

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E GEOTECNIA
NUCLETRANS – NÚCLEO DE TRANSPORTES**

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM
LOGÍSTICA ESTRATÉGICA E SISTEMAS DE TRANSPORTE**

**O USO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO PARA AVALIAÇÃO
DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE
CARGAS: UM ESTUDO DE CASO**

Monografia

Luis Guilherme Esteves Leocadio

Belo Horizonte, 2011

Luis Guilherme Esteves Leocadio

**O USO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO PARA AVALIAÇÃO
DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE
CARGAS: UM ESTUDO DE CASO**

**Trabalho apresentado ao Curso de
Especialização em Logística Estratégica
e Sistemas de Transporte, da Escola de
Engenharia da Universidade Federal de
Minas Gerais, como requisito parcial à
obtenção do Título de Especialista em
Logística Estratégica e Sistemas de
Transporte.**

**Orientador: Dr., Roberto da Costa
Quinino**

Belo Horizonte, 2011

**O USO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO PARA AVALIAÇÃO
DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE
CARGAS: UM ESTUDO DE CASO**

Luis Guilherme Esteves Leocadio

Este trabalho foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de Especialista em Logística Estratégica e Sistemas de Transporte e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto da Costa Quinino
Orientador

Prof. Dr. Anderson Laécio Galindo Trindade
Avaliador

DEDICATÓRIA

*Este trabalho é dedicado aos meus pais, Geraldo e Marisa,
pelo incentivo e apoio incondicionais.*

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo presente da vida;

Aos meus pais, Geraldo e Marisa, que sempre guiaram os seus dois filhos pelos caminhos dignos da vida;

Á minha irmã Ludmila, pela amizade e incentivo;

Ao Professor Roberto Quinino, por ter aceitado orientar esse trabalho, oferecendo a sua contribuição valiosa;

Ao Alexandre Pedrosa, Anderson Xavier e Hugo Leocadio pela permissão do estudo de caso e obtenção da base de dados usada neste trabalho;

Aos Professores do Celest pelos ensinamentos, paciência e dedicação no trabalho de ensinar a logística;

Aos meus familiares e amigos;

Á todos os colegas do Celest da turma de 2010, em especial, ao Rafael, ao José Eustáquio e ao Thael, pelas experiências compartilhadas e amizade;

Á Ana Maria, da secretária do Celest, pela boa vontade em atender os favores solicitados;

Aos autores utilizados neste trabalho;

Enfim, a todos que foram indispensáveis pela realização deste trabalho.

"A esperança depende da perseverança"

Salmo 37

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar o consumo de combustível de caminhões, no que tange ao transporte de cargas. Para isso, nós utilizamos o controle estatístico de processo (CEP) e a avaliação da capacidade deste processo, considerando o consumo de combustível uma variável de desempenho dos caminhões de uma operadora logística. Com base nestes conceitos, foram definidos dois métodos para avaliação do referido consumo de combustível: o controle e a avaliação da capacidade do desempenho. Ambos os métodos foram validados através do estudo de caso, os referidos caminhões, demonstrando seu potencial quanto ao desenvolvimento de políticas para o controle e melhoria do desempenho das frotas de caminhões utilizados no transporte rodoviário de cargas.

Palavras-chave: controle estatístico, consumo de combustível, capacidade de processo, transporte rodoviário.

ABSTRACT

This study aims to evaluate semi-trucks fuel consumption in terms of hauling. For that, we used both statistical process control (SPC) and the process capability evaluation, considering a performance variable of a logistics company's semi-trucks, chosen as case study. Based on these concepts, two methods were defined to evaluate fuel consumption: performance control and performance capability evaluation. Both methods were validated through that case study, the semi-trucks mentioned before, showing its potential in terms of policy development for control and performance improvements of semi-trucks' fleet used for hauling.

Key-words: statistical control; fuel consumption; process capability; hauling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de geração de informação	16
Figura 2 – O uso do CEP na avaliação de indicadores	17
Figura 3 – Participação percentual de cada atividade na riqueza gerada pelos serviços brasileiros (2008)	19
Figura 4 – Vendas (em m ³) de óleo diesel no Brasil pelas distribuidoras (2000-2010)	27
Figura 5 – Gráfico de controle \bar{X}	28
Figura 6 – Padrões típicos de gráficos de controle para comportamento não-aleatório	30
Figura 7 – Curva da distribuição normal de probabilidade	38
Figura 8 – Relatório Análise de Frota da Empresa X	51
Figura 9 – Mercedes-Benz Axor 2540 S – 3 eixos	52
Figura 10 – Análise gráfica do desempenho dos caminhões Mercedes-Benz Axor 2540 S	56
Figura 11 – Teste de Tukey	57
Figura 12 – Gráfico de probabilidade normal para o desempenho	60
Figura 13 – Gráfico de controle para \bar{X} e S do desempenho dos caminhões	61
Figura 14 – Gráfico da capacidade do desempenho dos caminhões	64
Figura 15 – Gráfico da capacidade do desempenho dos caminhões para valores de <i>LSL</i> e <i>T</i> iguais à 1,1 km/l e 2,0 km/l, respectivamente	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz de Transportes Brasileira (2008)	19
Tabela 2 – Receitas, Custos e Despesas por modal de transporte (2008).....	20
Tabela 3 – Custos e despesas de transporte (2008)	21
Tabela 4 – Métodos de amostragem	34
Tabela 5 – Amostras de um processo	36
Tabela 6 – Obtenção dos limites de controle, linhas centrais e estimadores de σ a partir de parâmetros calculados	41
Tabela 7 – Recomendação de valores mínimos para os índices C_p e C_{PK}	43
Tabela 8 – Instrumentos de coleta de dados	48
Tabela 9 – Variáveis e indicadores da pesquisa	49
Tabela 10 – Caminhões: características gerais	53
Tabela 11 – Subgrupos racionais para o Mercedes-Benz (Axor 2540 S): junho de 2010 à junho de 2011.....	53
Tabela 12 – Análise de variância (ANOVA): desempenho dos caminhões Mercedes-Benz Axor 2540 S.....	56
Tabela 13 – Dados agregados do desempenho dos caminhões Mercedes-Benz Axor 2540 S	58
Tabela 14 – Correspondência da sequência apresentada nos gráficos de controle com os subgrupos racionais formados	61
Tabela 15 – Cálculos dos valores do C_{PL} dado um LSL	65
Tabela 16 – Sequência de objetivos e ordem de inserção no trabalho	69

LISTA DE SIGLAS

- AD – Estatística do Teste de Anderson-Darling
- AIAG – *Automotive Industry Action Group*
- CEP – Controle Estatístico de Processo
- CM – Cavalo-Mecânico
- C_P – Índice de Capacidade Potencial do Processo
- C_{PL} – Índice de Capacidade Potencial do Processo para Especificação Inferior
- C_{PU} – Índice de Capacidade Potencial do Processo para Especificação Superior
- C_{PK} – Índice de Capacidade Real do Processo
- C_{PM} – Índice de Capacidade Potencial do Processo considerando a Média
- C_{PMK} – Índice de Capacidade Real do Processo considerando a Média
- CTF – Controle Total de Frota
- E – Margem de Erro
- ERP* – *Enterprise Resource Planning*
- ILOS – Instituto de Logística e Supply Chain
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- Km – Quilômetro
- Km/l – Desempenho dos caminhões
- l – Litro
- LSC / UCL – Limite Superior de Controle
- LC – Linha Central
- LSC / LCL – Limite Superior de Controle
- LIC – Limite Inferior de Controle
- LSE / USL – Limite Superior de Especificação
- LIE / LSL – Limite Inferior de Especificação
- m – Número de Subgrupos Racionais
- n – Tamanho da Amostra
- σ – Desvio Padrão Populacional
- α – Nível de Significância
- P – Poder do Teste de Hipóteses
- PPM – Partes por Milhão

R – Amplitude Amostral

\bar{R} – Amplitude Populacional

S – Desvio-padrão Amostral

T – Valor Médio Especificado

TKU – Toneladas Transportadas por Quilômetro Útil

x – Variável Aleatória

\bar{X} – Média Populacional

$\bar{\bar{X}}$ – Estatística da Média Populacional

z – Variável Aleatória com Distribuição Normal

z' – Variável Padronizada Reduzida

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO AO ESTUDO	15
1.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.2	JUSTIFICATIVA	18
1.3	OBJETIVOS	22
1.3.1	Objetivo Geral	22
1.3.2	Objetivos Específicos	23
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	25
2.1	CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO (CEP)	25
2.2	GRÁFICOS DE CONTROLE	27
2.2.1	Análise dos Gráficos de Controle	29
2.2.2	Finalidades dos Gráficos de Controle	31
2.2.3	Tipos de Gráficos de Controle	32
2.2.4	Planejamento de Gráficos de Controle	33
2.2.5	Gráficos de Controle para \bar{X} e R ou S	37
2.3	AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DO PROCESSO	41
3	METODOLOGIA	45
3.1	PESQUISA CIENTÍFICA	45
3.2	NATUREZA DA PESQUISA	45
3.3	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	46
3.4	ÁREA DA PESQUISA	47
3.5	INSTRUMENTOS DE COLETA	47
3.6	VARIÁVEIS	49
3.7	TABULAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS	50
3.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
4	ESTUDO DE CASO	51

5	DISCUSSÃO E RESULTADOS	55
5.1	ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS	55
5.2	DADOS AGREGADOS	57
5.3	NORMALIDADE DOS DADOS	58
5.4	CONTROLE DO DESEMPENHO	60
5.5	AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DO DESEMPENHO	62
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	66
6.1	CONCLUSÕES	66
6.2	RECOMENDAÇÕES	70
	REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

Nesse capítulo são apresentados: os conceitos de sistemas e a importância dos seus indicadores, um panorama geral da indústria nacional do transporte rodoviário de cargas na atualidade e a representatividade do consumo de combustível na estrutura de custos dos agentes de mercado dessa indústria. A partir dessa breve exposição, foi formulada a questão-problema do trabalho.

Na segunda seção deste capítulo justifica-se a motivação do estudo e, por último, são apresentados os objetivos gerais e específicos que esse trabalho pretende alcançar.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Em todos os sistemas produtivos, sejam eles destinados à produção de bens ou à prestação de serviços, existe a necessidade de controlar os insumos e as saídas provenientes dos seus processos de transformação.

De acordo com Souto (2003), é necessário que o sistema produtivo procure racionalizar a utilização dos recursos (entradas) do sistema, de forma que gere um maior número de produtos/serviços acabados (saídas). Por recursos, entende-se um conjunto composto por mão-de-obra, equipamentos e matéria prima.

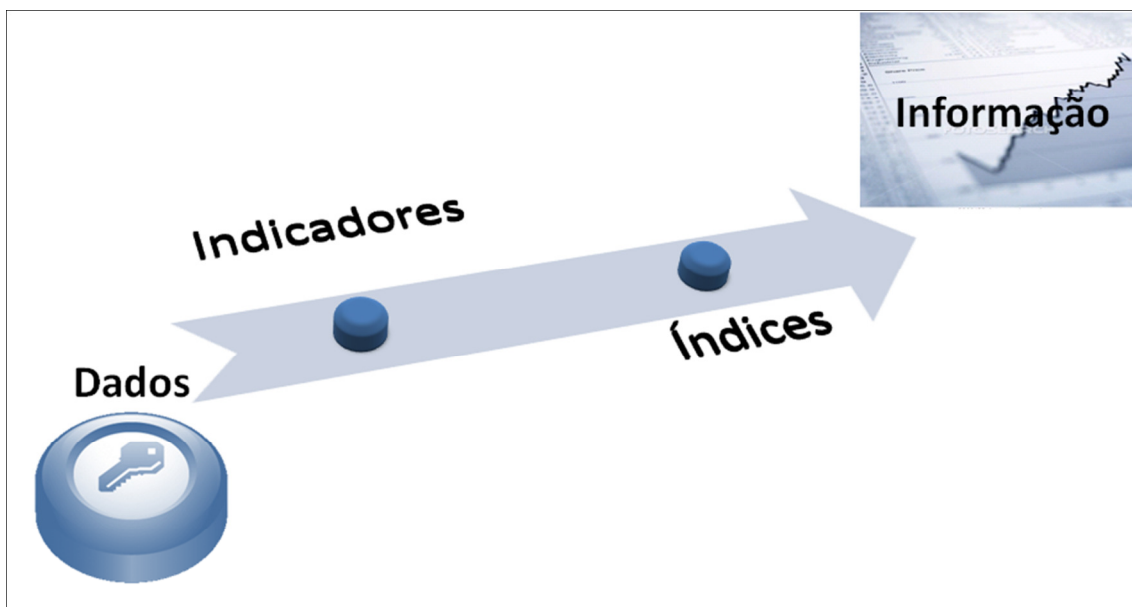
Assim, é de suma importância a realização de medidas das entradas e saídas do processo produtivo com o objetivo de garantir uma avaliação de desempenho dos processos presentes nas atividades de transformação.

A partir das medidas realizadas é possível construir um banco de dados que devidamente manipulado fornece informações úteis para a avaliação do desempenho do sistema produtivo em estudo.

Para Ferreira (*apud* Segnestam, 2000), o processo de geração dessas informações têm como elemento básico os dados. Desses derivam os indicadores que

combinados resultam nos índices. Esses são capazes de gerar as informações que subsidiam os processos decisórios dos gestores (Figura 1).

Figura 1 – Processo de geração de informação



Fonte: Adaptado de Ferreira (*apud* Segnestam, 2000)

Nesse sentido Castro Neto (2004, p. 15) relata:

“Um indicador é um valor que mostra o estado ou o nível de um determinado item que precisa ser controlado. Por exemplo: o consumo de combustível por quilômetro rodado é um indicador. Com ele, você pode comparar o consumo de combustível da sua frota com o gasto de outras frotas parecidas. (...) Com esse indicador, você pode avaliar se as medidas administrativas tomadas para economizar combustível estão dando resultado, comparando o consumo antes e depois de tomar essas medidas”.

Uma análise dos indicadores e índices de forma isolada, sem levar em consideração a experiência dos envolvidos no processo (colaboradores e gestores) somado ao uso técnicas de análises incorretas podem levar às interpretações inequívocas. Portanto, é preciso que o conhecimento dos profissionais envolvidos, bem como as técnicas corretas para avaliação dos indicadores sejam fatores inerentes nos processos de geração de informações confiáveis.

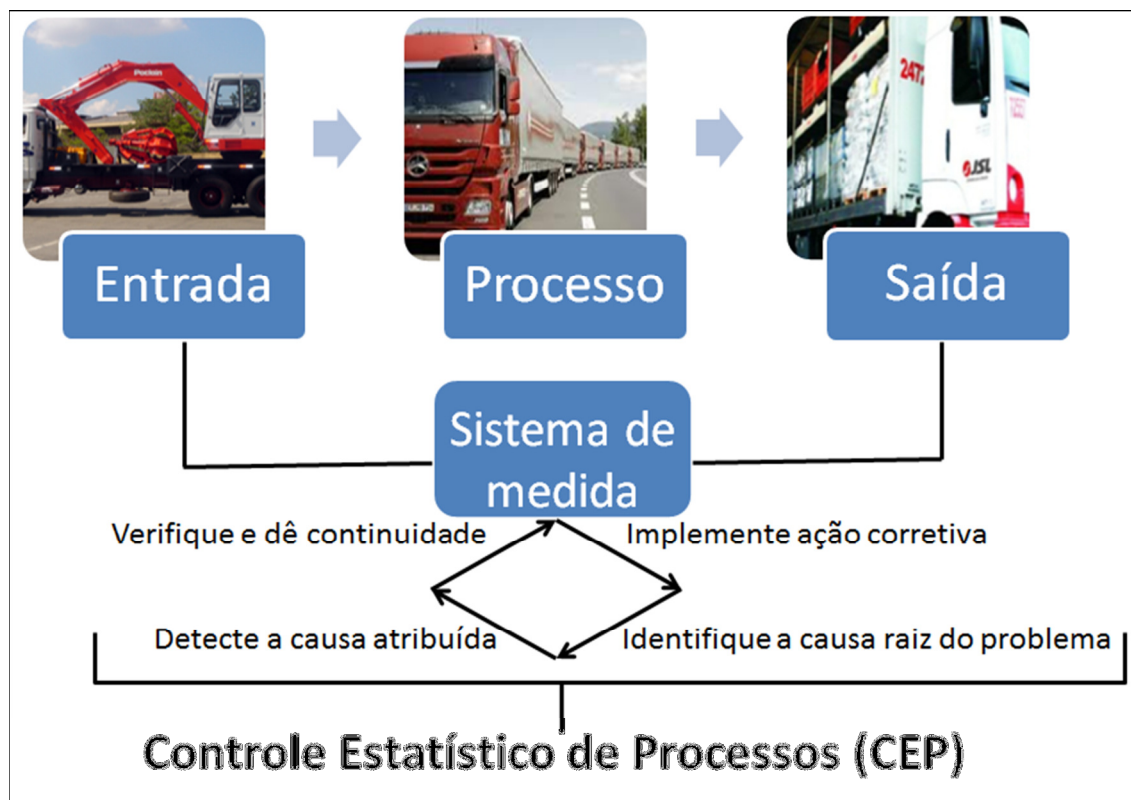
Nesse sentido, o Controle Estatístico de Processo (CEP) surge como uma metodologia capaz de fornecer subsídios para a análise quantitativa dos indicadores de um processo produtivo.

Contudo, o conceito de processo produtivo não está restrito aos sistemas de produção que fornecem apenas produtos, mas também se estende aos processos produtivos cuja saída é a prestação de um serviço.

Nesse sentido, o sistema de transporte rodoviário de cargas, quando analisado sob a ótica de processos, pode ser entendido por um conjunto de entradas composto por: mão-de-obra (caminhoneiros, mecânicos, gestores etc.), matéria-prima (combustível, pneu, óleo lubrificante etc.) e equipamentos (cavalo-mecânico e semi-reboque); por um processo produtivo (realização do transporte) e; por uma saída (prestação do serviço).

Desse modo, é possível pensar na hipótese do uso do CEP nos sistemas prestadores de serviços, sobretudo nos sistemas de transporte rodoviário de cargas como é demonstrado na Figura 2.

Figura 2 – O uso do CEP na avaliação de indicadores



Fonte: Elaborado com base em Montgomery (2009)

No presente trabalho, foram aplicadas as ferramentas estatísticas do CEP com o intuito de analisar o índice de consumo de combustível expresso em termos da razão entre os valores do deslocamento percorrido pelo veículo e da quantidade de combustível necessária para a execução do percurso.

Diante do que foi exposto acima, pode-se concluir que o uso de técnicas e métodos quantitativos presentes no CEP podem ser aplicados na análise do índice de consumo de combustível de uma frota de caminhões utilizados no transporte rodoviário de cargas. Sendo assim, o presente trabalho de monografia pretende responder à seguinte questão problema:

Como o controle estatístico de processos poderia ser usado na avaliação do consumo de combustível no transporte rodoviário de cargas?

1.2 JUSTIFICATIVA

Na logística de distribuição (*outbound logistics*), o transporte rodoviário de cargas possui papel preponderante no escoamento da produção de bens dos pólos fabris para os mercados consumidores.

Dentre todos os modais que compõem a matriz de transporte nacional, o modo rodoviário é o que têm maior representatividade. De acordo com a Tabela 1, as cargas movimentadas através das rodovias brasileiras totalizaram a marca de 770.844.544 mil toneladas transportadas por quilômetro útil (TKU), o que representou 62,7% do total de cargas movimentado no Brasil no ano de 2008.

Além da sua importância operacional, o setor de transportes apresenta destaque econômico. De todo os serviços realizados no território brasileiro em 2008, a atividade de transporte, movimentação e correios corresponderam juntas a 8,4% do faturamento total no setor dos serviços nacionais (Figura 3).

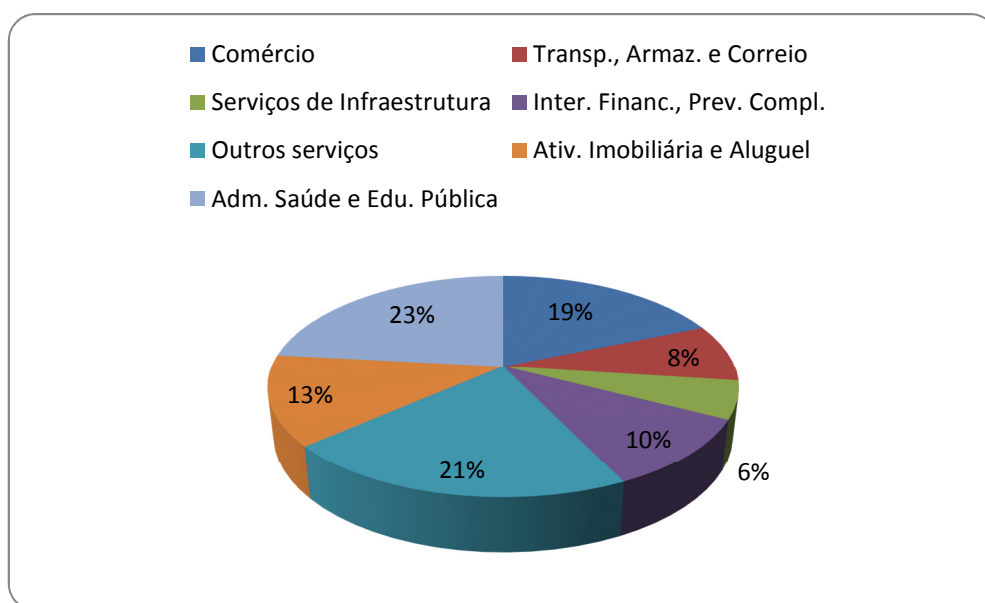
Tabela 1 – Matriz de Transportes Brasileira (2008)

	BRASIL	
	Mil TKU	%
Rodoviário	770.844.544	62,7%
Ferroviário	266.900.000	21,7%
Aquaviário	143.819.984	11,7%
Dutoviário	46.553.982	3,8%
Aéreo	1.244.637	0,1%

Fonte: Instituto de Logística e Supply Chain, ILOS (2010)

Na matriz modal brasileira, o transporte rodoviário de cargas foi o que apresentou a maior receita operacional líquida, totalizando cerca de R\$ 72 bilhões. Esse valor representou 48% do montante gerado (Tabela 2).

Figura 3 – Participação percentual de cada atividade na riqueza gerada pelos serviços brasileiros (2008)



Fonte: IBGE (2008)

De fato, constata-se que o transporte rodoviário de cargas no Brasil, possui um papel significativo na geração de riqueza no país, sobretudo na agregação de valor da logística nacional.

Por outro lado, observa-se que os custos e despesas operacionais do transporte de cargas por rodovias perfazem, respectivamente, um total de R\$ 18,6 e 26,6 bilhões com participações de 44% e 56% de todos os modais (Tabela 2).

Tabela 2 – Receitas, Custos e Despesas por modal de transporte (2008)

ESPECIFICAÇÃO	MODAL					
	Transporte rodoviário		Transporte aéreo	Transporte ferroviário/metroviário	Transporte aquaviário	Transporte dutoviário
	Cargas	Passageiros				
1 000 R\$						
Receita Operacional Líquida ⁽¹⁾	72 066 077	35 422 156	19 829 014	8 938 565	8 374 572	5 163 192
Custos ⁽²⁾	18 610 524	11 448 125	8 717 183	1 525 498	1 974 854	216 609
Despesas Operacionais ⁽³⁾	26 603 403	5 402 705	6 264 144	3 622 462	3 964 064	1 908 658

Fonte: Elaborado a partir da Pesquisa Anual de Serviços, IBGE (2008)

Notas:

⁽¹⁾ Receita Operacional Líquida composta pelo somatório da prestação de serviços, da revenda de mercadorias e de outras atividades, subtraídos das deduções.

⁽²⁾ Custos composto por mercadorias, materiais de consumo e de reposição, custo de mercadorias revendidas, combustíveis e lubrificantes, outros custos.

⁽³⁾ Despesas operacionais compostas por aluguel de imóveis, publicidade e propaganda, comissões pagas a terceiros, serviços prestados por profissionais liberais ou autônomos, serviços técnico-profissionais, vigilância, segurança e transporte de valores, fretes e carretos, afretamento de embarcações e aluguel de espaços em embarcações, mão de obra contratada temporariamente junto a empresas locadoras de mão de obra, manutenção e reparação de bens, outros serviços prestados por empresas, armazenagem, carga e descarga e utilização de terminais, pedágio, impostos e taxas, serviço de comunicação, energia elétrica, gás, água e esgoto, prêmios de seguros, viagens e representações, material de expediente e de escritório, direitos autorais, franquias e *royalties*, outras despesas operacionais.

Ao mencionar os custos do transporte de cargas, Oliveira (2010, p. 11) diz:

“A segmentação dos componentes de custos são desmembrados em custos fixos (que incluem despesas gerais indiretas e veículos) e custos variáveis (que incluem motorista, combustível, pneus e reparos) resulta em uma estrutura de baixos custos fixos e altos custos variáveis”.

De todos os itens que compõem a estrutura de custos do transporte rodoviário brasileiro, o combustível e o lubrificante tiveram maior representação do montante gasto, totalizando 25% dos custos e despesas destinados à movimentação de cargas em 2008 (Tabela 3).

Assim, verifica-se que o combustível, como uma matéria-prima necessária no processo de prestação do serviço de transporte, deve ser controlada com o objetivo de garantir a eficiência do transporte. Em termos gerais, isso significa que os

equipamentos utilizados na movimentação de cargas devem percorrer a maior distância com o menor gasto de combustível para atingir a excelência operacional do equipamento.

No Brasil, mais de 75% do óleo diesel consumido, destina-se à atividade de transporte. O restante está dividido entre os setores agropecuário (com cerca de 16%) e o de transformação (com cerca de 5%).

Tabela 3 – Custos e despesas de transporte (2008)

CUSTOS E DESPESAS DE TRANSPORTE			
	Especificação	Valor (1 000 R\$)	Participação
Custos	Mercadorias, materiais de consumo e de reposição	6781231	15%
	Custo de mercadorias revendidas	381204	1%
	Combustíveis e lubrificantes	11.384.108	25%
	Outros custos	63.981	0%
Despesas	Aluguel de imóveis	1.350.134	3%
	Publicidade e propaganda	62.506	0%
	Comissão pagas a terceiros	614.245	1%
	Serviços prestados por profissionais liberais ou autônomos	4.793.019	11%
	Serviços técnico-profissionais	1.617.622	4%
	Vigilância, segurança e transporte de valores	288.231	1%
	Fretes e carretos, afretamento de embarcações e aluguéis	9.107.546	20%
	Mão de obra contratada	216.032	0%
	Manutenção e reparação de bens	1.504.500	3%
	Outros serviços prestados por empresas	313.998	1%
	Armazenagem, carga e descarga e utilização de terminais	322.544	1%
	Pedágio	1.044.752	2%
	Impostos e taxas	791.263	2%
	Serviços de comunicação	579.404	1%
	Energia elétrica, gás, água e esgoto	292.506	1%
	Prêmios de seguros	748.604	2%
	Viagens e representações	456.056	1%
	Material de expediente e de escritório	262.471	1%
	Direitos autorias, franquias e <i>royalties</i>	4.471	0%
	Outras despesas operacionais	2.233.501	5%
	Total	45.213.929	100%

Fonte: Elaborado a partir da Pesquisa Anual de Serviços, IBGE (2008)

A importância do setor de transporte brasileiro no consumo do óleo diesel, traz a responsabilidade ambiental do setor quanto à emissão de gases provenientes da combustão do óleo diesel. De fato, há uma preocupação entre as empresas do setor em reduzir a emissão desses gases, uma vez que os clientes das transportadoras e, ou, operadoras logísticas vêm exigindo certificações ambientais, a exemplo da norma ISO 14001, como uma premissa para a prestação de um serviço ambientalmente responsável.

Uma das medidas para a redução dos gases emitidos pela frota das transportadoras pode ser através do controle de combustível consumido por seus caminhões, pois veículos com consumo elevado de óleo diesel apresentam ineficiência operacional, revertendo fração considerável desse combustível em gases que contribuem para o agravamento do efeito estufa.

Dessa forma, verifica-se que o controle do óleo diesel consumido pelos caminhões das transportadoras, configura-se como um elemento favorável à competitividade dessas empresas.

De um modo geral, essa competitividade pode ser observada sobre o aspecto do micro e do macro ambiente na qual a operadora logística está inserida. Em termos do microambiente, um consumo de combustível controlado permite que a empresa estabeleça políticas com o objetivo de reduzir o consumo de combustível para aumentar a eficiência operacional dos seus equipamentos. Já no aspecto do macroambiente empresarial, a redução do consumo de óleo diesel leva à diminuição da emissão dos gases do efeito estufa, permitindo que a empresa adeque-se à legislação e certificações ambientais exigidas pelo setor.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar o consumo de combustível no transporte rodoviário de cargas através do controle estatístico de processo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Apresentar uma revisão bibliográfica referente ao controle estatístico de processos (enfocando os gráficos de controle com os seus conceitos estatísticos básicos) e da avaliação da capacidade do processo.
- Construir uma base de dados contendo a quilometragem e a quantidade de combustível consumida pelos caminhões de uma operadora logística, descrevendo o estudo de caso.
- Aplicar ferramentas e técnicas do controle estatístico de processo nos indicadores e índices ligados ao consumo de combustível na atividade do transporte rodoviário de cargas.
- Avaliar a capacidade do processo em estudo.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estruturação do presente trabalho compreendeu na divisão do mesmo, além deste capítulo introdutório, em outros seis capítulos, os quais são brevemente descritos nos próximos parágrafos.

O primeiro capítulo, demonstra, de maneira resumida, o que foi estudado, o porquê desse estudo e onde se pretendeu chegar com o mesmo. Assim, o capítulo 1 é composto pela formulação do problema, justificativa do trabalho, objetivos gerais e objetivos específicos.

No capítulo 2, foi apresentado o referencial teórico que serve como base para as discussões nos capítulos posteriores. Neste capítulo, são abordados os conceitos de controle estatístico do processo, com um enfoque para os gráficos de controle. A parte final deste capítulo foi destinada à apresentação da avaliação da capacidade do processo.

Os procedimentos metodológicos adotados para a realização desse trabalho foram descritos no capítulo 3.

O estudo de caso foi caracterizado no capítulo 4, onde é descrito a forma de obtenção dos dados na Empresa X através do seu *Enterprise Resource Planning (ERP)*. Além disso, é apresentado, brevemente, a marca e modelo dos caminhões.

No capítulo 5, discussão e resultados, foi realizada uma análise descritiva dos dados do desempenho dos caminhões (consumo de combustível, em km/l) com o objetivo de estudar essa variável para cada caminhão e de forma conjunta. Essa última maneira de apresentação dos dados foi denominada como dados agregados. Além disso, a normalidade da variável foi analisada. Em seguida, discutiu-se o controle do desempenho dos caminhões da marca e modelos definidos no capítulo 4, bem como a capacidade desse desempenho em atender as especificações estabelecidas pela Administração da Empresa X.

Por fim, no capítulo 6, foram apresentadas as conclusões e recomendações do estudo, acompanhadas por propostas para trabalhos futuros. No capítulo seguinte, encontram-se as referências usadas na realização do trabalho.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado o referencial teórico, suporte do trabalho. Pretende-se aqui, abordar definições, conceitos e teorias fundamentais para a elaboração do estudo.

Na fundamentação teórica, foram descritos os conceitos do controle estatístico do processo, dedicando-se uma seção para os gráficos de controle. Nessa seção, foi inserido os elementos estatísticos básicos (como os conceitos de média, variância, desvio-padrão, amostragem, dados agrupados, distribuição normal etc.) necessários para o entendimento dos gráficos de controle \bar{X} e R (ou S).

Por último, foi apresentada a teoria da avaliação da capacidade do processo com as suas formas de verificação gráfica e através dos índices de capacidade do processo.

2.1 CONCEITOS ESTÁTISTICOS PARA O CEP

Na primeira revolução industrial, as manufaturas avaliavam a qualidade dos seus produtos através da inspeção de cada bem produzido. Na época, todos os produtos eram inspecionados com o objetivo de validar os produtos bons (ou seja, aqueles produtos que atendiam as especificações pré-estabelecidas pelos clientes) dos produtos não-conformes.

No entanto, o aumento da demanda por bens frente ao crescimento do mercado consumidor impossibilitou a inspeção de todos os produtos fabricados.

Diante desse obstáculo, Siqueira (1997, p. 03) relata que “(...) métodos estatísticos começaram a ser usados na indústria, como alternativa à inspeção 100%, de uma produção em franco crescimento. Surge, então, a inspeção por amostragem”.

Segundo Siqueira (1997), mesmo com a inspeção por amostragem, a validação dos produtos depois de fabricados traziam custos como o retrabalho e desperdícios de produtos defeituosos que poderiam ser evitados se os processos

utilizados na produção desses bens fossem analisados. Para solucionar esse problema surgiu o controle estatístico de processos (CEP).

O CEP é uma metodologia baseada em ferramentas estatísticas com a finalidade de analisar a variabilidade dos processos produtivos, entende - lá e agir para bloquear variações observadas no processo fora dos limites estabelecidos com o uso da estatística.

Ao tratar das ferramentas do CEP, Montgomery (2009, p. 396) elenca as seguintes:

1. Histograma
2. Gráfico de Pareto;
3. Diagrama de causa-e-efeito;
4. Diagrama de concentração de defeito;
5. Gráfico de controle;
6. Diagrama de dispersão;
7. Folha de verificação

De acordo com Ramos (2000), o gráfico de controle, denominados também como carta de controle, é a ferramenta básica do CEP.

Segundo Farias (2003), *“embora os gráficos de controle tenham sido primeiramente utilizados na indústria manufatureira, hoje seu uso é completamente geral: da indústria de bens de capital ao setor de serviços”*.

Diante disso, buscou-se na próxima seção apresentar a teoria dos gráficos de controle, utilizados no capítulo 4 para avaliar o controle do consumo de combustível da frota de caminhões em estudo.

2.2 GRÁFICOS DE CONTROLE

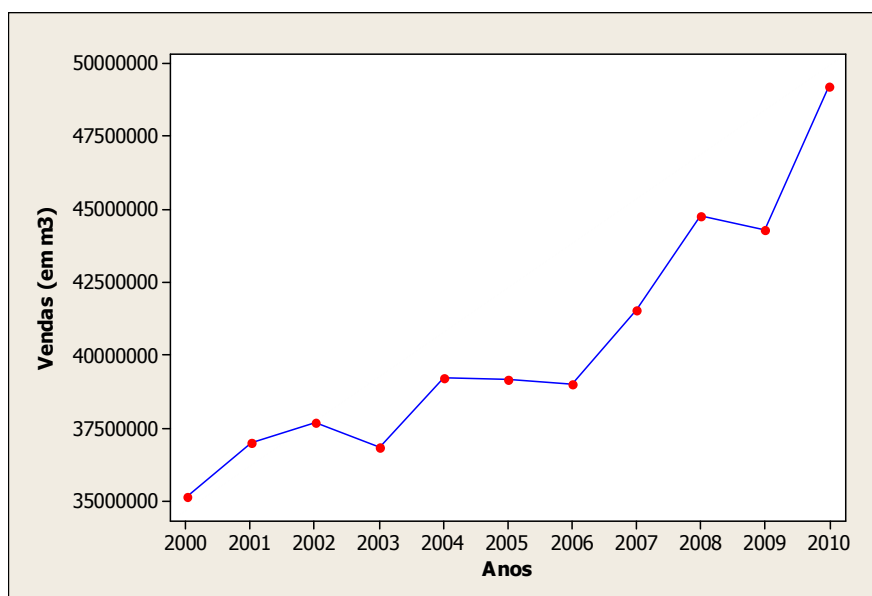
Na estatística descritiva, existem diversas formas de representação visual de um conjunto de dados capazes de facilitar a interpretação das informações. Nesse universo de maneiras, encontram-se as séries temporais.

Farias (2003, p. 294) define uma série temporal da seguinte forma:

“Uma série temporal é um conjunto de observações ordenadas no tempo. O consumo mensal de energia em uma residência, o preço semanal de um produto, o valor anual de um índice de produção industrial são alguns exemplos”.

Para exemplificar o conceito de séries temporais, na Figura 4 é apresentada uma série da venda anual de óleo diesel brasileira (em m³) compreendida entre os anos de 2000 à 2010. Nesse gráfico, pode ser observado o crescimento expressivo das vendas de óleo diesel na última década. Parte significativa dessas vendas está ligada ao aumento do transporte rodoviário de cargas nacional que representa mais de 75% de consumo do óleo diesel no Brasil.

Figura 4 – Vendas (em m³) de óleo diesel no Brasil pelas distribuidoras (2000-2010)



Fonte: ANP (2011)

Dentro dessa concepção de representação de uma variável ao longo de certo período de tempo, encontra-se o gráfico de controle, uma forma particular de representação dos dados temporais, levando-se em consideração conceitos estatísticos básicos.

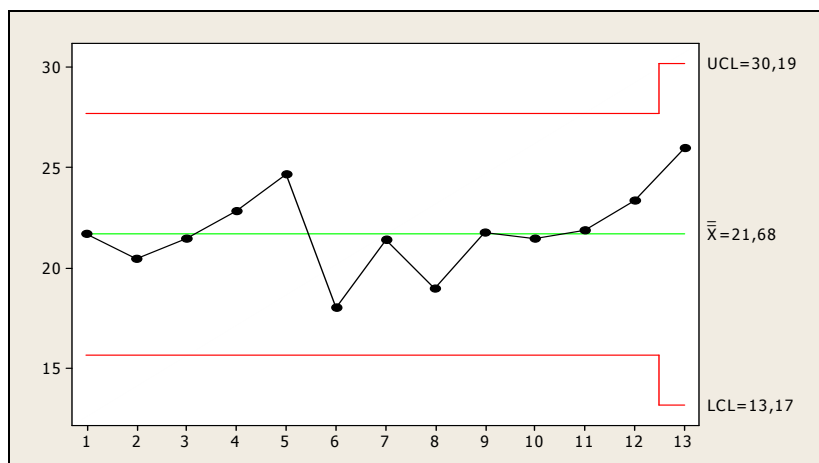
Segundo Ramos (2000, p. 26):

“Um gráfico de controle é um conjunto de pontos (amostras), ordenado no tempo, que são interpretados em função de linhas horizontais, chamadas de limite superior de controle (LSC), linha média (LM) e limite inferior de controle (LIC)”.

De um modo geral, um gráfico de controle é uma serie temporal seccionada por um conjunto de três linhas na seguinte ordem descendente: LSC, LM e LIC. Nesse trabalho, LM será denominado por LC (Linha Central), seguindo a denominação da grande parte dos autores da área.

Na Figura 5, foi apresentado um gráfico de controle com 13 valores individuais, contendo o valor do limite superior de controle (LSC) igual à 30,19, a linha central (LC) sendo 21,68 e o limite inferior de controle (LIC) igual à 13,17.

Figura 5 – Gráfico de controle \bar{X}



Fonte: Elaborado pelo autor (2010)

As cartas de controle são construídas a partir de amostras de uma população. Disso, decorre que os valores das estatísticas presentes nos gráficos de controle são inferências capazes de representar a população em estudo.

Os gráficos de controle permitem que os setores da qualidade e de produção da organização mensurem o desempenho de uma dada variável quanto ao seu ajuste à critérios de qualidade pré-determinados e aceitáveis pela engenharia de qualidade.

2.2.1 Análise dos Gráficos de Controle

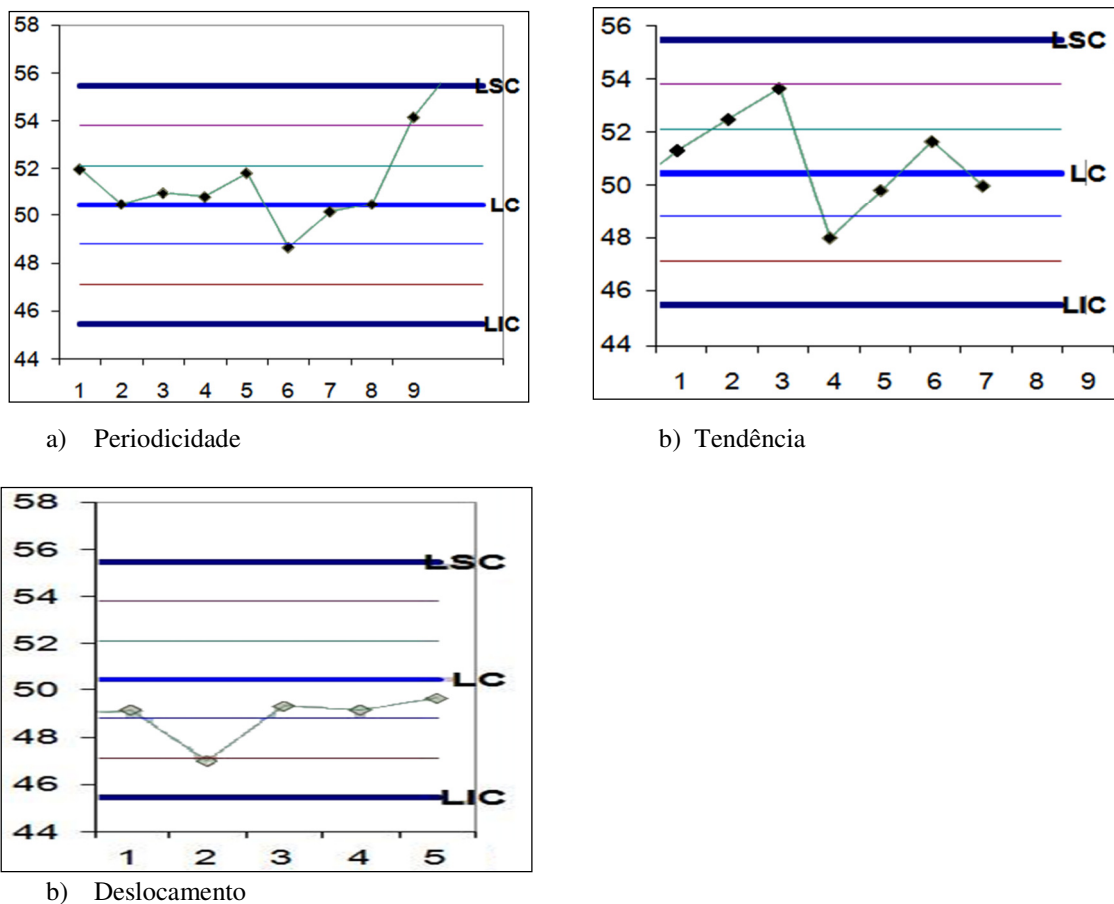
Na análise dos gráficos de controle, Vieira (1999, p. 38) determina que o processo está controlado quando os itens abaixo são atendidos:

- ✓ Os pontos do gráfico encontram-se dentro dos limites de controle e;
- ✓ Os dados dentro do gráfico estão dispostos de forma aleatória.

Na definição de Vieira (1999, p. 38), os padrões típicos para um comportamento não-aleatório são:

- ✓ Periodicidade: “subidas” e “descidas” em intervalos regulares de tempo (Figura 6-a);
- ✓ Tendência: pontos direcionando-se para baixo ou para cima (Figura 6-b);
- ✓ Deslocamento: alteração do nível de desempenho do processo (Figura 6-c).

Figura 6 – Padrões típicos de gráficos de controle para comportamento não-aleatório



Fonte: Pesquisa direta (2011)

De acordo com o *Automotive Industry Action Group (AIAG)*, os seguintes testes devem ser realizados com o objetivo de averiguar a existência de um padrão não-aleatórios do gráfico de controle \bar{X} e S , capaz de comprometer o controle do processo¹:

Teste 1: Um ponto maior do que três desvios padrão da linha central;

Teste 2: Nove pontos em sequência no mesmo lado da linha central;

Teste 3: Seis pontos em sequência, crescente ou decrescentes.

Além dos critérios acima, o *Western Electric Handbook (1956)* elenca outros teste para detectar padrões não-aleatórios nos gráficos de controle. Montgomery (2009,

¹ Na construção de Cartas de Controle futuras, o *AIAG* estabelece a possibilidade de usar o valor sete para os testes 2 e 3.

p. 401), relata os seguintes testes nos quais as regras de *Western Electric* concluem que o processo esta fora do controle:

Teste 1: Um ponto cair fora dos limites 3-sigma;

Teste 2: Dois de três pontos consecutivos caírem além do limite 2-sigma;

Teste 3: Quatro de cinco pontos consecutivos caírem a uma distância de 1-sigma ou além da linha central;

Teste 4: Oito pontos consecutivos caírem em um lado da linha central.

2.2.2 Finalidades dos Gráficos de Controle

De acordo com Siqueira (1997), as cartas de controle por variáveis têm a finalidade de fornecer informações:

- 1º) Para a melhoria da qualidade;
- 2º) Sobre a capacidade do processo;
- 3º) Para a tomada de decisões relativas à especificação do produto;
- 4º) Para tomada de decisão sobre o processo de produção;
- 5º) Para tomada de decisão sobre peças recém-produzidas.

Para o caso específico, no qual as cartas de controle foram aplicadas na avaliação da variável denominada nesse estudo como desempenho (ou consumo de combustível) dos caminhões, adequações nas finalidades supracitadas foram realizadas com o objetivo de adaptar as mesmas ao estudo em questão:

- 1º) Para a melhoria do desempenho

Um dos índices para avaliação do desempenho de um veículo é o quilometro percorrido pelo combustível consumido (km/l). Através do uso da carta de controle, esse índice de desempenho pode ser monitorado e melhorado.

2º) Sobre a capacidade do processo

Após ser obtida a melhoria de desempenho do veículo em termos do km/l, a carta de controle indicará quando não é mais possível obter melhoria do desempenho sem investimento significativo. É nesse ponto, Segundo Siqueira (1997) que a verdadeira capacidade do processo pode ser obtida.

3º) Para a tomada de decisões relativas à especificação

Depois de obtida a capacidade do processo, as especificações de desempenho podem ser obtidas. Por exemplo, se a variação do consumo de combustível for de $\pm 0,3$, então uma especificação de $\pm 0,4$ pode ser obtida.

4º) Para a tomada de decisão sobre o processo de produção

Considerando o transporte rodoviário como sendo um processo que produz serviços, tal processo pode ser avaliado através da variação do(s) seu(s) indicadore(s) de desempenho. Quando o processo apresenta um padrão normal de variação, entende-se que o processo está sobre controle. Já numa situação na qual há um padrão instável de variação, entende-se que o processo está fora de controle. Assim, uma das finalidades da aplicação das cartas de controle para a avaliação do consumo de combustível é justamente determinar como essa variação do consumo ocorre.

A 5ª finalidade estabelecida por Siqueira (2007) tem a sua aplicação restrita às atividades que produzem bens tangíveis, uma realidade diferente daquela abordada nesse estudo.

2.2.3 Tipos de Gráficos de Controle

Ramos (2000) divide os gráficos de controle em duas categorias: os *gráficos de controle para variáveis* (construído a partir de dados medido no processo produtivo

como por exemplo o peso e a densidade) e os *gráficos de controle para atributos* (construído a partir de dados resultantes de uma classificação ou contagem como por exemplo o número de defeitos e o número de erros).

De acordo com Feigenbaum (1991), os gráficos de controle para variáveis mais comuns são conhecidos como os *gráficos \bar{X} , R e S*. Enquanto, os gráficos de controle para atributos são os *gráficos de controle para proporções*, algumas vezes denominados por *gráficos p*.

Nesse trabalho, foram utilizados os gráficos de controle para variáveis, uma vez que o consumo de combustível dos caminhões é uma característica cujo valor resulta das medições da quilometragem percorrida pelo caminhão e do consumo de óleo diesel representados, respectivamente, pelas grandezas escalares distância (km) e volume (l), de onde deriva a grandeza km/l.

2.2.4 Planejamento de Gráficos de Controle

Em grande parte dos trabalhos estatísticos no qual é usada a manipulação de dados numéricos, faz-se necessário o uso do *planejamento estatístico do experimento*.

Do mesmo modo ocorre com a construção dos gráficos de controle no quais são manipulados os números de uma variável cujos valores refletem a qualidade de uma característica em estudo.

Esses valores provêm de amostras medidas no processo na qual a sua obtenção incorre em custos de coleta. Para tanto, há uma preocupação dos especialistas de qualidade em retirar amostras com tamanhos adequados, ou seja, amostras com um número de elementos suficiente para representar a realidade do processo. Do mesmo modo, busca-se obter amostras em uma frequência capaz de demonstrar o comportamento do processo.

Assim, os conceitos de amostragem e de dados agrupados são necessários nos projetos para a elaboração dos gráficos de controle.

Amostragem

A amostragem estatística é um conceito que trata dos tipos de amostras e dos métodos adequados para a coleta dos dados provenientes da população em estudo. Na Tabela 4, foram indicados os cinco métodos mais comuns de amostragem.

Tabela 4 – Métodos de amostragem

Método	Definição
Amostra Aleatória	Escolhe-se uma amostra aleatória simples de n elementos, de maneira que toda a amostra de tamanho n possível tenha a mesma chance de ser escolhida.
Amostragem Estratificada	Subdivide-se a população em, no mínimo, duas subpopulações (ou estratos) que compartilham das mesmas características (como sexo) e, em seguida, extraímos uma amostra de cada estrato.
Amostragem Sistemática	Escolhe-se um ponto de partida, e seleciona-se cada k -ésimo elemento (como por exemplo cada 50.º elemento) da população.
Amostragem por Conglomerados	Divide-se inicialmente a área da população em seções (ou conglomerados); em seguida escolhe-se algumas dessas seções e, finalmente, toma-se todos os elementos das seções escolhidas.
Amostragem de Conveniência	Simplesmente são utilizados resultados já disponíveis.

Fonte: Elabora a partir de Triola (2000, p. 9-10)

Mesmo que o planejamento de um experimento seja criterioso, erros quanto à representatividade da estatística de uma amostra em relação à população podem ocorrer.

Em relação às causas desses erros, Triola (1999) categoriza os problemas em “*erro amostral*” e “*erro não-amostral*”.

Os erros amostrais resultam de flutuações amostrais, ou seja, uma amostra coletada aleatoriamente pode apresentar estatísticas que não condizem com os parâmetros reais da população em estudo.

Já o erro não-amostral é obtido, segundo Triola (1999, p.10), das seguintes formas:

- ✓ Escolha de uma amostra não-aleatória e tendenciosa;

- ✓ Utilização de um instrumento de mensuração defeituoso;
- ✓ Uma questão formulada de modo tendencioso;
- ✓ Um grande número de recusas de respostas e;
- ✓ A cópia incorreta dos dados amostrais.

Outro aspecto importante no estudo da amostragem é o tamanho da amostra que deverá ser utilizada no experimento, uma vez que amostras grandes podem gerar custos e tempos de coletas adicionais para a sua obtenção. Por outro lado, amostras com poucos elementos podem não representar significativamente os parâmetros estudados de uma população.

Desse modo, cálculos são utilizados para a determinação do tamanho da amostra que serão capazes de fornecer estatísticas com um nível de significância pré-estabelecido pelo pesquisador.

O cálculo do tamanho de uma amostra (obtida através da amostragem aleatória) para a obtenção da média populacional pode ser realizado com base no grau de confiança e na margem de erro fixados pelo pesquisador, como pode ser observado na fórmula abaixo:

$$n = \left[\frac{z_{\alpha/2} \sigma}{E} \right]^2$$

Onde: n é o tamanho da amostra, $z_{\alpha/2}$ é obtido através da Tabela de distribuição normal padronizada para um nível de confiança de $1 - \alpha$ e E é o valor de μ a menos de $\pm E$, ou seja, é o valor estipulado pelo pesquisador significando a máxima distância entre as médias amostrais e populacionais.

Como σ é um parâmetro populacional, sendo desconhecido em grande parte dos casos. Triola (1999) sugere dois procedimentos para a obtenção desse parâmetro:

1. Usar a regra prática para estimar o desvio-padrão: $\sigma \approx \text{amplitude}/4$;
2. Realizar um estudo piloto para a determinação do desvio padrão com pelo menos 31 valores amostrais coletados de forma aleatória. Esse desvio padrão calculado a partir da amostra substituirá o σ .

Dados agrupados

De acordo com Farias (2003) os dados agrupados ou grupamento de dados tem o objetivo de apresentar os dados brutos (dados obtidos do experimento) de modo que o manuseio, visualização e compreensão sejam realizados de forma mais simples e eficiente.

Para ilustrar esse conceito, foi utilizado o exemplo de Ramos (2000) no qual amostras de tamanho 5 ($n = 5$) foram coletadas de um suposto processo com frequência horária colocados na Tabela 5.

Tabela 5 – Amostras de um processo

Amostra	Valores					\bar{x}	R
1	7	24	24	20	25	20,0	18
2	17	37	28	16	26	24,8	21
3	12	22	40	36	34	28,8	28
4	52	34	29	36	24	35,0	28
5	28	28	34	29	48	33,4	20
6	30	27	48	32	25	32,4	23
7	36	21	31	22	28	27,6	15
8	5	33	15	26	42	24,2	37
9	50	34	37	27	34	36,4	23
10	21	17	20	25	16	19,8	9
11	34	18	29	43	24	29,6	25
12	18	35	26	23	17	23,8	18
13	10	28	19	26	21	20,8	18
14	21	23	33	28	38	28,6	17
15	27	41	15	22	23	25,6	26
16	31	19	39	21	38	29,6	20
17	37	46	22	26	25	31,2	24
18	13	32	35	44	45	33,8	32
19	9	44	25	32	39	29,8	35
20	14	27	34	34	52	32,2	38
Total						567,4	475

Fonte: Ramos, (2000, p. 18)

A partir da Tabela 5, Ramos (2000) chega às seguintes conclusões:

- ✓ Todo processo apresenta variação, restando saber se estas variações são devidas às causas comuns ou especiais;
- ✓ Os valores individuais apresentam uma variação maior do que as suas respectivas medias;
- ✓ É necessário usar tanto as médias como a amplitude e desvio-padrão, pois cada um fornece informações diferentes do processo analisado.

Antes da construção dos gráficos de controle, uma organização prévia dos dados deve ser realizada de forma a agrupa-los. Montgomery (2009) denomina cada conjunto de amostras como *subgrupo racional*.

De acordo com Filho (1982), na fase inicial do projeto de um gráfico de controle uma sequencia de 25 subgrupos racionais com 4 amostras ou de 20 subgrupos racionais com 5 amostras é o suficiente para o estabelecimento dos limites de controle da variável em estudo.

2.2.5 Gráficos de Controle para \bar{X} e R ou S

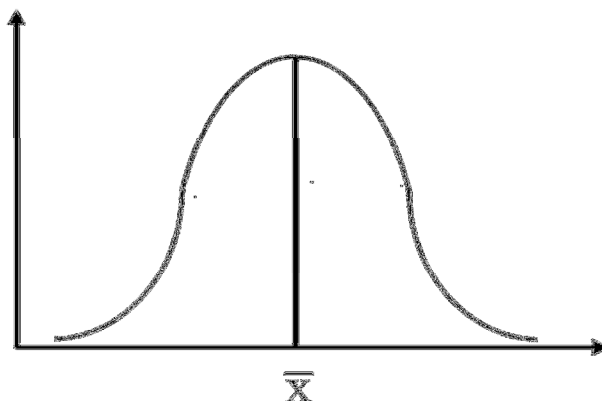
Os gráficos para variáveis são obtidos através de dados do processo que representam uma característica da qualidade. De acordo com Montgomery (2009), para a construção e a aplicação dos gráficos de controle é necessário que os dados tenham uma distribuição normal de probabilidade.

Segundo Triola (1999, p. 114) “*uma variável aleatória têm distribuição normal se*”:

- ✓ Essa distribuição é simétrica e apresenta a forma de um sino (Figura 7);
- ✓ A distribuição da variável em questão é ajustável à fórmula a seguir:

$$z = \frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

Figura 7 – Curva da distribuição normal de probabilidade



Fonte: Tuna, C. E. (2008, p. 10)

Na certeza de que a variável em estudo atende os critérios de normalidade apresentados acima, tabelas estatísticas podem ser utilizadas com o objetivo de realizar inferências sobre a normalidade dessa variável.

No entanto, para o uso dessas tabelas estatísticas, deve-se entender antes o conceito de “variável padronizada”.

De acordo com Farias (2003) uma variável x com média μ e desvio padrão σ têm como variável padronizada, ou reduzida, o valor de z' calculado pela seguinte fórmula:

$$z' = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

A variável padronizada z' tem média 0 e desvio padrão igual a 1.

De acordo com Filho (1982, p. 36), “os itens de uma distribuição normal (de média μ e desvio-padrão σ) se distribuem em torno da média nas seguintes proporções aproximadas: 68% dos valores no intervalo $\mu \pm \sigma$, 95% no intervalo $\mu \pm 2\sigma$ e 99,7% no intervalo $\mu \pm 3\sigma$. Assim, é esperada a ocorrência de um valor fora do intervalo $\mu \pm 3\sigma$ a cada mil observações.

Nesse sentido são definidos os gráficos de controle para a média de uma variável em estudo que segue uma distribuição normal, no qual a média μ configura-se como a linha central e os valores $\mu + 3\sigma$ e $\mu - 3\sigma$ representam, respectivamente, os limites superior de controle (LSC) e inferior de controle (LIC).

Como os parâmetros μ e σ dos gráficos de controle são usualmente estabelecidos com base em amostras preliminares retiradas quando o processo está aparentemente sob controle, então têm-se:

$$LSC = \mu + 3\sigma/\sqrt{n}$$

$$LIC = \mu - 3\sigma/\sqrt{n}$$

$$LC = \mu$$

Montgomery (2009) recomenda o uso de no mínimo 20 a 25 amostras preliminares. Assim, em um caso no qual há m amostras preliminares disponíveis, cada uma de tamanho n , esse valor será de 4, 5 ou 6 amostras tomadas em m subgrupos racionais.

O estimador para a linha central é dada pela seguinte fórmula:

$$LC = \hat{\mu} = \bar{\bar{X}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{X}_i$$

De acordo com Filho (1982, p. 55), “*um gráfico de controle não pode ser caracterizado apenas por seu valor médio; é necessário conhecer também uma medida de dispersão em torno da média*”.

Nesse sentido, a variabilidade dos valores apresentados para a variável em estudo pode ser avaliada através da amplitude R de uma amostra retirada de uma população normal. Se x_1, x_2, \dots, x_n é uma amostra simples de tamanho n , então o intervalo da amostra é a diferença entre as observações maiores e menores, ou seja, $R_i = x_{max} - x_{min}$. Sendo R_1, R_2, \dots, R_m os intervalos das amostras dos m subgrupos racionais, então o estimador para a linha central pode ser obtido pela seguinte fórmula:

$$LC = \bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{R}_i$$

Já os limites superior (LSC) e inferior (LIC) para esse gráfico é dado pelas seguintes expressões:

$$LSC = \bar{\bar{X}} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}} \bar{R}$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}} \bar{R}$$

Na qual a constante d_2 pode ser encontrada em tabelas nos livros de estatística para cada tamanho de amostra.

Outra forma de avaliar o comportamento da dispersão de uma variável ao longo do tempo pode ser realizada através do *gráfico do desvio-padrão* (ou *gráfico de controle para S*).

Supondo a existência de m subgrupos racionais com amostras de tamanho n , a linha central para essa amostra é definida através da seguinte fórmula:

$$LC = \bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i$$

Com os seguintes limites superior (*LSC*) e inferior de controle (*LIC*):

$$LSC = \bar{s} + 3 \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

$$LIC = \bar{s} - 3 \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

Montgomery (2009), lista um conjunto de fórmulas no qual é possível a obtenção dos parâmetros de controle a partir de outros limites e linha central calculado preliminarmente. Do mesmo modo, pode-se obter os estimadores de σ a partir dos limites supracitados, como foi apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Obtenção dos limites de controle, linhas centrais e estimadores de σ a partir de parâmetros calculados

<i>Gráfico de Controle \bar{X} (a partir de \bar{R})</i>		<i>Estimador de σ a Partir do Gráfico R</i>
<i>LSC</i>	$\bar{\bar{x}} + A_2\bar{r}$	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$
<i>LC</i>	$\bar{\bar{x}}$	
<i>LIC</i>	$\bar{\bar{x}} - A_2\bar{r}$	
<i>Gráfico de Controle \bar{X} (a partir de \bar{S})</i>		<i>Estimador de σ a Partir do Gráfico S</i>
<i>LSC</i>	$\bar{\bar{x}} + 3 \frac{s}{c_4\sqrt{n}}$	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_4}$
<i>LC</i>	$\bar{\bar{x}}$	
<i>LIC</i>	$\bar{\bar{x}} - 3 \frac{s}{c_4\sqrt{n}}$	

Fonte: Elabora a partir de Montgomery (2009, p. 402-403)

2.3 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DO PROCESSO

Na engenharia de qualidade é necessário conhecer a capacidade de um processo atender as especificações dos clientes. Por cliente, entendem-se tanto os agentes externos a qual a organização supre com bens e/ou serviços, quanto agentes internos que formam uma cadeia de cliente-fornecedor entre processos interdependentes.

Além dessa preocupação em atender o cliente, um processo também deve ser capaz de manter à variabilidade da(s) característica(s) em estudo estável(eis) de produto e, ou, serviço ao longo do tempo.

Assim, através da capacidade do processo é possível avaliar as premissas do atendimento das especificações usualmente estabelecidas pelo cliente, bem como a competência do sistema permanecer sob controle ao longo do tempo (uma variabilidade uniforme).

De um modo geral, a capacidade do processo busca prever a maneira como o processo se manterá dentro das tolerâncias; auxiliar a seleção ou modificação do processo, bem como no estabelecimento de um intervalo entre as amostragens para o controle do processo; especificar requisitos de desempenho para novos equipamentos (o objetivo principal do presente trabalho); auxiliar na escolha entre fornecedores; planejar a sequência dos processos produtivos quanto há interação entre estes processos e as

tolerâncias e reduzir a variabilidade em um processo produtivo. (MONTGOMERY, 2004).

De acordo com Kotz e Lovelace (*apud* Miranda, 2005), algumas suposições iniciais são necessárias para a realização de um estudo de capacidade de processos como a sua estabilidade e a presença de uma variável normalmente distribuída e independente.

Nesse sentido, Montgomery (2009) elenca duas ferramentas para que o especialista de qualidade determine se um processo é capaz, ou seja, se o processo atende as premissas supracitadas. A saber, essas ferramentas são os *gráficos de tolerância* e os *histogramas*. Através dessas ferramentas é possível verificar o comportamento de um processo ao longo do tempo.

Outra forma usada normalmente na determinação da capacidade de um processo é através dos *índices de capacidade do processo*, representados pelos símbolos C_p (especificações bilaterais), C_{pL} e C_{pU} (especificações unilaterais), C_{pk} ; C_{pm} e C_{pmk} .

Capacidade potencial do processo (C_p):

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Onde: LSE e LIE são os limites superior e inferior de especificação, respectivamente; σ é o desvio-padrão dos dados da variável em estudo.

Para processos nos quais é interessante o cálculo apenas de uma especificação (especificações unilaterais), usa-se a média μ para o cálculo dos seguintes índices:

$$C_{pL} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \text{ e } C_{pU} = \frac{LIE - \mu}{3\sigma}$$

No uso do C_p supõe-se que o processo ocorra ao longo do valor da média, ou seja, o LSE e LIE equidistam desse valor. No caso de processos que correm fora da média, C_p pode superestimar a capacidade de processo. Desse modo, usa-se o índice de capacidade real do processo (C_{pk}).

Capacidade real do processo (C_{PK}):

A partir da superestimação da capacidade do processo pelo C_P , foi criado o índice C_{PK} com o objetivo de retratar a capacidade real do processo.

$$C_{PK} = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right)$$

Decorre das definições de C_P e de C_{PK} que a igualdade entre os valores dessas medidas, indica que o processo está centralizado no valor estabelecido na especificação.

De acordo com Miranda (2005), os valores dos índices de capacidade potencial e real dependerão do nível de produtos/serviços não-conformes aceitáveis pela unidade de negócio, ou seja, dos custos que a organização aceita assumir quando há a produção/execução de produtos/serviços distintos das características de qualidade pré-estabelecidas. De um modo geral, Montgomery (*apud* Miranda, 2005, p. 39) recomenda os valores apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Recomendação de valores mínimos para os índices C_P e C_{PK}

Tipos de Processos	Especificações Bilaterais	Especificações Unilaterais
Processos existentes	1,23	1,25
Novos processos	1,50	1,45
Processos existentes que envolvam características de segurança, força, ou parâmetros críticos.	1,50	1,45
Processos novos que envolvam características de segurança, força, ou parâmetros críticos.	1,67	1,60

Fonte: Montgomery (*apud* Miranda, 2005, p. 39)

Índice C_{PM} e C_{PMK} :

Conforme Gonzalez e Werner (2009), esses índices são alternativos aos supracitados e levam em consideração a distância da média até o valor da especificação, além da variação do processo também considerado nos índices anteriores.

$$C_{PM} = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

Onde: LSE e LIE são os limites superior e inferior de especificação; μ é a média do processo; σ é o desvio-padrão dos dados da variável em estudo e T é o valor médio da especificação.

Se um processo segue uma distribuição normal com a mesma média daquela estabelecida na especificação, então Chan et al. (*apud* Gonzalez e Werner, 2009, p. 123) descreve que “o índice C_{PM} apresenta distribuição semelhante à do índice C_p , mas seu estimador \hat{C}_{PM} é mais eficiente e apresenta viés menor que \hat{C}_p , estimador de C_p ”.

Segundo Gonzalez e Werner (2009) o índice C_{PMK} é uma variação do C_{PM} , porém aquele é mais eficiente (tendo em vista que o C_{PM} considera no numerador a variabilidade especificada). Dado a média μ estimada, o C_{PMK} é obtido através da seguinte expressão:

$$C_{PMK} = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - LIE}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}\right)$$

3 METODOLOGIA

Nesse capítulo foram descritos os procedimentos metodológicos necessários ao embasamento dessa pesquisa, ordenados em um sequenciamento lógico adotado por autores da área de metodologia da pesquisa científica.

3.1 PESQUISA CIENTÍFICA

Para Cruz e Ribeiro (2004, p. 17) “(...) *uma pesquisa científica tem o propósito de descobrir respostas a questões propostas*”. Assim, um trabalho de pesquisa tem como finalidade o conhecimento da realidade que cerca o homem.

Neste trabalho, é realizada uma pesquisa científica destinada à análise do consumo de combustível no transporte rodoviário de cargas à luz da teoria do controle estatístico de processos.

3.2 NATUREZA DA PESQUISA

A natureza da pesquisa determina a metodologia a ser usada no estudo científico. Marconi e Lakatos (2008) dividem a metodologia em dois grupos distintos: a *metodologia quantitativa* e a *qualitativa*.

De acordo com Creswell (2007), uma pesquisa quantitativa é realizada através de bases quantificáveis, como o próprio nome sugere. Assim, o pesquisador elenca as variáveis que irão suportar e evidenciar o objeto problema do estudo. Por outro lado, a metodologia qualitativa busca tratar a problemática de forma descritiva. Essa última normalmente está relacionada a temas humanos, sendo largamente utilizada nas ciências sociais. Apesar dessa divisão didática, a metodologia quantitativa é empregada nas pesquisas na qual o caráter qualitativo predomina, tendo em vista que há

casos no qual as informações numéricas não são capazes de descrever completamente a situação em estudo.

A presente pesquisa tem um caráter quantitativo, sendo fundamentada em conceitos estatísticos. Contudo, foi realizada uma descrição situacional da indústria brasileira do transporte rodoviário de cargas enfocando a sua estrutura de custos, sobretudo do custo com combustível.

3.3 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Segundo Cruz e Ribeiro (2004), uma pesquisa pode ser classificada segundo os objetivos a serem alcançados por esta e, também, pelas fontes de informação que a tornam possível. Em relação aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada em: *exploratória, descritiva, explicativa, pesquisa metodológica, pesquisa aplicada e pesquisa intervencionista*. Quanto às fontes, têm-se: *pesquisa bibliográfica, pesquisa de laboratório e pesquisa de campo*. Além desses, Gil (*apud Zanella, 2009, p. 73*) apresenta o *estudo de caso*.

Essa pesquisa, quanto aos seus objetivos, classifica-se como uma pesquisa descritiva na qual busca-se estudar, analisar, registrar e interpretar os fatos observados sem a interferência do pesquisador.

Em relação às fontes, nesse trabalho é realizada uma *pesquisa bibliográfica* e um *estudo de caso*.

A *pesquisa bibliográfica* tem o objetivo de embasar teoricamente o pesquisador para a elaboração da formulação do problema, da justificativa em realizar o trabalho e da base teórica do estudo (um capítulo importante para o entendimento do problema à luz do que foi escrito por autores renomados na área do conhecimento usado nesse trabalho, como o referente ao controle estatístico de processo). Essa pesquisa bibliográfica foi realizada através do exame de livros, revistas, dissertações, artigos e de manuais do programa computacional estatístico (*Minitab*).

Para o *estudo de caso* foi usado os dados de consumo de combustível dos caminhões de uma operadora logística que atua na mineração (através do transporte,

movimentação e estoque de minérios) e no transporte rodoviário de cargas (através do transporte de produtos e resíduos químicos, carboquímicos e petroquímicos). Os dados para esse estudo foram obtidos da base de dados do *Enterprise Resource Planning – ERP* (discutido com maior detalhe no capítulo 4) da empresa, cujo uso serviu para a obtenção das estatísticas descritivas e construção das cartas de controle.

3.4 ÁREA DA PESQUISA

O objetivo de estudo dessa pesquisa foi avaliar o consumo de combustível no transporte rodoviário de cargas. Tal escolha foi motivada pela relevância que o custo do combustível tem nas atividades desse tipo de transporte, um modal importante e largamente usado na logística nacional. Além disso, a experiência do autor nas atividades de controle de combustível em uma empresa operadora logística foi importante na delimitação do tema escolhido.

Dessa forma, este trabalho focou em uma avaliação do consumo de combustível na atividade de transporte, partindo do estudo do índice de consumo de diesel através de ferramentas e técnicas do controle estatístico de processos com o objetivo de determinar o desempenho dos caminhões de uma operadora logística.

3.5 INSTRUMENTOS DE COLETA

A etapa de coleta dos dados é caracterizada pela sua obtenção através de instrumentos ou ferramentas selecionadas previamente pelo pesquisador.

Para Santos, I. E. (2005, p. 231) “a escolha do instrumento é de competência do pesquisador e deve ser levado em conta o tipo de estudo e os objetivos pretendidos”.

Neste sentido, Santos, I. E. (2005) relata que os instrumentos de pesquisa são peças importantes no momento da idealização da coleta dos dados, pois é através deste que o pesquisador mensura e descreve objetivamente à realidade em estudo.

De acordo com Cruz e Ribeiro (2004, p. 28) os instrumentos para a coleta de dados são: *questionário, formulário, entrevista, procedimentos estatísticos, análise estatística e interpretação dos dados.*

Nessa pesquisa, usaram-se os *procedimentos* e a *análise estatística*, bem como a *interpretação dos dados*. Desse modo, foi apresentado na Tabela 8 uma descrição desses instrumentos de coleta.

Tabela 8 – Instrumentos de coleta de dados

Instrumento de coleta	Descrição
Procedimentos Estatísticos	Os registros e a organização dos dados poderão apresentar quadros, gráficos ou tabelas e, desde que recebam um tratamento estatístico, auxiliarão a verificação dos resultados e quais as possibilidades de acerto ou erro.
Análise Estatística	A análise estatística é feita com dois níveis: descrição dos dados e avaliação de generalizações obtidas a partir dos dados. Segundo Dencker (2000), a análise e a descrição dos dados procuram estabelecer: a tipicidade de um grupo, a variação dentro do grupo, as distribuições dentro do grupo em relação à determinadas variáveis, a relação das diferentes variáveis entre si e a descrição das diferenças entre dois ou mais grupos de indivíduos.
Interpretação dos Dados	De acordo com Dencker (2000, p. 172), o processo de interpretação " <i>consiste em expressar o verdadeiro significado do material em termos do propósito em estudo. O pesquisador fará as ligações lógicas e comparações, enunciará princípios e fará generalizações</i> ". O processo de interpretação, portanto, deve ser considerado como a fase final da pesquisa, em que os dados coletados foram convenientemente tratados e analisados. Nem sempre esse processo pode ser facilmente dissociado da análise, como uma preparação para a interpretação, com a preparação dos dados.

Fonte: Cruz e Ribeiro (2004, p. 30-31)

Os *procedimentos estatísticos* desse trabalho foram descrito no capítulo 4, no qual os aspectos relacionados à coleta de dados necessitou de uma breve explicação das fontes de coleta, nesse caso, a Empresa X. Enquanto as *análises estatísticas* e a

interpretação dos dados foram apresentados no capítulo 5 que tratou da avaliação dos resultados.

3.6 VARIÁVEIS

Marconi e Lakatos (2000, p. 175) conceituam uma variável como:

“(...) uma classificação ou medida; uma quantidade que varia; um conceito, constructo ou conceito operacional que contém ou apresenta valores; aspecto, propriedade ou fator, discernível em um objeto de estudo passível ou mensuração”.

Nesse banco de dados, os indicadores distância percorrida (em km) e o consumo de combustível (em l) serão os indicadores base do estudo. Da composição desses, deriva a variável denominada pelo autor como desempenho (km/l) que será manipulada através das técnicas estatística presentes no CEP, sobretudo pelas ferramentas dos gráficos de controle.

Da teoria dos gráficos de controle deriva ainda indicadores como o desempenho médio, o desvio padrão do desempenho, a distribuição normal do desempenho, a variabilidade do desempenho, os limites de especificação e os limites inferior e superior de controle. Todas as variáveis e indicadores dessa pesquisa foram apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Variáveis e indicadores da pesquisa

VARIÁVEIS	DEFINIÇÕES	INDICADORES
Desempenho (Km/l)	É a razão entre a distância percorrida pelo caminhão e o consumo de combustível usado para percorrer essa distância	<ul style="list-style-type: none"> - Distância percorrida (Km); - Consumo de combustível (l); - Desvio-padrão do desempenho; - Limites de especificação; - Limite inferior de controle; - Limite superior de controle.

Fonte: Pesquisa direta, (2011)

3.7 TABULAÇÕES E ANÁLISES DOS DADOS

Através da *pesquisa direta*, os dados foram coletados. Segundo Cruz e Ribeiro (2004, p. 77), “*os dados coletados apresentam-se muitas vezes dispersos, em função da multiplicidade de fontes consultadas e das diferentes abordagens em relação ao tema de pesquisa*”.

Assim, os dados foram analisados tendo em vista a consolidação das informações obtidas através das variáveis e indicadores.

Para a tabulação dos dados coletados, foi usado o *Excel for Windows*, ferramenta computacional desenvolvida pela Microsoft, também usada para a confecção de gráficos e tabelas do trabalho. Além deste, foi usado o programa computacional estatístico *Minitab*, versão 14, pelo qual foi realizada as análises estatística.

Toda a análise foi embasada na fundamentação teórica (capítulo 2 deste trabalho) com a finalidade de fornecer subsídios necessários para o entendimento do CEP e como os gráficos de controle, a ferramenta básica do CEP, poderia ser usada na avaliação do consumo de combustível no transporte rodoviário de cargas.

3.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, foram colocados os instrumentos e técnicas de pesquisa utilizadas no presente trabalho. Assim, buscou-se através da metodologia científica o conhecimento necessário para a elaboração de um trabalho sob o rigor científico.

As variáveis do estudo, bem como os seus indicadores, foram definidos neste ponto do trabalho, com o objetivo de se determinar a técnica adequada para o fim almejado desta pesquisa.

No próximo capítulo, foi descrito o estudo de caso com um enfoque nos *procedimentos estatísticos* usados na manipulação dos dados obtidos através da pesquisa direta na Empresa X.

4 ESTUDO DE CASO

Em relação aos *procedimentos estatísticos*, os dados foram obtidos do *Enterprise Resource Planning – ERP*, denominado por *RM Sistemas* que é desenvolvido e comercializado pela *Totvs*, uma empresa que oferece soluções de tecnologia da informação para empresas dos diferentes setores. Na operadora logística em estudo, o programa foi implementado em 2006 com o objetivo de facilitar o processo de gestão da organização, uma vez que o programa computacional integra as funções financeira, de produção, patrimonial, contábil, fiscal e de recursos humanos da empresa.

Na função produção, há um módulo denominado *RM Oficina* na qual o analista/gestor pode analisar indicadores de desempenho dos equipamentos envolvidos no transporte, a exemplo da média de km/l, obtida entre dois períodos. Na Figura 8, foi apresentado, de forma parcial, um relatório denominado *Análise de Frota*, no qual é possível observar os elementos constituintes desse relatório.

PLACA	FROTA	DATA	KM	LITROS	VALOR	POSTO			
CM020		19/05/2011	351415	427,0	807,14	POSTO ALIANCA			
CM020		23/05/2011	351935	228,0	430,92	Tanque Combustivel Matriz			
CM020		26/05/2011	352679	303,6	592,13	POSTO ARARA AZUL			
CM020		26/05/2011	353094	460,1	869,66	POSTO LAMPIAO			
CM020		29/05/2011	353955	456,8	863,35	POSTO ALIANCA			
CM020		30/05/2011	354503	286,6	538,97	VPI - POSTO ITACOLOMI			
CM020		31/05/2011	354926	170,0	329,80	VIVIANO			
CM020		01/06/2011	355588	376,0	714,42	POSTO ALIANCA			
CM020		03/06/2011	356433	354,1	665,74	VPI - MATRIZ POSTO PEDROSA			
CM020		05/06/2011	357354	372,7	704,44	POSTO LAMPIAO			
CM020		06/06/2011	358025	146,9	288,10	AUTO POSTO PETROPEN ANHANGUERA LTDA			
CM020		06/06/2011	358025	369,0	723,39	AUTO POSTO PETROPEN ANHANGUERA LTDA			
CM020		10/06/2011	358685	295,0	560,51	POSTO ALIANCA			
CM020		17/06/2011	359544	358,0	676,62	Tanque Combustivel Matriz			
CM020		20/06/2011	360083	300,0	585,00	POSTO ARARA AZUL			
CM020		21/06/2011	360498	373,0	704,97	POSTO LAMPIAO			
CM020		23/06/2011	361170	100,0	196,00	AUTO POSTO PETROPEN ANHANGUERA LTDA			
CM020		24/06/2011	361562	419,0	812,86	VIVIANO			
CM020		25/06/2011	362224	358,4	680,99	POSTO ALIANCA			
CM020		30/06/2011	363065	371,0	719,74	VIVIANO			
					Consumo total	59.416,70	Consumo p/ média:	58.955,70 L	R\$ 112.492,04
					KM Rodados:	113.252	Média	1,92 KM/L	

Fonte: ERP da Empresa X (2011)

Figura 8 – Relatório Análise de Frota da Empresa X

Desse modo, foi necessário manipular os dados dos *Relatórios de Análise de Frota* (Figura 8) de três caminhões, compreendidos entre os períodos de junho de 2010 à junho de 2011.

Nesse trabalho, foram usados caminhões da marca *Mercedes-Benz*. Para tanto, foram avaliados o consumo de combustível dos modelos *Axor 2540 S – 3 eixos* do ano de 2008 (Figura 9).



Fonte: www.mercedes-benz.com.br (2011)

Figura 9 – Mercedes-Benz Axor 2540 S – 3 eixos

Os caminhões foram agrupados de acordo com as marcas (com os seus respectivos modelos) e com o mesmo ano de fabricação pelo fato dos veículos com essas características possuírem um desempenho similar devido a dois fatores:

- ✓ A baixa probabilidade de caminhões da mesma marca e modelo operando sob as mesmas condições apresentaram desempenhos diferentes, uma vez que as montadoras de veículos (inclui-se também a de caminhões) apresentam altos padrões de qualidade.
- ✓ Caminhões com a mesma idade (entende-se por idade o período de tempo decorrido entre o ano de fabricação do caminhão e o momento presente) e operando sob as mesmas condições apresentam desempenho similar, desde que

os programas de manutenção preventiva estabelecidos pelos fornecedores sejam cumpridos. Esse é o caso da frota de caminhões da Empresa X que possui uma equipe de mecânicos responsável pelos planos de manutenção preventiva dos caminhões.

Aos caminhões, cujas características gerais foram apresentadas na Tabela 10, estão acopladas carretas equipadas com tanques, sendo esse conjunto utilizado no transporte rodoviário de produtos e resíduos químicos, carboquímico e petroquímico.

Tabela 10 – Caminhões: características gerais

Nº de frota	Marca	Modelo	Ano de fabricação
CM020	Mercedes-Benz	Axor 2540 S - 3 eixos	2008
CM021	Mercedes-Benz	Axor 2540 S - 3 eixos	2008
CM024	Mercedes-Benz	Axor 2540 S - 3 eixos	2008

Fonte: Pesquisa direta (2011)

A escolha de três veículos distintos de cada marca de caminhão foi estabelecida de forma a permitir a construção de subgrupos racionais para cada marca, conforme a Tabela 11.

Tabela 11 – Subgrupos racionais para o Mercedes-Benz (Axor 2540 S): junho de 2010 à junho de 2011

Mês	Km/l								
jun/10	2,08415	1,5678	2,23641	2,11952	1,64587	2,27247	2,12165	1,90004	2,0579
jul/10	2,14499	2,35204	1,70186	2,08637	1,93385	1,99482	2,26633	2,17271	1,63166
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
jun/11	2,14269	1,54667	2,19741	1,55484	1,98214	2,31441	2,14421	2,01803	2,12836

Fonte: Pesquisa direta (2011)

Através da Tabela 11, observa-se que foram tomadas 9 amostras divididas em 14 subgrupos racionais para o caminhão Mercedes-Benz (Axor 2540 S). A determinação dessa escolha foi motivado por:

- ✓ O estudo de Filho (1982, p. 41) de que na fase inicial do projeto de um gráfico de controle uma sequencia de 25 subgrupos racionais com 4 amostras ou de 20 subgrupos racionais com 5 amostras é o suficiente para o estabelecimento dos limites de controle da variável em estudo. Levando-se em conta e evidência

empírica apresentada por Filho (1982), amostras de tamanho 9 necessitariam no mínimo de 12 subgrupos racionais. Nesse trabalho, foram utilizados 13 subgrupos racionais;

- ✓ Frequência dos abastecimentos contabilizados no *ERP* da Empresa X, o qual possibilitou a coleta de amostras de tamanho igual a 9 para cada um dos 14 meses;

- ✓ Disponibilidade do número de amostras confiáveis dos relatórios de Análise de Frota, uma vez que uma parte dos dados não foi utilizada devido à verificação de erros de registros realizados pelo colaborador da Empresa X. Essa verificação partiu da hipótese de que valores de consumo de combustível fora dos limites superior e inferior de 2,9 Km/l e 1,5 Km/l, respectivamente, configuram-se como erros quando o colaborador realiza a entrada de valores errados no *ERP* do volume de combustível abastecido e, ou, da quilometragem percorrida pelo caminhão.

5 DISCUSSÃO E RESULTADOS

Para a avaliação do desempenho dos caminhões e da capacidade desse desempenho atender às especificações estabelecidas, é necessário, antes, realizar uma análise descritiva para os dados de consumo de combustível dos caminhões estudados. Essa análise foi necessária na verificação da possibilidade de agregar esses dados para o estudo da normalidade e a construção das cartas de controle.

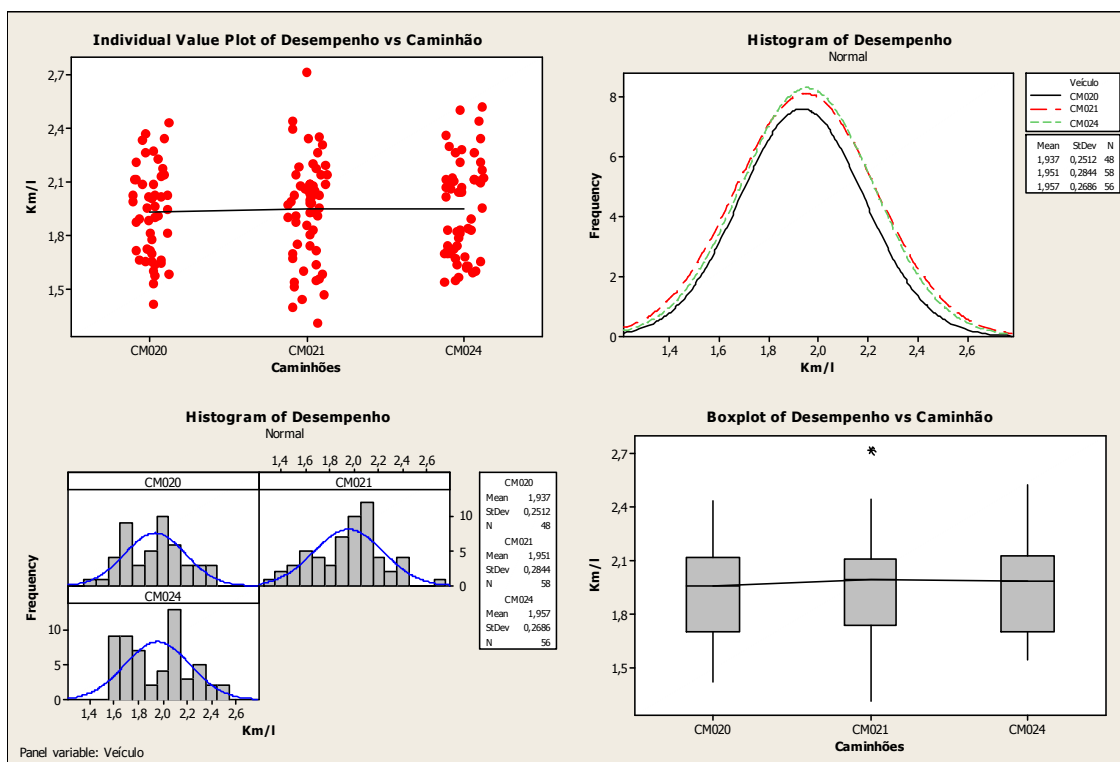
Na sequência, foi realizada a avaliação da capacidade do processo, sendo denominado, nesse trabalho, como avaliação da capacidade do desempenho.

5.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

Através de uma análise descritiva dos dados, buscou-se descrever os aspectos importantes do desempenho dos caminhões individualmente e de forma comparativa.

Observando-se os gráficos da Figura 10 é possível verificar que as médias, bem como as variabilidades do desempenho de cada caminhão apresentam valores similares. Além disso, no gráfico *Histogram of Desempenho* da mesma Figura é possível observar que os dados do desempenho para cada caminhão apresenta uma distribuição aparentemente normal.

De um modo geral, o caminhão CM 020 apresentou o melhor desempenho médio (1,9366 Km/l) em relação aos despenhos apresentados pelos caminhões CM 024 (1,9567 Km/l) e CM 021 (1,9511 Km/l).



Fonte: ERP da Empresa X (2011)

Figura 10 – Análise gráfica do desempenho dos caminhões Mercedes-Benz Axor 2540 S

A Tabela da Anova (Tabela 12) com o valor-p (0,928) fornece evidência de que o desempenho médio de cada caminhão Mercedes-Benz Axor 2540 S pode ser considerado igual. Pois, é aceita a hipótese nula da igualdade das médias de consumo dos caminhões, a um nível de significância de 5%.

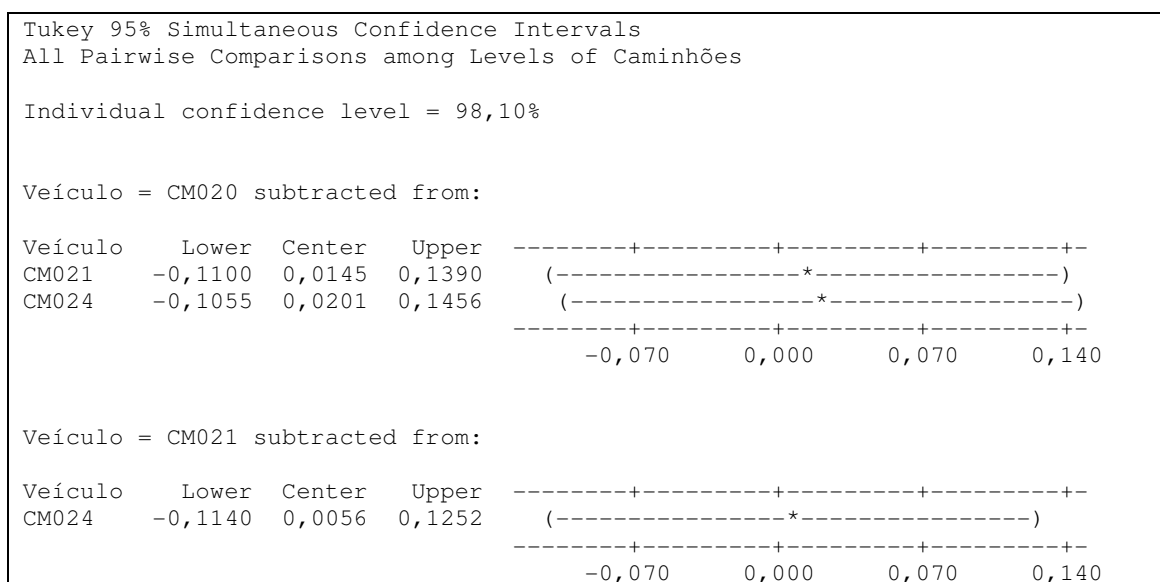
Tabela 12 – Análise de variância (ANOVA): desempenho dos caminhões Mercedes-Benz Axor 2540 S

Source	DF	SS	MS	F	P
Caminhão	2	0,0109	0,0055	0,08	0,928
Error	159	11,5434	0,0726		
Total	161	11,5543			

Fonte: Pesquisa direta (2011)

De fato, o teste de Tukey apresentado na Figura 11 demonstra isso: o primeiro intervalo no primeiro conjunto da saída do teste Tukey é -0,11 a 0,139. Ou seja, o desempenho médio do caminhão CM 021 menos o do CM 020 encontra-se entre -0,11 a 0,139 Km/l. Como o intervalo inclui zero, não há diferença no desempenho entre os dois caminhões estatisticamente significativa. A interpretação dos outros

resultados do teste de Tukey é realizada de forma semelhante. Dessa forma, as médias dos desempenhos de todos os caminhões não diferem significativamente porque todos os intervalos de confiança incluem zero. Portanto, todos os caminhões têm desempenhos médios significativamente iguais.



Fonte: Pesquisa direta (2011)

Figura 11 – Teste de Tukey

5.2 DADOS AGREGADOS

De forma a construir as cartas de controle desse trabalho, os dados de desempenho foram agrupados conforme a categoria mês, sendo cada uma dessas categorias composta por 9 valores retirados aleatoriamente de cada mês no qual cada caminhão contribui com 3 amostras (Tabela 13).

Tabela 13 – Dados agregados do desempenho dos caminhões Mercedes-Benz Axor 2540 S

Mês	Km/l
jun/10	2,084154
jun/10	1,567797
jun/10	2,23641
jun/10	2,119515
jun/10	1,64587
jun/10	2,27247
jun/10	2,121647
jun/10	1,900037
jun/10	2,057899
jun/10	2,144993
jun/10	2,352044
jun/10	1,701863
jun/10	2,086368
jun/10	1,933846
jun/10	1,994816
jun/10	2,266328
jun/10	2,172706
jun/10	1,631657
∴	∴
jun/11	2,14269
jun/11	1,546667
jun/11	2,197406
jun/11	1,554839
jun/11	1,982143
jun/11	2,31441
jun/11	2,144206
jun/11	2,018033
jun/11	2,128356

Fonte: Pesquisa direta (2011)

Com os dados dispostos conforme foi apresentado na Tabela 13, foi possível verificar a normalidade dos dados na próxima seção.

5.3 NORMALIDADE DOS DADOS

Como foi apresentado no capítulo 2, os dados de uma variável devem seguir uma distribuição de probabilidade normal para a construção de uma carta de controle.

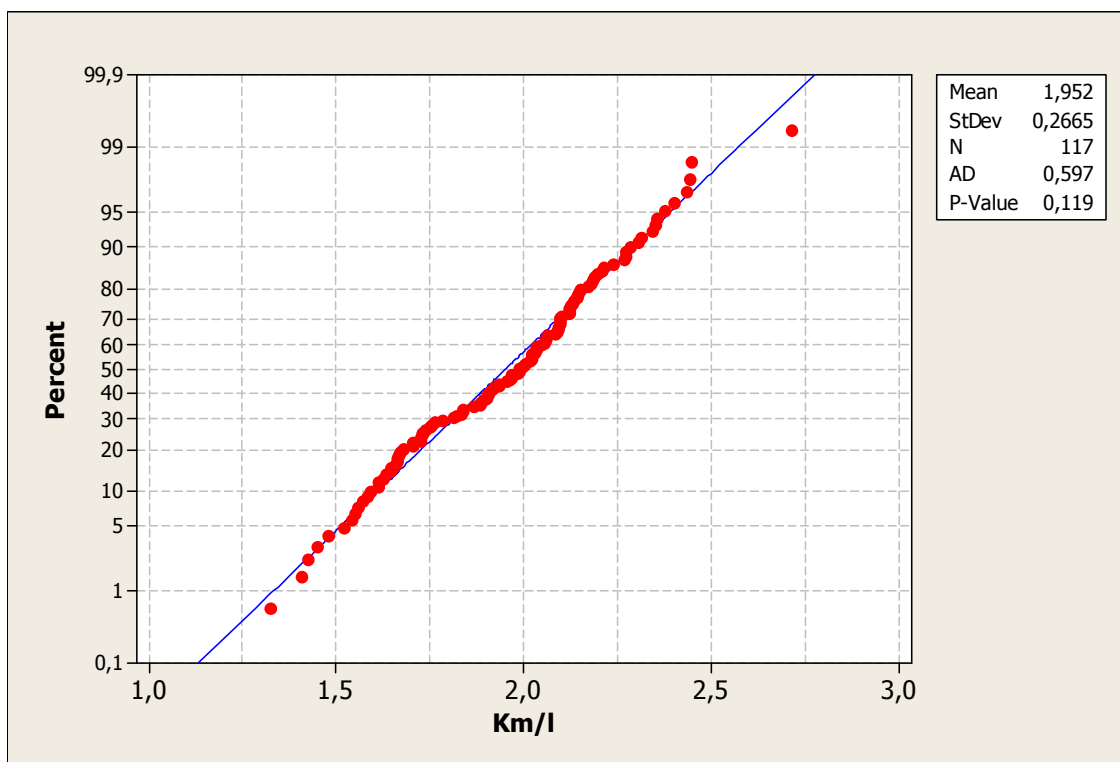
Na teoria estatística, há um conjunto significativo de técnicas capazes de demonstrar se uma amostra é normalmente distribuída.

Através do gráfico de probabilidade normal (*Probability plot*) do *Minitab 14* é possível determinar se os dados de uma amostra estão normalmente distribuídos. Nesse gráfico, há uma reta de ajuste na qual as observações devem, em geral, seguir a reta no caso de serem normalmente distribuídas. Nesse gráfico, o programa estatístico apresenta o Teste de normalidade Anderson-Darling (no canto superior direito), cujas hipóteses são:

H_0 : os dados provêm de uma população normalmente distribuída

H_A : os dados não provêm de uma distribuição normalmente distribuída

Na Figura 12, as observações estão próximas da reta de ajuste indicando a sua normalidade. Além disso, o p-valor do teste de Anderson-Darling (0,119) avalia a probabilidade dos dados serem provenientes de uma população normalmente distribuída. Usando um nível de significância de 0,05, aceita-se a hipótese nula. Portanto, há evidência suficiente para sugerir que os dados vêm de uma população normal. Assim, os dados agregados de desempenho dos caminhões apresentam uma distribuição de probabilidade normal, possibilitando a construção do gráfico de controle.



Fonte: Pesquisa direta (2011)

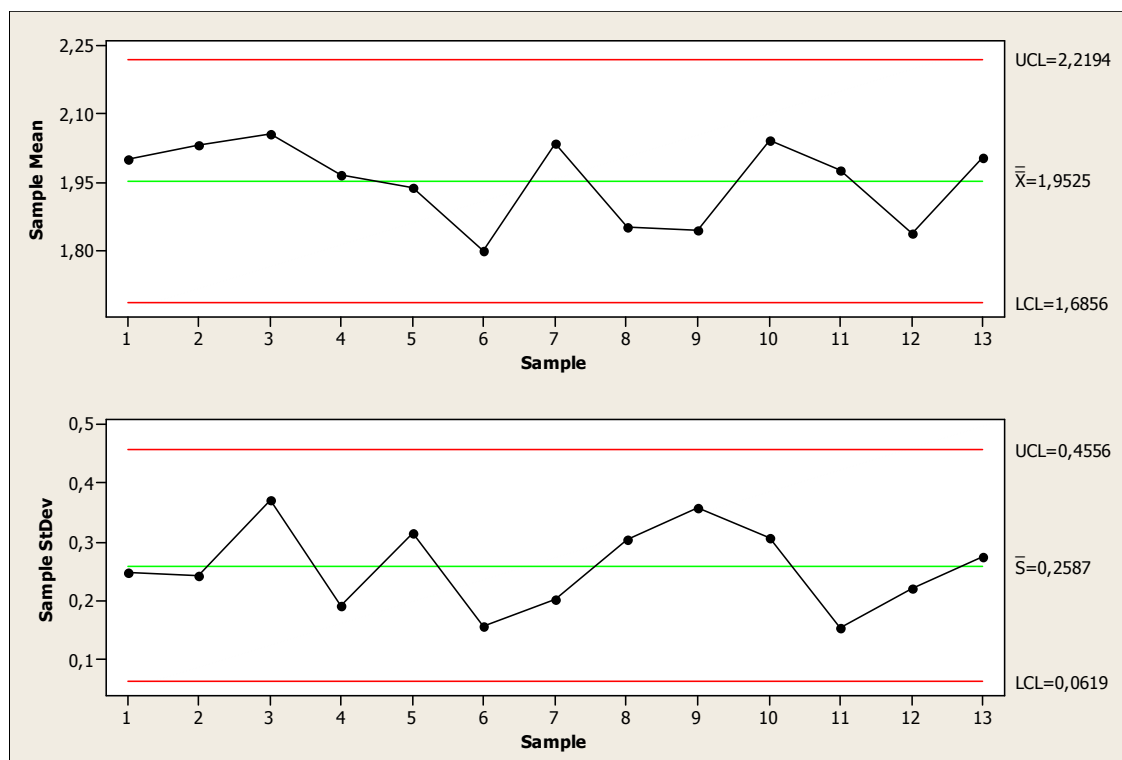
Figura 12 – Gráfico de probabilidade normal para o desempenho dos caminhões

5.4 CONTROLE DO DESEMPENHO

Com o objetivo de verificar se o desempenho dos caminhões da mesma marca e ano estão sob controle, foi construído o gráfico de controle. Esse gráfico foi analisado com base nas regras de *Western Electric*, apresentadas no capítulo 2. De acordo com essa regra composta por quatro testes: o primeiro teste é avaliar a existência de algum ponto fora do limite de 3-sigma; o segundo é avaliar a existência de dois de três pontos consecutivos caírem além do limite de 2-sigma; o terceiro é avaliar a existência de quatro pontos consecutivos caírem a uma distância de 1-sigma ou além da linha central e; o quarto é avaliar a existência de oito pontos consecutivos caírem em um lado da linha central. No *Minitab 14*, quando um desses testes ocorre é plotado o número do teste acima da respectiva observação.

Do mesmo modo como foi feito no item anterior, gerou-se os gráficos de controle através do *Minitab 14*, sendo o mesmo apresentado na Figura 13. Esses

gráficos foram construídos com os dados de desempenho agrupados conforme a categoria mês, sendo cada uma dessas categorias compostas por 9 valores retirados aleatoriamente de cada mês no qual cada caminhão contribui com 3 amostras. Nesse gráfico (Figura 13) a categoria mês, no eixo das abscissas, é numerada de 1 a 13 correspondendo à sequência de junho/2010 à junho/2011 (Tabela 14).



Fonte: Pesquisa direta (2011)

Figura 13 – Gráfico de controle para \bar{X} e S do desempenho dos caminhões

Tabela 14 – Correspondência da sequência apresentada nos gráficos de controle com os subgrupos racionais formados

2010						
Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	2	3	4	5	6	7
2011						
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho
8	9	10	11	12	13	14

Fonte: Pesquisa direta (2011)

Através de uma análise preliminar dos gráficos acima (Figura 13), observa-se que os pontos de dados do desempenho dos caminhões estão dentro dos limites de controle e não apresentam padrões não aleatórios. Portanto, a média e o desvio padrão do processo parecem estar sob controle (estáveis). A média (\bar{X}) é 1,9525, e o desvio padrão médio (\bar{S}) é 0,2587.

Uma análise mais detalhada dos gráficos de controle com base nas regras de *Western Electric* leva à conclusão de que o desempenho desses veículos está sob controle, pois nenhuma observação foi plotada pelo programa estatístico com qualquer teste que pertença à regra supracitada.

5.5 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DO DESEMPENHO

Em grande parte dos trabalhos fundamentados no CEP, busca-se determinar a capacidade de um processo atender as especificações estabelecidas por um terceiro, um beneficiário dos bens ou serviços produzidos por um sistema produtivo.

De modo similar, nesse trabalho buscou-se avaliar a capacidade de desempenho dos caminhões, pois através dessa avaliação será possível verificar quando não é mais possível obter melhoria do desempenho sem investimento significativo para o aumento da performance dos caminhões, como por exemplo o investimento na substituição da frota.

A determinação do desempenho dos caminhões só é possível depois de constatado que os dados são normalmente distribuídos e estão sob controle, como foi observado nos itens 5.3 e 5.4

A Administração da Empresa X estabelece os seguintes limites de especificação para todos os caminhões da frota:

$$LSE = 2,4 \text{ km/l}$$

$$LIE = 2,0 \text{ km/l}$$

Já para o valor médio da especificação é estabelecido o seguinte valor:

$$T = 2,2 \text{ km/l}$$

Esses valores são definidos de maneira empírica pela Administração da Empresa X, ou seja, através da experiência dos gestores da organização são especificados os valores supracitados.

Nesse ponto, surge a dúvida quanto ao desempenho dos caminhões se enquadrarem nos limites propostos, uma vez que as diferenças de idade e de marcas dos caminhões tem grande influência no seu desempenho.

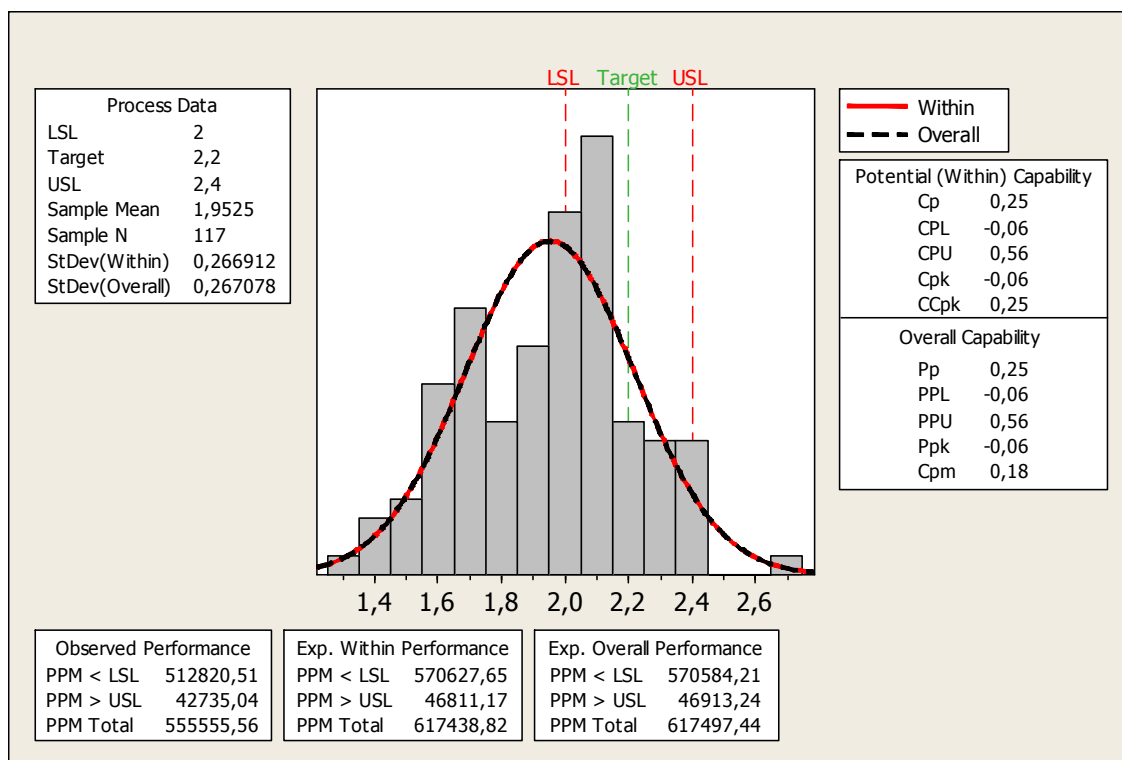
De fato, o uso do conceito de capacidade do desempenho permitirá à Administração da organização estabelecer políticas de performance para cada modelo e ano de maneira mais precisa, tendo em vista o impacto desses elementos no consumo de combustível da frota.

Nesse ponto do trabalho foi realizada a comparação da dispersão da variação do desempenho dos caminhões com a extensão dos limites de especificações (estabelecidos nas políticas de performance), ou seja, determinado a capacidade do desempenho.

Para tanto, foi usado novamente o *Minitab 14* que fornece histogramas e gráficos de capacidade juntamente com os respectivos índices como é apresentado na Figura 14.

No gráfico da Figura 14, foi calculado um índice de capacidade potencial do processo (C_p) igual à 0,25. Esse valor é bem menor do que a recomendação feita por Montgomery (1996) que assumem um valor mínimo desse índice de 1,23 para processos existentes. De acordo com esse critério, conclui-se que o desempenho especificado pela Administração da Empresa X não é capaz de ser obtido. De fato, é possível observar através do histograma desse gráfico que a maior parte das observações concentra-se abaixo do limite inferior de especificação. Há também um conjunto significativo de dados além do limite superior, embora em uma proporção menor.

Nesse caso, estima-se que em 1.000.000 de observações do desempenho, 570.627 estarão abaixo do limite inferior de especificação (2,0 km/l) e 46.811 estarão acima do limite superior de especificação (2,4 km/l), totalizando 617.438 observações fora dos limites estabelecidos pela Administração da Empresa X.



Fonte: Pesquisa direta (2011)

Figura 14 – Gráfico da capacidade do desempenho dos caminhões

O valor obtido para o $C_{PK}(-0,06)$ foi bem diferente do encontrado para o $C_P(0,25)$, indicando que o desempenho não está centrado no desempenho médio especificado.

Uma análise do valor do índice C_{PM} (a razão da dispersão das especificações, LSE e LIE , elevado à raiz quadrada do desvio médio ao quadrado do valor da meta) é 0,18, indicando que o processo não atinge a meta.

A estatística *Sample Mean* na Figura 14 demonstra que a média do desempenho (1,95 km/l) ficou abaixo do valor da meta (2,2 km/l), indicando um resultado desfavorável. Desse modo, os caminhões apresentam um desempenho médio menor do que o limite de especificação inferior.

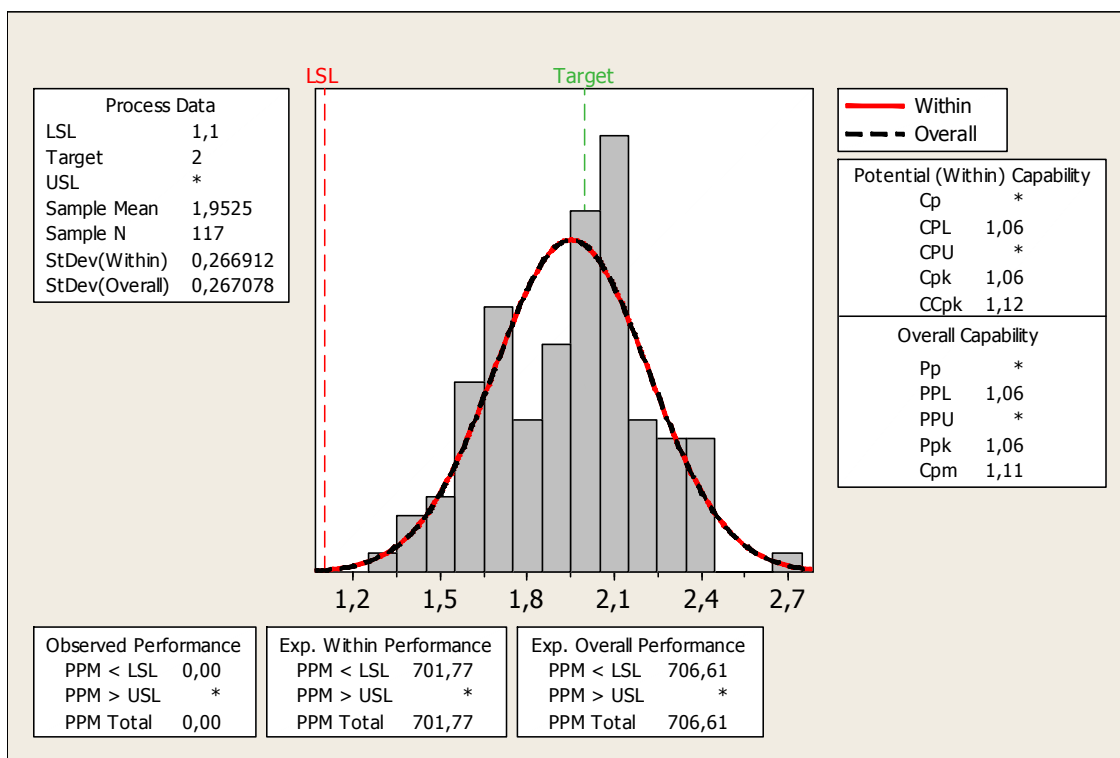
Por outro lado, simulando um conjunto de limites inferior de especificação pode-se encontrar um valor que garantirá um valor do C_{PL} superior à 1,0, indicando um desempenho favorável. Na Tabela 15, foi calculado um conjunto de valores para C_{PL} dado um valor para o limite inferior de especificação (LSL). A partir desses cálculos, encontrou-se um C_{PL} de 1,06 dado um LSL de 1,1 km/l.

Tabela 15 – Cálculos dos valores do C_{PL} dado um LSL

LSL	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
C_{PL}	-0,06	0,07	0,19	0,32	0,44	0,57	0,69	0,81	0,94	1,06

Fonte: Pesquisa direta (2011)

Na Figura 15, foi possível observar que a curva normal fica acima do LSL (1,1 km/l). Nesse caso, estima-se que um pouco mais de 20 observações de cada 1.000.000 apresentariam um desempenho inferior à 1,1 km/l. Somado a isso, com um valor médio de desempenho especificado igual à 2,0 km/l seria possível obter um C_{PM} de 1,11, indicando que esse desempenho médio poderia ser atingido.



Fonte: Pesquisa direta (2011)

Figura 15 – Gráfico da capacidade do desempenho dos caminhões para valores de LSL e T iguais à 1,1 km/l e 2,0 km/l, respectivamente.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste último capítulo, serão apresentadas as principais considerações do trabalho, bem como as recomendações finais a fim de contribuir com pesquisas futuras relacionadas ao tema estudado.

6.1 CONCLUSÕES

Este trabalho teve a finalidade de aplicar as ferramentas e técnicas do controle estatístico de processo nos indicadores e índices ligados ao consumo de combustível na atividade do transporte rodoviária de cargas. Para tanto, definições dos conceitos do CEP (bem como da estatística básica relacionada ao mesmo) e da capacidade do processo foram realizadas com o intuito de compreender as ferramentas e técnicas estatísticas que supostamente poderiam ser empregadas para avaliar esse consumo de combustível.

A questão-problema, objeto principal deste estudo, foi respondida através da organização do presente trabalho em fundamentação teórica, procedimentos metodológicos, pesquisa bibliográfica com coleta de informações e dados necessários na operacionalização dos objetivos específicos, que procuram responder a seguinte pergunta: **como o controle estatístico do processo poderia ser usado na avaliação do consumo de combustível no transporte rodoviário de cargas?**

Uma fundamentação teórica do CEP (enfocando as cartas de controle) e da avaliação da capacidade de processo foi realizada para verificar a aplicabilidade desses conceitos na variável consumo de combustível.

A metodologia apresentada permitiu uma caracterização da pesquisa: quanto a sua natureza de caráter quantitativo, sendo fundamentada em conceitos estatístico e; quanto ao seus objetivos e fontes, caracterizando-se, respectivamente, como uma pesquisa descritiva e bibliográfica com um estudo de caso. Nesse ponto, foram definidos os instrumentos de coleta baseados nos procedimentos e análises estatísticas

dos dados, tendo em vista o caráter quantitativo desse estudo, cuja variável principal foi o desempenho dos caminhões, tabulada e analisada com o uso dos programas computacionais *Excel* e *Minitab 14*.

Com isso, o trabalho foi desenvolvido em uma operadora logística que atua nos segmentos de mineração (através do transporte, movimentação e estoque de minério) e do transporte rodoviário de cargas (através do transporte de produtos e resíduos químicos, carboquímicos e petroquímicos). Nessa empresa, foram coletados os dados e informações para a condução do trabalho.

Através do estudo de caso foi possível verificar e compreender a aplicabilidade do CEP para avaliar o consumo de combustível.

O uso das cartas de controle permitiu verificar graficamente a estabilidade do processo, comprovada com base nas regras de *Wester Electric*, cujos testes foram atendidos na sua totalidade. Porém, uma análise prévia da normalidade dos dados foi realizada, comprovando-se que a variável desempenho segue uma distribuição normal para os caminhões do caso em estudo.

A partir da validação das premissas de normalidade dos dados e do controle do desempenho foi possível avaliar a capacidade desse desempenho.

Na avaliação da capacidade do desempenho foi visto que os caminhões da marca/modelo Mercedes-Benz Axor 2540 S – 3 eixos (ano 2008) não são capazes de atender as metas estabelecidas pela Administração da Empresa X com um limite inferior de 2,0 km/l, um desempenho médio esperado de 2,2 km/l e um limite superior de 2,4 km/l. Os gráficos e os índices de capacidade desse estudo demonstraram que o desempenho real desses caminhões é subestimado, estando aquém dos limites e metas estabelecidos.

Por outro lado, considerando-se somente limites inferiores de especificação (limites unilaterais de especificação) – tendo em vista que a principal preocupação seria a do desempenho dos caminhões permanecer acima de certo limite inferior – foram calculados diversos C_{PL} , dados valores diferentes dos limites inferiores, obtendo-se um valor para o C_{PL} (1,06) e C_{PM} (1,11) adequados para um limite inferior de 1,1 km/l e de desempenho médio de 2,0 km/l.

Com isso, poderia ser estabelecida outra política de desempenho com os valores novos do *LIE* (1,1 km/l) e do *T* (2,0 km/l). Contudo, antes um estudo mais

detalhado deve ser conduzido para avaliar o(s) motivo(s) desses valores que tornam o desempenho capaz estarem bem abaixo daquele especificado pela Administração da Empresa X.

Portanto, foi possível perceber que essas ferramentas e técnicas do CEP são aplicáveis e capazes de direcionar as políticas de consumo de combustível de uma empresa que presta serviços de transporte rodoviário de cargas, cujos custos com diesel são os mais representativos dentre todos os itens de custo que compõem a estrutura de custos de um operador como o estudado nesse trabalho.

De fato, o custo com combustível na indústria brasileira do transporte rodoviário é significativa na matriz de custos do setor, sendo o controle e a melhoria do desempenho um elemento capaz de aumentar a competitividade das firmas desse mercado e, de um modo geral, elevar a eficiência dessa indústria.

Uma análise dos dados apresentados no capítulo 5 juntamente com o embasamento teórico e pesquisa a respeito do CEP e da análise da capacidade de processo, aliados à construção da base de dados e descrição do estudo de caso, permitiram que os objetivos gerais e específicos desta pesquisa fossem concretizados na sequência apresentada na Tabela 16.

A Tabela 16 demonstra que a avaliação do consumo de combustível foi possível a partir dos conceitos desenvolvidos na base teórica do estudo (apresentados no capítulo 2) e da metodologia definida no capítulo 3, responsáveis pelo suporte e operacionalização desta pesquisa.

Dessa forma, a interdependências entre os capítulos e os objetivos geral e específicos culminou no propósito final desta monografia.

Na próxima seção, serão apresentadas as recomendações a fim de estimular e contribuir com pesquisas futuras.

Tabela 16 – Sequência de objetivos e ordem de inserção no trabalho

NATUREZA DO OBJETIVO	DESCRIÇÃO	ORDEM DE INSERÇÃO NO TRABALHO
Objetivo Geral	Avaliar o consumo de combustível no transporte rodoviário de cargas através do controle estatístico de processo.	Capítulo 5
Objetivos Específicos	Apresentar uma revisão bibliográfica referente ao controle estatístico de processos (enfocando os gráficos de controle com os seus conceitos estatísticos básicos) e da avaliação da capacidade do processo.	Capítulo 2
	Construir uma base de dados contendo a quilometragem e a quantidade de combustível consumida pelos caminhões de uma operadora logística, descrevendo o estudo de caso.	Capítulo 4
	Aplicar ferramentas e técnicas do controle estatístico de processo nos indicadores e índices ligados ao consumo de combustível na atividade do transporte rodoviária de cargas.	Capítulo 5
	Avaliar a capacidade do processo em estudo	Capítulo 5

Fonte: Resultado da pesquisa (2011)

6.2 RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa aliados aos conhecimentos e à experiência adquiridos no desenvolvimento da mesma, motivam a proposta de novos trabalhos que venham a aprofundar o assunto e suprir as limitações deste trabalho, através de estudos mais específicos, direcionados a uma análise pormenorizada do consumo de combustível no transporte rodoviário de cargas. Adiante, foram sugeridas algumas recomendações:

- ✓ Realizar um estudo comparando a aplicação de outros tipos de cartas de controle, a exemplo das *cartas de controle para dados individuais*, buscando-se identificar àquela(s) que melhor se enquadrem nos estudos de avaliação do desempenho de caminhões.
- ✓ Pesquisar as políticas de desempenho adotadas por diferentes segmentos do setor de transporte realizado por caminhões (a exemplo do transporte de produtos perigosos, do transporte de minérios etc.) com o objetivo de estabelecer padrões de desempenho desses segmentos que em grande parte difere daqueles estipulados pelos gestores das empresas e dos técnicos das montadoras de caminhões.
- ✓ Estudos visando à diminuição da variabilidade encontrada no desempenho.
- ✓ Trabalhos que busquem determinar com qual intensidade a automação dos registros do consumo de combustível poderiam reduzir a variabilidade existente nesse desempenho. Nesse caso, poderiam ser utilizados dois cenários divididos pela implantação de sistemas de automação como o *Controle Total de Frota (CTF)*: no primeiro cenário (antes da implantação) há certo nível de variabilidade do desempenho e no segundo (depois da implantação) tem-se outro nível.

- ✓ Um estudo para avaliar o impacto da variabilidade do desempenho em análises econômicas como a do tempo de vida mínimo de um caminhão.
- ✓ Os caminhões estudados apresentam um quadro de ineficiência operacional, segundo os padrões estabelecidos pela gerência da organização. Assim, sugere-se à empresa uma verificação das causas que impossibilitam o atingimento dessas metas.
- ✓ O presente trabalho limitou-se a avaliar o consumo de combustível usando apenas gráfico de controle. Contudo, o uso de outras ferramentas do CEP (como o *gráfico de pareto*, o *diagrama de causa-e-efeito* e as *folhas de verificação*) seriam interessante para uma implantação futura do CEP na organização em estudo.

Como foi demonstrado no decorrer desta pesquisa, a indústria do transporte rodoviário de cargas brasileira possui papel relevante na matriz do modal de transportes nacional, sendo o consumo de combustível o maior gerador de custos nas operações de movimentação de cargas por vias terrestres, realizadas na sua totalidade por caminhões ou equipamentos similares. Desse modo, ferramentas e técnicas capazes de controlar e melhorar esse item de custo, a exemplo do CEP, constitui-se em elementos que possibilitam o aumento da competitividade das firmas que compõem à indústria do transporte de cargas nacional e, de um modo geral, das cadeias logísticas de suprimentos brasileiras que usam intensamente desse modo de transporte.

Por isso, é esperado com a realização desse trabalho e recomendações decorrentes, o estímulo de pesquisas futuras que venham explorar as ferramentas e técnicas usadas na avaliação do consumo de combustível do transporte rodoviário de cargas, um tema ainda pouco estudado perante a importância no controle e melhoria do desempenho.

REFERÊNCIAS

- ALVES, P. H. B. F.; NEUMANN, C. S. R.; RIBEIRO, J. L. D. *Etapas para implantação de controle estatístico do processo: um estudo aplicado*. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Ouro Preto – MG. Outubro de 2003.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. *Produção Nacional de Derivados de Petróleo*. Superintendência de Planejamento e Pesquisa. Brasília, 2011.
- ARAÚJO, P. C.; *et al.* *Aplicação do controle estatístico do processo no tempo de espera da urgência clínica hospitalar: um estudo de caso*. VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niterói – RJ. Agosto de 2010.
- BEVENUTO, S. R. S. *A logística integrada como vantagem competitiva: o caso de uma empresa do setor de mineração*. 2007. 84 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção – UFOP, Ouro Preto, 2007.
- BEZERRA, O. B.; MAYERLE, S. F. *Qualidade e produtividade em empresas de transporte urbano de passageiros – proposta de implantação de um sistema de controle de indicadores*. XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Florianópolis – SC. Novembro de 2004.
- BUSSAB, W. O. *Estatística básica*. 5 ed. São Paulo: Saraiva, 2002.
- CABURON, J.; MORALES, D. *Aplicação do controle estatístico de processo em uma indústria do setor metal-mecânico: um estudo de caso*. XIII Simpósio em Engenharia de Produção. Bauru – SP. Novembro de 2006.
- CASTRO NETO, J. C. P. *Transporte de cargas: gestão do custo e formação de preços*. Instituto de Desenvolvimento, Assistência Técnica e Qualidade em Transporte – Confederação Nacional do Transporte, Brasília, 2004.
- CRESWELL, J W. *Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto*. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

CRUZ, C.; RIBEIRO, U. *Metodologia científica: teoria e prática*. 2 ed. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004.

FARIA, A. C.; COSTA, M. F. G. *Gestão de custos logísticos*. São Paulo: Atlas, 2005.

FARIAS, A. A.; CÉSAR, C. C.; JOARES, J. F. “*Introdução à estatística*”. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

FEIGENBAUM, A. V. *Total quality control*. 3 ed. New York: McGraw-Hill, Inc., 1991.

FERREIRA, E. O. *Desenvolvimento de sistema de indicadores de avaliação da infraestrutura rodoviária no contexto do desenvolvimento regional*. 175 p. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, UnB, Brasília, 2006.

FILHO, R. C. B. L. *Controle estatístico de qualidade*. 1 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1982.

GONÇALEZ, P. U.; WERNER, L. Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não-normais. *Gestão e Produção*, Florianópolis, v. 16, p. 121-132, jan./mar. 2009.

INDEZEICHAK, V.; LEITE, M. L. *Análise do controle estatístico da produção para empresa de pequeno porte: um estudo de caso*. XIII Simpósio em Engenharia de Produção. Bauru – SP. Novembro de 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Em 2008, PIB cresceu 5,1% e chegou a R\$ 2,9 trilhões*. Brasília, 2009. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1330&id_pagina=1 >. Acesso em: 20 fev. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Anual de Serviços*. Diretoria de Pesquisa, Coordenação de Serviços e Comércio. vol. 10, Brasília, 2008.

INSTITUTO DE LOGÍSTICA E SUPPLY CHAIN. *Custos logísticos no Brasil- 2010*. ILOS, Rio de Janeiro, 2011.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Metodologia científica*. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2000.

MARTINS, G. A. *Estatística geral e aplicada*. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MINITAB INC. *Conheça o Minitab 15 para Windows*. Estados Unidos: Mintab, 2006.

MERCEDEZ-BENZ DO BRASIL. Caminhões. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.mercedes-benz.com.br>>. Disponível em: 18 set. 2011.

MIRANDA, R. G. *Um modelo para a análise da capacidade de processos com ênfase na transformação de dados*. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Santa Catarina, 2005.

MONTGOMERY, D. C. *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. Tradução e revisão técnica Verônica Calado. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

OLIVEIRA, R. L. M. *Transporte de cargas*. Coordenação de Transportes. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG, Belo Horizonte, 2010.

SIQUEIRA, L. G. P. *Controle estatístico do processo*. São Paulo: Pioneira, 1997.

RAMOS, A. W. *CEP para processos contínuos e em bateladas*. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

SANTOS, Izequias Estevam dos Santos. *Manual de métodos e técnicas de pesquisa científica*. 5 ed. Niterói, RJ: Impetus, 2005.

SOUTO, M. L. *Apostila de engenharia de métodos*. Departamento de Engenharia de Produção. Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba, UFPB, João Pessoa, 2003.

TRIOLA, M. F. *Introdução à estatística*. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

TUNA, C. E. *Apostila de estatística*. Curso de Matemática. Centro Universitário Salesiano de São Paulo, UNISAL, Lorena-SP, 2008.

VIEIRA, S. *Estatística para a qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços*. Rio de Janeiro: Elsevier, 199 – 15ª reimpressão.

VOLVO DO BRASIL. Volvo trucks. Curitiba, 2011. Disponível em: <
<http://www.volvotrucks.com.br>>. Disponível em: 18 set. 2011.

ZANELLA, L. C. H. *Metodologia de estudo e de pesquisa em administração*.
Departamento de Ciência da Administração. Universidade Federal de Santa Catarina,
UFSC, Florianópolis, 2009.