empresas, incluindo aplicações em distribuição urbana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOSCH BRASIL. São Paulo. 2005. Tecnologias de injeção para motores diesel. Disponível em: <http://www.bosch.com.br/br/autopecas/produtos/diesel/no_vastec.htm>. Acesso em: 02 de ago. 2005.

DAIMLERCHRYSLER DO BRASIL. **Administração e transporte de cargas – controle de custo operacional.** São Bernardo do Campo: Gerência de Marketing, 1988.

DOLCE, J.E. **Analytical fleet maintenance management.** Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1998. 369p.

FELTRIN, A. **Análise setorial: o futuro do transporte rodoviário de cargas.** São Paulo: Gazeta Mercantil, 2000. v.1

FITCH, J.W. **Motor truck engineering handbook.** Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Inc., 1994. 443p.

GENTIL, P.; KAYANO, N.T. **A influência da eletrônica embarcada na gestão do desempenho de frotas - um estudo de caso.** São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Automotiva, 2002.

GILLESPIE, T.D. **Fundamentals of vehicle dynamics.** Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, PA, 1992.

KAYANO, N.T. **A monitoração eletrônica de veículos e seu impacto nos custos operacionais de frotas.** 128p. Trabalho de conclusão de curso de Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva (em andamento) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

MACRODADOS. São Paulo. 2005. Treinamento e software para cálculos estatísticos. Disponível em: <www.macrodados.com.br>. Acesso em: 15 de ago. 2005.

MADUREIRA, O.M. **Curso dinâmica de veículos PMC 5607.** São Paulo: Escola Politécnica de São Paulo, 2001.

MITSCHEKE, M. **Dynamik der Kraftfahrzeuge-Band A : Antrieb und Bremsung.** Berlin: Springer-Verlag, 1982.182p.

MYERS, P.S. The diesel engine for truck application. **Truck Systems Design Handbook.** Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, PA, ISBN 1-56091-285-5, p.347-369, 1992.

NUNNEY, M.J. **Automotive technology.** Warrendale – PA: Society of Automotive Engineers, Inc., 1998. 654p.

PESTANA, J.O.M. **Análise de ensaios terapêuticos que convergem para a individualização da imunossupressão no transplante renal.** 2001. 194p. Tese de livre docência – UNIFESP. São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.medonline.com.br/tesmedin.pdf>>. Acesso em: 31 de jul. 2005.

SCANIA DO BRASIL. São Paulo. 2005. Informações técnicas do caminhão R420. Disponível em: <http://www.scania.com.br/Images/R%20420_port_tcm73-76888.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2005.

SEST/SENAT. Serviço Social do Transporte / Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte. São Paulo. 2005. Condução Segura e Econômica. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/sest_senat>. Acesso em: 10 de jul. 2005.

SETCESP. Sindicato das Empresas de Transportes de Carga de São Paulo e Região. São Paulo. 2005. Planilhas de índices de custo setoriais e de custos operacionais no transporte de cargas. Disponível em: <http://www.setcesp.org.br/arqs_econ1>. Acesso em: 7 ago. 2005.

SILVEIRA, G.L.; MACHADO, C.C.; SOUZA, A. P. *et al.* **Evaluation of fuel consumption parameters on tiritrem wood transport.** Rev. Árvore. [online]. jan./fev.2004, vol.28, no.1, p.99-106. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010067622004000100013&lng=en&nrm=iso>. ISSN0100-6762. Acesso em: 8.ago.2005.

Tacla, D.; Yoshizaki, H.T.Y. **Logística: custos no transporte rodoviário**. São Paulo: Fundação Carlos Alberto Vanzolini. 2001.

Torres, O.L.S.T.; Reis, M.A.S.; Carvalho, A.L. **Curso de logística em transportes**. São Paulo: Escola de Administração de Empresas – Fundação Getúlio Vargas. 1997.

VALENTE, A.M. ; PASSAGLIA, E. ; NOVAES, A.G. **Gerenciamento de transporte e frotas**. São Paulo: Pioneira, 1997.

VANNI, S.M. **Modelos de regressão: estatística aplicada**. São Paulo: Legnar Informática & Editora. 1998.

VIANA, R.H.C.; Lobo, A.C. **Blue Bird – Manual do hardware (2ª edição – Revisão A)**. Feel Equipamentos Eletrônicos Ltda, 1996

VIEIRA, R.F. **Lodo de esgoto na agricultura: estudo de caso**. 2004. 22p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/ Embrapa Meio Ambiente/ ISSN 1516-4675. Jaguariúna, 2004. Disponível em: http://www.cnpma.embrapa.br/download/boletim_20.pdf . Acesso em julho 2005.

WERKEMA, M.C.C.; AGUIAR, S. **Análise de regressão : como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Otoni, 1996.