

GUSTAVO SATO BARBOSA

ANÁLISE DE SISTEMA MANUAL DE CONTROLE DE CAIXA DE
TRANSMISSÃO VEICULAR – UMA ABORDAGEM ERGONÔMICA

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título
de Mestre em Engenharia

São Paulo
2007

GUSTAVO SATO BARBOSA

PARA CÓPIAS, CONSULTAR A EDIÇÃO REVISADA :

FMP-141

Ed. rev.

ANÁLISE DE SISTEMA MANUAL DE CONTROLE DE CAIXA DE
TRANSMISSÃO VEICULAR – UMA ABORDAGEM ERGONÔMICA

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título
de Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Automotiva

Orientador: Prof. Dr. Laerte
Szelwar

São Paulo
2007

DEDICATORIA

Dedico este trabalho a minha companheira Leticia

AGRADECIMENTOS

Ao professor Laerte Sznelwar, pela orientação e tempo dedicado à elaboração desse trabalho.

À minha companheira Leticia pelo apoio humano às longas horas dedicadas a esse estudo.

Aos meus pais por suportarem a realização desse mestrado através de todo o apoio humano.

À General Motors do Brasil por suportar e patrocinar a execução desse mestrado e trabalho.

Aos amigos e companheiros de trabalho David Torres, Edmar Gomes, Augusto Bonnemasou, Roberto Camargo, Dario Araújo, Demetrio Vettorazzo Neto, Daniel Marino pelo suporte aos trabalhos, pelas informações valiosas e pelo suporte técnico e a todos que colaboraram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar o projeto de um sistema manual de controle de transmissão veicular utilizando os conceitos de ergonomia. Para o desenvolvimento desse estudo utilizou-se de pesquisas de mercado, clínicas com usuários e a análise dos atuais sistemas embarcados nos veículos à venda no ano de 2006. Esses dados foram comparados às normas existentes que servem de referencia para o desenvolvimento desse tipo de sistema. Esta tese apresenta sugestões ou recomendações sobre mais fatores humanos que devem ser considerados para o desenvolvimento de um sistema manual de controle que possua uma interface mais amigável e fácil de usar.

Palavras-chave: Engenharia automotiva. Ergonomia. Biomecânica.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the design of manual transmission gear shift system by using ergonomic and human factor concepts. The development of the study considered market researches, clinics with drivers and the subjective and objective analysis of current systems of model year 2006 vehicles. The results of these analyses were compared with current industry and engineering standards for the development of gear shift systems. This study presents suggestions and recommendations about human factors that should be considered for the development of gearshift systems with a friendlier interface and ease use.

Keywords: Automotive Engineering. Ergonomics. Biomechanics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Algumas dimensões antropométricas do corpo humano (Scherrer, 1992).	19
Figura 2 – Movimentações articulares dos membros superiores (Scherrer, 1992). ..	19
Figura 3 – Curva de distribuição normal (Peacock e Karwowsky, 1993).....	20
Figura 4 – Ilustração de uma amostra representativa de 100 pessoas, ordenadas por altura (Peacock e Karwowsky, 1993).	21
Figura 5 - Medidas antropométricas funcionais (Peacock e Karwowsky, 1993).....	23
Figura 6 - Sistema referencial tridimensional (SAE J1100, 2005).	24
Figura 7 - Ilustração representativa do corpo humano ao volante de um veículo	25
Figura 8 - Dimensões utilizadas na determinação do fator “G” (SAE J287, 1998).	26
Figura 9 – Bancada de teste de ensaio de alcance (Hammond e Roe apud Reed et al, 2003).	26
Figura 10 – Superfície de alcance gerada através da norma (SAE J287, 1998).....	27
Figura 11 – Modelo matemático para simulação de postura (Hamfeld, Hansen, Trieb e Seidl, 1999).	28
Figura 12 – Análise ergonômica através de simulação computacional (RAMSIS, 2007).	29
Figura 13 – Superfícies mostrando três níveis de acomodação (90%, 60% e 30%) para uma determinada força (Parkison e Reed, 2006).....	29
Figura 14 – Superfícies mostrando o nível de acomodação de 50% para três diferentes forças (Parkison e Reed, 2006).	30
Figura 15 – Superfícies de nível de acomodação para uma diferentes forças (Parkison e Reed, 2006).	30
Figura 16 – Volume espacial de referência para posicionamento da alavanca.....	31
Figura 17 – Ângulos de conforto (Scherrer, 1992).	32
Figura 18 – Ângulos e dimensões recomendados para aplicações veiculares em polegadas e em centímetros entre parênteses (Sanders e McCornick, 1987).	33

Figura 19 – Ângulo de abdução aceitável (Chaffin, Andersson e Martin, 2001).....	33
Figura 20 – Principais motivos para o uso de tecnologias relacionadas a fatores humanos no desenvolvimento de produtos.....	34
Figura 21 - Questões e atividades referentes a fatores humanos nas etapas de desenvolvimento de um produto	35
Figura 22 – Processo da definição do produto e de suas especificações técnicas...36	
Figura 23 – Matriz de casa da qualidade	39
Figura 24 – Sistema de controle e caixa de transmissão (Howstuffworks, 2007).....	41
Figura 25 – Montagem transversal do conjunto motor e transmissão	42
Figura 26 – Sistema de acionamento por varão e trambulador; montagem no assoalho.....	42
Figura 27 – Sistema de acionamento por cabos; montagem no assoalho.....	43
Figura 28 – Sistema de acionamento por varões; montagem junto ao volante de direção.	43
Figura 29 – Montagem longitudinal do conjunto motor e transmissão	44
Figura 30 – Caixa de transmissão e sistema de controle direto (Fuller Eaton, 2007).	44
Figura 31 – Exemplos de H de marchas para uma transmissão de 4 marchas e uma de 5 marchas.....	45
Figura 32 – Superfície criada pelas diversas posições da manopla da alavanca	45
Figura 33 – Sistema de controle por cabos – alavanca nas diversas posições do H de marchas	45
Figura 34 – Componentes do sistema de sincronização.....	47
Figura 35 – Etapas do processo de troca de marchas e sincronização	47
Figura 36 – Força, deslocamento e rotação durante as etapas 1 a 7 do processo de troca de marchas e sincronização.....	48
Figura 37 – Exemplo de gráfico de força lateral (Y) pelo deslocamento lateral da alavanca na posição de neutro.....	49
Figura 38 – Ficha de pesquisa – Análise do sistema de controle na percepção do usuário	50

Figura 39 – Ficha de pesquisa focada em análise subjetiva de veículo específico...	51
Figura 40 – Equipamento de aquisição instalado no veículo	54
Figura 41 – Potenciômetro angular	54
Figura 42 – Potenciômetro linear	55
Figura 43 – Manopla instrumentada com células de carga	55
Figura 44 – Equipamento de medição de ponto H conforme SAE J826	56
Figura 45 – Localização do ponto H.....	57
Figura 46 – Resultado da pesquisa – itens considerados como funcionais pelos motoristas da avaliação.....	58
Figura 47 – Resultado da pesquisa – itens considerados como relacionados a ergonomia pelos motoristas da avaliação	58
Figura 48 – Resultado da pesquisa – itens considerados como aparência e design pelos motoristas da avaliação	59
Figura 49 – Resultado da pesquisa – itens considerados como outros pelos motoristas da avaliação.....	59
Figura 50 – Resultado da pesquisa – avaliação de especialistas nos requisitos da engenharia	60
Figura 51 – Matriz da casa da qualidade	61
Figura 52 – Dimensões dos veículos analisados e condições para o cálculo	62
Figura 53 – Dimensões dos veículos analisados - continuação	63
Figura 54 – Resultado das análises de alcance para a condição A.....	64
Figura 55 – Resultado das análises de alcance para a condição B.....	65
Figura 56 – Diâmetro das manoplas	84
Figura 57 – Deslocamento do ombro durante o engate de 5ª marcha.....	87
Figura 58 – Análise do gráfico de posicionamento de marchas – Plano XY (veículo A e D)	87
Figura 59 – Análise do gráfico de perfil de força no deslocamento durante troca estática (desengate).....	89

Figura 60 – Análise do gráfico de perfil de força no deslocamento durante troca estática (engate).....	90
Figura 61 – Análise do gráfico de perfil de força no deslocamento durante troca estática (desengate seguido de engate)	91
Figura 62 – Análise do gráfico de perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica acima N-1.....	92
Figura 63 – Análise do gráfico de perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica acima 1-2	93
Figura 64 – Análise do gráfico de perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica acima 1-2	94
Figura 65 – Análise do gráfico de perfil de força na seleção entre 1-5.....	95
Figura 66 – Comparação dos resultados	95
Figura 67 – Recomendações de projeto	97

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Limites de projeto para definição de ajuste de posição do assento (Peacock e Karwowsky, 1993).....	22
Gráfico 2 – Posicionamento de marchas – Plano XY - Veículo A	66
Gráfico 3 – Posicionamento de marchas – Plano XY - Veículo C	67
Gráfico 4 – Posicionamento de marchas – Plano XY - Veículo D	67
Gráfico 5 – Posicionamento de marchas – Plano XZ - Veículo A	68
Gráfico 6 – Posicionamento de marchas – Plano XZ - Veículo C	68
Gráfico 7 – Posicionamento de marchas – Plano XZ - Veículo D	69
Gráfico 8 – Posicionamento de marchas – Plano XYZ - Veículo A	69
Gráfico 9 – Posicionamento de marchas – Plano XYZ - Veículo C	70
Gráfico 10 – Posicionamento de marchas – Plano XYZ - Veículo D	70
Gráfico 11 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática N-1	72
Gráfico 12 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 1-N	72
Gráfico 13 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 1-2	73
Gráfico 14 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 2-1	73
Gráfico 15 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 2-3	74
Gráfico 16 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 3-2	74
Gráfico 17 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 3-4	75
Gráfico 18 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 4-3	75
Gráfico 19 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 4-5	76
Gráfico 20 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 5-4	76
Gráfico 21 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica acima N-1	77
Gráfico 22 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica acima 1-2	77
Gráfico 23 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica acima 2-3	78
Gráfico 24 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica acima 3-4	78

Gráfico 25 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica acima 4-5	79
Gráfico 26 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica abaixo 5-4	79
Gráfico 27 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica abaixo 4-3	80
Gráfico 28 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica abaixo 3-2	80
Gráfico 29 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica abaixo 2-1	81
Gráfico 30 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica abaixo 1-N.....	81
Gráfico 31 – Perfil de força na seleção entre 1-5 para o veículo A	82
Gráfico 32 – Perfil de força na seleção entre 1-5 para o veículo C	83
Gráfico 33 – Perfil de força na seleção entre 1-5 para o veículo D	83
Gráfico 34 – Caminho percorrido pela alavanca na troca 1-2 e 2-1	85
Gráfico 35 – Caminho percorrido pela alavanca na troca 2-3 e 3-2	85
Gráfico 36 – Caminho percorrido pela alavanca na troca 3-4 e 4-3	86
Gráfico 37 – Caminho percorrido pela alavanca na troca 4-5 e 5-4	86

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. ERGONOMIA E FATORES HUMANOS.....	17
2.2. DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO	34
2.3. TRANSFORMAÇÃO DOS DADOS EM REQUISITOS DE PRODUTO – CASA DA QUALIDADE	38
2.4. CAIXAS DE TRANSMISSÃO E SISTEMAS DE CONTROLE MANUAL	40
3. MATERIAIS E MÉTODOS	50
3.1. PESQUISA DE MERCADO	50
3.2. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO	53
4. RESULTADOS	58
4.1. CASA DA QUALIDADE	60
4.2. MEDIÇÕES OBJETIVAS.....	61
4.2.1. Posicionamento do ponto H e da alavanca	62
4.2.2. Posicionamento de marchas.....	66
4.2.3. Medições das forças de engate	71
4.2.4. Medições das forças de seleção	82
4.2.5. Manoplas de engate	84
4.2.6. Caminhos percorridos durante o engate	84
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	87
6. CONCLUSÕES	97
REFERÊNCIAS	99
APÊNDICE A – Tabelas da recomendação prática SAE J287	102

1. INTRODUÇÃO

O sistema manual de controle de uma transmissão veicular é geralmente compreendido por uma alavanca situada próximo ao motorista que permite a troca de marchas conforme a evolução de velocidade do veículo e/ou vontade do motorista. Esse sistema manual pode controlar uma transmissão do tipo mecânica onde as movimentações dessa alavanca resultam no movimento direto de peças internas à transmissão realizando a troca de marchas; ou pode controlar uma transmissão do tipo automática onde a movimentação da alavanca somente aciona interruptores elétricos que então ativam os sistemas eletromecânicos responsáveis pela movimentação de peças dentro da transmissão para a realização da troca de marcha. Os tipos de alavancas serão descritos com detalhes no próximo capítulo.

O sistema estudado nesse texto foca o sistema manual de controle de uma transmissão do tipo mecânica que é o sistema mais comum encontrado no mercado brasileiro estando presente em 100% dos veículos de passeio considerados populares vendidos no Brasil em 2006. Os veículos considerados populares são aqueles que apresentam motores de até 1000 centímetros cúbicos de deslocamento volumétrico.

O estudo do projeto desse sistema objetiva através da análise dos fatores humanos e/ou ergonômicos recomendar os parâmetros para diversos fatores humanos referentes à sua utilização de forma a garantir o conforto e satisfação do motorista. Dentre os fatores humanos a serem estudados estão: posicionamento da interface motorista-alavanca em relação ao volante de direção do veículo e à posição de referência banco-motorista (conhecido como ponto "H"), deslocamentos da alavanca na direção de seleção e engate, esforço durante o movimento de seleção e engate, perfil de força conforme o deslocamento da alavanca e fatores humanos relacionados à percepção de precisão.

A motivação desse estudo está na cada vez maior expectativa dos motoristas quanto à qualidade percebida de seus veículos. A alavanca ou sistema de troca de marchas é uma das principais interfaces motorista-veículo. O tráfego lento do trânsito das grandes cidades, associado à baixa potência dos carros populares aumenta ainda mais a frequência das trocas de marcha em um veículo. Assim uma alavanca ou sistema de controle que submeta o motorista a uma posição desconfortável, altos

esforços e deslocamentos e, ou mesmo, a engates de marchas imprecisos pode não somente cansar o motorista como colocá-lo em risco de vida como no caso de uma troca indevida de marchas. Esses fatores são percebidos pelos motoristas e são considerados na compra do próximo veículo.

O desenvolvimento do estudo se baseou em metodologias de desenvolvimento de produtos, clínicas realizadas com motoristas, pesquisa de mercado envolvendo veículos de passageiros comercializados no ano de 2006, e instrumentação e medição objetiva dos diversos parâmetros. A metodologia de obtenção dos dados, sua análise e comparação com as especificações de referência nos meios de engenharia como práticas recomendadas e normas da Society of Automotive Engineers (SAE) ou Sociedade de Engenheiros Automotivos assim como a conclusão e recomendação final serão apresentados nos próximos capítulos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ERGONOMIA E FATORES HUMANOS

Ergonomia é uma disciplina científica preocupada com a interface entre humanos e artefatos e com o projeto de sistemas onde pessoas participem. O propósito das atividades de design é equalizar os sistemas, produtos, trabalhos e ambientes às habilidades e limitações físicas e mentais das pessoas. Sistemas devem ser projetados de maneira que os mesmos sejam intuitivos ao uso e não requeiram um treinamento ou educação especial de seu usuário (Salvedy, 1997, p.3, tradução nossa).

A formação da palavra ergonomia vem do grego *ergo* (trabalho) e *nomos* (leis, regras).

A ênfase da ergonomia no início do século vinte era o de se adaptar as pessoas ao seu trabalho. Isto obrigava a busca para a seleção, classificação e treinamento de pessoas em especial que fossem compatíveis com o trabalho. Esse tipo de abordagem foi infrutífero e o foco atual é o projeto ergonômico de artefatos e ambientes. A ênfase atual é em se adaptar a tarefa à pessoa e não mais a de se adaptar a pessoa à tarefa.

O início da preocupação com ergonomia surgiu por diferentes motivos. Na Europa, a aplicação dos conceitos de ergonomia se iniciou nos anos cinquenta nas aplicações industriais e utilizava informação da fisiologia do trabalho, biomecânica, e antropometria para o projeto das estações de trabalho e processos industriais. O foco era o bem-estar dos trabalhadores e produtividade da manufatura. Nos Estados Unidos, a engenharia dos fatores humanos, fatores humanos, ou engenharia da fisiologia se desenvolveu a partir dos problemas militares. Fatores humanos tem sua origem na fisiologia experimental e engenharia de sistemas. O objetivo é o de melhorar o desempenho dos sistemas.

Ergonomia e fatores humanos utilizam o conhecimento das habilidades e limitações humanas para o projeto de sistemas, organizações, trabalhos, máquinas, ferramentas e bens de consumo para uma utilização humana de forma segura, eficiente e confortável (Chapanis apud Salvedy, 1997).

Fatores humanos são geralmente definidos como o estudo do ser humano e sua interação com produtos, ambientes, e equipamentos na execução de tarefas e atividades. Dentro desse domínio, o foco central do estudo é o sistema homem-máquina. Os objetivos dos fatores humanos são maximizar a eficiência humana e dos sistemas e o bem estar do ser humano e sua qualidade de vida. (Meister, 1991; Sanders e McCornick, 1993; apud Salvedy, 1997). Nesse texto fatores humanos e ergonomia são considerados sinônimo.

Os fatores humanos ou ergonômicos estão ligados aos sentidos do ser humano, aos tamanhos do corpo e seus membros através dos estudos antropométricos da população envolvida, e à biomecânica que estuda os limites de força, potência, mobilidade, fadiga e tolerância do ser humano.

Os dados de antropometria são os dados referentes às dimensões das diversas partes do corpo humano coletadas a partir de uma população em estudo e reunidas de forma a servirem de referência para, no nosso caso, o desenvolvimento de interfaces homem-máquina. O objetivo é desenvolver máquinas que possam ser utilizadas por uma maioria dessa população estudada. A maioria dos dados antropométricos seguem uma distribuição normal ou de Gauss. Esta curva de distribuição pode ser descrita em termos de seu valor médio e sua dispersão em torno da média.

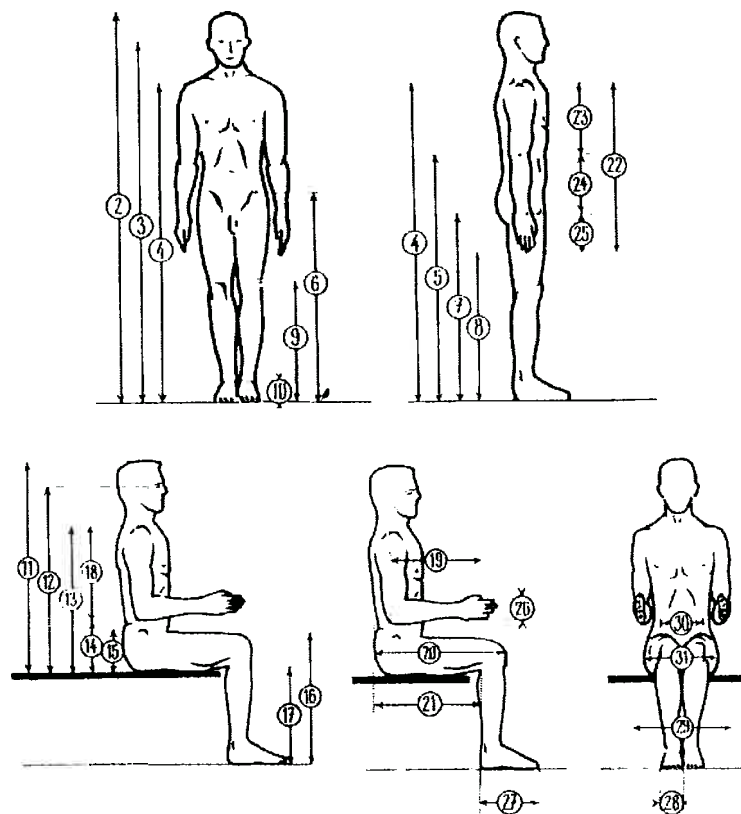


Figura 1 – Algumas dimensões antropométricas do corpo humano (Scherrer, 1992).

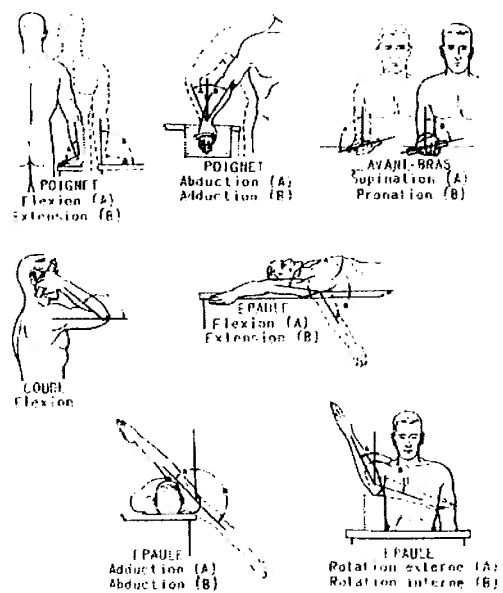


Figura 2 – Movimentações articulares dos membros superiores (Scherrer, 1992).

Engenheiros e projetistas utilizam uma estatística conhecida como percentil. Assim se 100 pessoas fossem ordenadas do menor ao maior em qualquer grandeza, o primeiro percentil é aquele que é excedido pelos 99 por cento restantes do grupo; o 70º percentil é aquele que é excedido pelos outros 30 por cento do grupo. O percentil 50, ou mediana, é um tipo de valor médio. Para uma amostra grande e normalmente distribuída, a mediana é o mesmo que o valor médio ou média. Percentis fornece uma base para se estimar a proporção de um grupo acomodado ou incomodado por um projeto ou design em específico assim como uma base para se selecionar os limites de projeto que definem a faixa de acomodação desejada. Assim, se um design ou produto é projetado para atender pessoas entre os percentis 5 e 95, o produto irá atender os 90% centrais da população, mas é muito grande para 5% e muito pequeno para os outros 5% (acima do percentil 95).

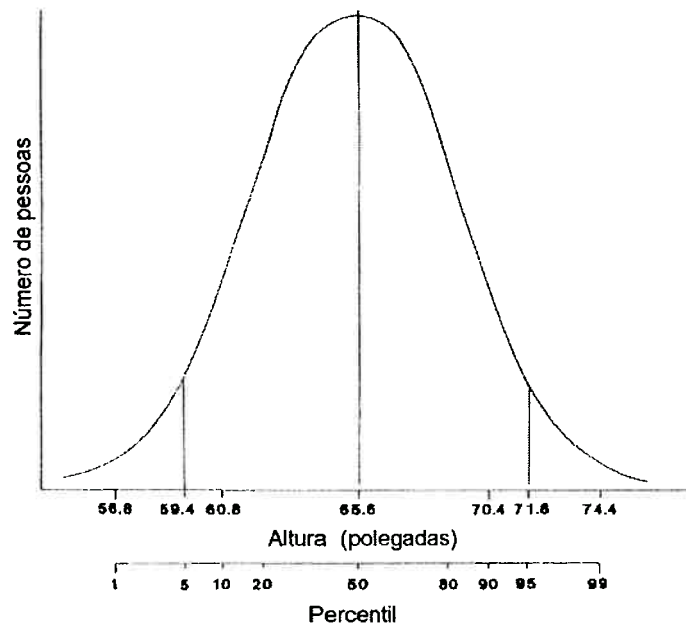


Figura 3 – Curva de distribuição normal (Peacock e Karwowsky, 1993).

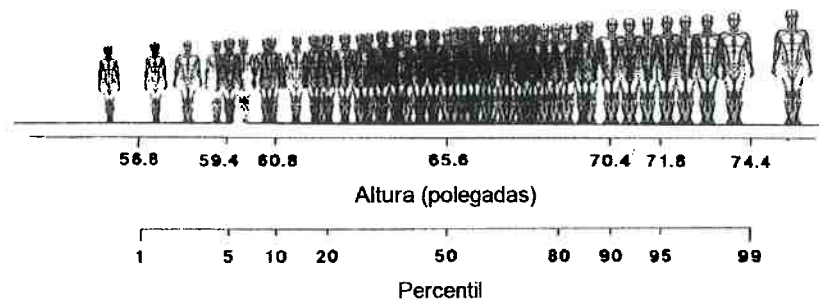


Figura 4 – Ilustração de uma amostra representativa de 100 pessoas, ordenadas por altura (Peacock e Karwowsky, 1993).

Os limites de projeto podem então ser utilizados como um percentual da população que será atendida ou acomodada pelo projeto. Assim para um motorista sentado em seu veículo, sua tarefa será operar os pedais, volante de direção e alavanca de troca de marchas de maneira confortável e com visibilidade. O assento pode ser ajustado para frente ou para trás para acomodar as variações de estatura desse motorista, no entanto é necessário se especificar onde o banco deve estar situado e quanto é possível regulá-lo.

Para uma população em estudo é então possível se determinar o total de ajuste requerido. Uma análise gráfica das posições do assento e percentis envolvidos mostra que a faixa que compreende o 90 percentil central é definido por uma linha reta e os 5 percentis em cada extremo apresentam grande variação. A definição dos limites de projeto baseiam-se então nos limites de percentil a serem cobertos e o custo, conforto e segurança relacionados a esse percentil.

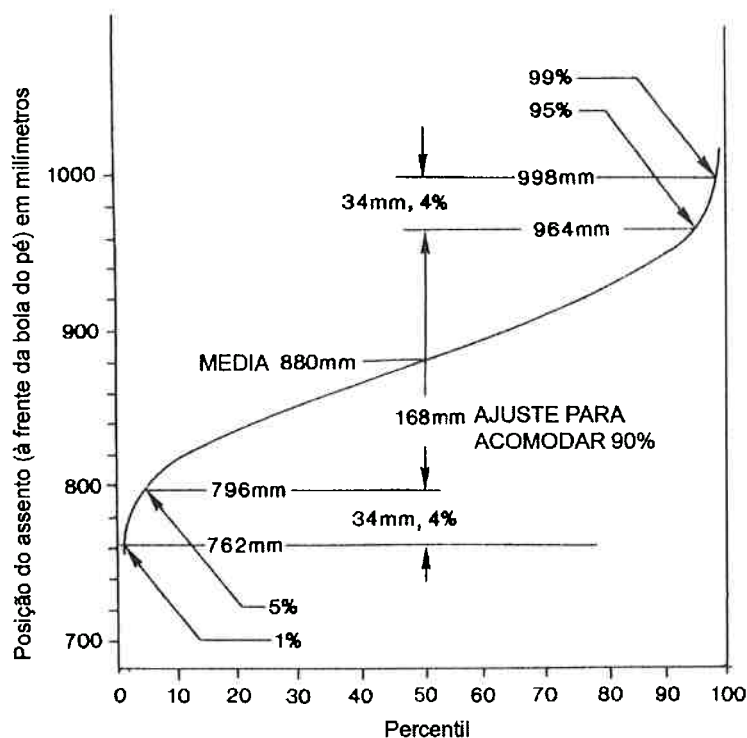


Gráfico 1 – Limites de projeto para definição de ajuste de posição do assento (Peacock e Karwowsky, 1993)

O uso de desenhos de manequins representativos de percentis para o estudo de alcance dos comandos de um motorista pode ser problemático, pois para um dado percentil de estatura, as pernas e braços podem não pertencer ao mesmo percentil. Um outro problema ligado ao uso de manequins na análise através de desenho é a influência da deformação do assento e postura no correto posicionamento do mesmo. Além disso, pessoas tendem a serem mais flexíveis que manequins.

A interação de variáveis antropométricas e o espaço de trabalho não pode ser sempre prevista. O alcance para uma pessoa de pequena estatura (5 percentil) pode não ser menor que um de grande estatura (95 percentil). O sistema de ajuste do banco pode posicionar o motorista de grande estatura de tal modo que o mesmo tenha mais problemas em alcançar os comandos do que o motorista de pequena estatura.

Para esse tipo de análise utiliza-se então modelos antropométricos funcionais, ou seja, modelos orientados por sua função principal.

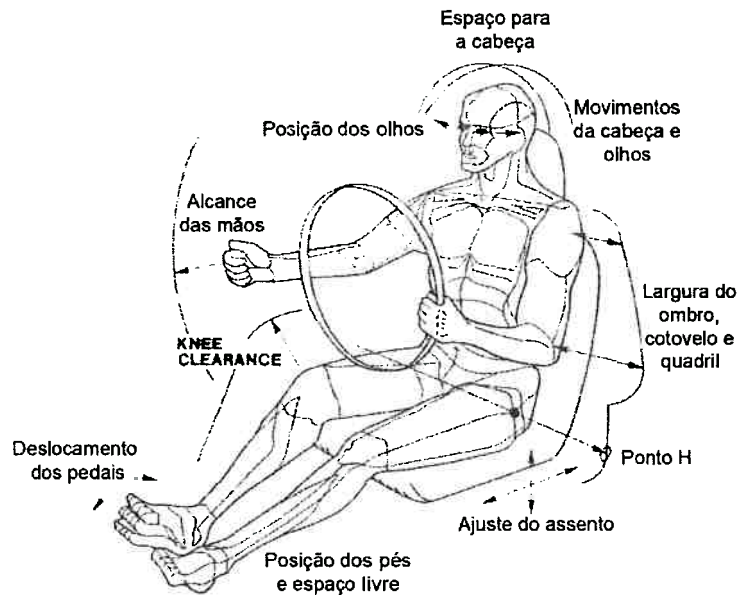


Figura 5 - Medidas antropométricas funcionais (Peacock e Karwowsky, 1993)

A biomecânica é uma disciplina que utiliza informações de ambas as ciências biológicas como a engenharia mecânica para avaliar as funções do corpo humano. A função de interesse no corpo humano no contexto da ergonomia é tipicamente o carregamento mecânico ou atividade do sistema esquelético-muscular. O objetivo da análise biomecânica é avaliar o carregamento e comportamento da estrutura de um corpo humano e comparar esse carregamento e comportamento com a tolerância ou capacidade do corpo humano.

Assim através da biomecânica é possível se estudar a melhor postura para uma determinada tarefa não somente do corpo humano, mas também da posição do objeto trabalho e dos suportes dados ao corpo humano e ao objeto. Essa postura e posicionamentos tem como objetivo minimizar os danos causados ao ser humano como fadiga e dores prevenindo doenças.

O uso da biomecânica e da antropometria possibilitaram o estudo da melhor postura e posicionamento dos controles para um veículo. Boa parte das recomendações para aplicações veiculares derivam dos estudos realizados para a postura e posicionamento de controles em aviões de guerra, muito estudados pela engenharia militar no intuito de maximizar o desempenho dos pilotos e conseqüentemente o resultado da missão militar.

Os fatores humanos que contribuem para melhorar essa interface motorista-veículo foram em grande parte reunidas em textos de referência como normas. As principais normas de referências provém de instituições internacionais como a SAE – Society of Automotive Engineers (Sociedade de Engenheiros Automotivos) e instituições de países com grande tradição em engenharia como a Alemanha com a DIN – Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemão de Normas).

O principal modelo antropométrico funcional para a análise de alcance de comandos em veículos é definido pela *Society of Automotive Engineers* (SAE) através da recomendação prática *SAE J287 – Driver Hand Control Reach*, e os pontos de referência e dimensões para o estudo de veículos são definidos na norma *J1100 Motor Vehicle Dimensions* (2005) da mesma instituição.

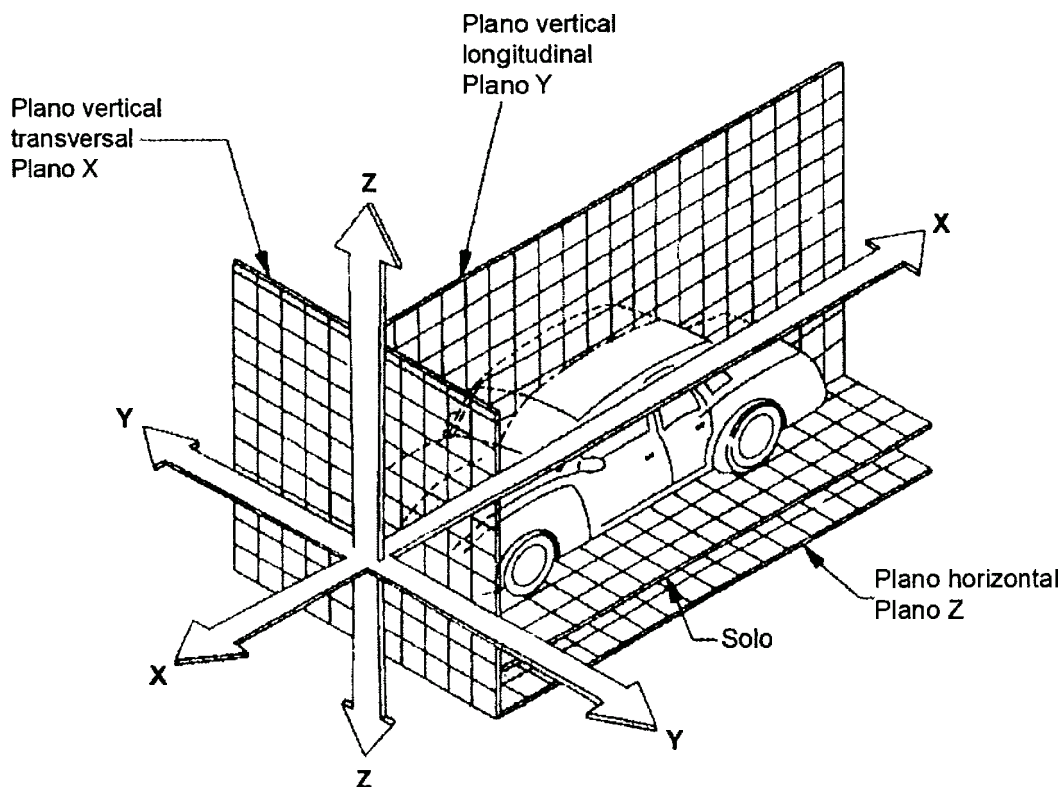


Figura 6 - Sistema referencial tridimensional (SAE J1100, 2005).

Assim, a recomendação prática SAE J287(1998), é uma das ferramentas mais comumente utilizadas no modelamento das capacidades de alcance do motorista para o acionamento dos controles primários (como o sistema de controle estudado) e secundários de menor uso.

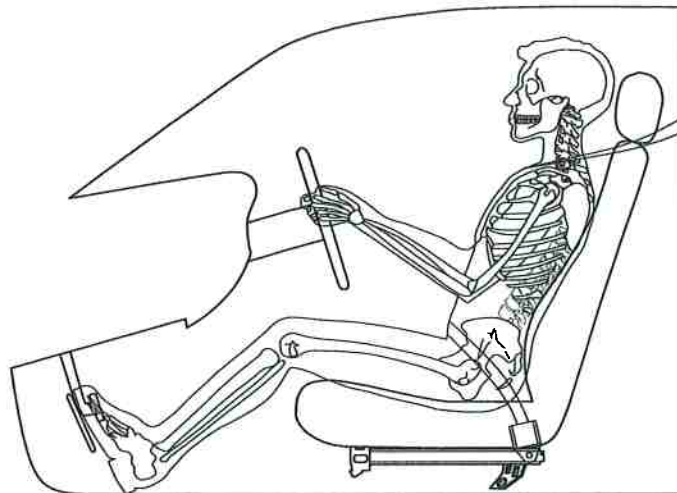


Figura 7 - Ilustração representativa do corpo humano ao volante de um veículo

As superfícies de alcance da recomendação prática SAE J287(1998) são parametrizadas através de um fator de empacotamento ou “packaging” que combina dimensões internas do veículo como altura do assento, posição e diâmetro do volante de direção conforme a eq. (1). Esse fator de empacotamento é conhecido como fator “G”.

Através da eq. (2) calcula-se o plano de vertical de referência HR, a partir do qual são geradas as superfícies de alcance conforme tabelas em função do valor G.

$$G = 0,0018 * (H30) - 0,0197 * (L40) + 0,0027 * (W9) + 0,0106 * (H18) - 0,0011 * (L11) + 0,0024 * (H17) + 0,0027 * (L42) - 3,0853 \quad (1)$$

$$HR = 786 - (99 * G) \quad (2)$$

Define-se como condição A quando temos a diferença entre HR e L53 menor que zero conforme a eq. (3). Nessa condição o plano HR estará situado a uma distância longitudinal (X) HR em relação ao ponto AHP.

$$HR - L53 < 0 \quad (3)$$

Define-se como condição B quando temos a diferença entre HR e L53 maior que zero conforme a eq. (4). Nessa condição o plano vertical de referência estará situado na posição do ponto H mais distante do ponto AHP conforme a regulagem do assento.

$$HR - L53 > 0 \quad (4)$$

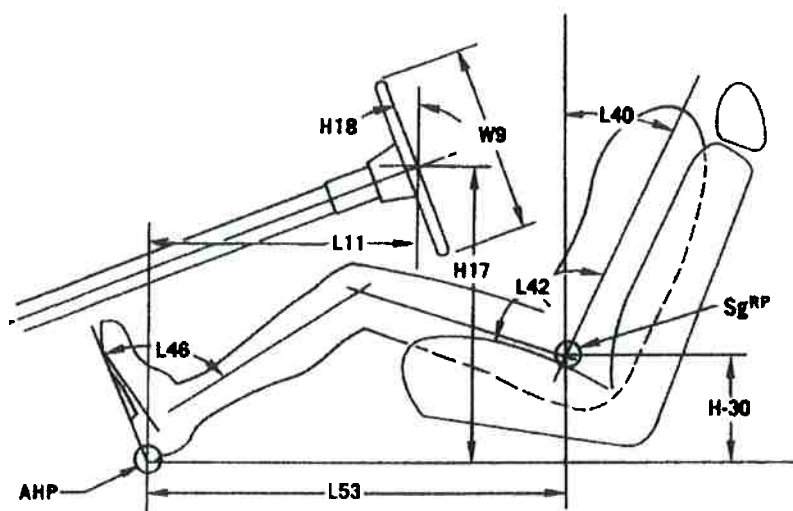


Figura 8 - Dimensões utilizadas na determinação do fator "G" (SAE J287, 1998).

No estudo de laboratório em que a recomendação prática SAE J287(1998) é baseada (Hammond e Roe apud Reed et al, 2003), os dados de máximo alcance foram obtidos a partir de 120 homens e mulheres em três diferentes configurações de empacotamento de veículos. Os motoristas alcançavam as pontas de eixos de medições e as empurrava para frente o máximo possível. A seguir movia-se lateralmente a plataforma que suporta os eixos para uma nova posição podendo-se então mapear toda a superfície de alcance à frente do motorista. O teste foi conduzido considerando cintos de segurança sub-abdominais e também sub-abdominais e de torso. A figura 9 mostra a bancada de teste utilizada no ensaio.

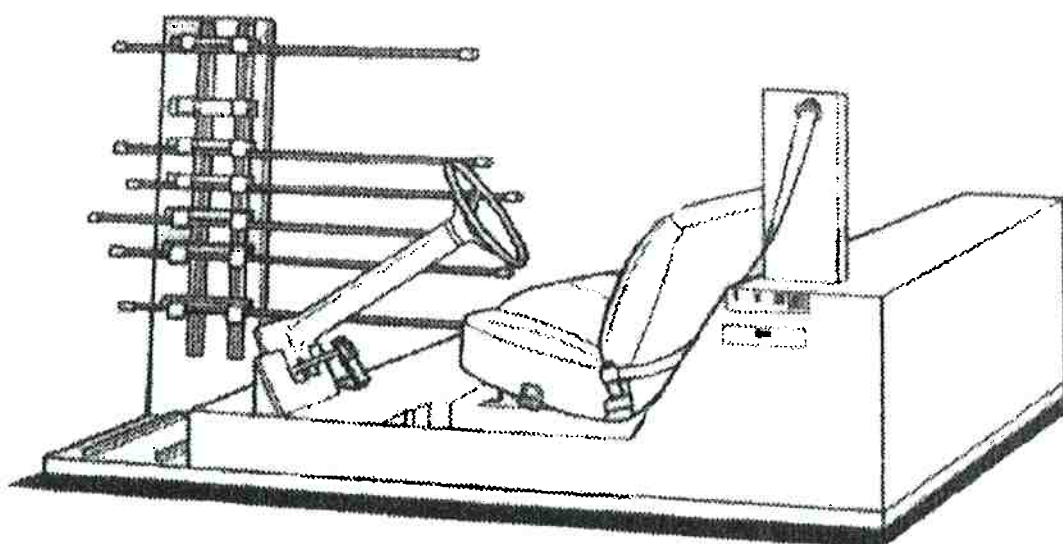


Figura 9 – Bancada de teste de ensaio de alcance (Hammond e Roe apud Reed et al, 2003).

As superfícies de alcance são interpretadas considerando a capacidade de uma população em oposição à capacidade de indivíduos com particulares tamanhos corporais ou antropométricos. Assim a superfície considerada na norma não representa a capacidade real de alcance específica de um motorista com uma estatura conforme o 95 percentil masculino ou qualquer outra categoria antropométrica específica.

As superfícies de alcance na recomendação prática SAE J287(1998) são posicionadas considerando-se um ponto de referência de assento do motorista (SgRP) que corresponde ao ponto "H". A recomendação prática SAE J287(1998) também considera um fator de ajuste de 50 mm que deve ser subtraído dos valores máximos de alcance para controles que requeiram o uso completo da mão de maneira a descrever o centro da face da manopla de controle que deve estar ao alcance do motorista.

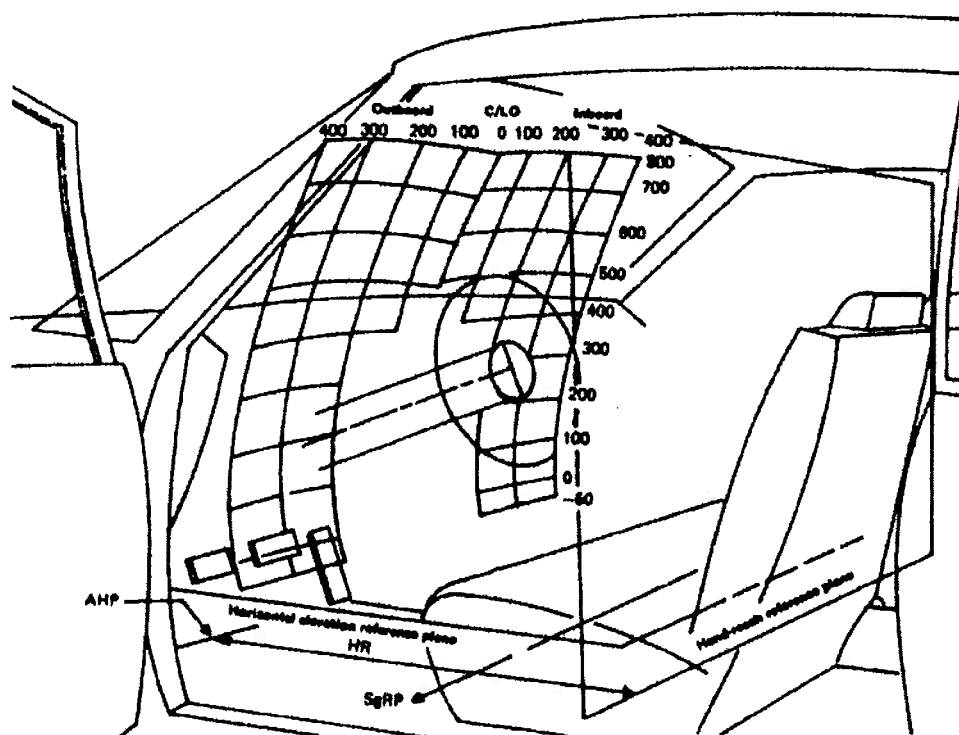


Figura 10 – Superfície de alcance gerada através da norma (SAE J287, 1998).

Hamfeld, Hansen, Trieb e Seidl (1999) estudaram uma outra maneira de se determinar as superfícies de alcance do motorista utilizando-se simulação computacional através da modelagem de manequins representativos dos diferentes percentis humanos obtidos a partir da digitalização de corpos de diferentes estaturas. Dessa maneira, um programa de computador associado aos modelos matemáticos tridimensionais representativos do projeto do veículo, auxilia no posicionamento dos controles, postura e interfaces para as diferentes dados antropométricos funcionais coletados.

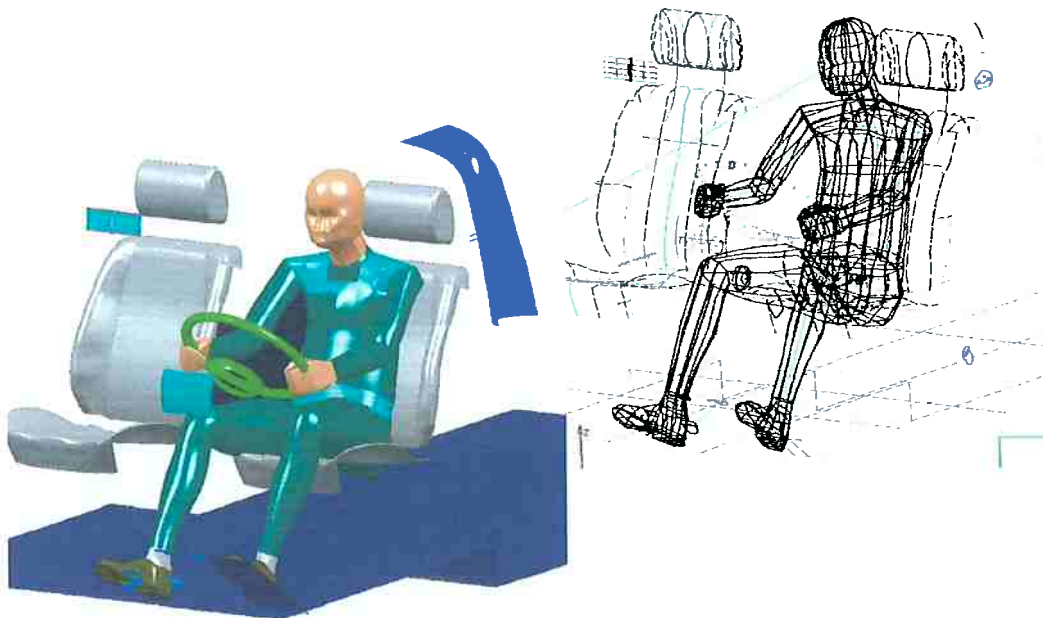


Figura 11 – Modelo matemático para simulação de postura (Hamfeld, Hansen, Trieb e Seidl, 1999).



Figura 12 – Análise ergonômica através de simulação computacional (RAMSIS, 2007).

Parkison e Reed (2006) estudaram ainda a influência da postura do motorista e como o mesmo equilibra as forças durante a atividade de trocas de marcha. As forças e deslocamentos necessários para realizar essa atividade podem sugerir a necessidade de apoios para que o motorista não se desequilibre. Assim, além do estudo de alcance, Parkison e Reed, sugeriram a análise do equilíbrio do motorista durante a atividade de trocas de marchas. Através das análises da população envolvida no estudo, desenvolveram um modelo correlacionado forças de atuação com nível de acomodação do motorista.

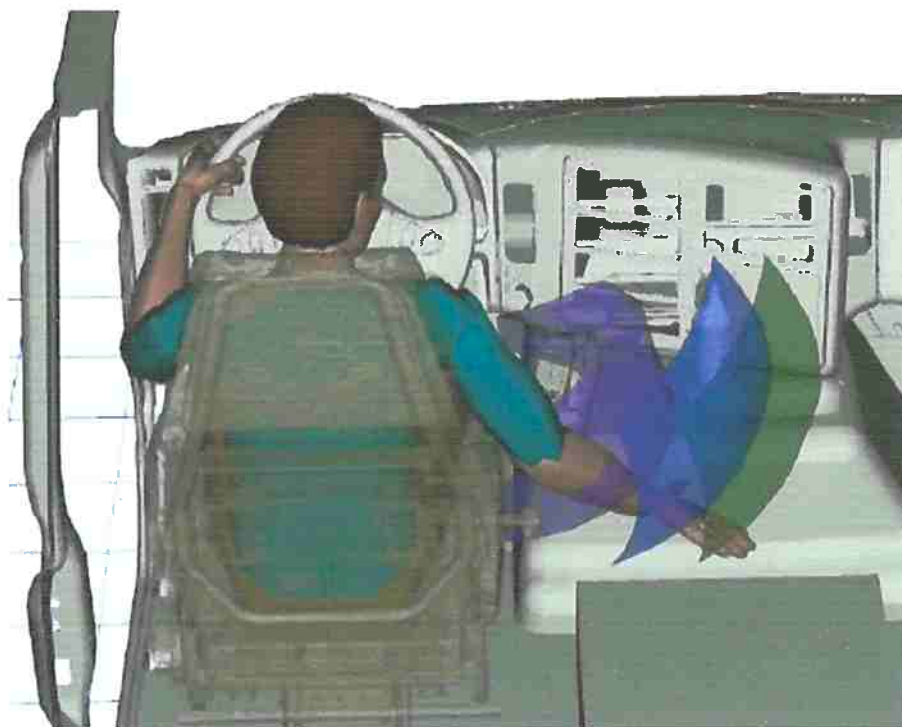


Figura 13 – Superfícies mostrando três níveis de acomodação (90%, 60% e 30%) para uma determinada força (Parkison e Reed, 2006).

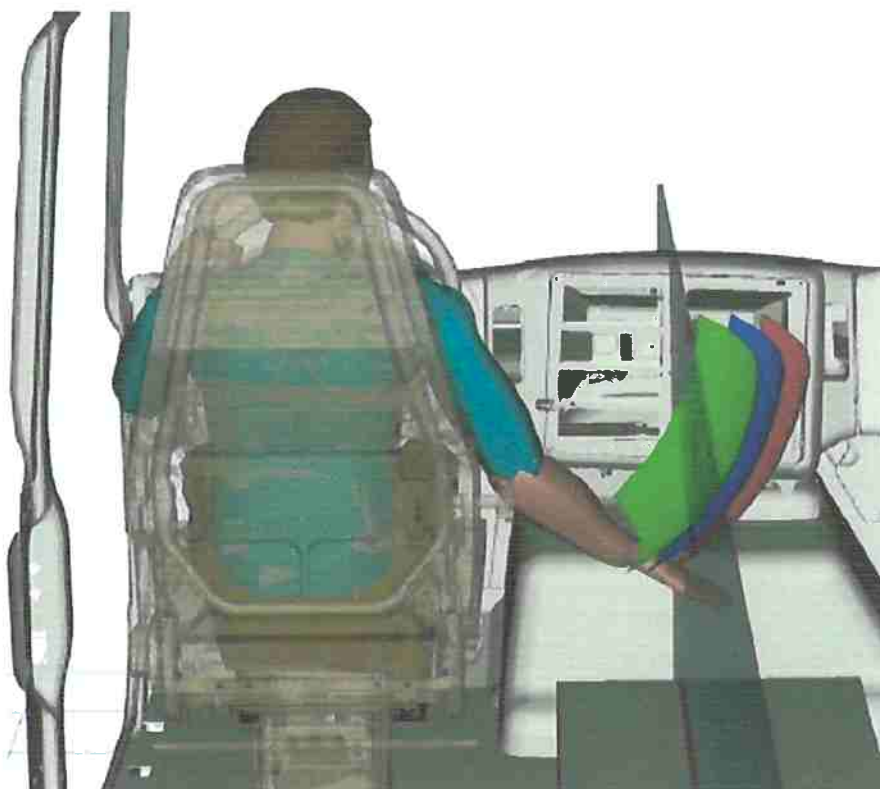


Figura 14 – Superfícies mostrando o nível de acomodação de 50% para três diferentes forças (Parkison e Reed, 2006).

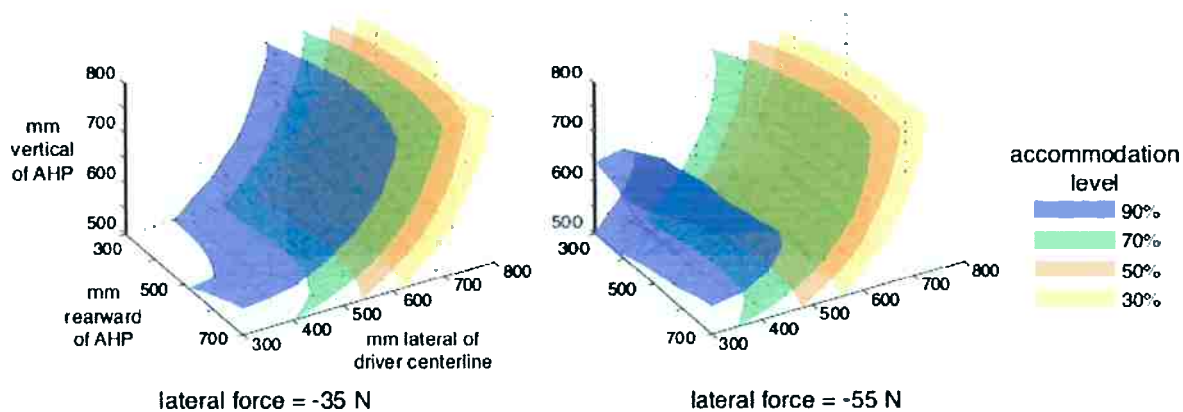


Figura 15 – Superfícies de nível de acomodação para uma diferentes forças (Parkison e Reed, 2006).

Uma outra abordagem para a posição e deslocamentos da alavanca considera um ponto fixo do volante de direção do veículo, e a partir desse ponto, cria um volume espacial da forma de um trapezóide. Todas as posições da alavanca incluindo o sobre-curso devem se situar dentro desse volume. Essa abordagem considera que o volante de direção não possua regulagem de altura e/ou profundidade. O cálculo das coordenadas dos pontos que definem o volume espacial utiliza programas de

computador que consideram os dados antropométricos funcionais do 5 percentil feminino e o 95 percentil masculino, ou seja, considera o 90 percentil central da população. O volume espacial definido deve estar dentro da região de alcance do motorista sem exigir movimentações não naturais dos braços, pulso ou dedos, e não requerer posicionamento, alongamento ou movimento não natural ou desconfortável. Esse tipo de análise requer o conhecimento dos dados antropométricos funcionais do mercado em que o veículo será vendido para uma otimização. Normalmente esse tipo de abordagem também utiliza a recomendação prática SAE J287(1998) para verificar o alcance do motorista com base no ponto "H". Essa verificação é necessária para se considerar todas as posições que o ponto "H" pode se situar devido as diferentes posições que o banco pode ser ajustado longitudinalmente.

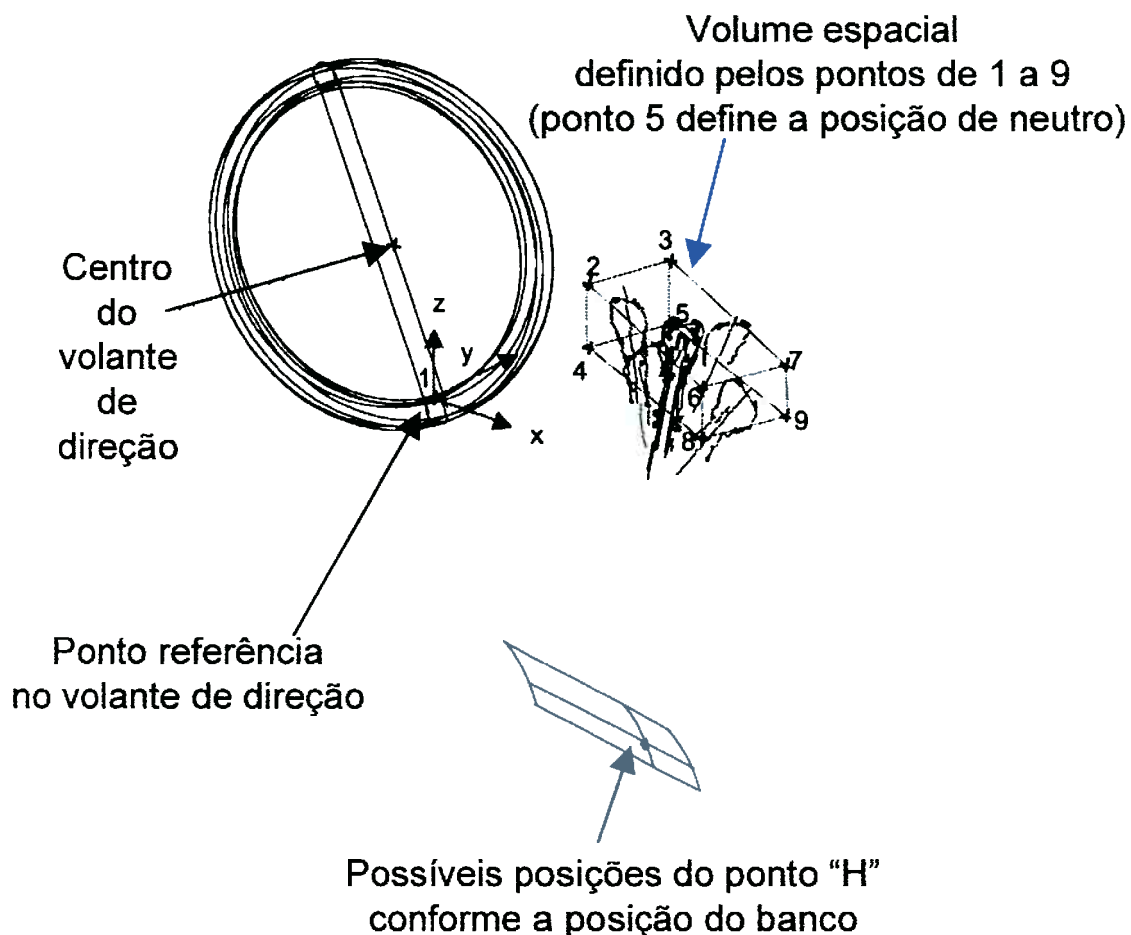


Figura 16 – Volume espacial de referência para posicionamento da alavanca

A análise através de simulação computacional é muito útil quando existe flexibilidade no desenvolvimento de um novo projeto. No entanto, para a análise de produtos

existentes onde a modelagem matemática não está disponível ou mesmo não existe flexibilidade para mudanças no projeto, a simulação por computador pode dificultar, ou simplesmente não ser aplicável.

No caso do estudo em desenvolvimento por esse texto, os modelos matemáticos dos diversos veículos pesquisados não estão disponíveis. Assim somente será utilizado as medidas encontradas no veículo e o cálculo utilizado pela recomendação prática SAE J287(1998).

As normas brasileiras estão reunidas em textos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Essas normas utilizam como base as normas ou práticas agrupadas pela SAE.

O estudo do trabalho na posição sentada através da antropometria e da biomecânica estabelece ângulos de conforto para as diversas articulações do corpo. A figura 17 apresenta os ângulos de conforto propostos por Scherrer (1992) para trabalhos na posição sentada.

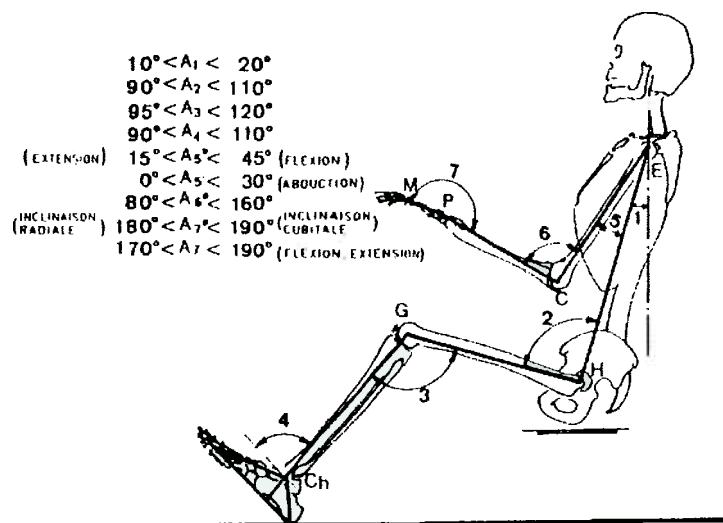


Figura 17 – Ângulos de conforto (Scherrer, 1992).

A figura 18 apresenta uma proposta dos ângulos e dimensões do banco de um veículo para máximo conforto do motorista.

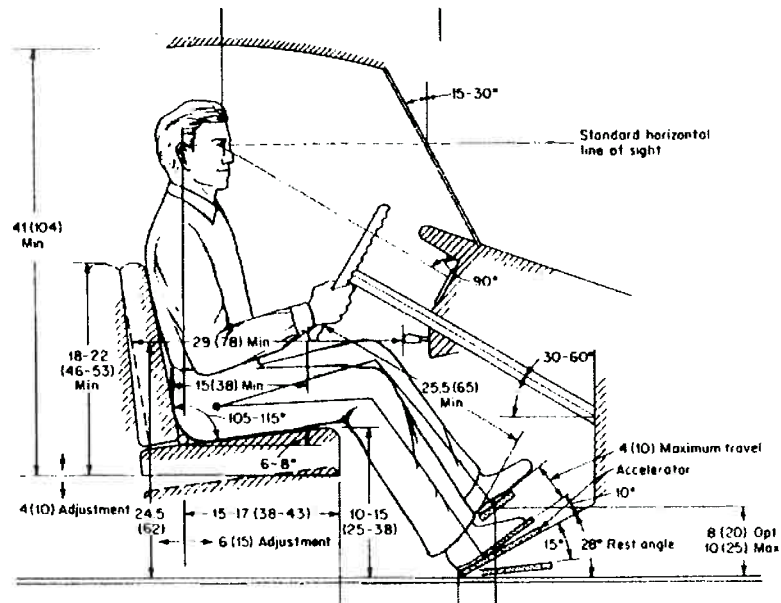


Figura 18 – Ângulos e dimensões recomendados para aplicações veiculares em polegadas e em centímetros entre parênteses (Sanders e McCornick, 1987).

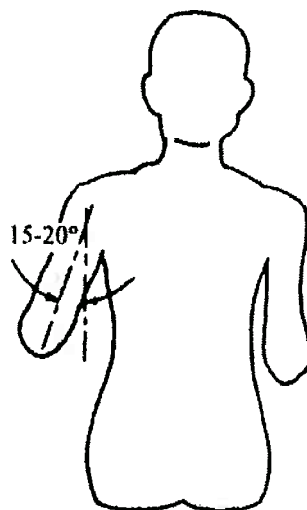


Figura 19 – Ângulo de abdução aceitável (Chaffin, Andersson e Martin, 2001).

Os ângulos considerados para a aplicação em automóveis é similar à aplicada para o máximo conforto.

2.2. DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

Para o desenvolvimento de um produto é necessário a utilização de uma metodologia ou um processo que transforma uma necessidade em um produto ou serviço para satisfazê-la. Utiliza-se nesse estudo uma metodologia nos moldes mais convencionais encontrados na literatura compreendendo uma fase de planejamento, seguido de projeto ou criação, teste e validação, produção, comercialização e avaliação. A necessidade a ser satisfeita será então um sistema de controle que melhor satisfaça as necessidades do usuário: o motorista.

O produto de sucesso geralmente é definido como o produto que melhor atende as necessidades de seu usuário (Cushman e Rosenberg, 1991, p.4, tradução nossa). Atributos relacionados a fatores humanos como a facilidade de uso, facilidade de aprendizado, conforto, segurança e adaptabilidade adicionam valor ao produto e serão geralmente percebidos pelos usuários como necessários para atender suas necessidades. Assim, um produto que agrega em sua concepção fatores humanos tem uma maior chance de ser um produto de sucesso. A tabela 1 lista os principais motivos para se utilizar a tecnologia relacionada a fatores humanos no desenvolvimento de um produto. Esses motivos podem ser divididos em duas categorias (1) para criar um produto melhor que atende mais adequadamente às necessidades do usuário e (2) para prevenir perdas.

Para criar um produto melhor	Para prevenir perdas
Facilitar o uso do produto	Evitar litígios
Melhorar o desempenho do produto	Evitar resenhas negativas ou reclamações
Acomodar as diferenças entre os usuários	Evitar "RECALLS"
Fabricar produtos seguros	Atender as normas da indústria
Melhorar o conforto do usuário	Atender as normas regulamentares
Aprimorar a satisfação do usuário	Reduzir gastos com garantia

Figura 20 – Principais motivos para o uso de tecnologias relacionadas a fatores humanos no desenvolvimento de produtos

As questões e atividades referentes a fatores humanos no desenvolvimento de um produto estão resumidos na figura 21.

	Questões	Atividades
Planejamento	Quem é o usuário? Quem é o comprador? Quais funções o produto deve executar? Quais normas utilizar? Existem fatores humanos apropriados disponíveis? Qual a referência ideal em produtos similares?	Verificar os perfis dos usuários Avaliar os conceitos iniciais Participar em atividades de pesquisa de mercado Verificar patentes e avaliar produtos de concorrentes Revisar a literatura sobre fatores humanos / ergonomia Conduzir estudos sobre fatores humanos Estabelecer os objetivos de design referente aos fatores humanos
Design	Os projetistas entendem as questões referentes aos fatores humanos? Quais são as melhores alternativas de design? O produto proposto irá atender as necessidades do usuário? O produto será seguro para uso? Quais as opções de mal-uso do produto? O produto pode ser facilmente montado e consertado? Como os usuários irão aprender a utilizar o produto?	Executar análises de funções e tarefas Transformar os dados referentes a fatores humanos a um formato útil. Avaliar os primeiros protótipos Executar análises de funções e tarefas Executar análises de perigo Participar nas determinações das especificações técnicas Utilizar modelos matemáticos para simular a performance final do produto
Teste e validação	O produto desempenha conforme planejado? Quais modificações são necessárias?	Testar protótipos com usuários Modificar os modelos matemáticos Prover recomendações para a modificações de design Prover recomendações para revisar a documentação do produto

Figura 21 - Questões e atividades referentes a fatores humanos nas etapas de desenvolvimento de um produto

A figura 22 ilustra as etapas do processo de desenvolvimento que será utilizado nesse estudo através de blocos se iniciando nas pesquisas de mercado até a especificação técnica do produto.

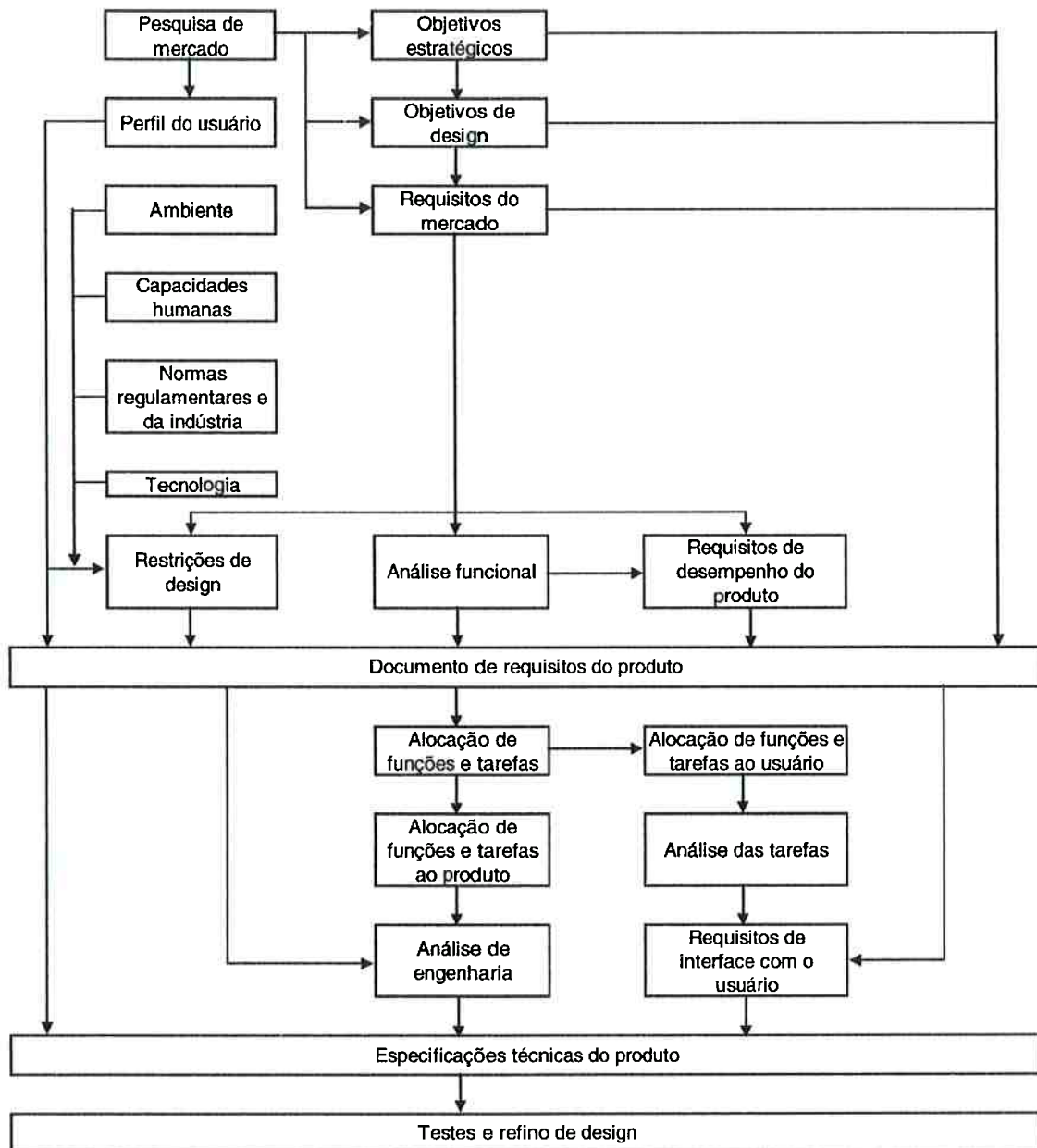


Figura 22 – Processo da definição do produto e de suas especificações técnicas

Outros fatores humanos além do alcance do motorista também devem ser considerados. Para a identificação dos outros fatores humanos relacionados à utilização da alavanca de controle utilizou-se uma série de pesquisas de mercado questionando os pontos de análise do principal usuário do sistema: o motorista.

Um dos principais objetivos da pesquisa de mercado é identificar oportunidades para o desenvolvimento de novos produtos e do melhoramento dos produtos existentes. Em resumo, a pesquisa procura identificar o que as pessoas querem e irão comprar

em algum momento futuro. (Salvedy, 1997). Pesquisas de mercado podem ser realizadas de diversas formas como questionários, pesquisa por telefone ou "internet", entrevistas, observação do mercado, testes de conceito entre outros. As atividades relacionadas a fatores humanos e associadas à pesquisas de mercado podem incluir o desenvolvimento de perfis de usuários, avaliação de produtos existentes em sua facilidade de uso e/ou manuseio, e entrevistas focadas em indivíduos ou grupos específicos (Cannon e Hasty, 1976). O foco dessas entrevistas concentra-se em tópicos como necessidades do usuário, percepção do usuário à diferentes designs, importância relativa de aspectos específicos e o critério utilizado pelos usuários ao avaliar diferentes produtos. Algumas atividades como o desenvolvimento do perfil do usuário na análise de alguns produtos pode ser resumida, como no caso do sistema de controle, a pessoas de idade acima de 18 anos (conforme legislação brasileira) de ambos os gêneros e dos mais diversos níveis de educação e profissão. Considera-se também que os usuários são motoristas habilitados, que conheçam as leis de trânsito, que possuam alguma prática na condução de veículos, e que uma parcela possa ser portadora de alguma deficiência física. Pode-se também analisar um perfil de usuário mais específico (como mulheres entre 23 e 35 anos) para um veículo em particular considerando-se o público alvo principal desse produto no mercado. No entanto, ainda assim este produto poderá ser utilizado por qualquer outro usuário diferente desse perfil e deve acomodá-lo da melhor maneira possível.

As pesquisas de mercado apresentadas no desenvolvimento desse texto envolvem a avaliação de diversos produtos existentes no mercado e entrevistas focadas em grupos específicos para a formulação dos objetivos de design e requisitos de mercado.

Como objetivos de design e requisitos de mercado pode-se citar: facilidade de uso, conforto do usuário, segurança, acomodação a usuários de grande e pequena estatura, taxa de erros em sua utilização entre outros. Da mesma maneira deve-se identificar as restrições de design. Estas restrições devem ser identificadas o mais cedo possível no desenvolvimento de um produto de forma a limitar as opções de solução disponíveis aos engenheiros. Alguns tipos de restrição podem ser relacionadas à tecnologia disponível, o custo envolvido, tempo para execução, ambiente ao redor do produto ou legislação vigente. Informações para a

identificação dessas restrições são obtidas em grande parte das análises dos perfis de usuários, entrevistas dos usuários, normas de ergonomia e governamentais.

2.3. TRANSFORMAÇÃO DOS DADOS EM REQUISITOS DE PRODUTO – CASA DA QUALIDADE

Os resultados das pesquisas de mercado devem ser consolidados, analisados e transformados ou correlacionados a requisitos de engenharia mensuráveis. Pode-se realizar esse tipo de correlação utilizando-se ferramentas de QFD – *Quality Function Deployment* como a “Casa da Qualidade”.

A idéia fundamental do QFD é converter ou traduzir a voz do cliente em um produto final ou serviço de qualidade. Essa tradução pode ser descrita em etapas como:

- De requisitos do cliente para características de produto;
- De características de produto para requisitos de projeto / design.

A metodologia deve produzir ao final o produto ou serviço que atende os requisitos originais do consumidor. Essa tradução utiliza uma série de matrizes, normalmente conhecidas como *House of Quality* (HOQ) ou Casa da Qualidade, para estudar e analisar as relações, a importância, e as trocas entre os diferentes fatores.

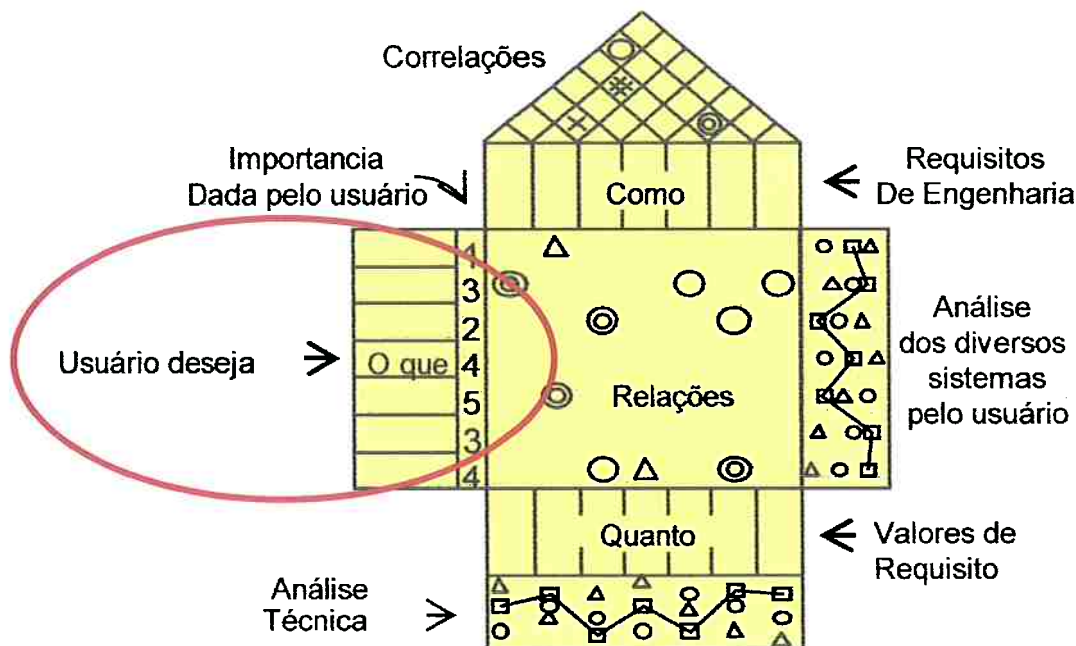


Figura 23 – Matriz de casa da qualidade

Nessa matriz, temos:

- O que: vozes do consumidor. Identificação dos usuários ou clientes e seus requisitos;
- Como: transformação dos itens requisitados pelo usuário em requisitos de engenharia;
- Relações: nesse campo se apresenta a intensidade de relação entre o requisito do usuário com o requisito de engenharia;
- Correlações: nesse campo se apresenta a intensidade de correlação entre dois diferentes requisitos de engenharia. Essa correlação pode ser positiva se uma reforçar a outra ou negativa se uma for à direção contrária de efeito da outra. Pode também não haver correlação entre dois requisitos;
- Análise dos diversos sistemas pelo usuário: nesse campo utiliza-se as notas dadas pelo usuário para diferentes sistemas em cada requisito do usuário;
- Quanto: valores associados aos requisitos técnicos;
- Análise Técnica: nesse campo utiliza-se as notas dadas pela análise de engenharia para os diferentes sistemas em cada requisito de engenharia.

Para a definição das relações entre os requisitos do usuário e dos requisitos de engenharia é necessário um bom entendimento da análise efetuada pelo usuário.

Assim as verbalizações ou comentários dos usuários para cada item analisado são indispensáveis para que os especialistas possam corretamente relacionar um requisito do usuário com um ou mais recursos de engenharia.

2.4. CAIXAS DE TRANSMISSÃO E SISTEMAS DE CONTROLE MANUAL

A caixa de transmissão de um veículo pode ser considerada como um gerenciador de força ou potência do motor. A transmissão conecta o motor com as rodas do veículo através de marchas ou relações de engrenagens que são responsáveis por balancear a força disponível no motor com o desempenho requerido pelo motorista. Uma relação de marchas pode ser definida como a relação entre os diâmetros de duas engrenagens uma ligada ao motor e a outra às rodas. Quanto maior essa relação, maior a multiplicação da força do motor em detrimento à sua rotação. A relação de primeira marcha é geralmente a maior para possibilitar o movimento inicial do veículo a partir do repouso. Assim para uma relação de primeira marcha da ordem de 4:1, a força gerada pelo motor é multiplicada por 4. Ao mesmo tempo, se tivermos uma rotação do motor de 2000 rotações por minuto, a rotação na segunda engrenagem será de 500 rotações por minuto.

Considerando que todo motor tem um limite máximo de rotação, ao atingirmos essa rotação é necessário trocarmos de marcha para uma relação menor e assim continuarmos a aumentar a velocidade do veículo.

As caixas de transmissão atuais apresentam geralmente 5 ou 6 marchas à frente e uma para trás.

O sistema de controle manual é responsável por transmitir os movimentos realizados na alavanca de controles pelo motorista até a caixa de transmissão para a seleção e engate da marcha desejada.

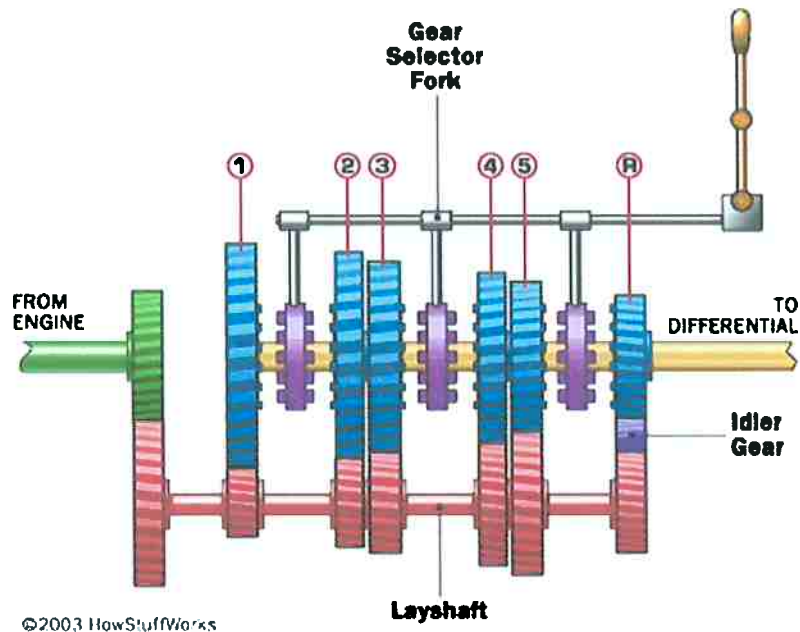


Figura 24 – Sistema de controle e caixa de transmissão (Howstuffworks, 2007).

Os sistemas mais comuns de controle manual de transmissões veiculares podem ser resumidos a três tipos principais: acionamento por cabos, acionamento por varão e trambulador, e acionamento direto.

O acionamento por cabos e o acionamento por varão ou varões e trambulador são dois sistemas muito parecidos podendo ser o sistema por cabos considerado uma evolução do sistema por varão (ões). Ambos são sistemas remotos de acionamento do mecanismo de troca de marchas da transmissão sendo responsáveis por transmitir os movimentos realizados pelo motorista até a caixa de transmissão geralmente localizada longe do motorista. Esses sistemas são geralmente aplicados em veículos onde o conjunto motor é instalado transversalmente ao eixo longitudinal do veículo e podem ser instalados junto da coluna do volante de direção, no assoalho do veículo entre os dois bancos dianteiros ou mesmo no centro do painel do veículo.

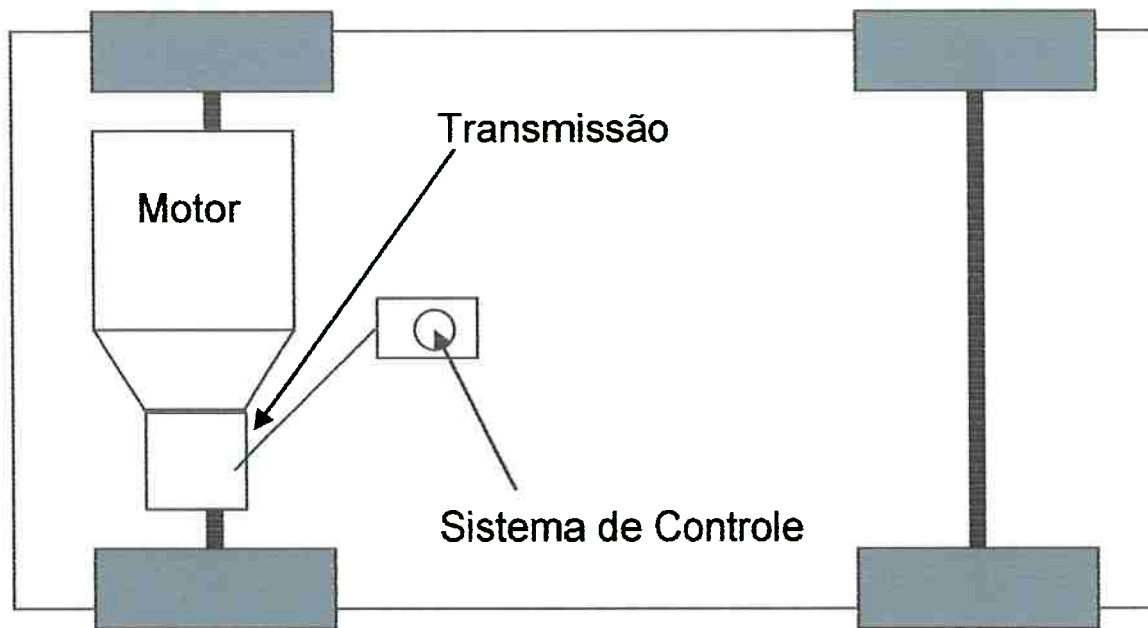


Figura 25 – Montagem transversal do conjunto motor e transmissão

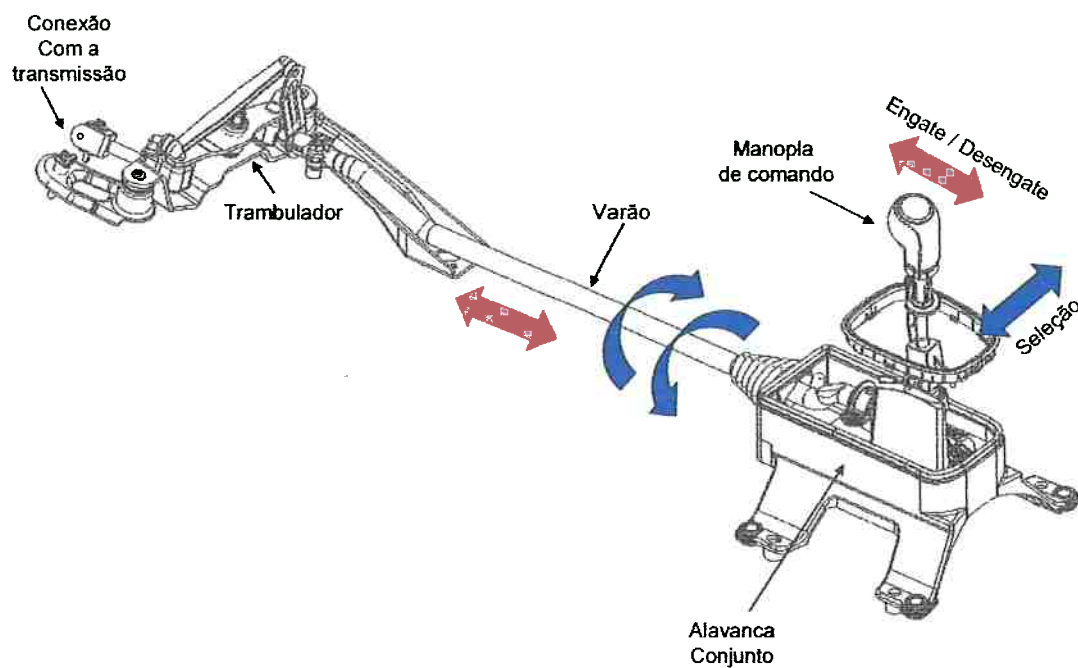


Figura 26 – Sistema de acionamento por varão e trambulador; montagem no assoalho.

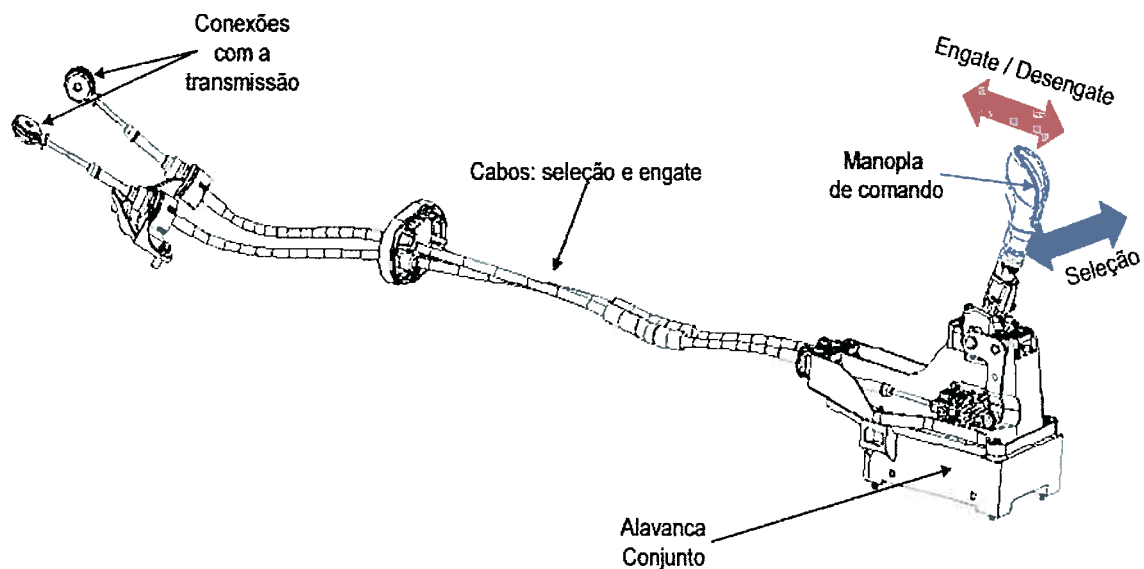


Figura 27 – Sistema de acionamento por cabos; montagem no assoalho.

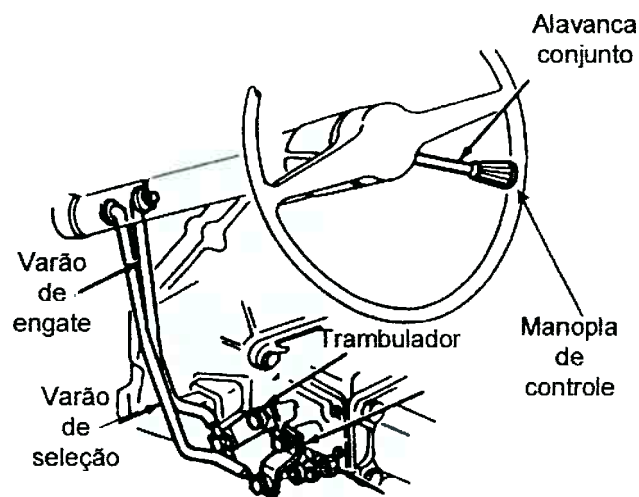


Figura 28 – Sistema de acionamento por varões; montagem junto ao volante de direção.

O acionamento direto está associado a conjuntos de motor e transmissão montados longitudinalmente no veículo onde a transmissão, ou parte dela, fica próximo ao motorista e a alavanca de comando conecta diretamente os movimentos executados pelo motorista aos movimentos internos à transmissão.

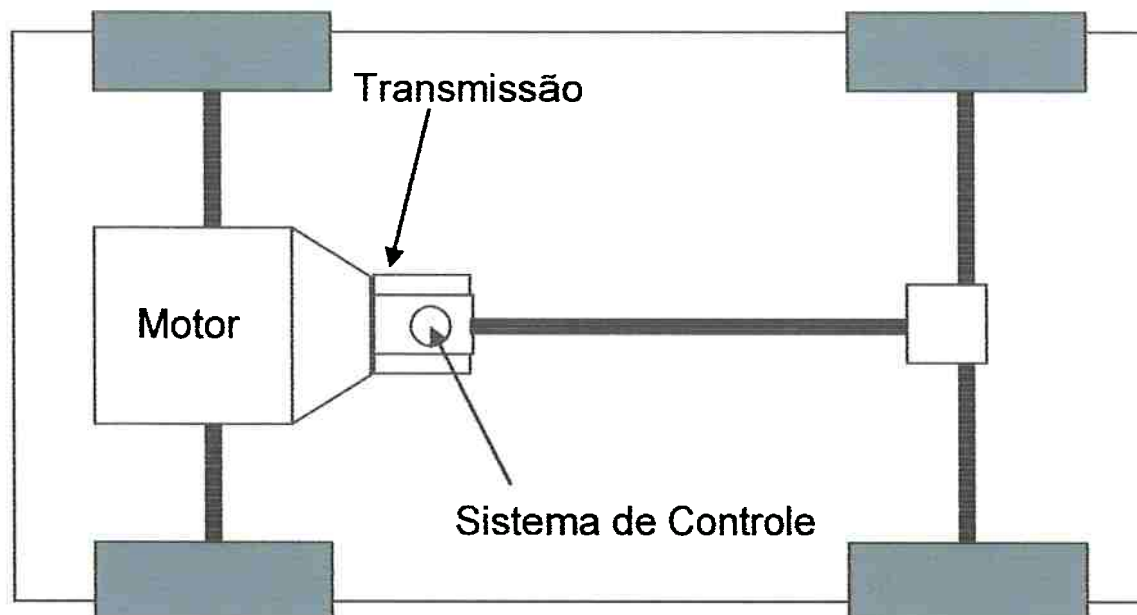


Figura 29 – Montagem longitudinal do conjunto motor e transmissão



Figura 30 – Caixa de transmissão e sistema de controle direto (Fuller Eaton, 2007).

Todos os sistemas de controle manual aqui apresentados transmitem a movimentação e a força da alavanca para o interior da transmissão. Os movimentos exercidos para uma alavanca montada no assoalho são: quase horizontais no sentido longitudinal (X) para frente e para trás e quase horizontais no sentido transversal (Y) para esquerda e para direita. A trajetória definida pela movimentação pelas diversas marchas define o que é conhecido como H de marchas.

Consideramos quase horizontal a movimentação, pois a manopla da alavanca percorre uma superfície curva conforme a figura 32.

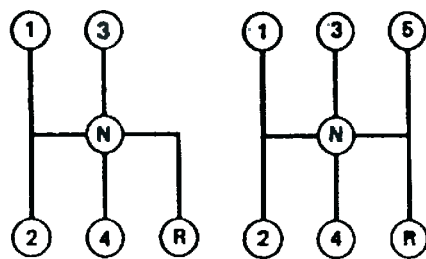


Figura 31 – Exemplos de H de marchas para uma transmissão de 4 marchas e uma de 5 marchas

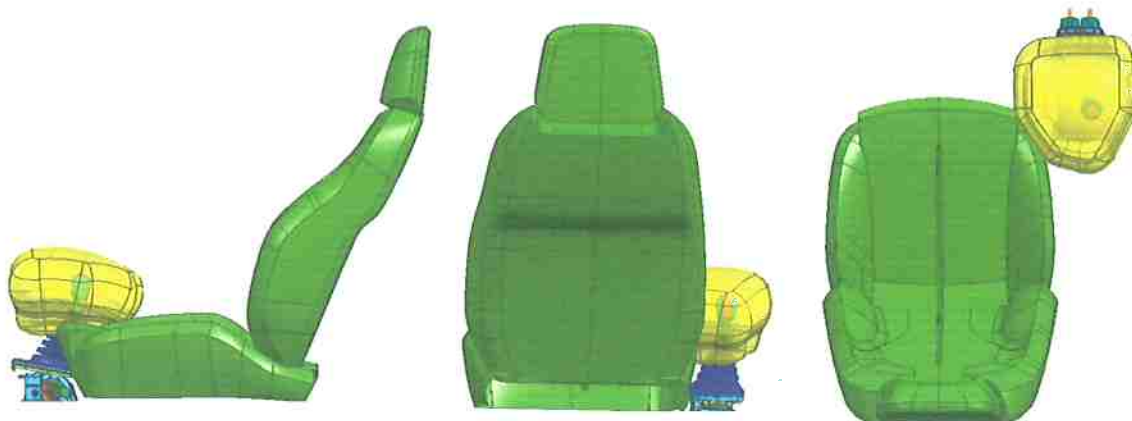


Figura 32 – Superfície criada pelas diversas posições da manopla da alavanca

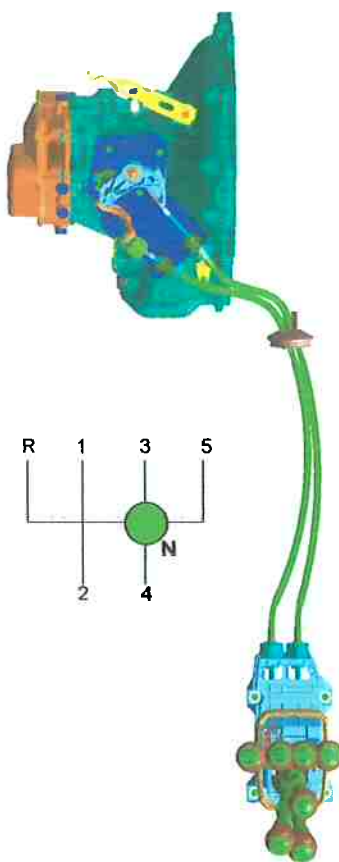


Figura 33 – Sistema de controle por cabos – alavanca nas diversas posições do H de marchas

A força exercida pelo motorista durante o movimento de engate de marchas na direção (X) para frente e para trás é resultado principalmente do funcionamento do sistema de sincronização interno à transmissão (sistema que permite as trocas de marchas nas mais diversas velocidades do veículo com menores esforços de acionamento), e de contribuições menores provenientes de cargas de molas, atrito, e deformação elástica de componentes do sistema. A força necessária para a ativação pode então somente ser alterada através de mudanças técnicas internas à caixa de transmissão, redução do atrito entre as peças do sistema de acionamento, e/ou pela modificação da relação de alavanca geralmente existente em algum ponto do sistema de controle. O deslocamento na mesma direção também é resultado do dimensionamento dos componentes de sincronização da caixa de transmissão. Esse texto objetiva determinar valores de força e deslocamento máximo e mínimo considerados confortáveis pelo ponto de vista do usuário desconsiderando as modificações técnicas necessárias nos componentes da caixa de transmissão.

O sistema de sincronização é o sistema com maior contribuição no esforço percebido pelo motorista durante o engate. A força requerida é utilizada pelo sistema de sincronização para equalizar as velocidades entre as peças girantes dentro da transmissão durante uma troca de marchas. Essa força é proporcional à força normal aplicada entre os cones de sincronização e responsável pela força atrito que funciona como um freio equalizando as velocidades entre a engrenagem e a luva de engate.

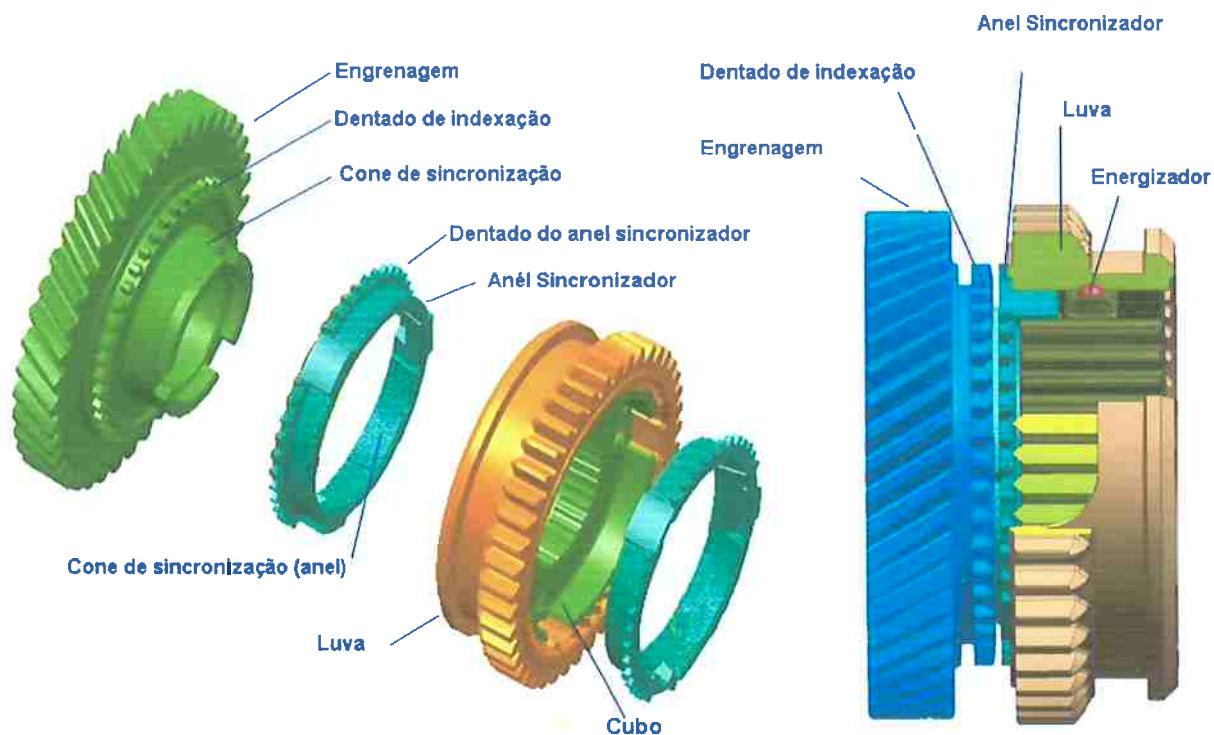


Figura 34 – Componentes do sistema de sincronização

A troca de marchas ocorre através da movimentação da alavanca que por sua vez amplifica a força e reduz o deslocamento através de uma relação de alavanca e movimenta a luva de engate dentro da transmissão. Conforme o deslocamento da luva no interior da transmissão, uma etapa do engate é percorrida. Na figura 35 apresentamos alguma etapas principais do processo de troca de marchas: neutro, pré-sincronização, sincronização principal, liberação do anel sincronizador, alinhamento para a indexação, indexação e final do engate.

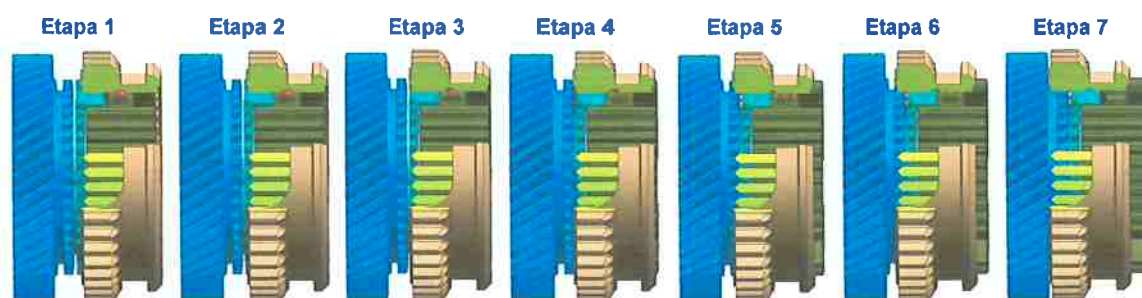


Figura 35 – Etapas do processo de troca de marchas e sincronização

A cada etapa do processo de troca de marchas, um perfil de força na alavanca é observado. A figura 36 apresenta um perfil de força por deslocamento na direção do

engate e a diferença de rotação das peças girantes. Esse perfil de força será semelhante entre os diferentes projetos de transmissão, mas terão valores diferentes.

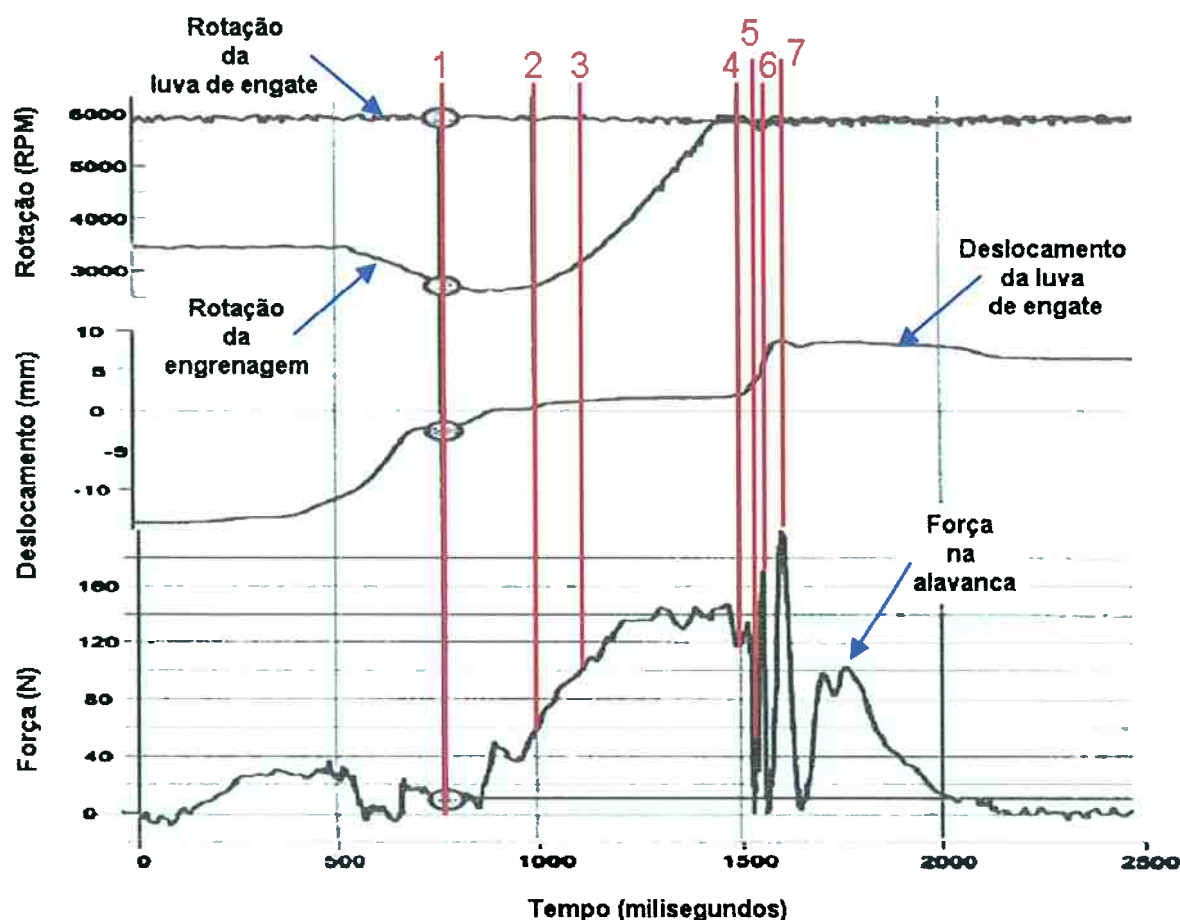


Figura 36 – Força, deslocamento e rotação durante as etapas 1 a 7 do processo de troca de marchas e sincronização.

A força exercida pelo motorista durante o movimento de seleção de marchas na direção (Y) para esquerda e para direita é gerada geralmente por molas presentes no próprio sistema de controle ou internamente à caixa de transmissão para que a alavanca volte para a posição de neutro (posição central) quando não em uso. Essa força pode ser calibrada através da seleção de molas que atendam o requisito de retorno assim como o conforto do motorista. O deslocamento na mesma direção é resultado do projeto da caixa de transmissão e da relação de alavanca utilizado. Novamente, esse texto objetiva determinar valores de força e deslocamento máximo e mínimo considerados confortáveis pelo ponto de vista do usuário desconsiderando as modificações técnicas necessárias nos componentes da caixa de transmissão.

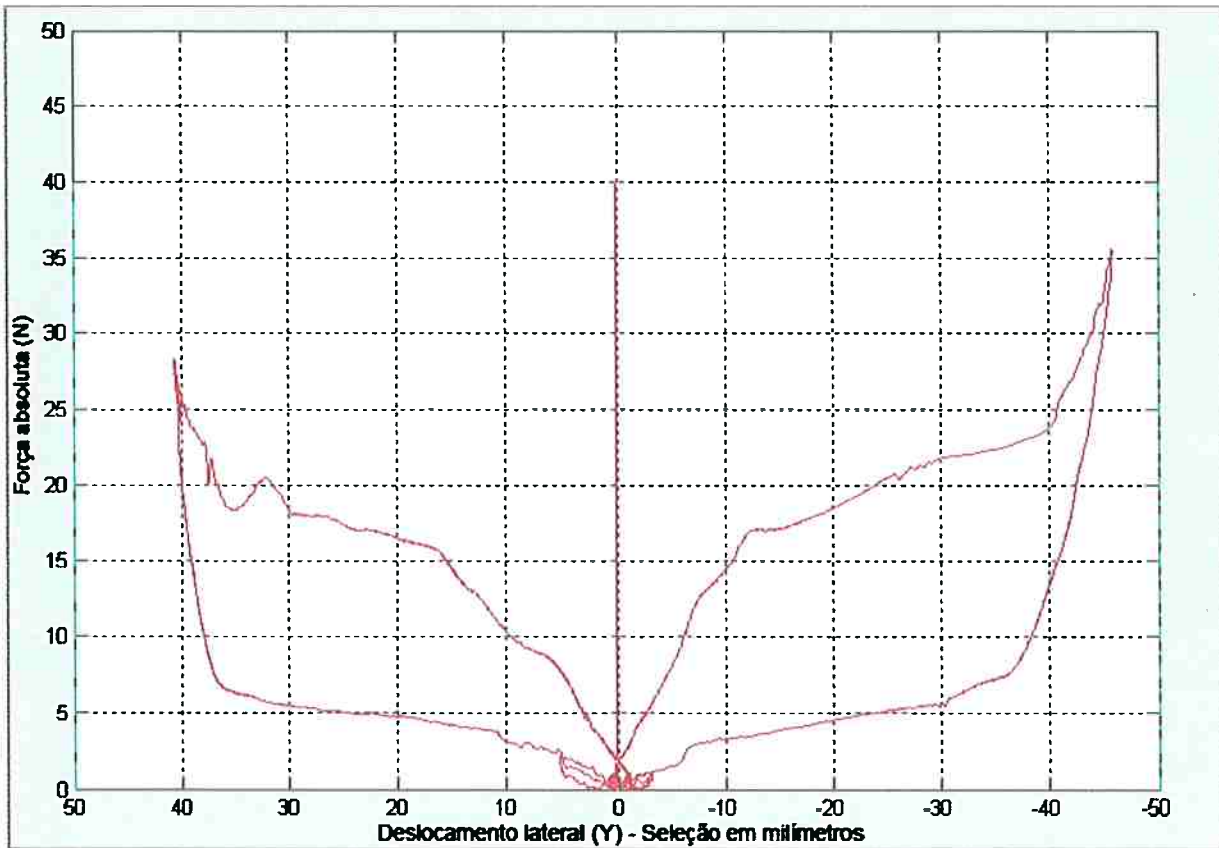


Figura 37 – Exemplo de gráfico de força lateral (Y) pelo deslocamento lateral da alavanca na posição de neutro

Como parte da análise de forças será discutido também o perfil da força exercido em comparação com o deslocamento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. PESQUISA DE MERCADO

O primeiro passo da análise das necessidades do usuário utilizou uma pesquisa simples que visa entender os principais itens analisados pelo motorista e consiste em três perguntas idealizadas para obter como resposta todas e quaisquer tipos de análises feitas pelo usuário e seu grau de importância. Nessa etapa considerou-se que o mesmo não possui conhecimentos técnicos. A figura 38 apresenta a ficha utilizada na pesquisa.

Alavanca de Câmbio - Pesquisa	
Sexo:	Idade:
	Carro que possui:
O que você considera importante em uma alavanca de câmbio?	
Como você analisaria se o funcionamento da alavanca é bom ou ruim?	
Qual a importância que você dá para cada um desses itens (de 1 a 5 sendo 5 o mais importante - pode repetir)	
Item	Peso

Figura 38 – Ficha de pesquisa – Análise do sistema de controle na percepção do usuário

Os resultados da primeira pesquisa, onde 27 motoristas não técnicos participaram, foram agrupados em requisitos de forma a considerar todos os itens de alta importância e também os que apareceram em maior frequência. Utilizou-se os agrupamentos em requisitos para a formulação de uma nova ficha de pesquisa para

o levantamento de dados subjetivos junto a veículos específicos. A figura 39 apresenta a ficha utilizada nessa nova etapa da pesquisa.

QUESTIONÁRIO PARA A CLÍNICA DE SHIFTING						
NOME: _____						
IDADE: _____		SEXO: _____		ALTURA: _____		
CARRO QUE POSSUI OU DIRIGE: _____						
CARRO AVALIADO: _____						
INSTRUÇÃO: MARCAR COM UM "X" A OPINIÃO SOBRE O ITEM AVALIADO						
		RUIIM			BOM	
		1	2	3	4	5
FUNCIONAL	- TER BOA FORÇA DE ENGATE					
	- TER BOA FORÇA DE SELEÇÃO					
	- TER PRECISÃO NO ENGATE					
	- DEVE TER ENGATE MACIO SEM TRANCOS					
	- TER A ALAVANCA SEM VIBRAÇÃO					
ERGONOMIA	- TER BOA ALTURA DE ALAVANCA					
	- TER BOM CURSO DE ENGATE					
	- TER BOM CURSO DE SELEÇÃO					
DESIGN	- TER BOA POSIÇÃO NO CARRO					
	- TER BOM ACABAMENTO					
	- TER BOA APARÊNCIA					
	- TER A MANOPLA COM BOM TAMANHO E FORMATO					
OUTROS	- TER GRAVAÇÃO DO DISPLAY BEM CLARA					
	- SER FACIL DE LIMPAR					
	- OPINIÃO SOBRE O MATERIAL DA MANOPLA (TATO)					
	- TER MATERIAIS RESISTENTES (PERCEPÇÃO)					
OBSERVAÇÕES E COMENTÁRIOS:						

Figura 39 – Ficha de pesquisa focada em análise subjetiva de veículo específico

Para a realização da pesquisa utilizando-se a ficha apresentada na figura 39, foi necessário definir os veículos a serem estudados dentre os diferentes veículos disponíveis no mercado.

Para essa definição foi considerado o segmento de maior participação no mercado em 2006: o mercado dos veículos considerados populares (veículos de passeio que apresentam motores com deslocamento volumétrico até 1,0 litro). Esse mercado representou 35,3% de toda a produção da indústria automobilística do Brasil considerando veículos de passeio e comerciais leves. A produção total de veículos foi de 2,29 milhões de unidades. Considerando-se somente os veículos de passeio, onde a produção total brasileira foi de 1,96 milhões, esse segmento representou 41,1% da produção. Dados da ANFAVEA, 2006.

Dentro desse segmento estão disponíveis 30 diferentes versões de veículos. Para se delimitar o espaço de pesquisa e possibilitarmos a execução do estudo, escolheu-se então os três veículos mais vendidos e projetos mais recentes com menos de 10 anos. Para se preservar a identidade dos veículos nos resultados dos testes, medições e respostas da pesquisa passaremos a nos referir a esses veículos como A, B e C.

A partir de uma outra pesquisa de mercado, executada por uma empresa de consultoria do setor, escolheu-se o último participante do estudo. Essa pesquisa de mercado entrevista os principais motoristas de veículos de todas as marcas e modelos após 2 meses de uso do mesmo. A entrevista baseia-se em perguntas que instigam os motoristas a reclamar ou fazer observações sobre os mais diversos sistemas embarcados no veículo assim como do sistema de controle da caixa de transmissão. As reclamações e observações, chamadas na pesquisa como verbalizações dos clientes, são então anotadas e categorizadas de maneira semelhante a ficha de pesquisa da figura 39, contabilizadas e consolidadas em gráficos e tabelas. A pesquisa utiliza amostragem de modelos conforme vendas no mercado.

O resultado da pesquisa apresenta dados na forma de problemas por cem veículos produzidos (PPH) e logo o menor valor significa o melhor produto. Assim escolheu-se o veículo nacional com menor PPH no quesito referente ao sistema de controle da caixa de transmissão para participar no estudo. Deve-se considerar que esse veículo apresenta o menor total de PPH no quesito, mas não necessariamente o

menor índice para cada item analisado. Iremos nos referir a esse veículo como veículo D. Essa pesquisa apresenta também o veículo A como pior de sua categoria. Como última etapa de nossa pesquisa de mercado, 8 motoristas não técnicos avaliaram os 4 veículos e responderam o questionário da figura 39.

3.2. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

O equipamento utilizado para a aquisição dos dados de esforço, deslocamento e posicionamento da alavanca nos veículos em estudo é um equipamento desenvolvido exclusivamente para a aquisição e análise de dados do sistema de troca de marchas de veículos. O fornecedor do equipamento é um conceituado desenvolvedor de sistemas de motor e transmissão do Reino Unido chamado Ricardo. O equipamento conhecido como Ricardo GSQA ou Gear Shift Quality Analysis é composto por uma manopla instrumentada, um braço de medição, um suporte, conversor analógico-digital, um microcomputador portátil e um programa de computador para a aquisição e análise dos dados.

A instalação do sistema exige somente a remoção da manopla original e sua substituição temporária pela manopla instrumentada do equipamento. As compensações necessárias na altura da alavanca devido a possível diferença entre a manopla original e a do equipamento são feitas através da calibração do equipamento de aquisição via microcomputador.

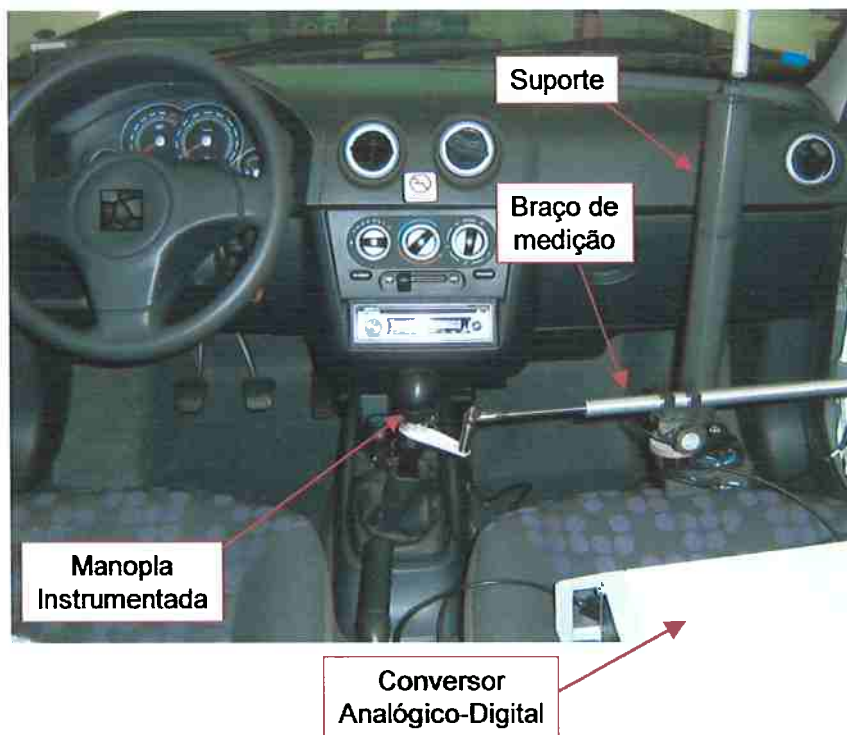


Figura 40 – Equipamento de aquisição instalado no veículo



Figura 41 – Potenciômetro angular



Figura 42 – Potenciômetro linear



Figura 43 – Manopla instrumentada com células de carga

A manopla instrumentada consiste em uma manopla modificada para adaptação em diferentes alavancas e em seu núcleo, células de carga foram posicionadas de forma a medirem as forças atuantes nas três direções. O braço de medição possui em sua conexão com o suporte um potenciômetro linear para a medição dos deslocamentos lineares e um outro potenciômetro para os deslocamentos angulares do braço de medição.

As informações de força e deslocamentos são medidas simultaneamente e no domínio do tempo. Através do programa de interface é possível visualizar em modo gráfico esses deslocamentos e forças para a análise final dos dados.

As medições referentes às possíveis posições do ponto H e suas referências no veículo seguiram as dimensões definidas pela recomendação prática SAE J1100 (2005). No entanto a falta de disponibilidade do equipamento correto definido pela norma SAE J826, (2002) obrigou o uso de referências físicas externas ao veículo para a medição através de réguas e trenas.



Figura 44 – Equipamento de medição de ponto H conforme SAE J826



Figura 45 – Localização do ponto H

O uso de referências externas para a medição através de régua e trena adiciona um erro nas medições, pois não considera o peso do motorista e a deformação causada ao assento devido ao seu peso. Esse erro é da ordem de 10 a 20 mm (na direção Z) dependendo do peso do motorista e da espuma do assento. Os resultados das medições desse trabalho consideram um ajuste de 15 mm na direção Z para a definição das posições do ponto H.

4. RESULTADOS

A pesquisa junto a clientes apresentou o resultado que pode ser visto nas figuras a seguir:

RESULTADO PESQUISA - SISTEMA DE CONTROLE DE CAIXA DE TRANSMISSÃO												
ITEM	VEÍCULO	NOTAS								MÉDIA	VARIÇÃO	COMPARAÇÃO
		A	M	Q	S	P	A	L	T			
BOA FORÇA DE ENGATE	A	5	3	5	4	5	5	5	5	4.57	0.787	
	B	2	3	4	4	4	3	4	4	3.50	0.758	
	D	5	3	5	4	3	4	5	4	4.13	0.835	
	C	5	1	4	4	-	4	4	4	3.71	1.254	
BOA FORÇA DE SELEÇÃO	A	4	3	4	4	4	3	5	5	3.86	0.690	
	B	3	5	4	4	4	3	3	4	3.75	0.707	
	D	5	3	5	4	3	4	5	4	4.13	0.835	
	C	4	4	4	3	-	4	3	4	3.71	0.488	
PRECISÃO NO ENGATE	A	3	5	5	4	5	5	5	5	4.57	0.787	
	B	4	4	4	2	5	4	5	4	4.00	0.926	
	D	5	4	5	5	5	5	5	4	4.75	0.463	
	C	5	2	5	4	-	4	5	4	4.14	1.069	
ENGATE MACIO SEM TRANCOS	A	3	3	4	3	4	5	4	4	3.71	0.756	
	B	1	2	4	3	4	3	2	3	2.75	1.035	
	D	4	1	5	4	5	4	5	4	4.00	1.309	
	C	2	1	4	3	-	4	2	3	2.71	1.113	
SER SILENCIOSA	A	3	1	5	3	4	4	5	5	3.57	1.397	
	B	4	3	5	3	3	3	3	3	3.38	0.744	
	D	3	1	5	4	3	3	5	4	3.50	1.309	
	C	2	1	4	3	-	3	3	3	2.71	0.951	
ALAVANCA SEM VIBRAÇÃO	A	5	5	5	4	5	5	4	4	4.71	0.488	
	B	5	5	5	4	5	5	4	4	4.63	0.518	
	D	5	4	5	4	5	4	5	4	4.50	0.535	
	C	5	4	5	4	-	5	5	4	4.57	0.535	

Legenda
 A
 B
 D
 C

Figura 46 – Resultado da pesquisa – itens considerados como funcionais pelos motoristas da avaliação

RESULTADO PESQUISA - SISTEMA DE CONTROLE DE CAIXA DE TRANSMISSÃO												
ITEM	VEÍCULO	NOTAS								MÉDIA	VARIÇÃO	COMPARAÇÃO
		A	M	Q	S	P	A	L	T			
BOA ALTURA DE ALAVANCA	A	5	5	5	4	4	5	5	5	4.71	0.488	
	B	5	5	5	4	4	5	5	4	4.63	0.518	
	D	5	3	5	4	4	4	5	4	4.25	0.707	
	C	5	4	5	4	-	4	5	5	4.57	0.535	
BOM CURSO DE ENGATE	A	3	4	3	3	4	4	4	4	3.57	0.535	
	B	1	4	4	3	4	3	3	3	3.13	0.991	
	D	5	5	5	4	4	4	5	4	4.50	0.535	
	C	5	5	4	4	-	3	5	4	4.29	0.756	
BOM CURSO DE SELEÇÃO	A	4	4	5	3	5	4	5	5	4.29	0.756	
	B	5	5	4	3	4	3	3	3	3.75	0.888	
	D	5	5	5	4	4	4	4	3	4.25	0.707	
	C	4	5	4	4	-	4	5	4	4.29	0.488	
BOA POSIÇÃO NO CARRO	A	5	5	5	4	3	5	5	5	4.57	0.787	
	B	4	5	4	4	3	5	4	3	4.00	0.756	
	D	5	5	5	4	4	5	5	3	4.50	0.756	
	C	1	3	4	4	-	4	5	4	3.57	1.272	

Legenda
 A
 B
 D
 C

Figura 47 – Resultado da pesquisa – itens considerados como relacionados a ergonomia pelos motoristas da avaliação

RESULTADO PESQUISA - SISTEMA DE CONTROLE DE CAIXA DE TRANSMISSÃO													
ITEM	VEÍCULO	NOTAS								MÉDIA	VARIÇÃO	COMPARAÇÃO	
		A	M	Q	S	P	A	L	T				
BOM ACABAMENTO	A	5	5	5	4	4	4	4		4.43	0.535	☆ ○ □	
	B	5	5	3	3	2	2	3	2	3.13	1.246		
	D	5	4	5	4	5	4	5	5	4.63	0.518		
	C	1	1	4	3	-	2	3	2	2.29	1.113		
BOA APARÊNCIA	A	4	5	5	4	4	4	3		4.14	0.690	☆ □	
	B	3	4	2	3	2	2	2	2	2.50	0.756		
	D	5	4	5	4	5	4	5	4	4.50	0.535		
	C	1	1	4	3	-	2	3	2	2.29	1.113		
FORMATO-TAMANHO DA MANOPLA	A	5	5	3	4	5	5	5		4.57	0.787	☆ □	
	B	5	5	5	4	2	3	4	2	3.75	1.282		
	D	4	2	5	4	4	4	3	3	3.63	0.916		
	C	2	4	5	3	-	4	5	4	3.86	1.069		
GRAVAÇÃO DO DISPLAY BEM CLARA	A	5	2	5	5	5	4	5		4.43	1.134	☆ □	
	B	5	5	2	3	2	2	5	2	3.25	1.488		
	D	4	3	3	4	4	4	5	3	3.75	0.707		
	C	3	1	2	2	-	2	4	2	2.29	0.951		

Legenda



Figura 48 – Resultado da pesquisa – itens considerados como aparência e design pelos motoristas da avaliação

RESULTADO PESQUISA - SISTEMA DE CONTROLE DE CAIXA DE TRANSMISSÃO													
ITEM	VEÍCULO	NOTAS								MÉDIA	VARIÇÃO	COMPARAÇÃO	
		A	M	Q	S	P	A	L	T				
SER FACIL DE LIMPAR	A	3	4	4	3	2	3	2		3.00	0.816	☆ □	
	B	3	5	3	4	3	2	1	4	3.13	1.246		
	D	4	2	3	4	3	3	2	5	3.25	1.035		
	C	3	5	5	2	-	4	1	3	3.29	1.496		
MATERIAL DA MANOPLA (TATO)	A	5	5	4	4	4	4	4		4.29	0.488	☆ □	
	B	3	5	3	4	3	3	4	2	3.38	0.916		
	D	5	2	4	4	3	4	4	5	3.88	0.991		
	C	1	3	5	3	-	2	3	2	2.71	1.254		
MATERIAIS RESISTENTES (PERCEPÇÃO)	A	5	5	5	2	5	4	4		4.29	1.113	☆ □	
	B	4	5	5	3	4	2	4	3	3.75	1.035		
	D	4	5	5	4	4	3	4	5	4.25	0.707		
	C	2	2	5	2	-	2	3	5	3.00	1.414		

Legenda



Figura 49 – Resultado da pesquisa – itens considerados como outros pelos motoristas da avaliação

Após a avaliação dos veículos pelos 8 motoristas não técnicos, os mesmos veículos foram avaliados por engenheiros especializados em sistemas de acionamento de uma grande montadora de veículos no Brasil considerando os requisitos importantes pela engenharia.

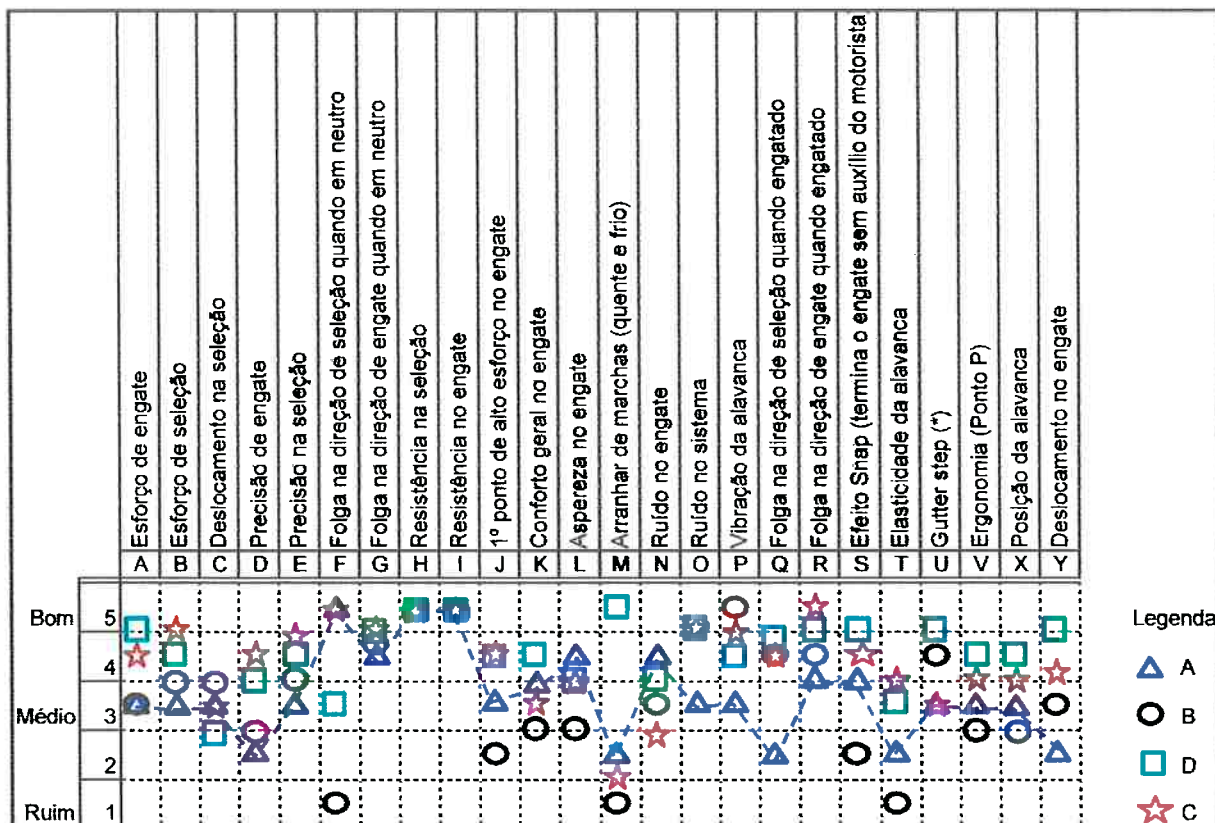


Figura 50 – Resultado da pesquisa – avaliação de especialistas nos requisitos da engenharia

4.1. CASA DA QUALIDADE

A associação das avaliações dos motoristas não técnicos com as avaliações dos especialistas permite a construção da matriz da casa da qualidade. Para se completar a matriz é necessário o julgamento sobre as possíveis interações existentes entre os requisitos dos usuários e os requisitos da engenharia. Além disso, é necessário também julgar as possíveis interações entre diferentes requisitos.

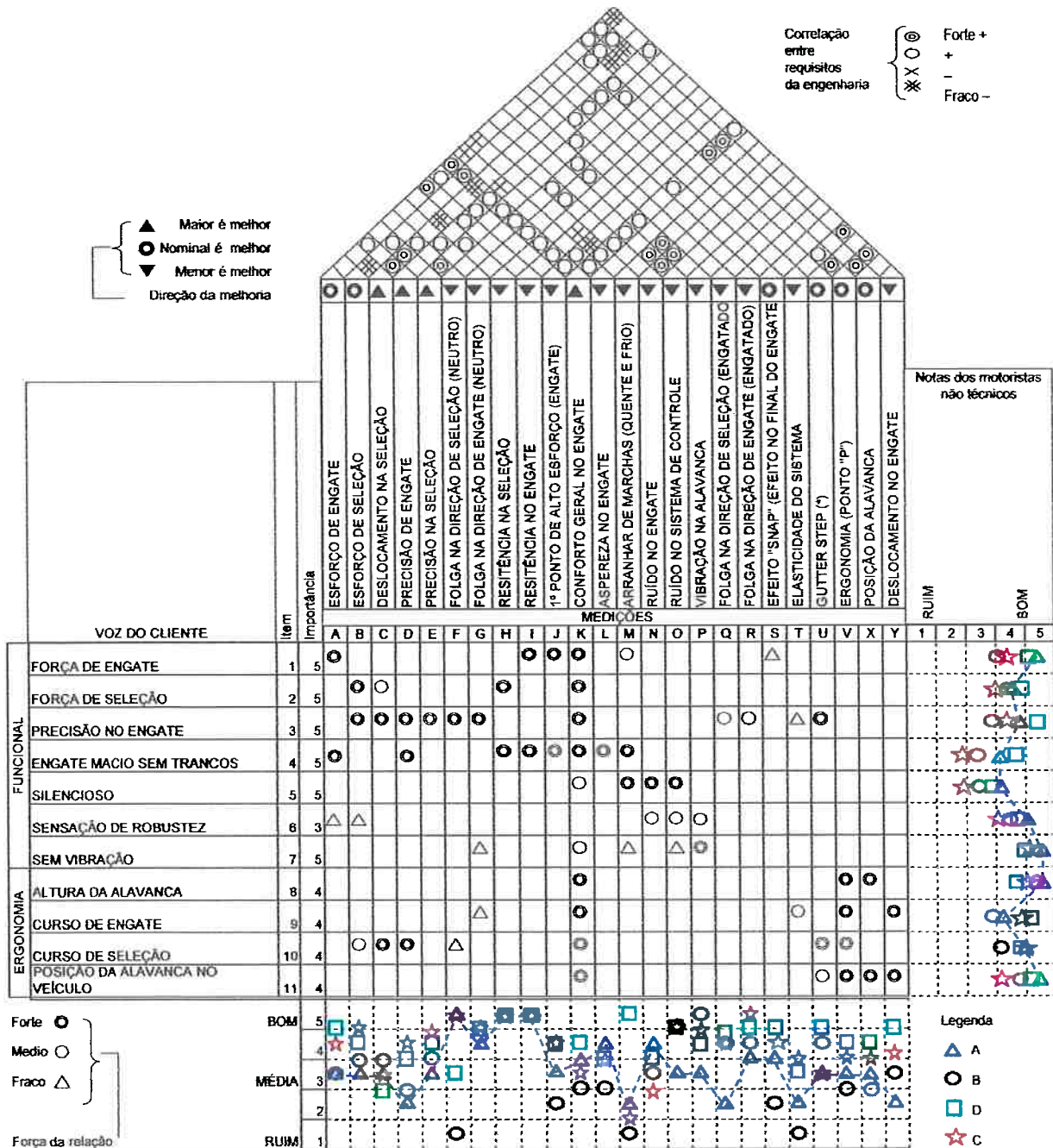
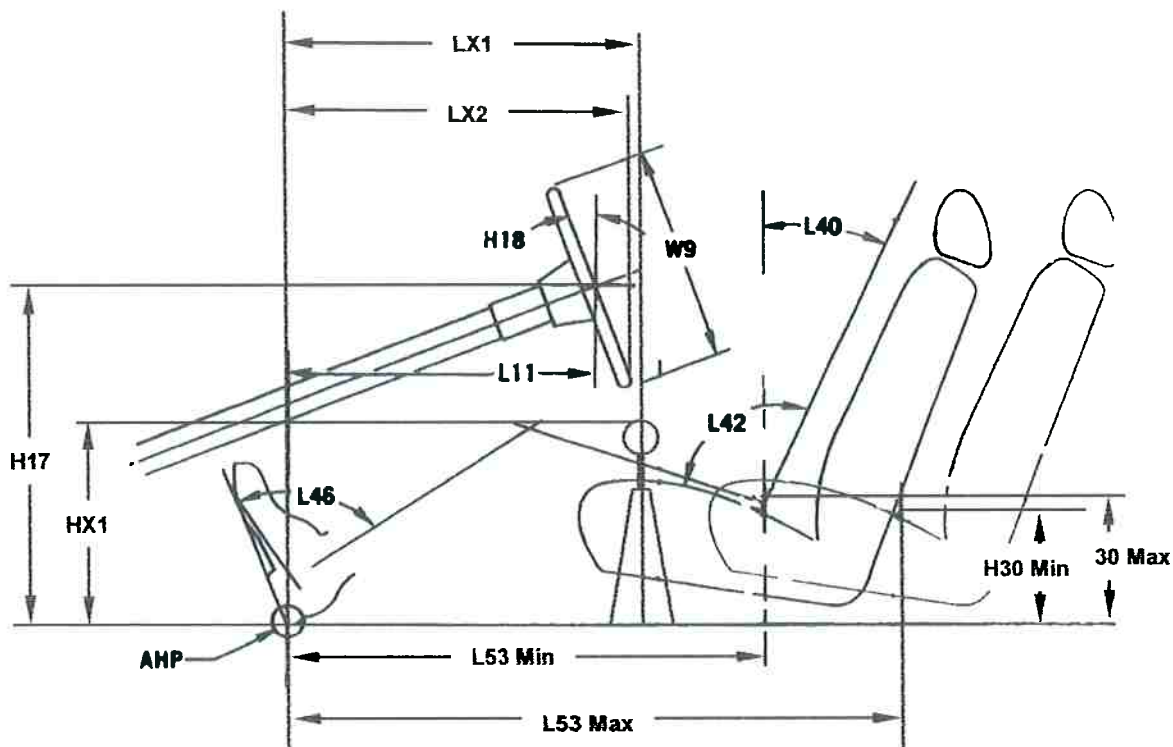


Figura 51 – Matriz da casa da qualidade

4.2. MEDIÇÕES OBJETIVAS

Nesse capítulo são apresentadas as medidas obtidas dos veículos A, C e D. O veículo B não pode ser medido devido a não disponibilidade do mesmo durante a realização desse trabalho.

4.2.1. Posicionamento do ponto H e da alavanca



		Veículo						
		A		C		D		
Posição Banco	Unidade	min	max	min	max	min	max	
Dimensão	LX1	mm	450		410		400	
	LX2	mm	450		390		425	
	L11	mm	347.54		258.2		332	
	L40	graus	15		15		15	
	L42	graus	100		100		100	
	L46	graus	100		100		100	
	L53	mm	710	900	660	900	680	900
	HX1	mm	415		465		435	
	H17	mm	620		718		660	
	H18	graus	40		28.5		30.1	
	H30	mm	250	240	335	325	290	270
	W9	mm	380		370		370	

Fator de Empacotamento	Gmin	-0.105094	Gmin	0.23248	Gmin	-0.05194
Cálculo de HR	HRmin	796.404306	HRmin	762.98448	HRmin	791.14206
Verificação da condição	HR-L53min	86.404306	HR-L53min	102.98448	HR-L53min	111.14206
	Condição	B	Condição	B	Condição	B

Fator de Empacotamento	Gmax	-0.123094	Gmax	0.21448	Gmax	-0.08794
Cálculo de HR	HRmax	798.186306	HRmax	764.76648	HRmax	794.70606
Verificação da condição	HR-L53max	-101.81369	HR-L53max	-135.23352	HR-L53max	-105.29394
	Condição	A	Condição	A	Condição	A

Figura 52 – Dimensões dos veículos analisados e condições para o cálculo

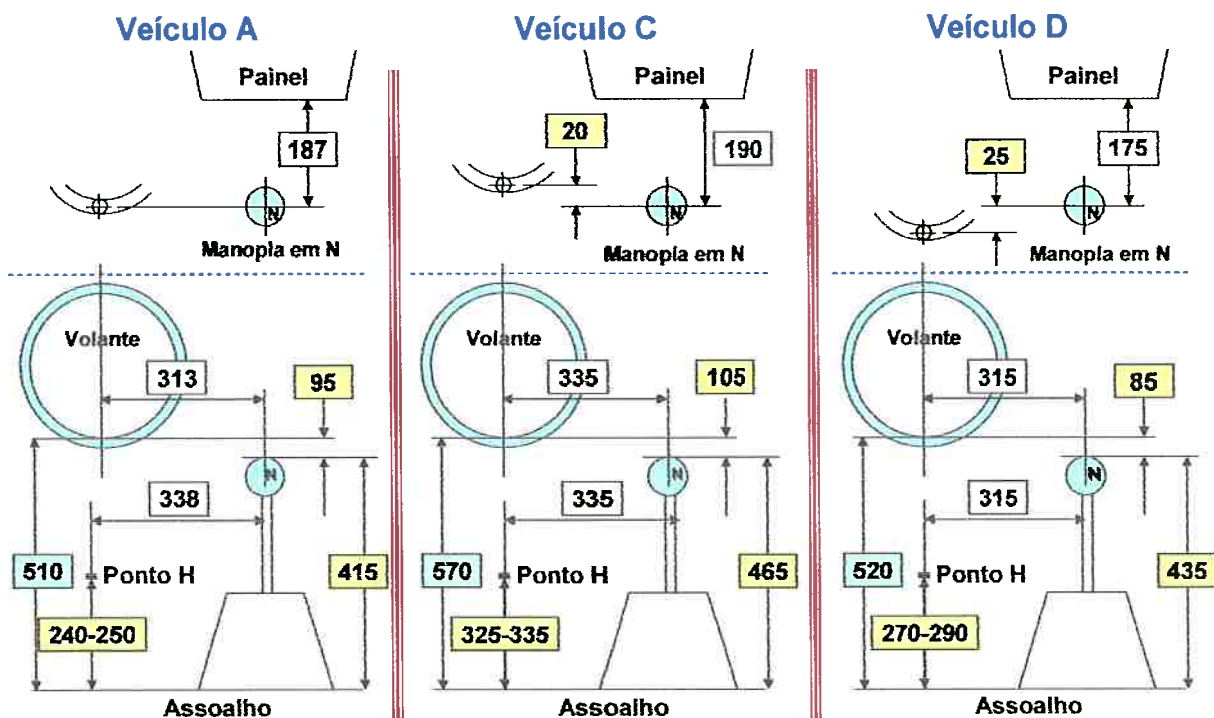


Figura 53 – Dimensões dos veículos analisados - continuação

Com os dados medidos é possível verificar se a prática recomendada pela norma é atendida. As tabelas de referência para o fator de empacotamento G encontrado e as condições de cálculo (A ou B) resultam nos dados das tabelas 11 e 12. As tabelas de referência se encontram no apêndice A desse texto. Os valores da distância do centro do motorista à manopla de comando considera a posição da marcha engatada. Para isso foram utilizados os dados apresentados no próximo capítulo.

Condição A

		Veículo A	Veículo C	Veículo D
Posição 1a.Marcha (45N)				
Distância ao centro do motorista (Y)	mm	298	295	275
Diferença de altura do ponto H à alavanca (Z)	mm	170	135	155
LX1	mm	300	310	325
Alcance Tabela norma J287 (50/50)	mm	585.5	557	582
Alcance Tabela norma J287 (75/25)	mm	593	580	587
Alcance Tabela norma J287 (90/10)	mm	602	592	598
Distância à Manopla	mm	498.2	454.8	469.7
Posição 3a. Marcha (45N)				
Distância ao centro do motorista (Y)	mm	338	335	315
Diferença de altura do ponto H à alavanca (Z)	mm	170	135	155
LX1	mm	300	310	325
Alcance Tabela norma J287 (50/50)	mm	552	544	554
Alcance Tabela norma J287 (75/25)	mm	580	572	581
Alcance Tabela norma J287 (90/10)	mm	591	583	593
Distância à Manopla	mm	498.2	454.8	469.7
Posição 5a. Marcha (45N)				
Distância ao centro do motorista (Y)	mm	388	390	355
Diferença de altura do ponto H à alavanca (Z)	mm	170	135	155
LX1	mm	310	330	340
Alcance Tabela norma J287 (50/50)	mm	529	520	545
Alcance Tabela norma J287 (75/25)	mm	553	540	585
Alcance Tabela norma J287 (90/10)	mm	563	550	576
Distância à Manopla	mm	488.2	434.8	454.7

Figura 54 – Resultado das análises de alcance para a condição A

Condição B				
		Veículo A	Veículo C	Veículo D
		Posição 1a. Marcha (45N)	Posição 1a. Marcha (45N)	Posição 1a. Marcha (45N)
Distância ao centro do motorista (Y)	mm	298	295	275
Diferença de altura do ponto H à alavanca (Z)	mm	170	135	155
LX1	mm	300	310	325
Alcance Tabela norma J287 (50/50)	mm	565.5	557	562
Alcance Tabela norma J287 (75/25)	mm	593	580	587
Alcance Tabela norma J287 (90/10)	mm	602	592	598
Distância à Manopla	mm	410.0	350.0	355.0

		Posição 3a. Marcha (45N)	Posição 3a. Marcha (45N)	Posição 3a. Marcha (45N)
Distância ao centro do motorista (Y)	mm	338	335	315
Diferença de altura do ponto H à alavanca (Z)	mm	170	135	155
LX1	mm	300	310	325
Alcance Tabela norma J287 (50/50)	mm	565.5	557	562
Alcance Tabela norma J287 (75/25)	mm	593	580	587
Alcance Tabela norma J287 (90/10)	mm	602	592	598
Distância à Manopla	mm	410.0	350.0	355.0

		Posição 5a. Marcha (45N)	Posição 5a. Marcha (45N)	Posição 5a. Marcha (45N)
Distância ao centro do motorista (Y)	mm	388	390	355
Diferença de altura do ponto H à alavanca (Z)	mm	170	135	155
LX1	mm	310	330	340
Alcance Tabela norma J287 (50/50)	mm	565.5	557	562
Alcance Tabela norma J287 (75/25)	mm	593	580	587
Alcance Tabela norma J287 (90/10)	mm	602	592	598
Distância à Manopla	mm	400.0	330.0	340.0

Figura 55 – Resultado das análises de alcance para a condição B

4.2.2. Posicionamento de marchas

Através da utilização do equipamento GSQA, obteve-se a posição de cada marcha para cada veículo. Os posicionamentos foram medidos em três diferentes condições:

- Posição de descanso, ou seja, a posição da alavanca sem nenhuma força externa;
- Checagem de folga mínima, ou seja, aplica-se à alavanca uma força entre 5 e 15N nas direções X e Y para se eliminar as folgas existentes e determiná-las;
- Checagem de deformação elástica, ou seja, aplica-se à alavanca uma força entre 45 e 55N nas direções X e Y para se determinar a elasticidade do sistema e a máxima posição da alavanca nessa condição.

Essas medições são consideradas estáticas, pois são realizadas com o veículo estacionado, o motor desligado e marcha na posição sob análise.

Os resultados estão agrupados para facilitar a comparação.

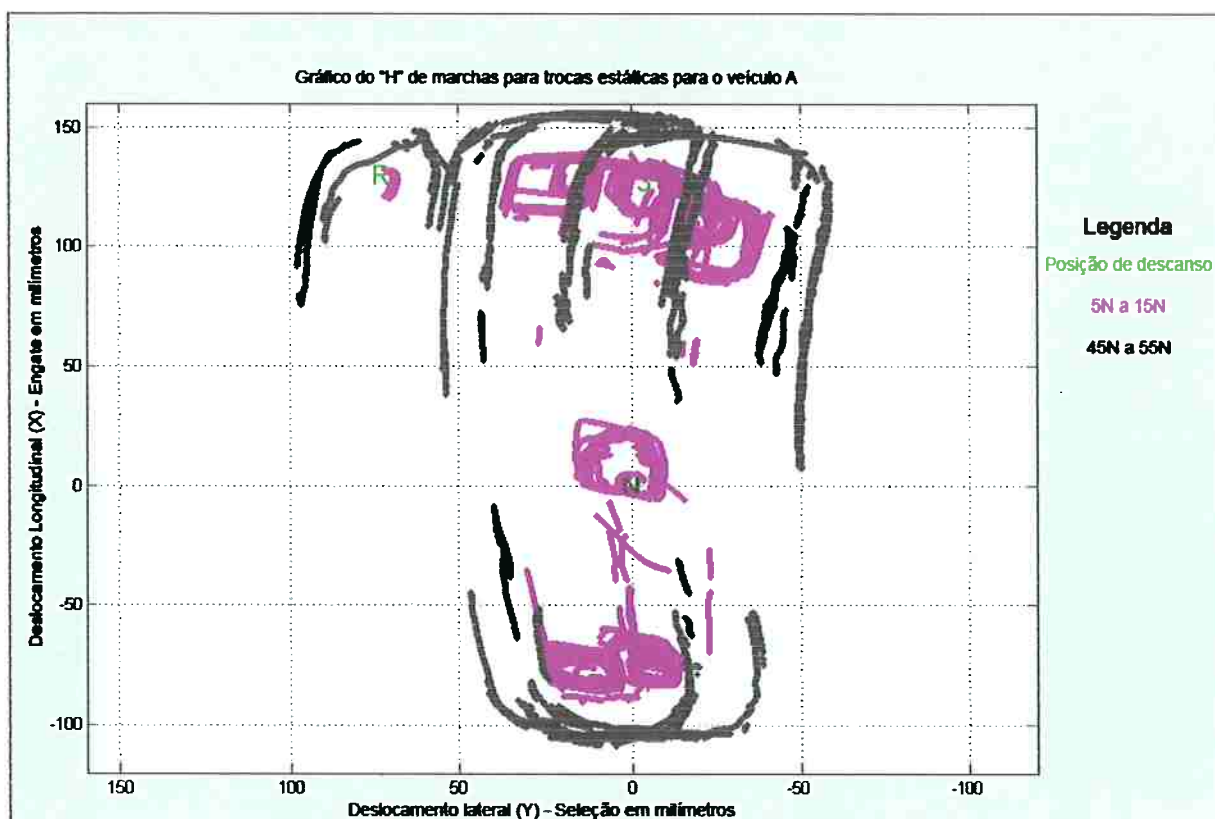


Gráfico 2 – Posicionamento de marchas – Plano XY - Veículo A

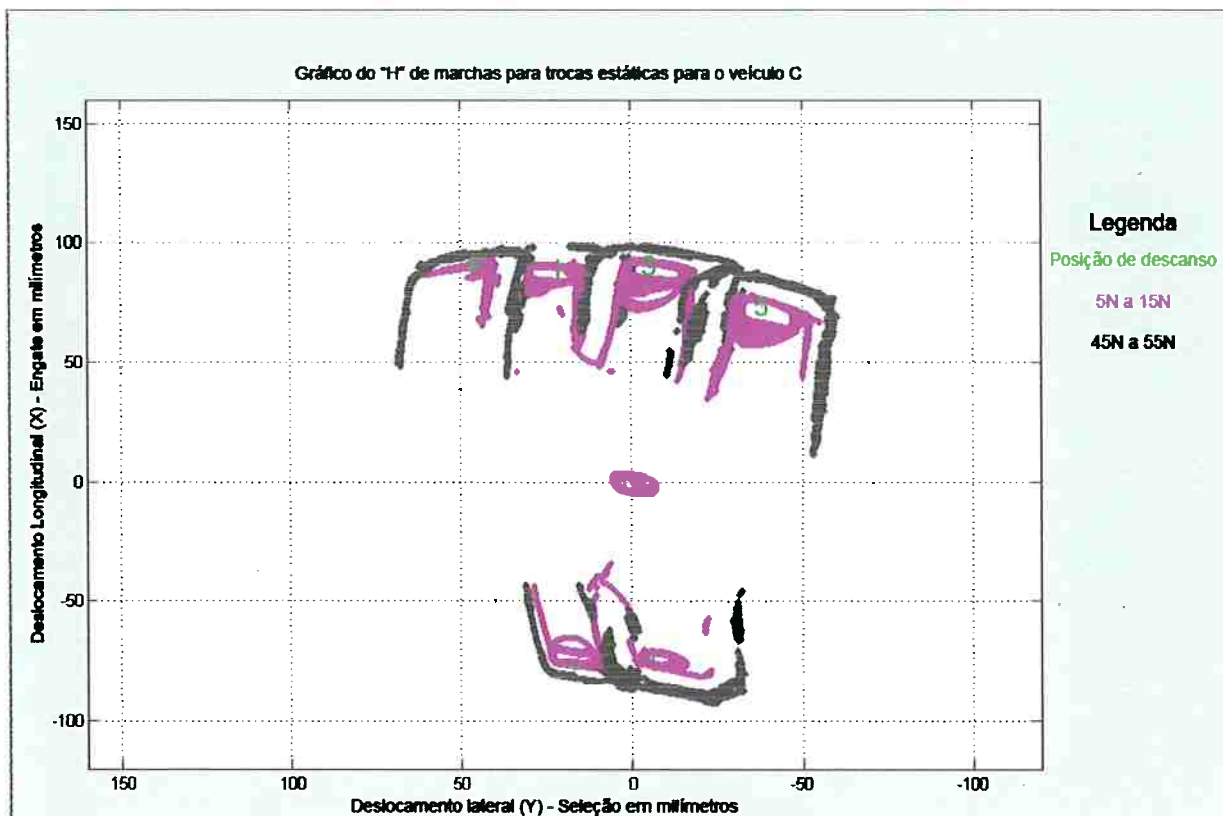


Gráfico 3 – Posicionamento de marchas – Plano XY - Veículo C

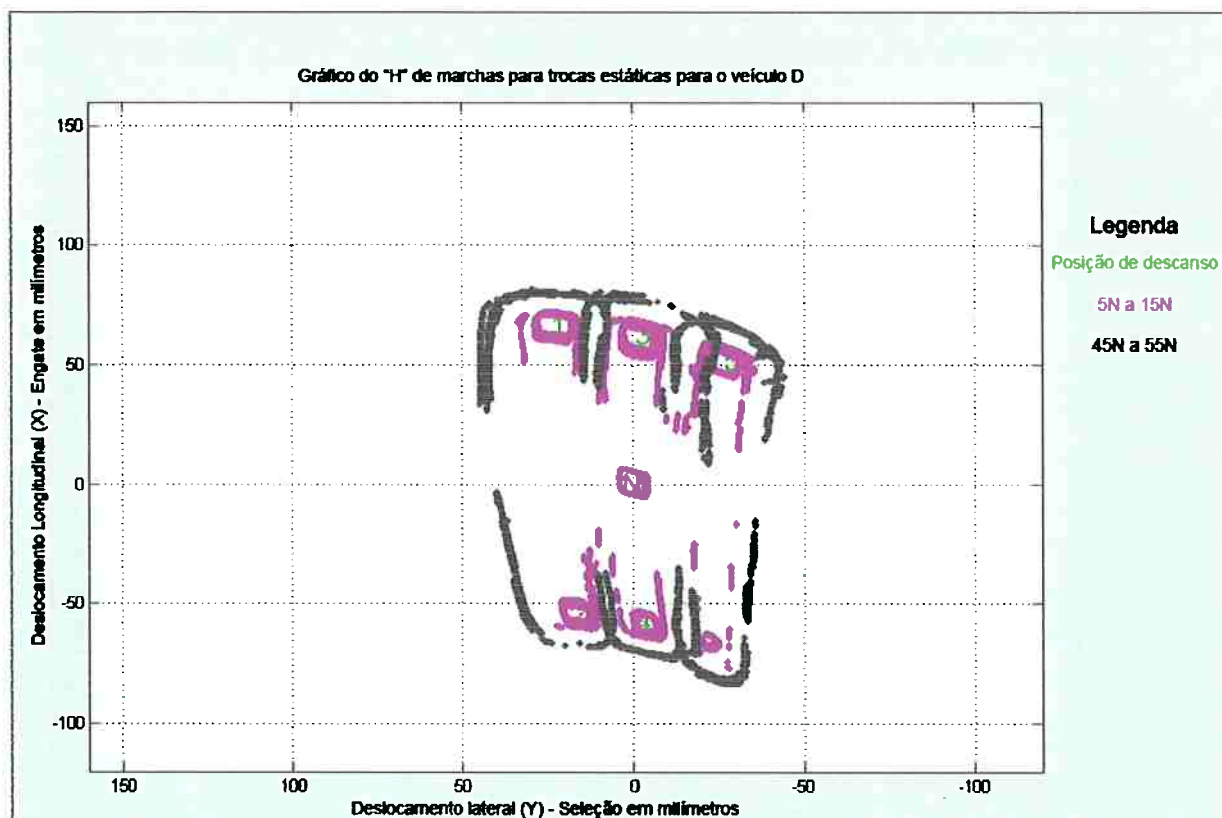


Gráfico 4 – Posicionamento de marchas – Plano XY - Veículo D

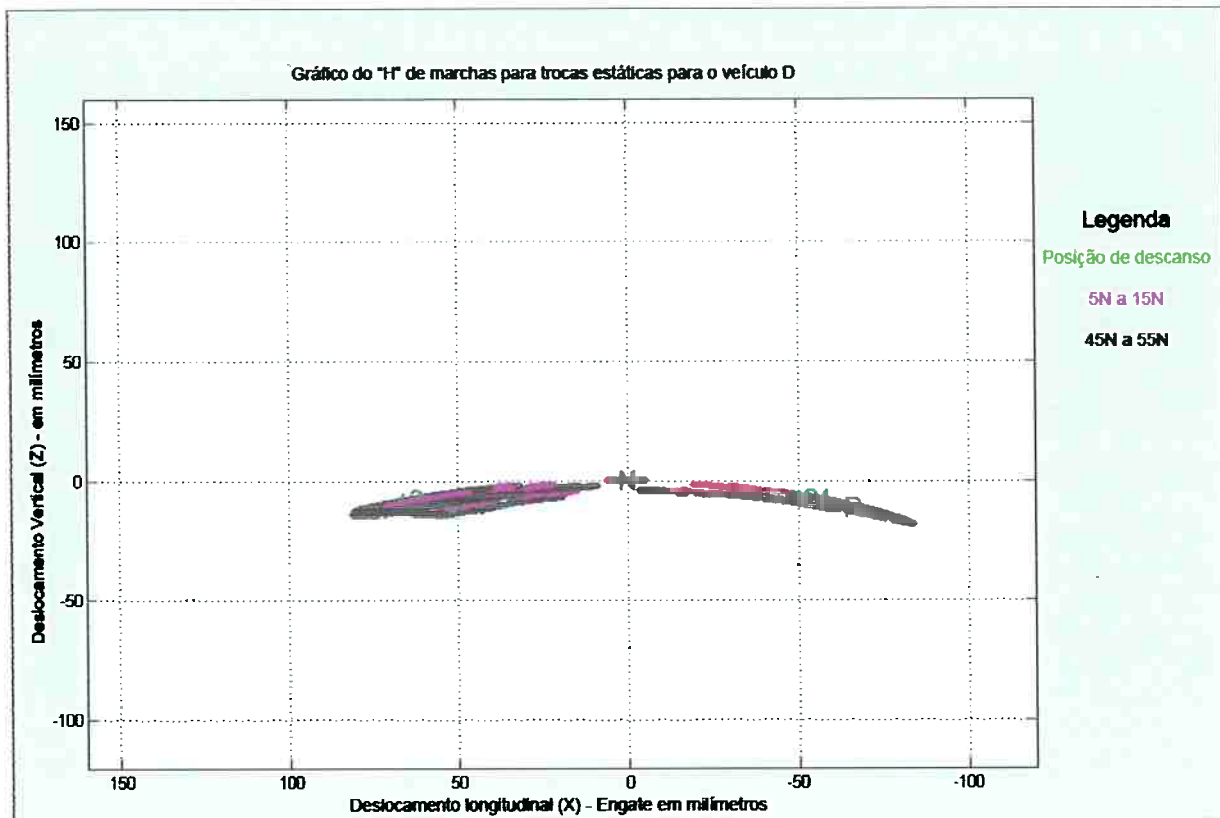


Gráfico 7 – Posicionamento de marchas – Plano XZ - Veículo D

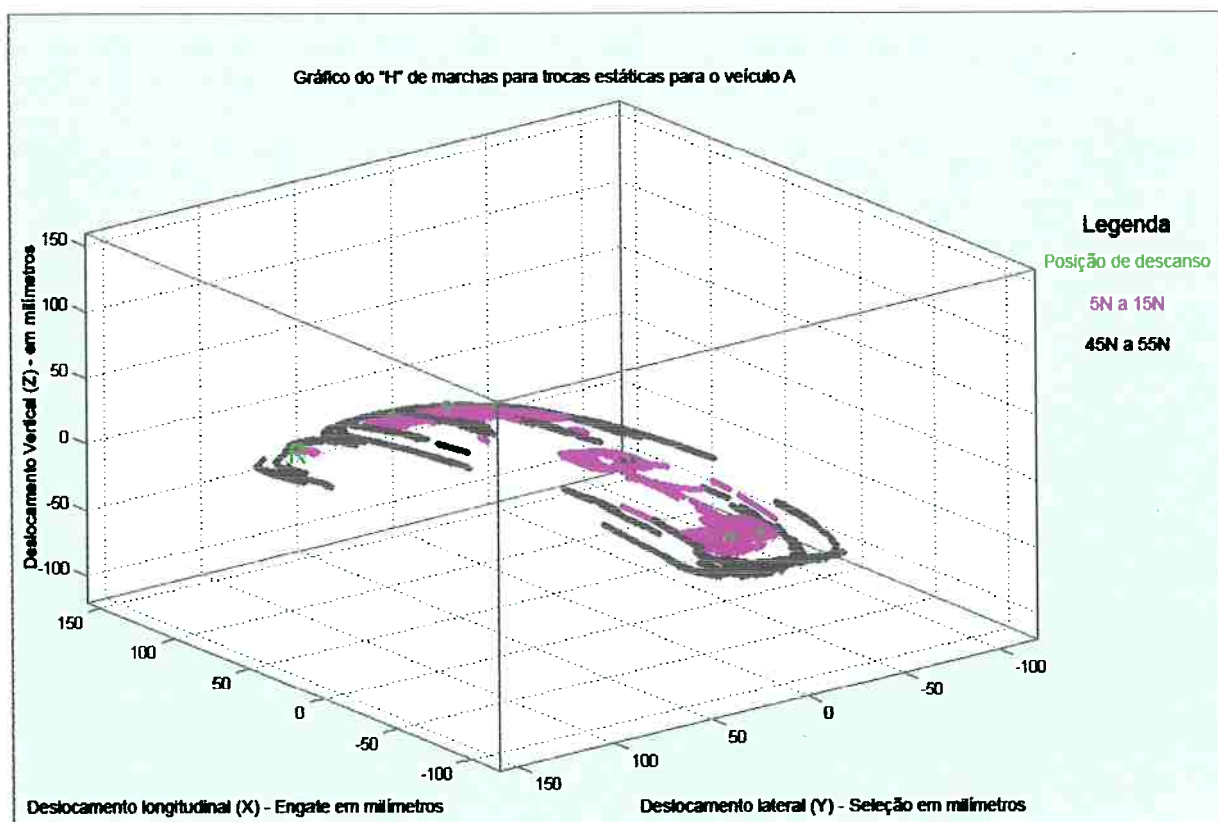


Gráfico 8 – Posicionamento de marchas – Plano XYZ - Veículo A

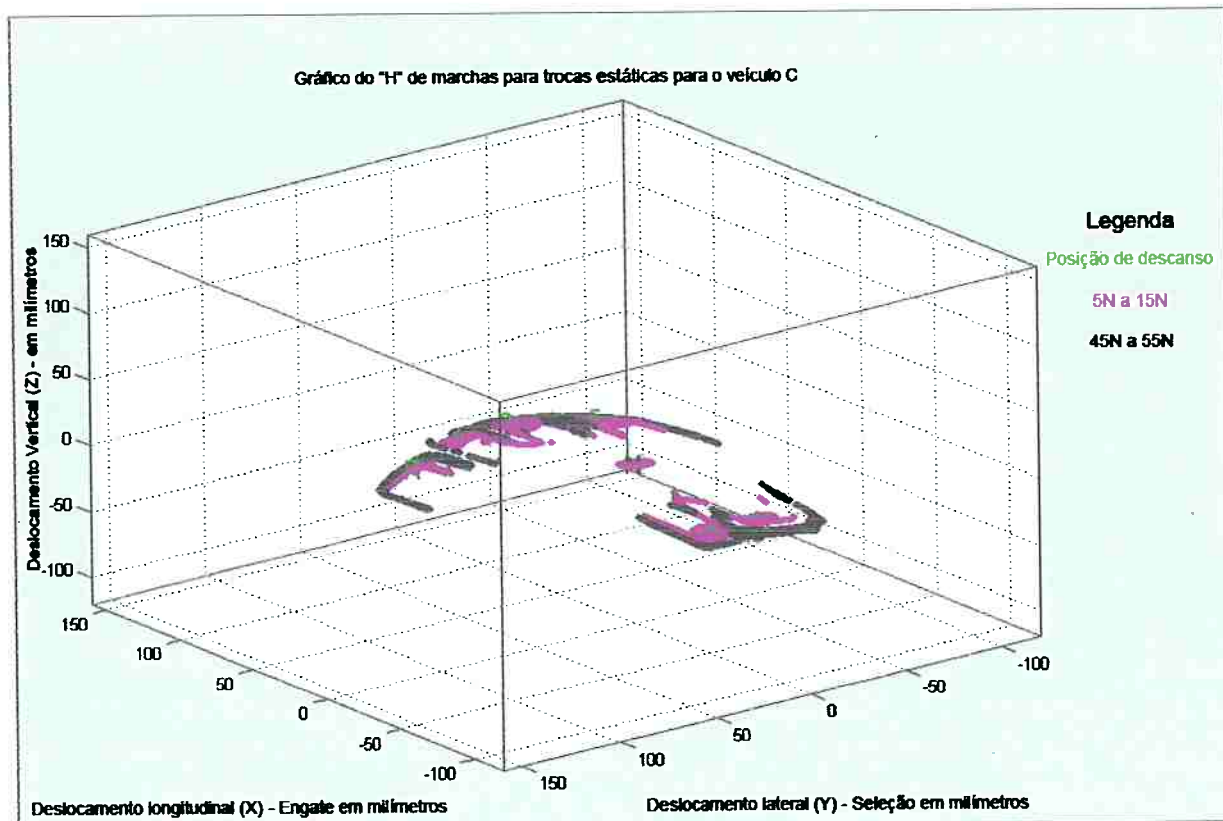


Gráfico 9 – Posicionamento de marchas – Plano XYZ - Veículo C

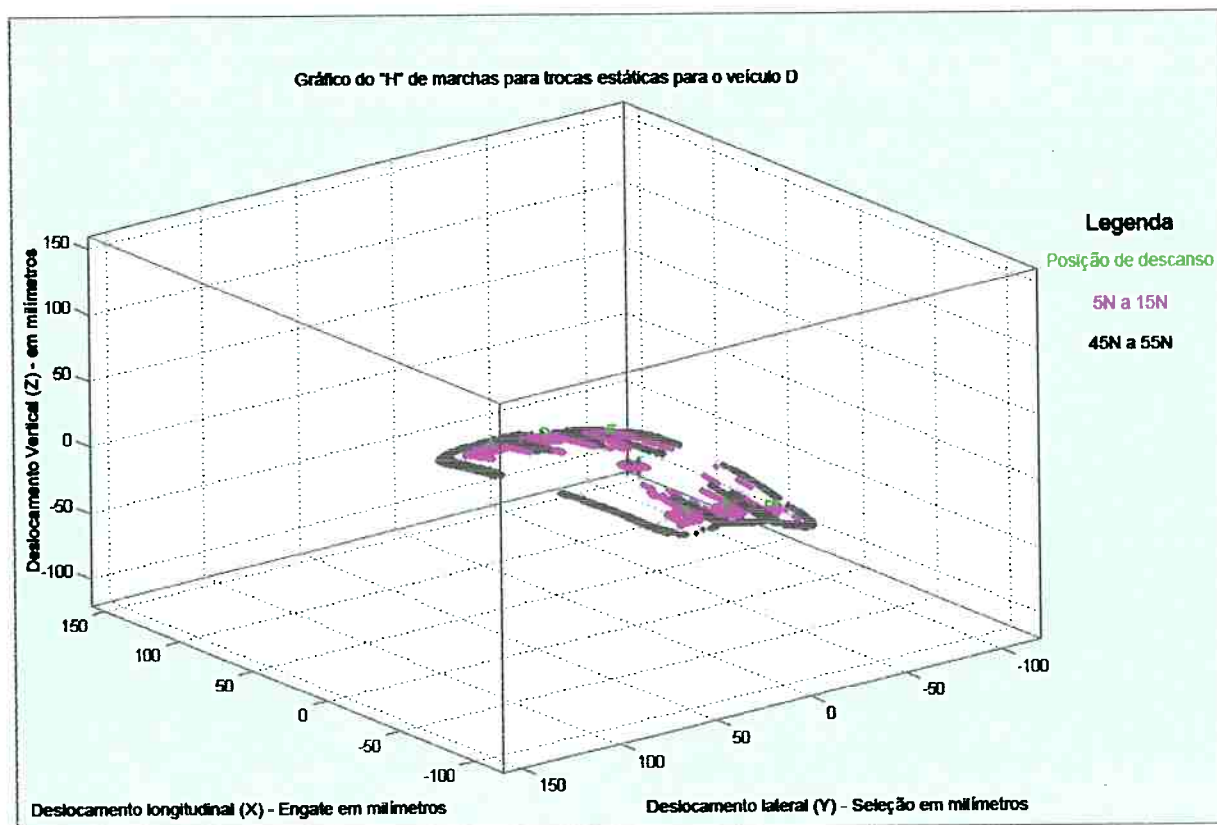


Gráfico 10 – Posicionamento de marchas – Plano XYZ - Veículo D

4.2.3. Medições das forças de engate

As medições de força foram realizadas em três condições para cada troca:

- Medição estática, ou seja, veículo estacionado e motor desligado. Essa condição mede os perfis de força durante as trocas de marchas acima e abaixo em uma condição semelhante a realizada pelos motoristas durante o primeiro contato com o veículo como em lojas e salões de exposição. Esse primeiro contato já é parte da análise considerada pelos motoristas sobre o sistema de alavanca;
- Medição dinâmica – marchas acima. Essa condição analisa a troca de marchas seqüenciais acima conforme uma troca normal. Uma troca normal para marchas acima ocorre geralmente a rotações de motor próximas a 3500rpm e o tempo gasto no deslocamento da alavanca entre uma marcha e sua próxima está na ordem de 1,5 a 2,5 segundos;
- Medição dinâmica – marchas abaixo. Essa condição analisa a troca de marchas seqüenciais abaixo conforme uma troca normal. Uma troca normal para marchas abaixo ocorre geralmente a rotações de motor próximas a 2500rpm e o tempo gasto no deslocamento da alavanca entre uma marcha e sua próxima está na ordem de 1,5 a 2,5 segundos.

Os resultados das medições estão agrupados conforme a condição de medição.

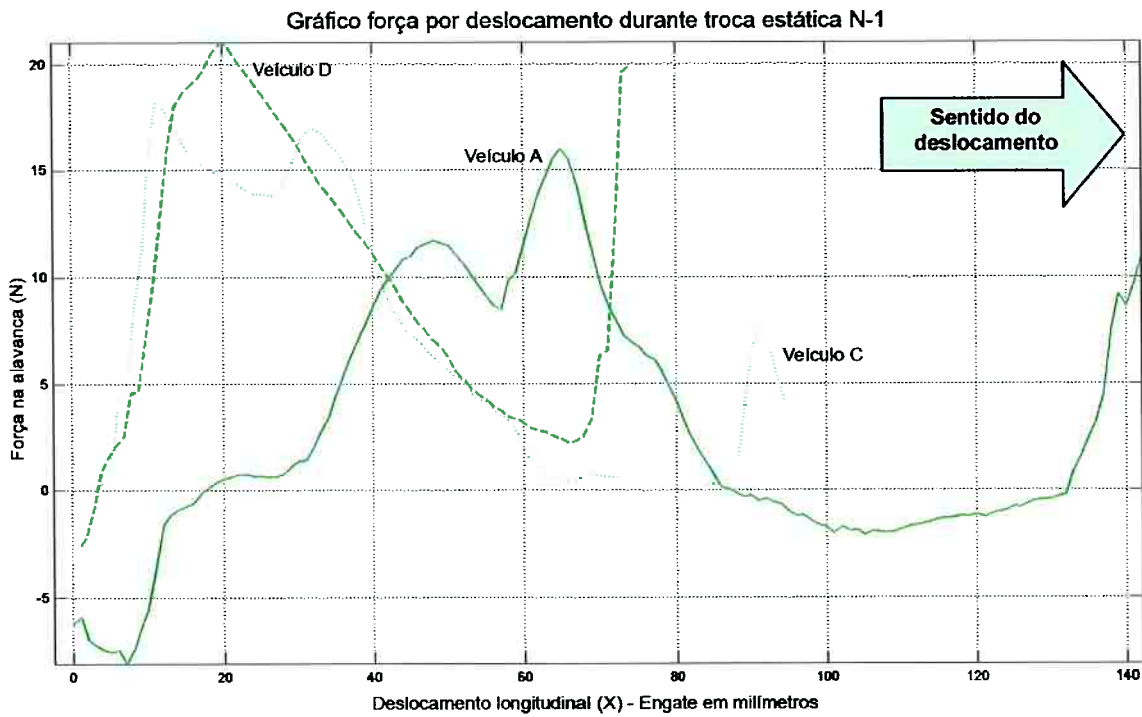


Gráfico 11 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática N-1

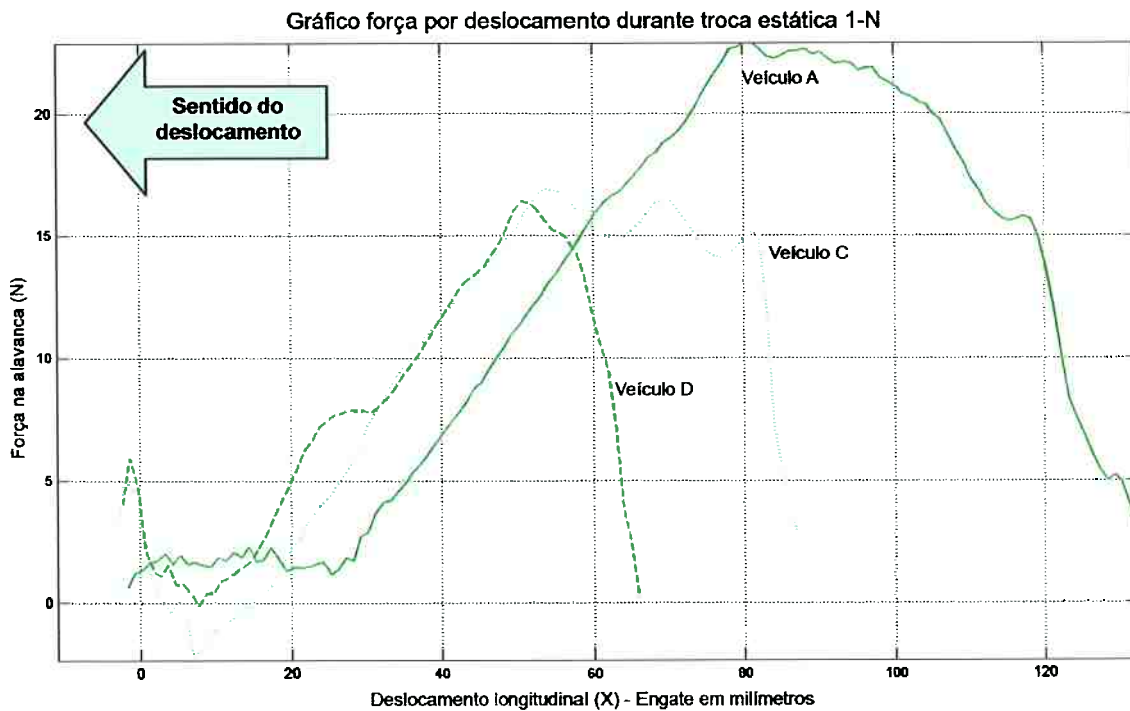


Gráfico 12 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 1-N

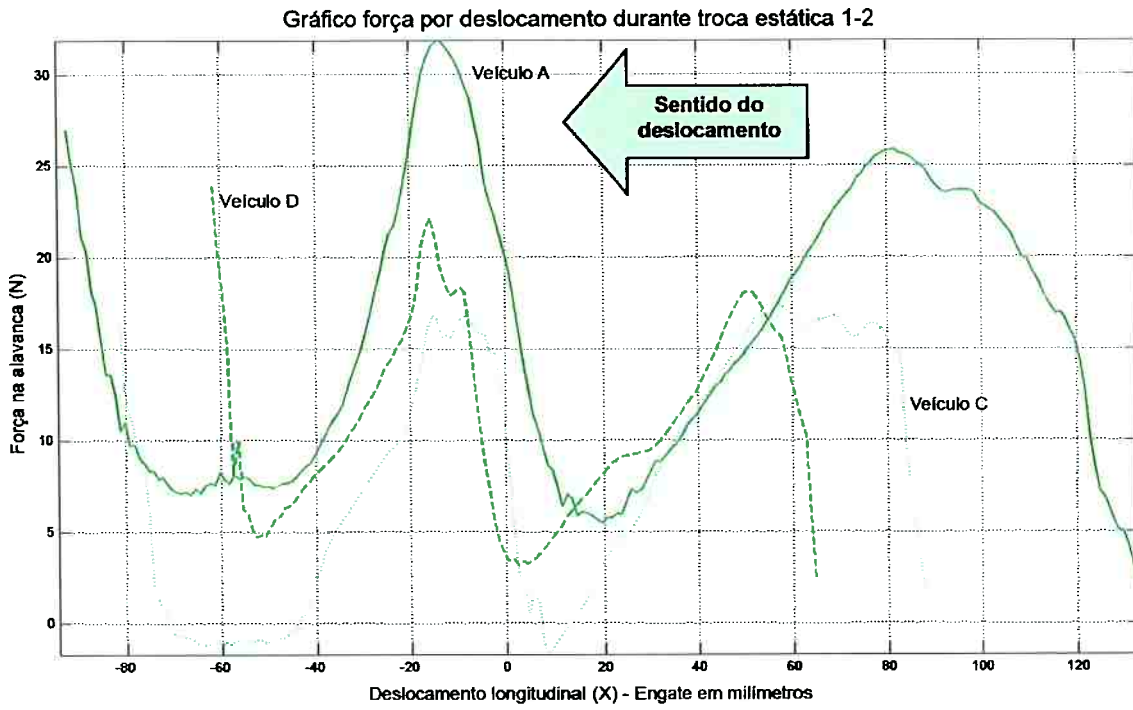


Gráfico 13 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 1-2

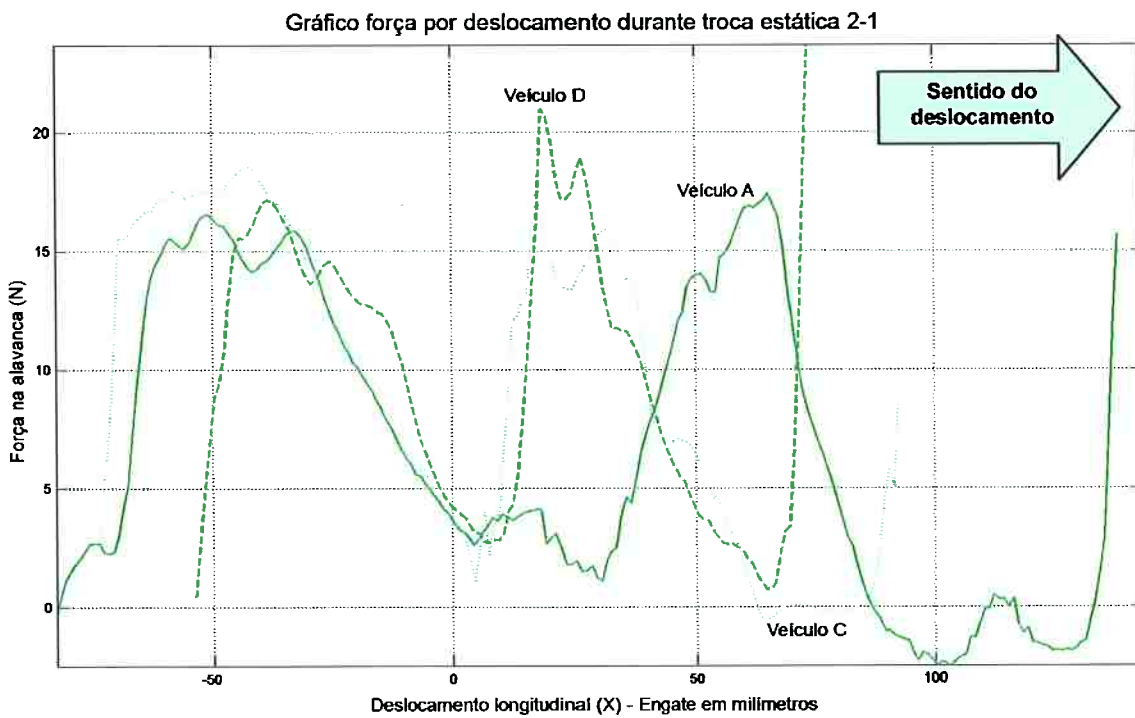


Gráfico 14 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 2-1

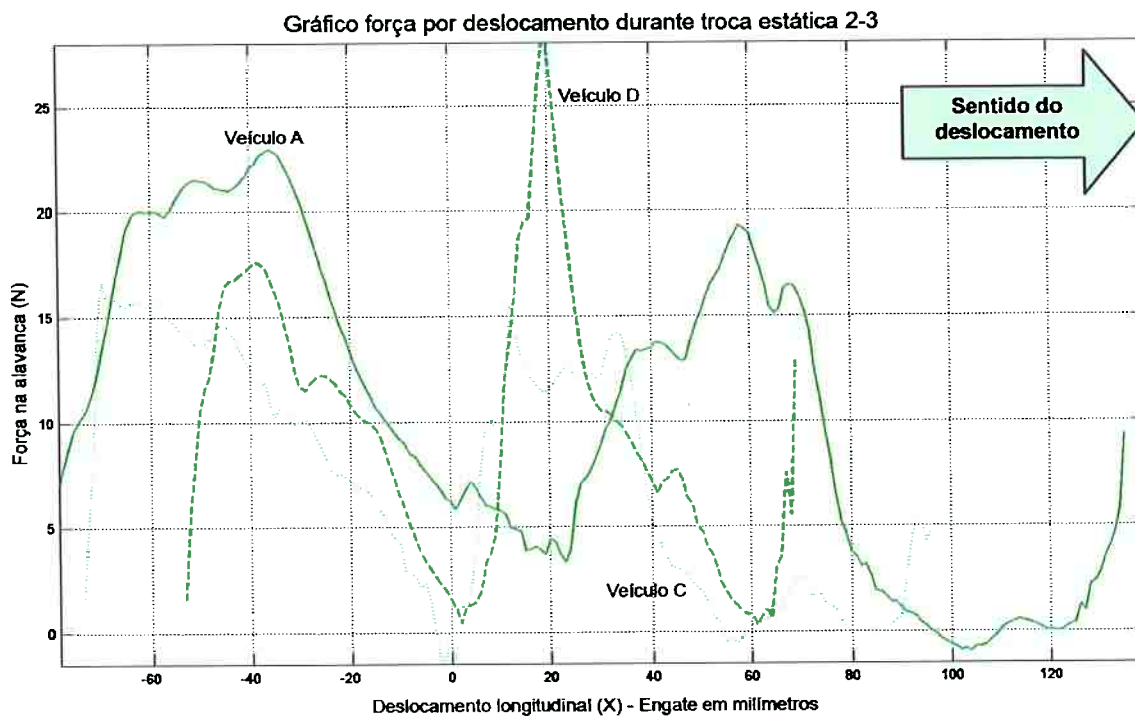


Gráfico 15 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 2-3

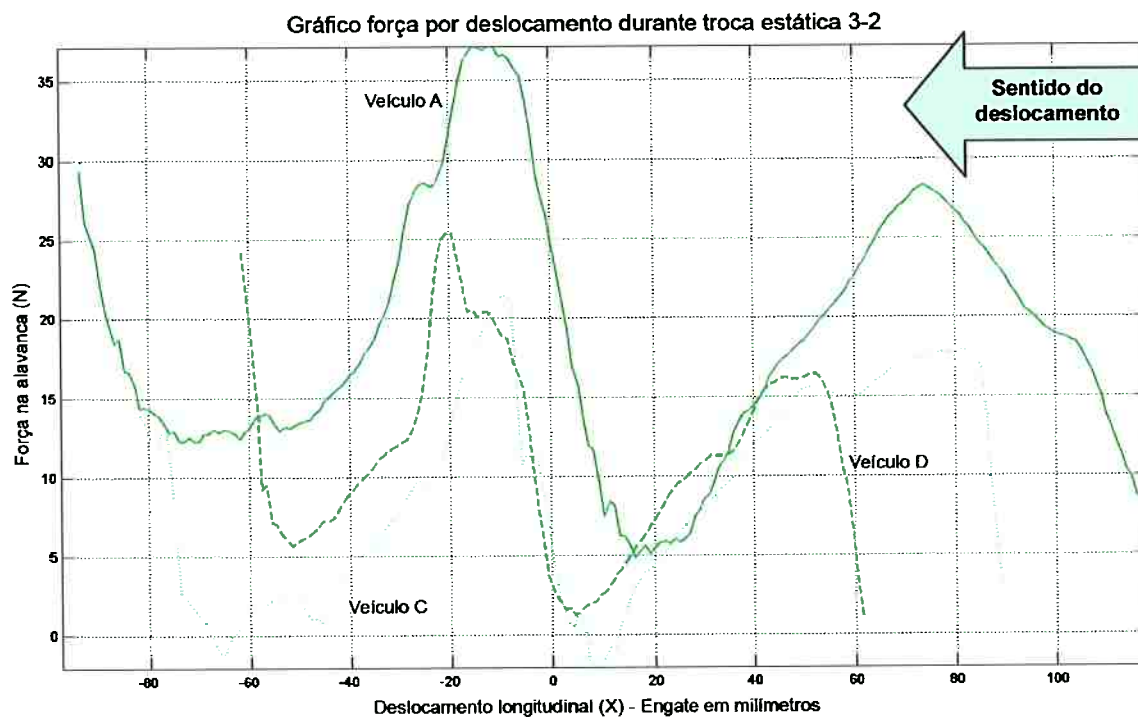


Gráfico 16 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 3-2

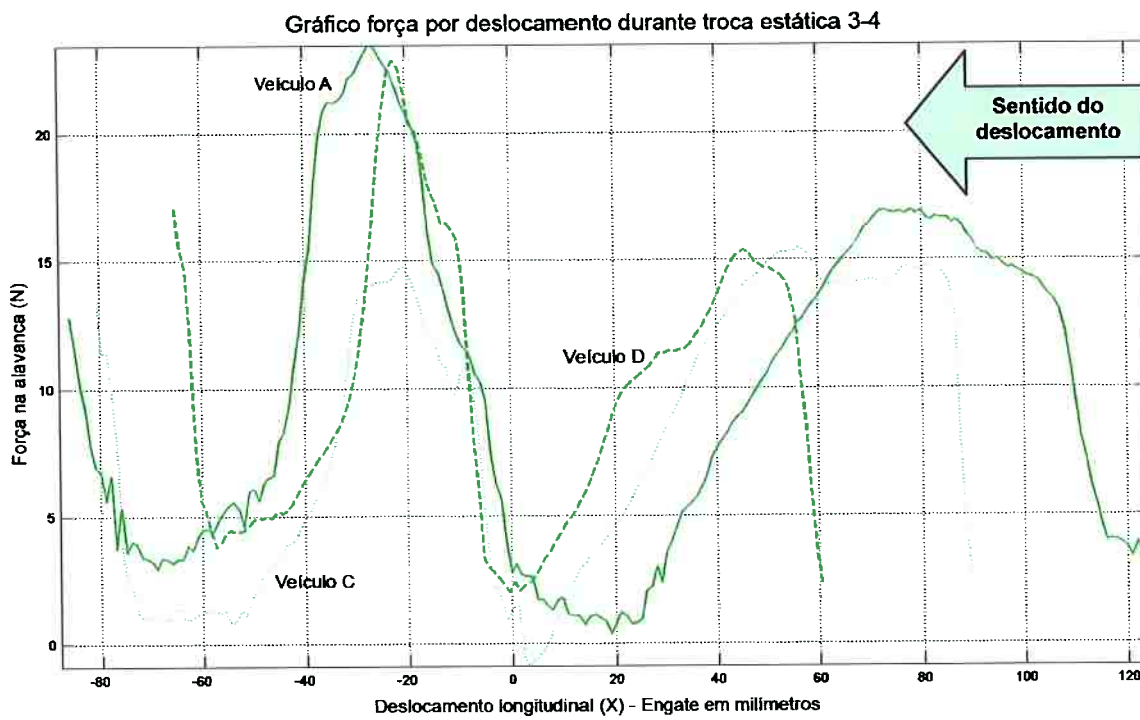


Gráfico 17 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 3-4

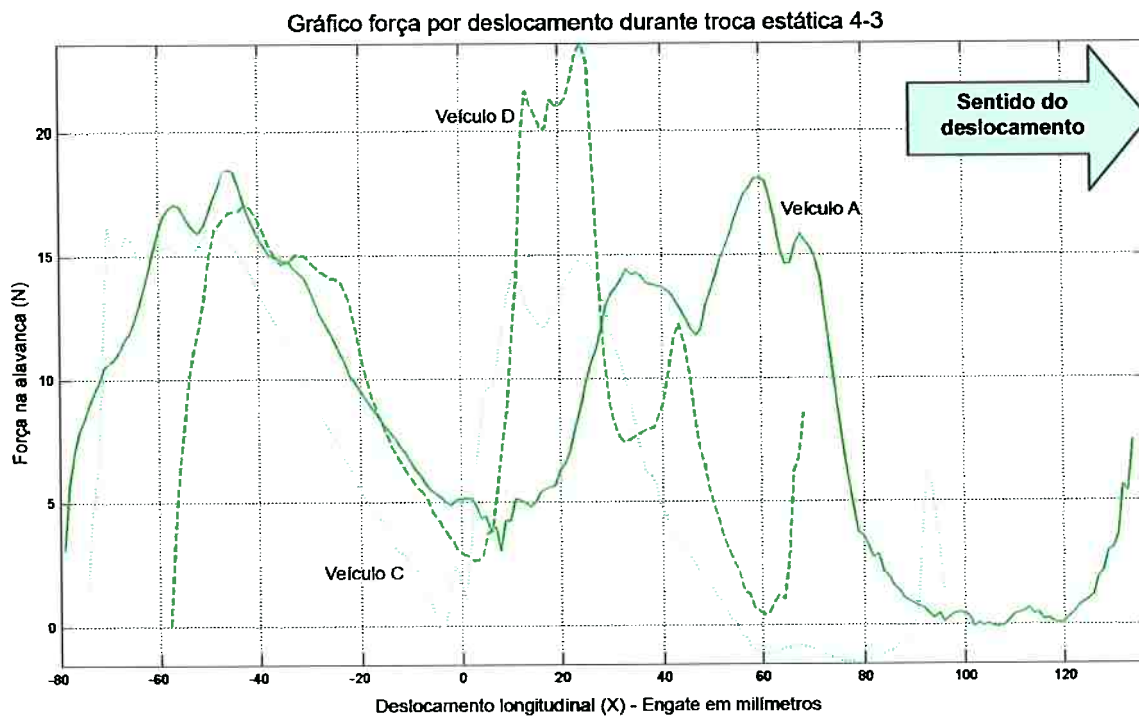


Gráfico 18 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 4-3

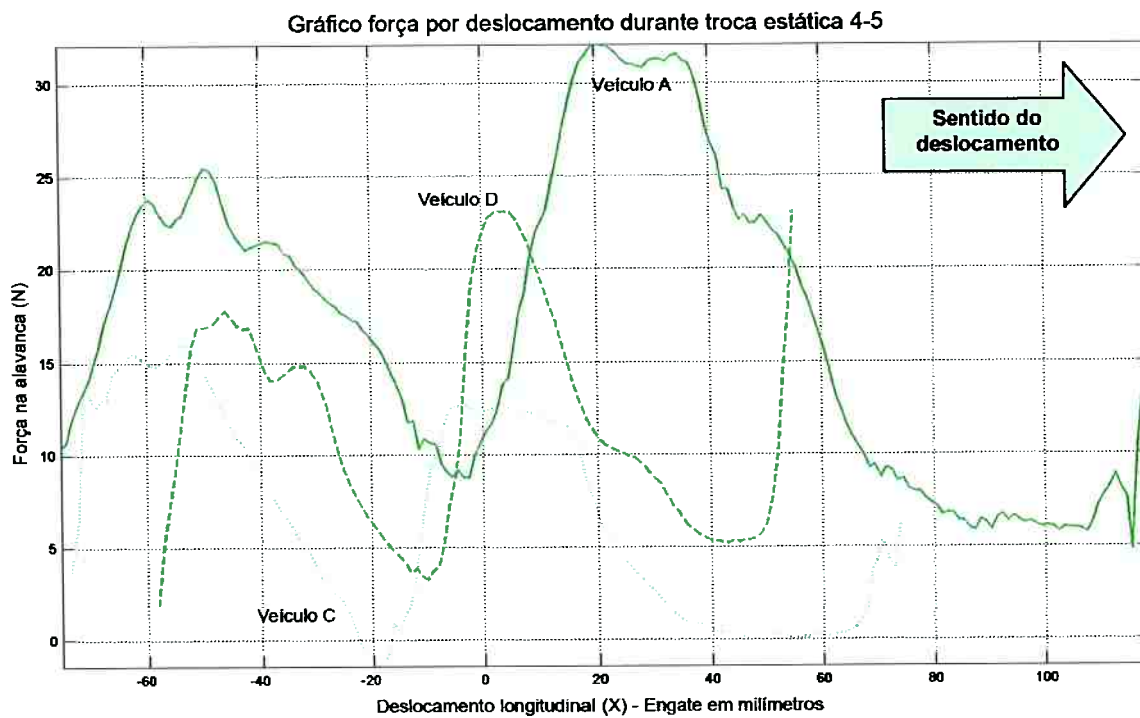


Gráfico 19 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 4-5

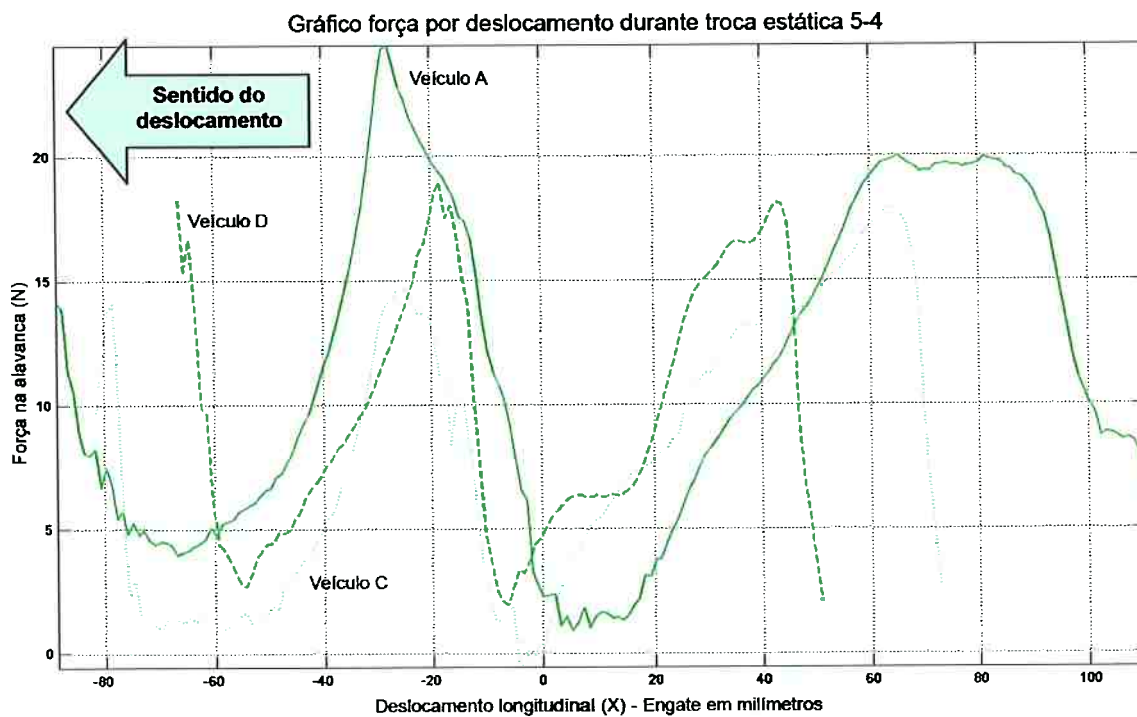


Gráfico 20 – Perfil de força no deslocamento durante troca estática 5-4

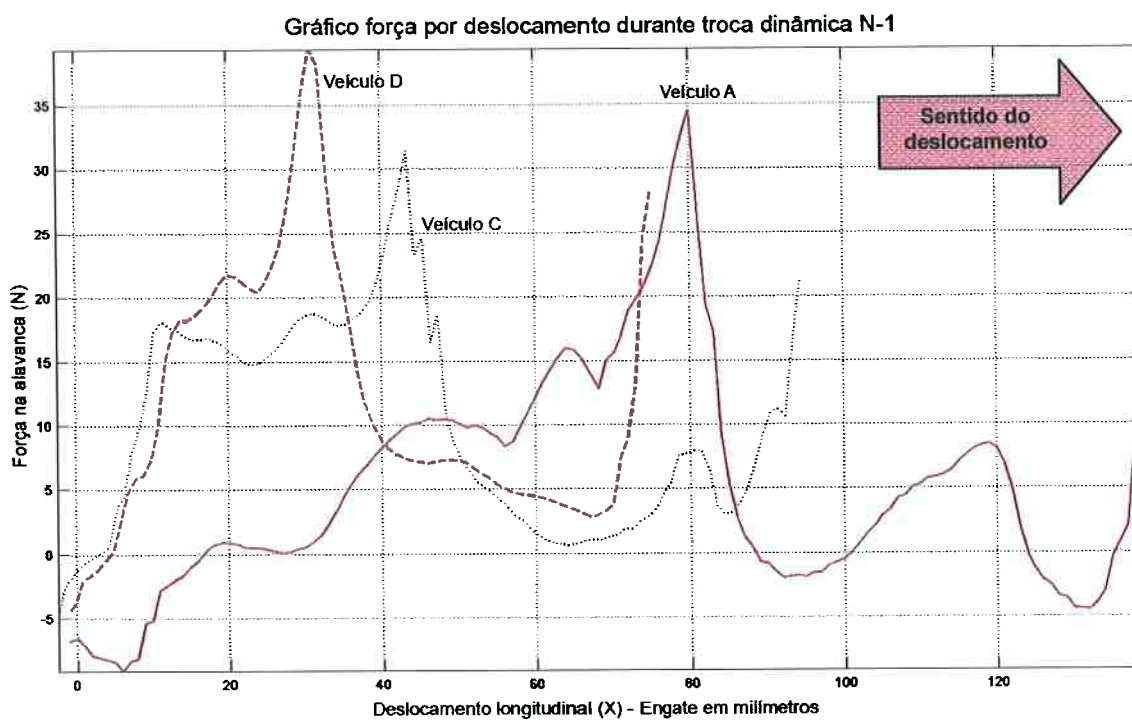


Gráfico 21 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica acima N-1

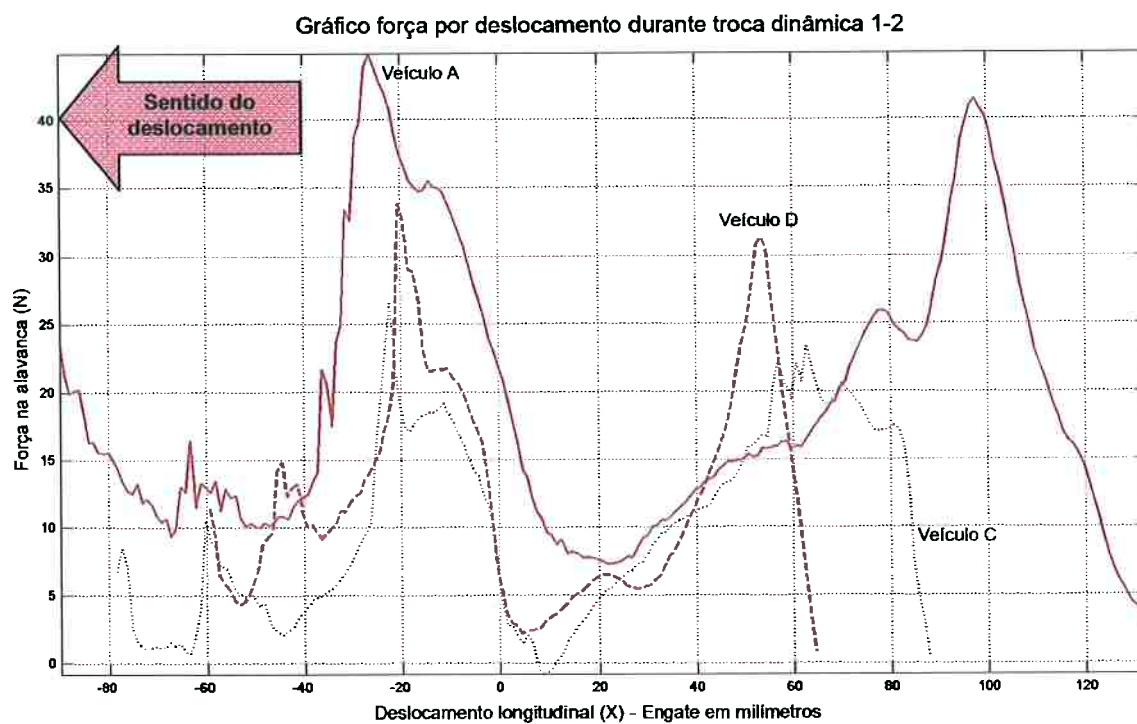


Gráfico 22 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica acima 1-2

Gráfico força por deslocamento durante troca dinâmica 2-3

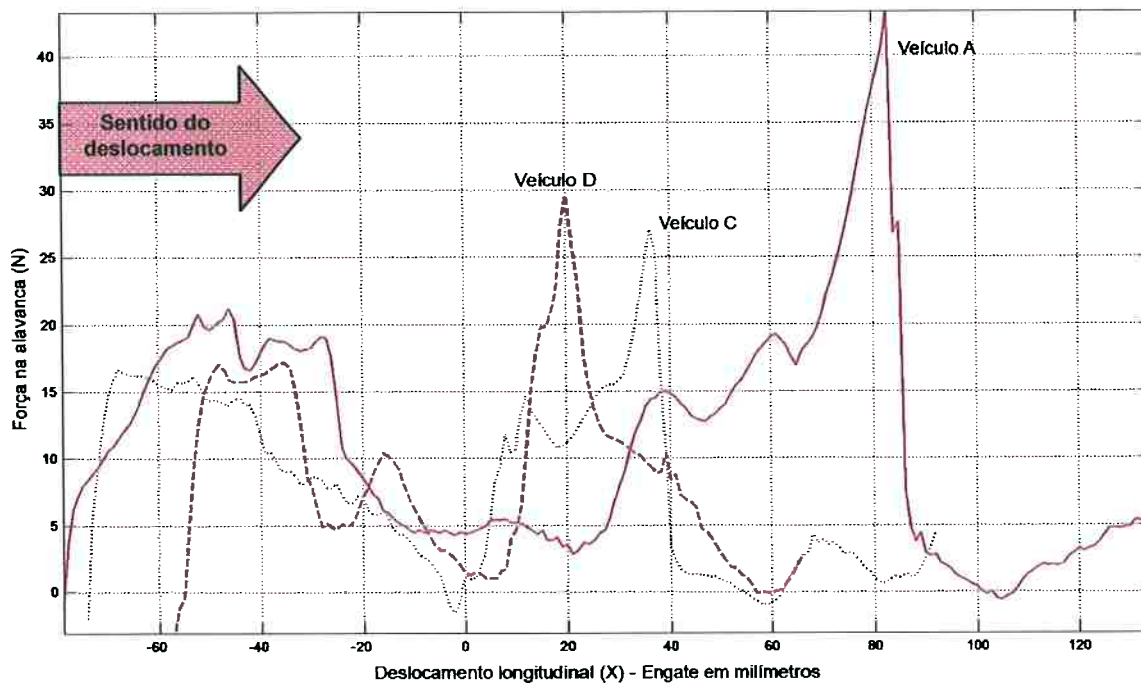


Gráfico 23 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica acima 2-3

Gráfico força por deslocamento durante troca dinâmica 3-4

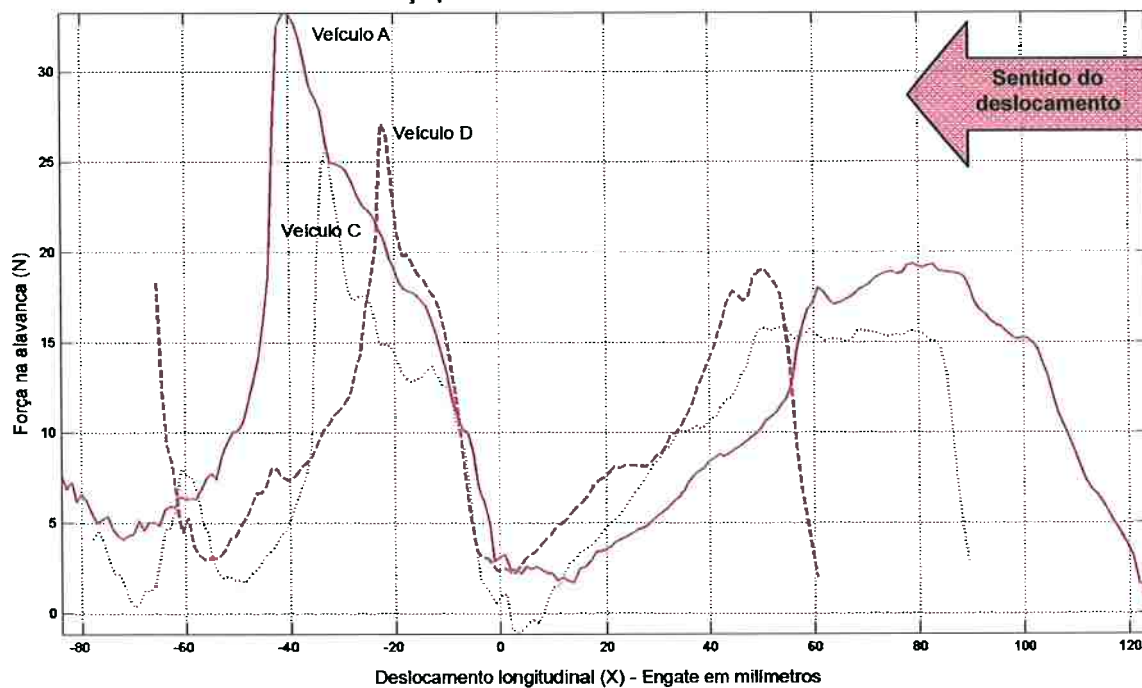


Gráfico 24 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica acima 3-4

Gráfico força por deslocamento durante troca dinâmica 4-5

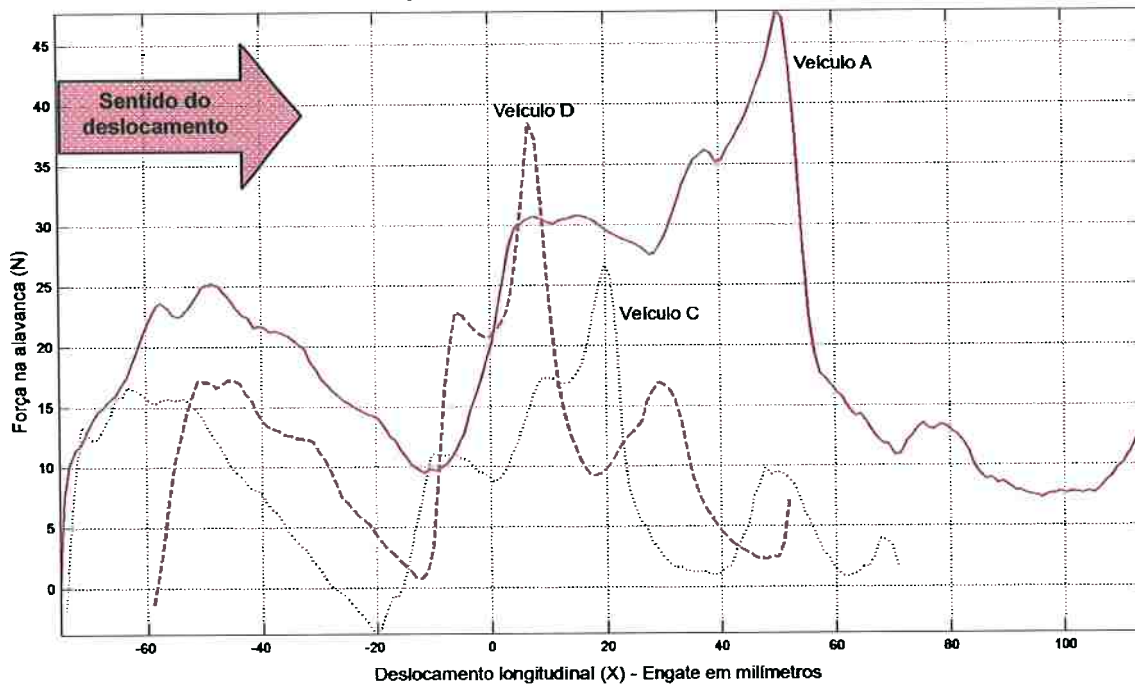


Gráfico 25 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica acima 4-5

Gráfico força por deslocamento durante troca dinâmica 5-4

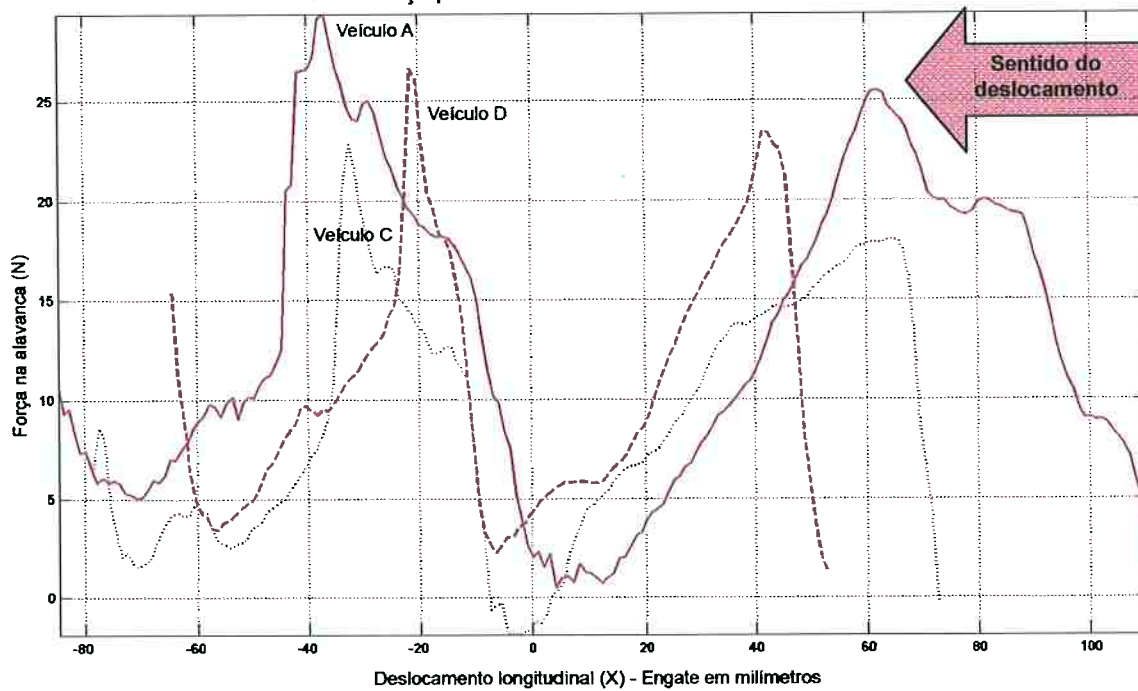


Gráfico 26 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica abaixo 5-4

Gráfico força por deslocamento durante troca dinâmica 4-3

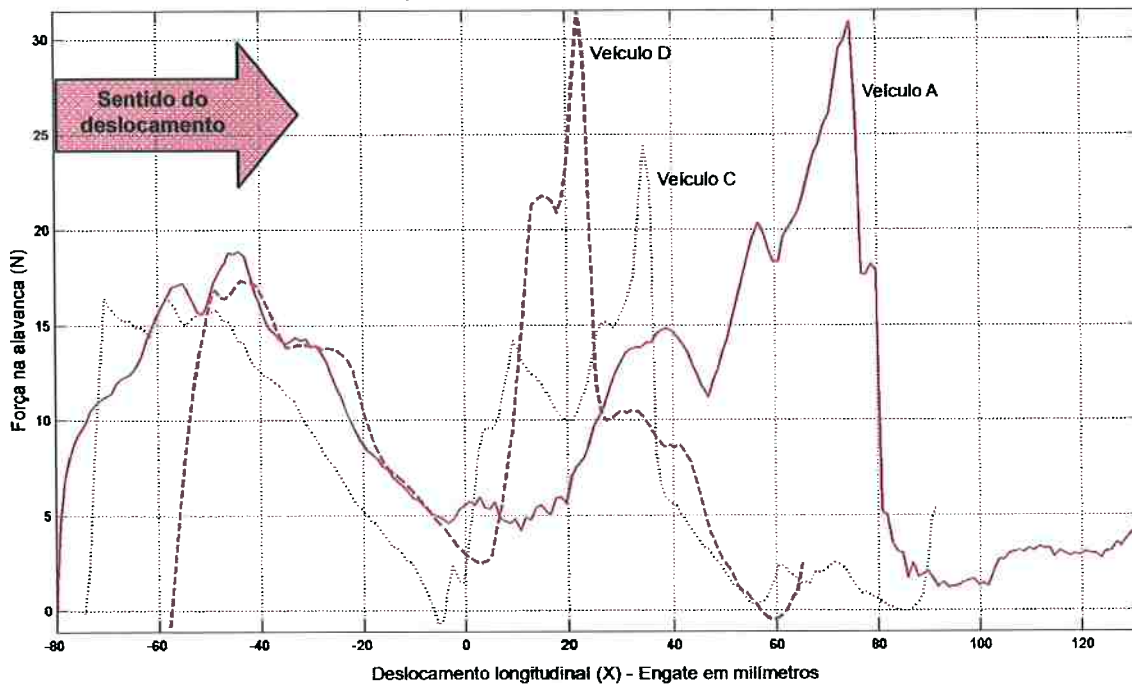


Gráfico 27 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica abaixo 4-3

Gráfico força por deslocamento durante troca dinâmica 3-2

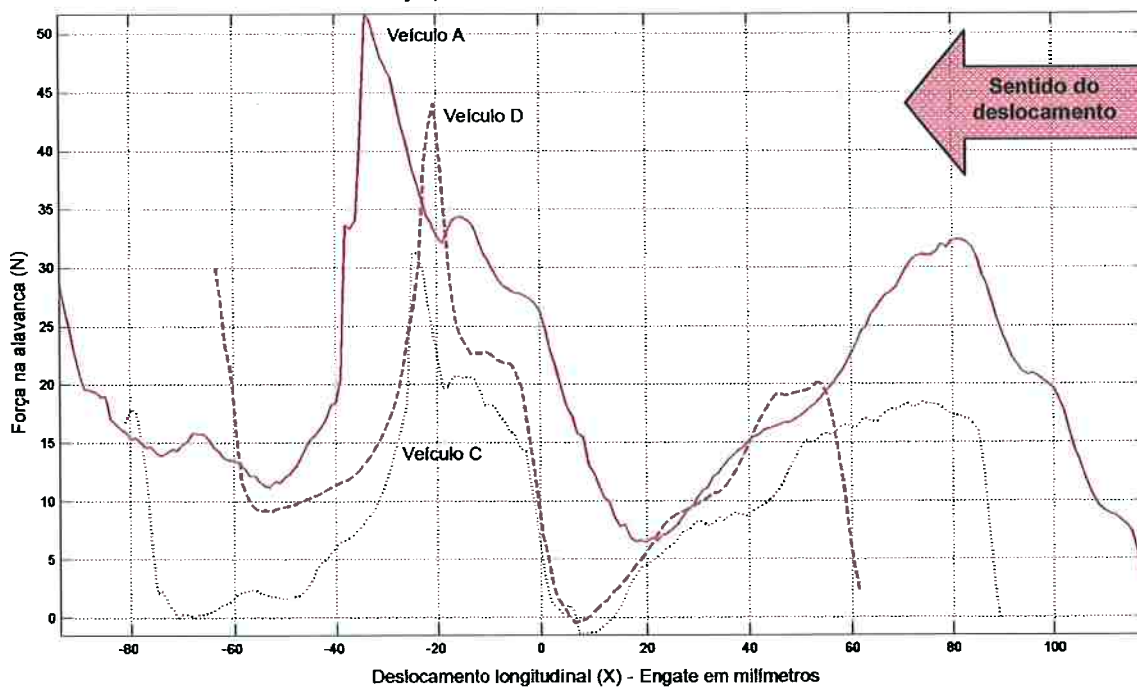


Gráfico 28 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica abaixo 3-2

Gráfico força por deslocamento durante troca dinâmica 2-1

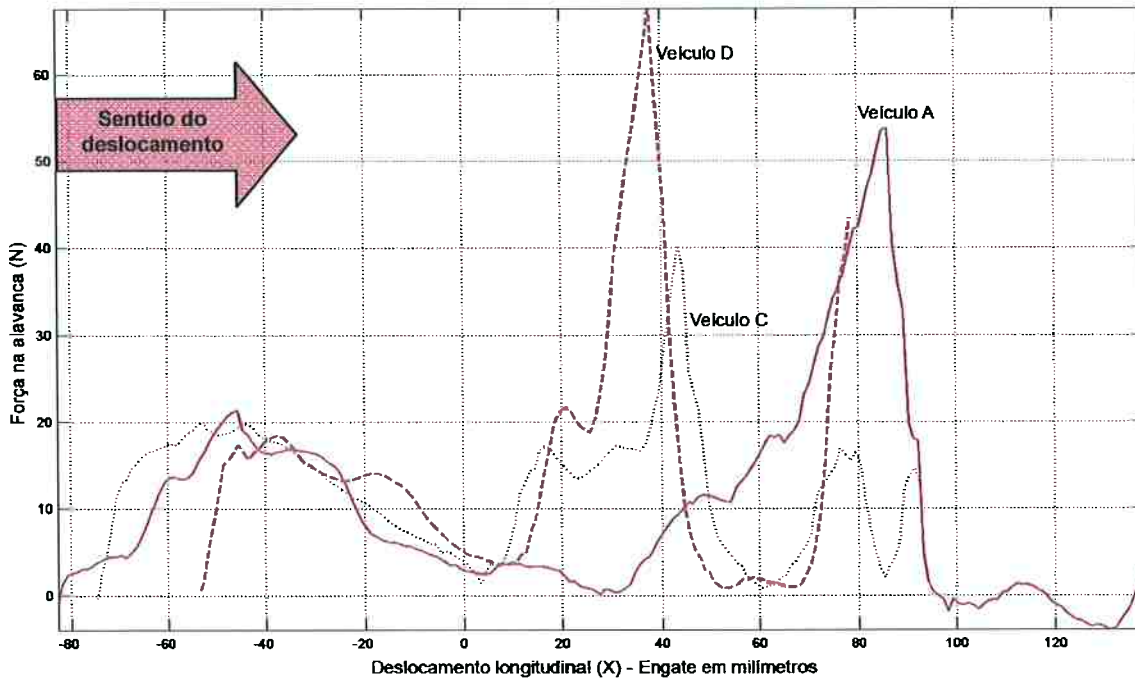


Gráfico 29 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica abaixo 2-1

Gráfico força por deslocamento durante troca dinâmica 1-N

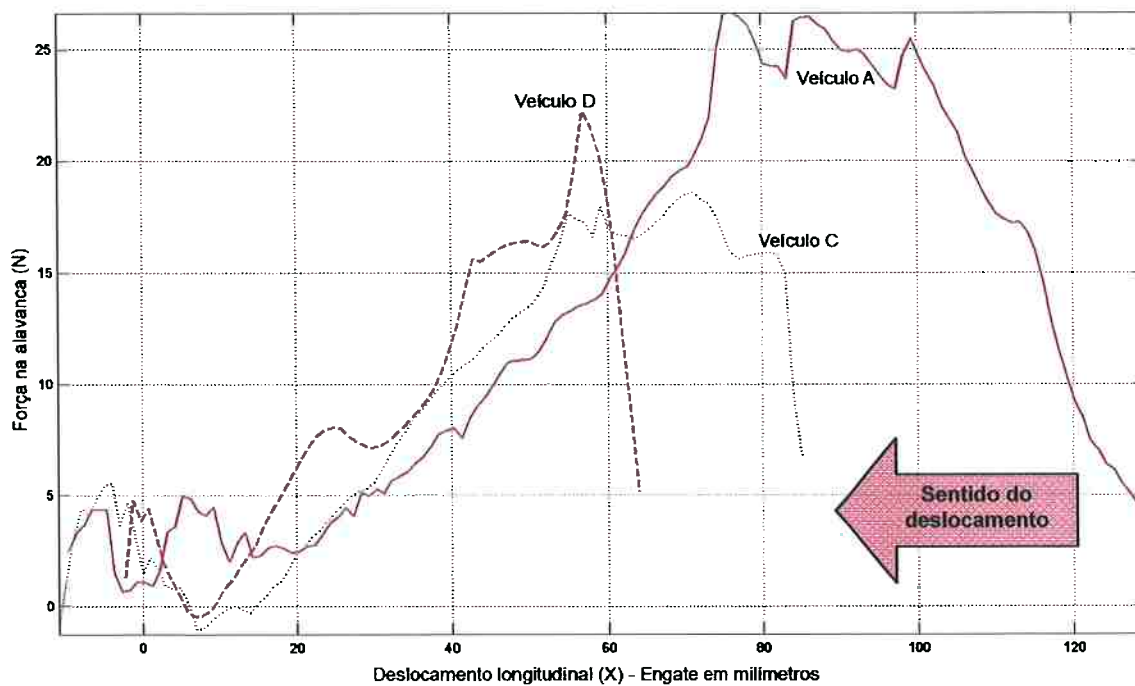


Gráfico 30 – Perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica abaixo 1-N

4.2.4. Medições das forças de seleção

As medições de força foram realizadas com a alavanca em neutro no curso de seleção entre primeira e quinta marchas.

A análise desse gráfico pode mostrar as cargas de mola utilizadas para a definição da posição de neutro. Outra informação que pode ser retirada desse gráfico é a elasticidade do sistema da alavanca. Para isso basta verificar os cantos do gráfico onde a força sobe rapidamente devido aos batentes da seleção. Qualquer deslocamento nessa situação é devido a deformação do sistema.

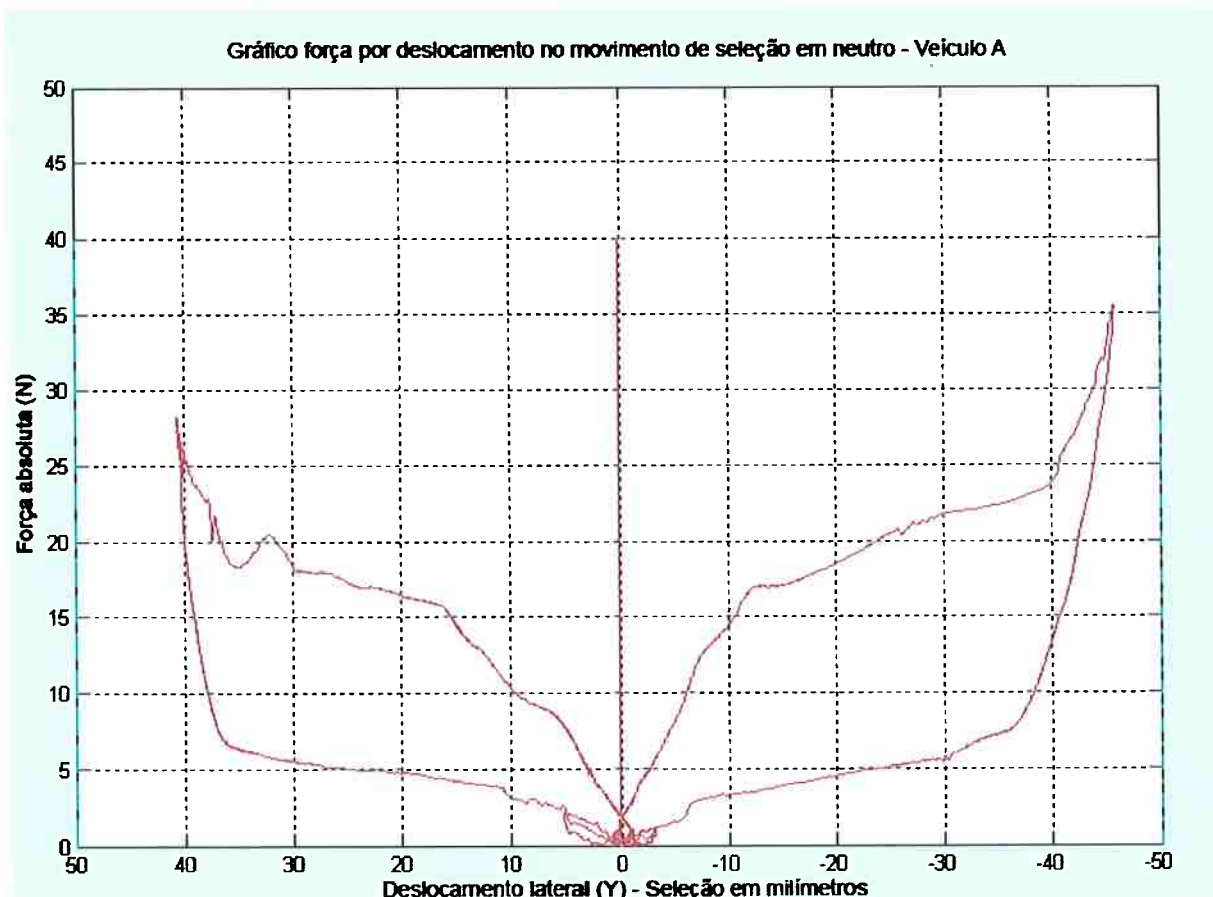


Gráfico 31 – Perfil de força na seleção entre 1-5 para o veículo A

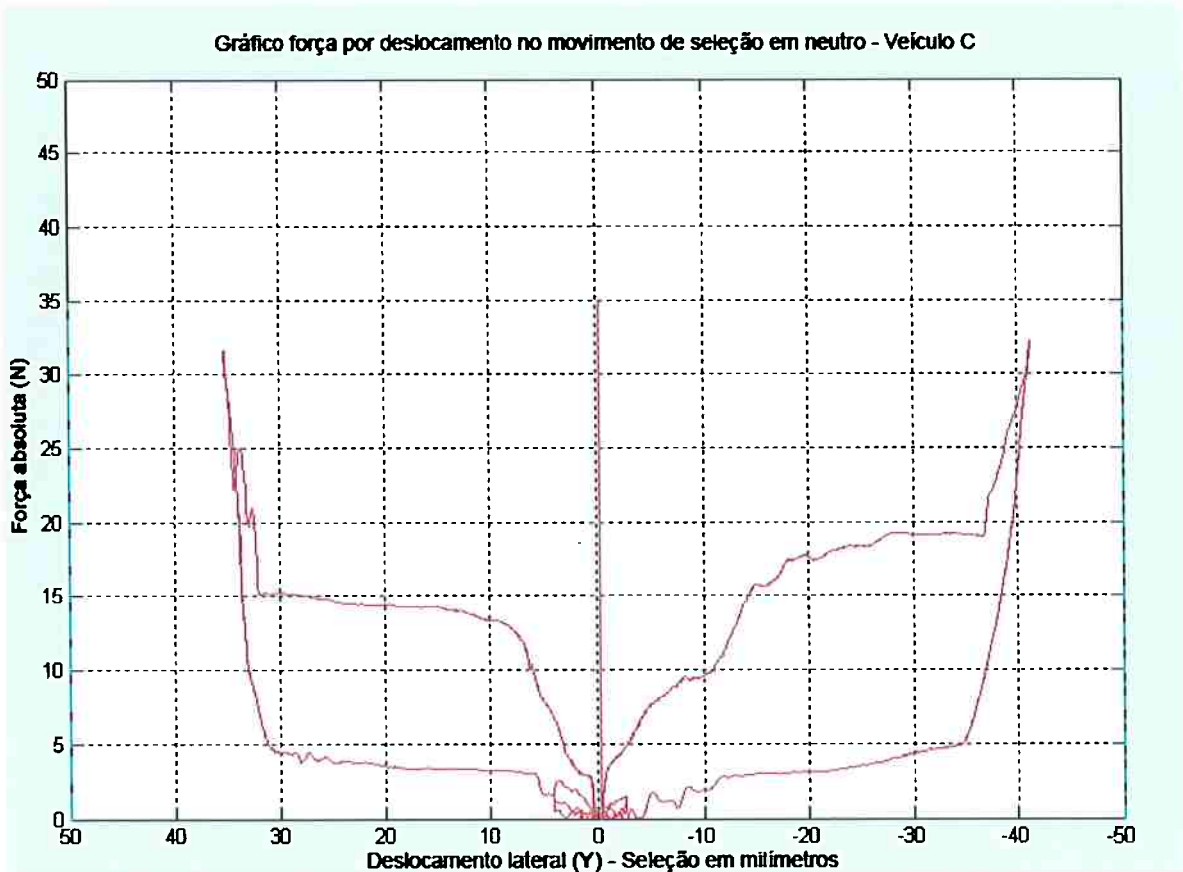


Gráfico 32 – Perfil de força na seleção entre 1-5 para o veículo C

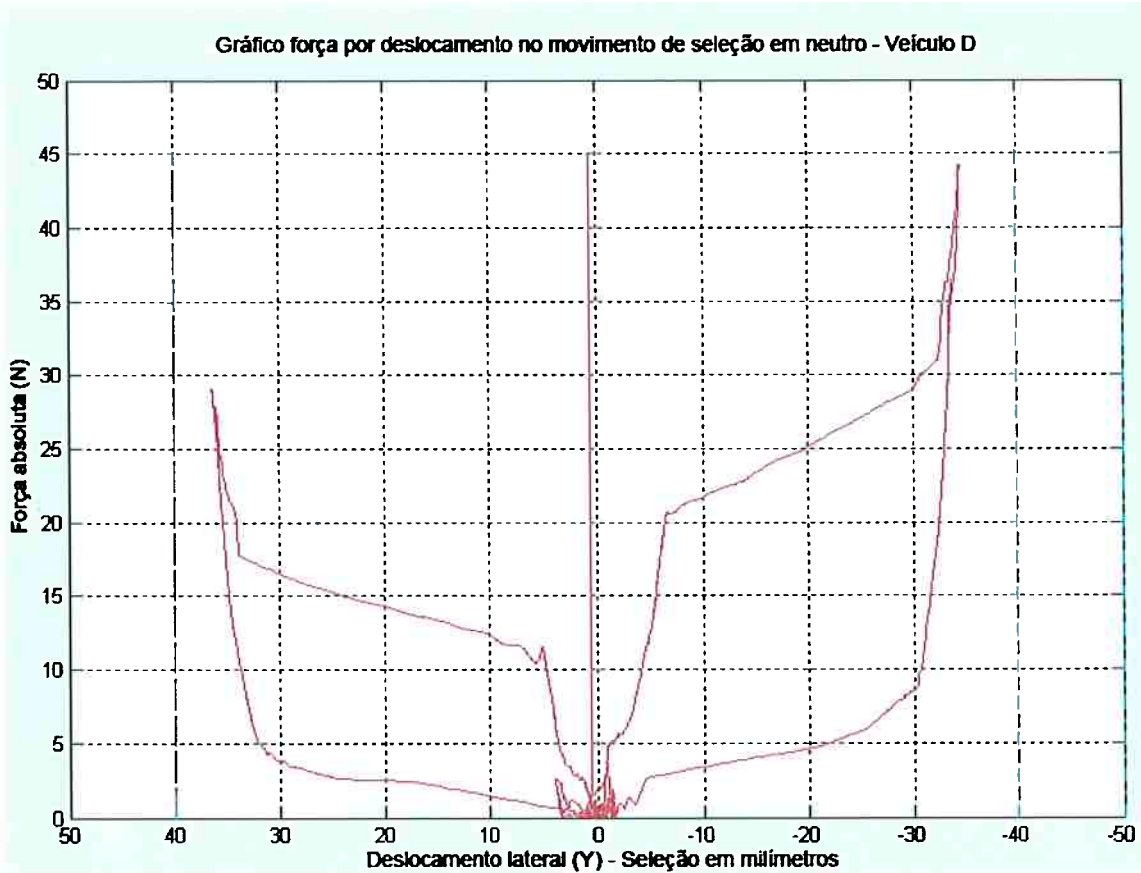


Gráfico 33 – Perfil de força na seleção entre 1-5 para o veículo D

4.2.5. Manoplas de engate

As manoplas de acionamento dos veículos A, C e D apresentam formato esférico e diâmetros similares.

	Unidade	Veículo A	Veículo C	Veículo D
Diâmetro	mm	50	50	45

Figura 56 – Diâmetro das manoplas

4.2.6. Caminhos percorridos durante o engate

Através da aquisição dos dados é possível se analisar o caminho percorrido pela alavanca conforme a troca de marchas.

Os gráficos a seguir apresentam os caminhos percorridos pela alavanca para um motorista em particular.

Através dos gráficos é possível se verificar que o motorista guia a alavanca por caminhos diferentes conforme a intenção da troca.

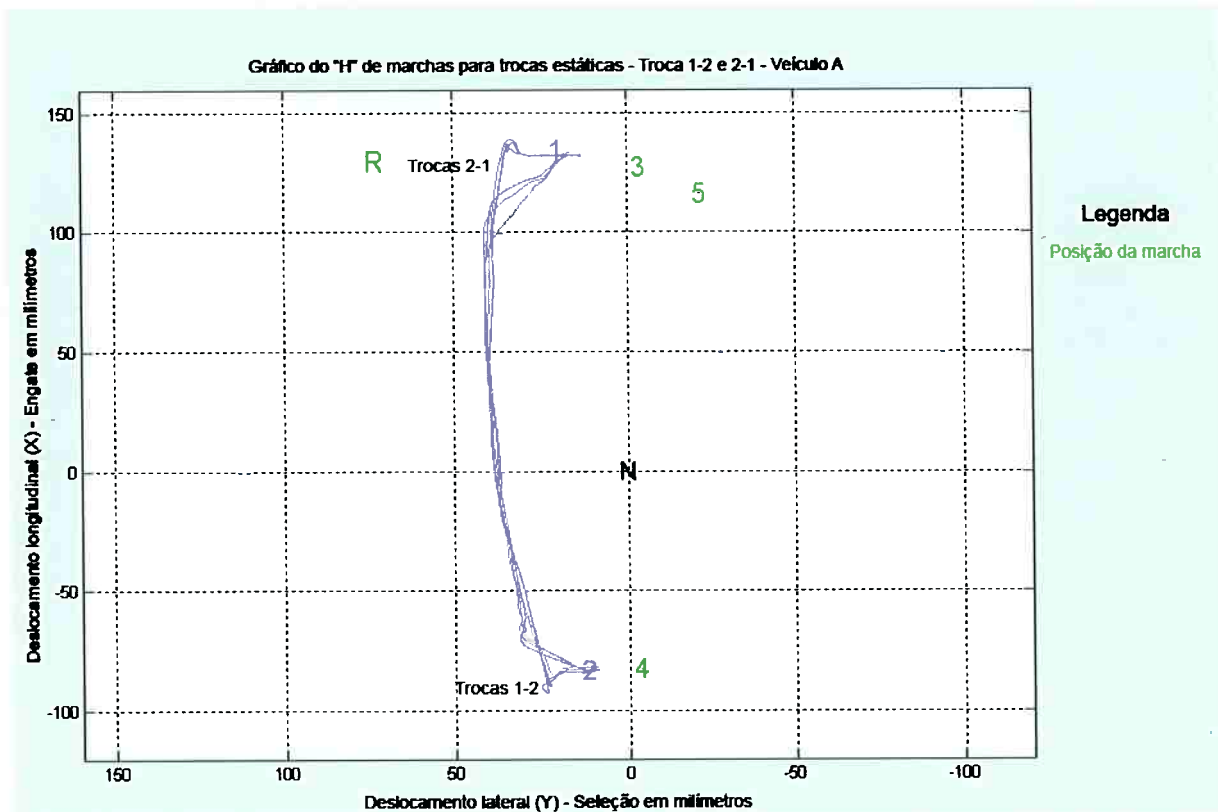


Gráfico 34 – Caminho percorrido pela alavanca na troca 1-2 e 2-1

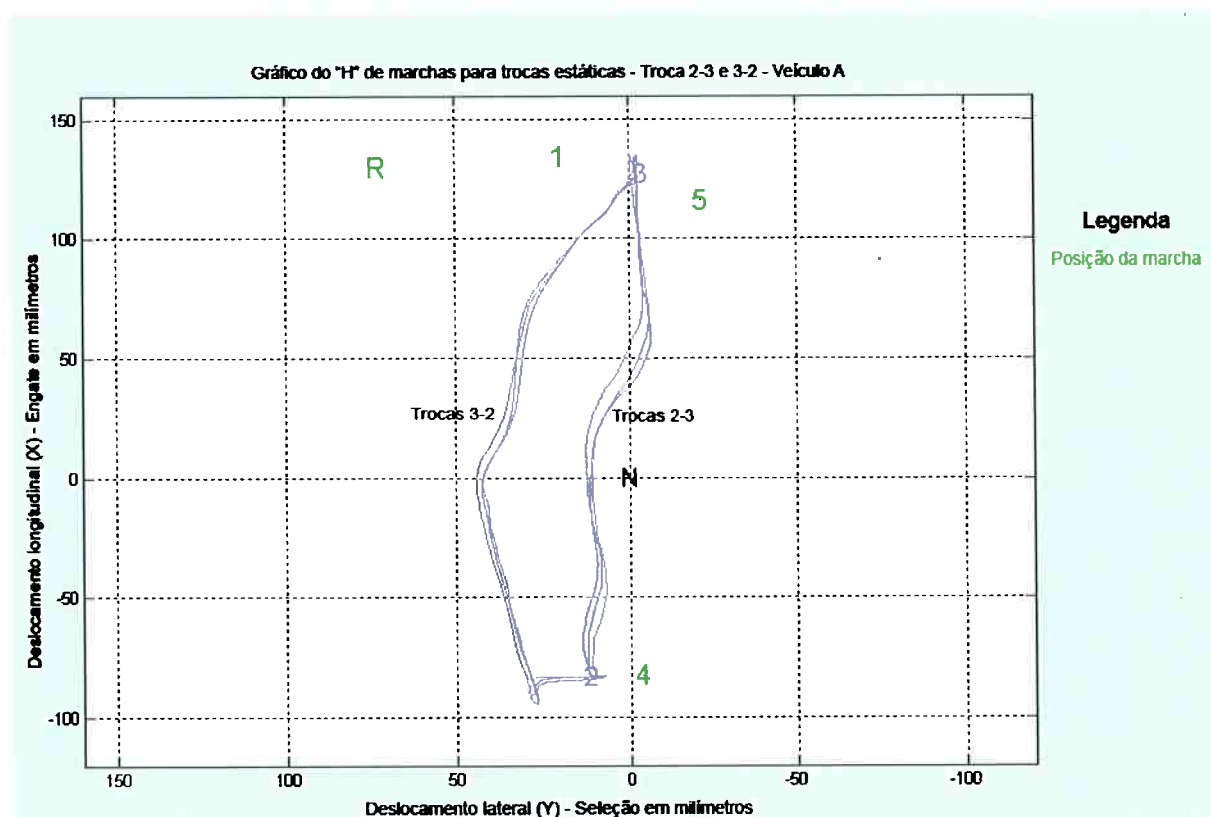


Gráfico 35 – Caminho percorrido pela alavanca na troca 2-3 e 3-2

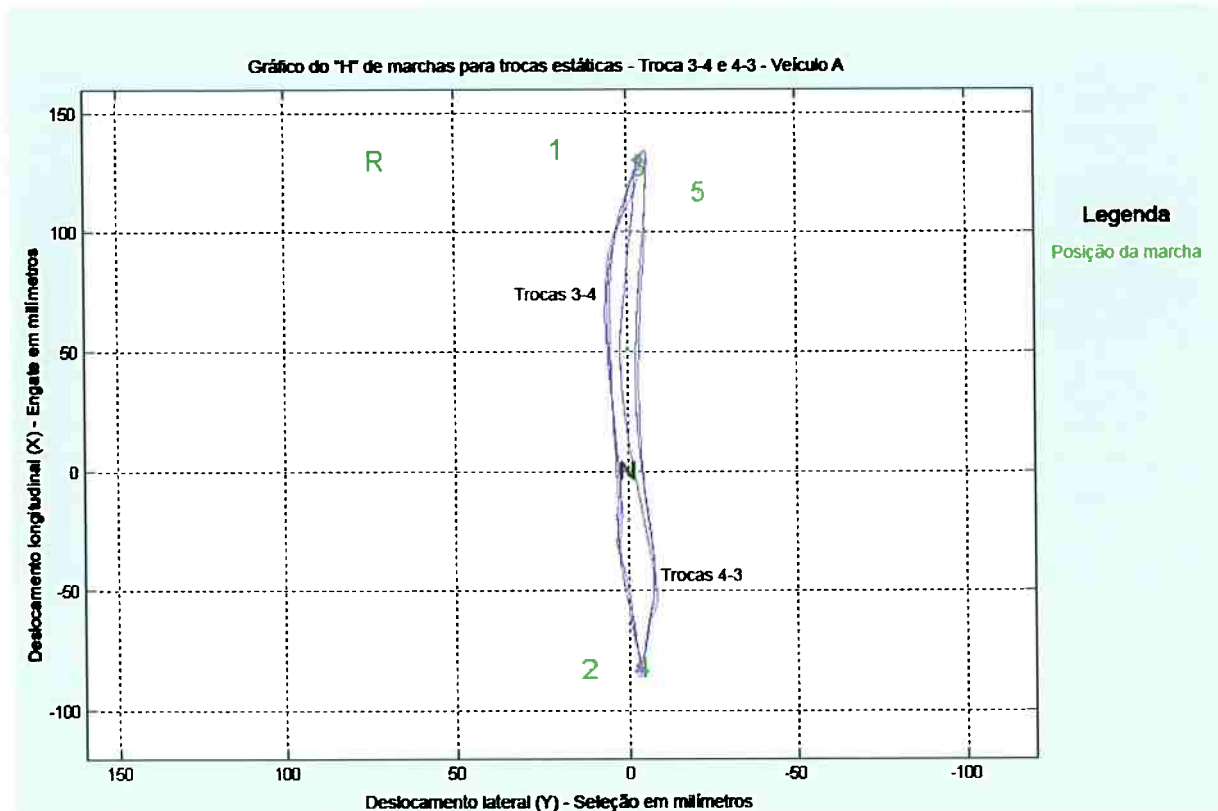


Gráfico 36 – Caminho percorrido pela alavanca na troca 3-4 e 4-3

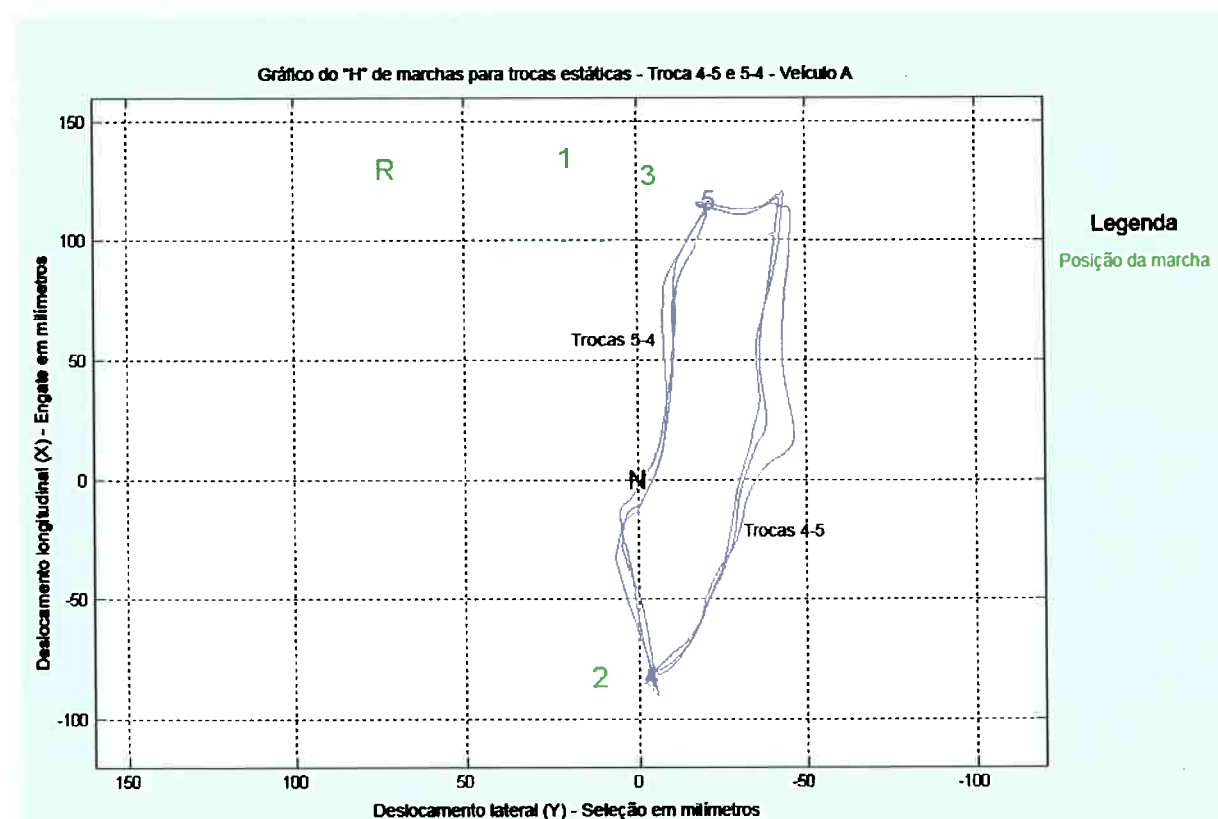


Gráfico 37 – Caminho percorrido pela alavanca na troca 4-5 e 5-4

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a análise dos dados apresentados, necessita-se explicar os pontos principais observados.

Os veículos analisados A, C e D se apresentaram dentro das práticas recomendadas pela SAE através da recomendação prática SAE J287(1998) para alcance de comandos sendo que em todas as condições analisadas as distâncias até a manopla sempre foram menores que o alcance calculado. Somente o veículo A apresentou uma condição próximo do limite de alcance na condição de engate da 5ª marcha (condição de cálculo A). Na prática, foi o veículo que apresentou o maior deslocamento do ombro durante o engate de 5ª marcha confirmando o resultado da norma.



Figura 57 – Deslocamento do ombro durante o engate de 5ª marcha

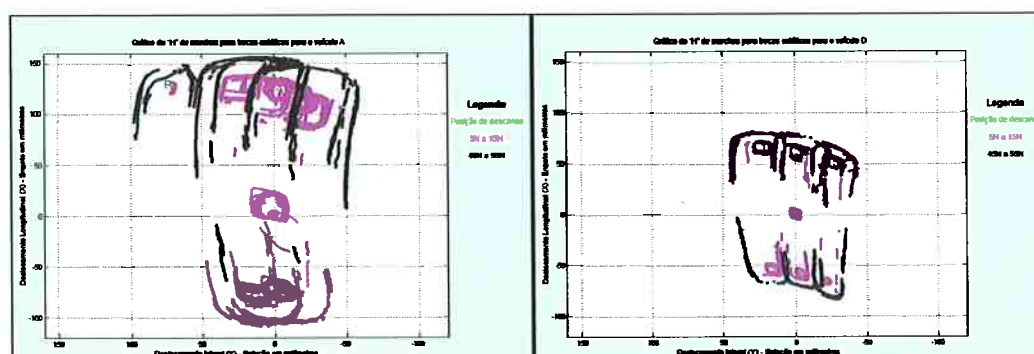


Figura 58 – Análise do gráfico de posicionamento de marchas – Plano XY (veículo A e D)

A figura 58 apresenta a posição ocupada pela alavanca em cada marcha em três condições distintas de força: repouso, 5 a 15N e 45 a 55N.

A condição de repouso representa a posição da alavanca quando posicionada em uma marcha e sem a ação de nenhuma força do motorista. Uma posição muito próxima entre marchas adjacentes próximas a 20 mm pode dificultar o reconhecimento tanto visual como pelo posicionamento do braço do motorista. Isso pode ser agravado por uma folga no sistema.

Uma folga pode ser verificada com a aplicação de pequenas forças na faixa de 5 a 15N. Grandes folgas podem levar a sobreposição de marchas no espaço confundindo o motorista.

Uma força maior da ordem de 45 a 55N é normalmente utilizada para a verificação da elasticidade do sistema de troca de marchas. Um sistema muito flexível ou elástico irá passar uma sensação de imprecisão e de fragilidade do sistema. Um sistema muito rígido poderá incomodar o motorista ao se movimentar a alavanca contra os seus batentes de final de curso. Já um sistema equilibrado, irá apresentar uma sensação robusta e um amortecimento de batidas sendo confortável para o motorista.

O deslocamento necessário para a seleção tem grande influência para a sensação de precisão. Deslocamentos muito pequenos dificultam o reconhecimento do caminho correto para a marcha desejada. Deslocamentos muito grandes requerem uma grande movimentação da mão e braço do motorista. Os três veículos apresentaram deslocamentos similares para a seleção.

O deslocamento necessário para o engate da marcha tem grande influência no conforto do motorista devido à movimentação de mão, braço e ombro necessários para a realização do engate. Engates curtos como os dos veículos C e D foram os melhores na avaliação de ambos os motoristas técnicos e não técnicos.

O sistema melhor equilibrado e definido na observação dos gráficos é o apresentado pelo veículo D.

As trocas estáticas representam a análise feita pelo motorista em um veículo desligado e parado como no pátio de uma loja ou em uma exposição de carros. Essa primeira análise feita pelo motorista pode influenciar a compra principalmente se o sistema for excessivamente duro (alto esforço) e com engates ásperos ou “não macios”.

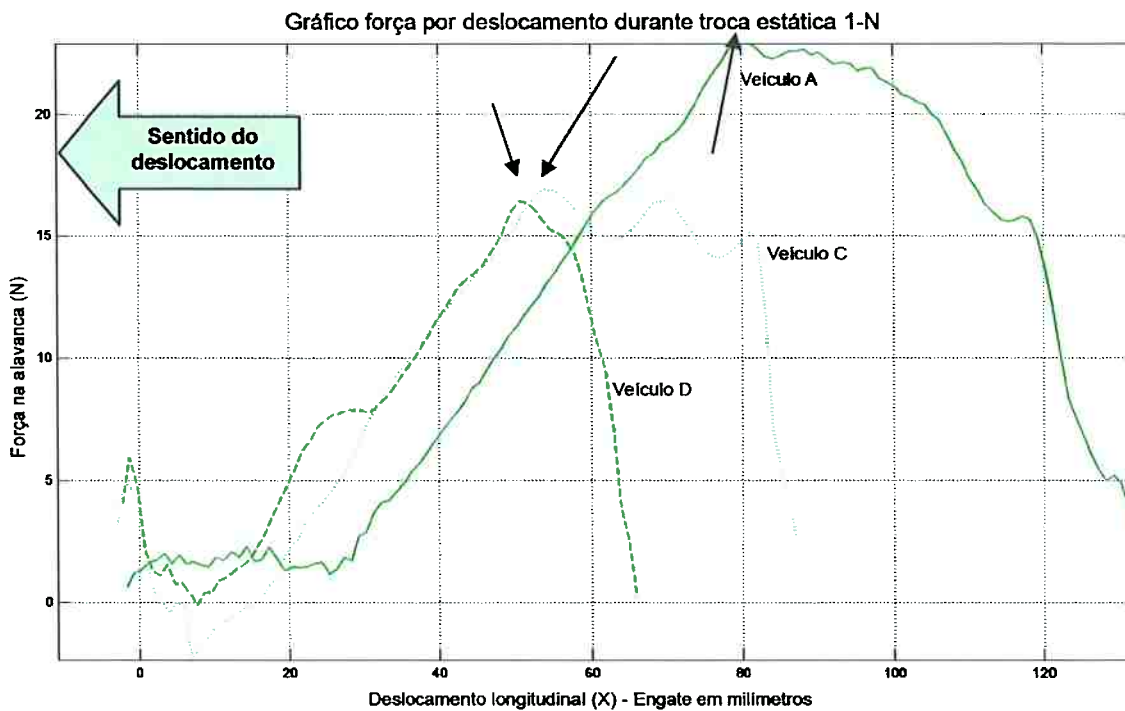


Figura 59 – Análise do gráfico de perfil de força no deslocamento durante troca estática (desengate)

Na troca estática 1-N (desengate) é possível observar na figura 59 os picos de força durante o deslocamento para cada veículo. Esse pico de força é resultado da compressão e expansão de um sistema mola-esfera que corre por rampas calibradas. Os picos de força podem ser especificados e/ou calibrados durante a fase de projeto da caixa de transmissão ou do sistema de controle. A força acumulada nesse sistema mola-esfera possui como função principal criar uma força resistiva ao desengate da marcha. Essa força resistiva ao desengate é importante para se evitar o desengate por acidente ou sem intenção do motorista

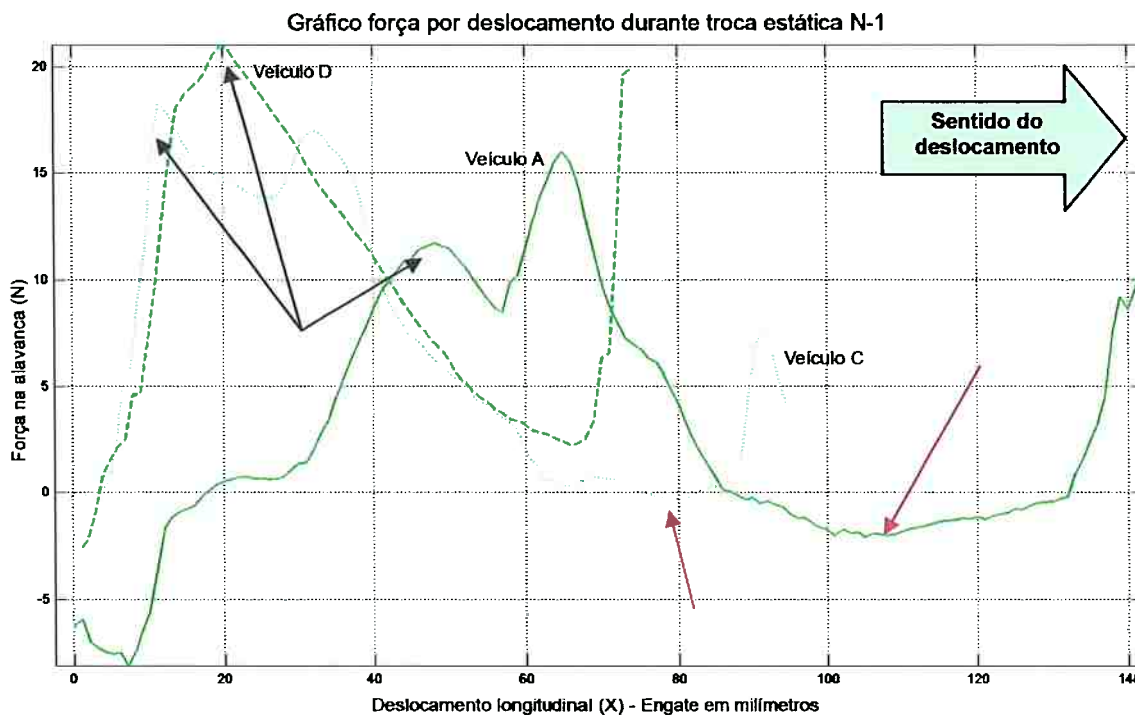


Figura 60 – Análise do gráfico de perfil de força no deslocamento durante troca estática (engate)

Na troca estática N-1 (engate) é possível observar na figura 60 os picos de força durante o deslocamento. Esse pico de força é resultado da compressão e expansão do sistema mola-esfera. A força acumulada no sistema mola-esfera no processo de engate possui como função principal diminuir a força durante a troca de marchas dinâmica na fase entre o neutro e a marcha. A existência de múltiplos picos de força nesse deslocamento passam a sensação de engates com “trancos” ou “não macios” como verbalizados pelos motoristas durante a clínica. Os picos múltiplos podem ser observados em quase todos os engates do veículo C.

Um longo curso de baixo esforço como os apontados pelas setas em vermelho na figura 60 permitem o movimento da alavanca passando a sensação da existência de uma folga no sistema. Isso pode prejudicar a sensação de precisão do mesmo por não definir com exatidão a posição da marcha engatada. Esse cursos de baixo esforço estão presentes nos veículo A e C.

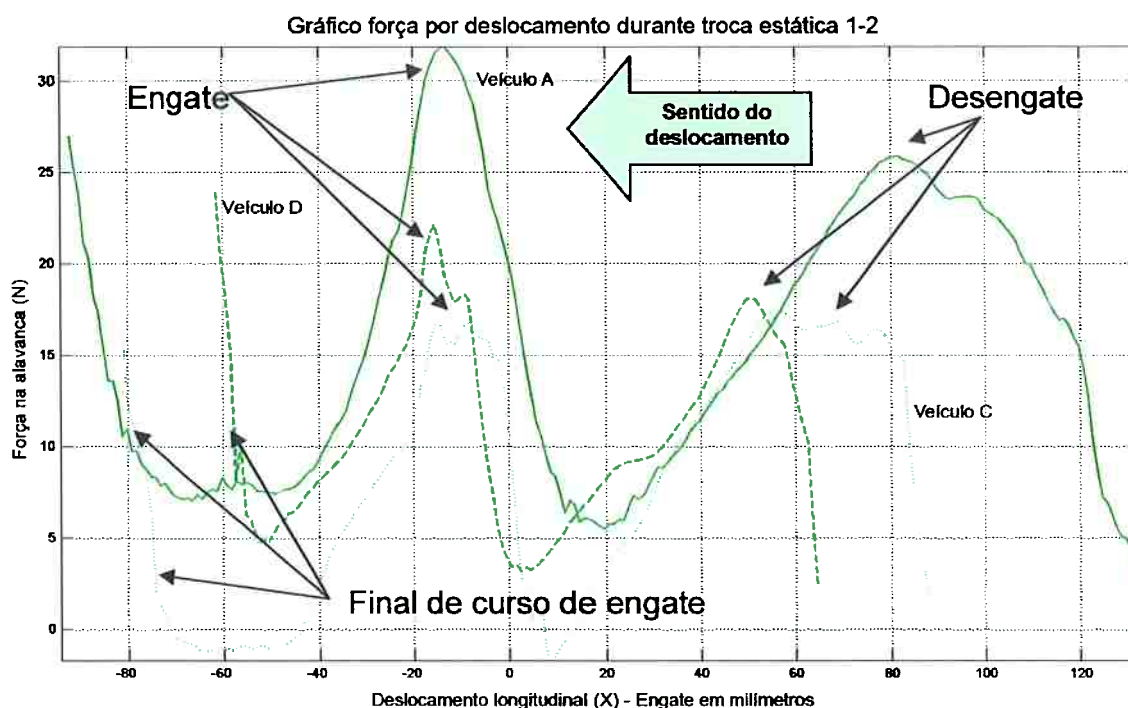


Figura 61 – Análise do gráfico de perfil de força no deslocamento durante troca estática (desengate seguido de engate)

Na figura 61 pode-se observar um deslocamento completo entre o desengate de uma marcha (nesse caso 2ª marcha) até o engate completo da outra marcha (nesse caso 1ª marcha). Os picos de forças observados de desengate e engate são resultados do sistema mola-esfera. O pico de força à esquerda indica o final do curso de deslocamento aonde a alavanca chega ao seu batente final. Qualquer deslocamento a partir desse ponto é fruto da deformação da mesma.

Em todas as trocas observa-se que ambos os veículos A e D apresentam forças maiores que a do veículo C. Essa maior força contribui para uma boa definição do engate e desengate passando uma sensação de precisão para o motorista. Uma carga menor como a do veículo C pode não definir com clareza o engate e desengate percebido pelo motorista.

A inclinação do perfil de força observado no final de curso de engate mostra a elasticidade da alavanca utilizada em cada veículo. A percepção do motorista para perfis de força muito verticais é a de um final de curso duro e sem amortecimento. Os perfis de força muito verticais quando utilizados juntos de manoplas rígidas levam a um impacto maior entre a mão do motorista e a manopla causando desconforto. Por outro lado, uma alavanca pouco rígida pode passar a sensação de fragilidade para o motorista.

As trocas dinâmicas representam trocas de marcha em um veículo em movimento e com o motor ligado no trânsito. As trocas para marchas acima ocorrem entre 3200 e 3600 rotações do motor e as trocas para marchas abaixo entre 2400 e 2800 rotações do motor. O estado do motor em rotações quando o motorista troca de marchas depende do gosto e/ou hábito do mesmo. Um estudo completo deve considerar várias faixas de rotações do motor.

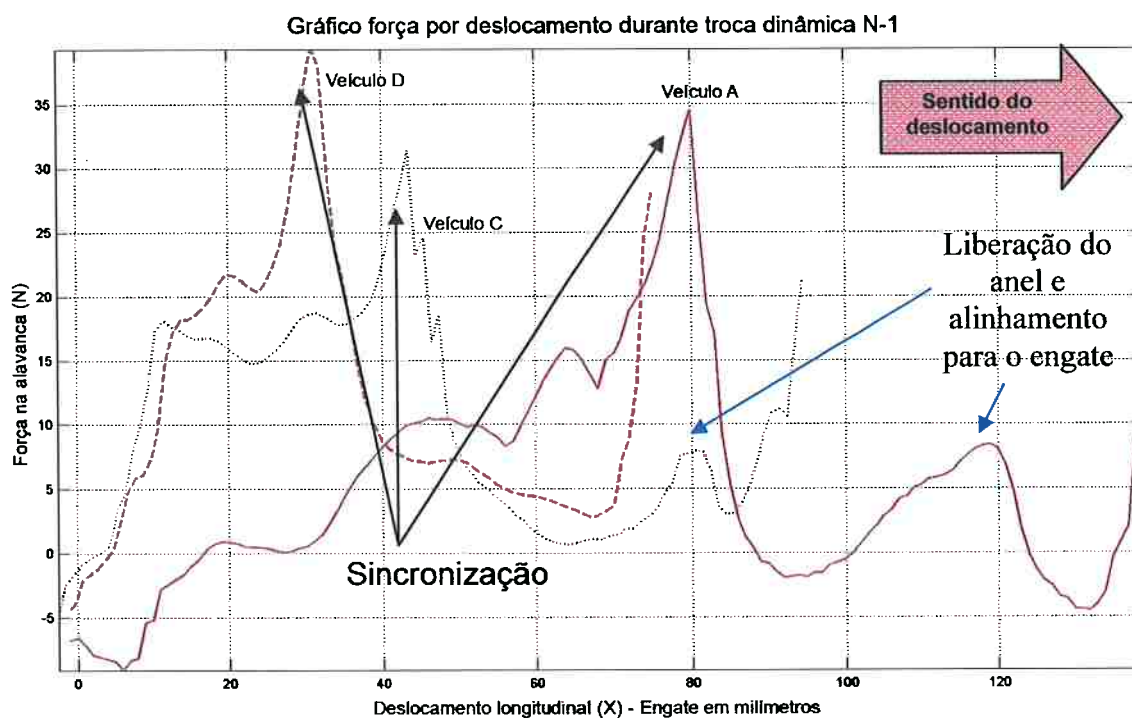


Figura 62 – Análise do gráfico de perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica acima N-1

A figura 62 apresenta um engate a partir do neutro mostrando os picos de forças relacionados à sincronização da marcha sendo engatada. Esforços muito elevados irão cansar e/ou incomodar o motorista. A rápida queda da força após a sincronização até valores nulos mostra que a alavanca se separou da mão do motorista seguindo seu movimento na direção de engate. Esse movimento produz um efeito de “puxar de marcha” como se o sistema de engate estivesse realizando o final da troca sem o auxílio do motorista. Esse efeito foi observado em todos os veículos.

As setas em azul na figura 62 mostram a força necessária para a liberação do anel sincronizador e o alinhamento final para o engate. Quando o valor dessa força é similar à da força de sincronização, o motorista tem a sensação de um engate de

dois estágios e com trancos. Em nenhum veículo foi observado uma segunda força elevada na condição da troca em análise.

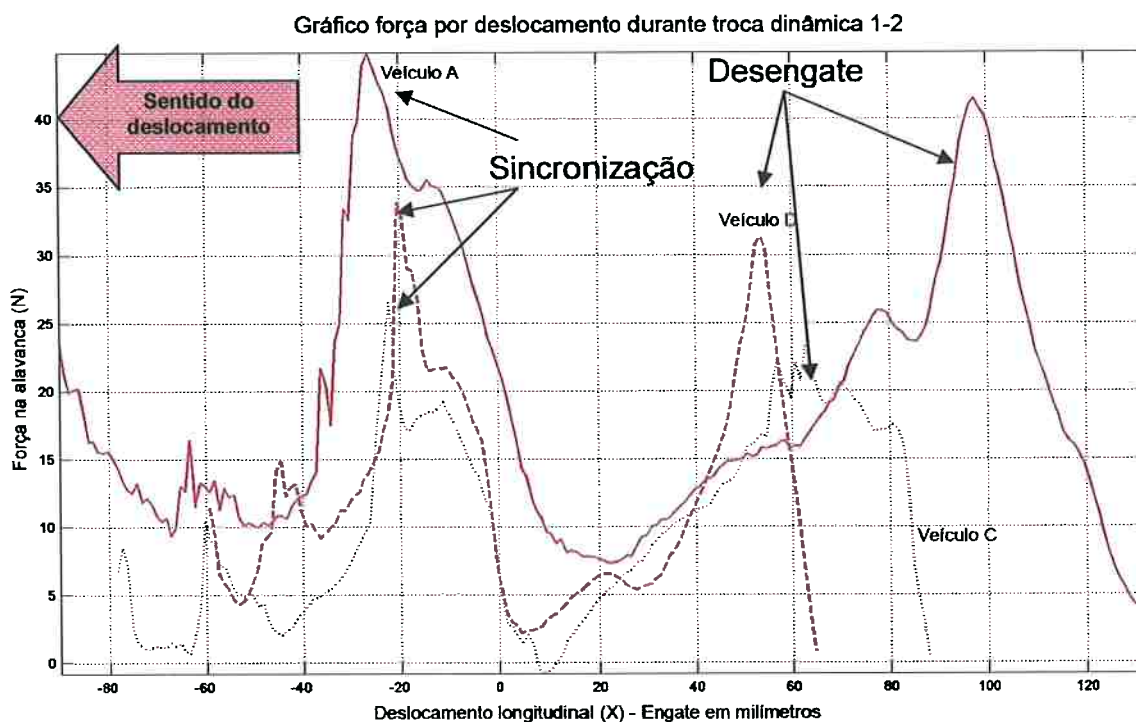


Figura 63 – Análise do gráfico de perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica acima 1-2

Na troca completa entre a 2ª marcha e 1ª marcha mostrada na figura 63, observa-se a força de desengate e a força de sincronização. Uma força de desengate em trocas dinâmicas muito maiores (próximas ao dobro) que as trocas estáticas indicam uma troca sem a abertura total da embreagem causada ou por um motorista desatento ou por um sistema de embreagem defeituoso ou mal regulado. Isso foi observado nessa troca para o veículo A.

As trocas de 2ª para 1ª marcha são as mais utilizadas principalmente na condição anda-pára do trânsito de grandes cidades. À essas trocas estão associadas as maiores forças de engate devido as suas relações e inércias. Assim nenhuma outra troca deve apresentar forças maiores de acionamento.

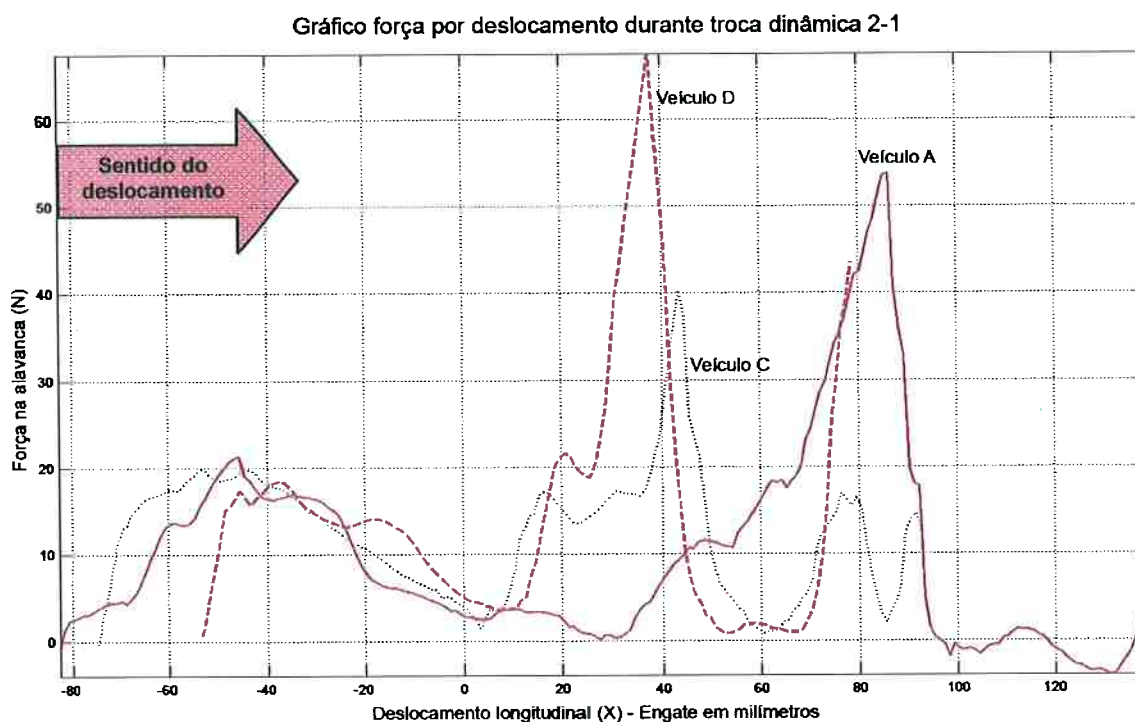


Figura 64 – Análise do gráfico de perfil de força no deslocamento durante troca dinâmica acima 1-2

A troca de 2ª para 1ª está representada na figura 64. Os maiores valores de força entre todas as trocas para todos os veículos foram encontrados na troca 2-1.

O veículo C apresentou um perfil de forças muito semelhante para todas as trocas e sempre abaixo dos veículos A e D. Apesar das medições mostrarem esses melhores valores, a pesquisa como motoristas técnicos e não técnicos não refletiu esse resultado colocando o veículo D como o melhor para os técnicos e o A para os não técnicos. Esse resultado indica que forças muito baixas podem passar uma sensação ruim ao motorista. Para essa confirmação é necessário uma melhor análise da atividade do motorista durante o processo de troca.

A análise do gráfico de perfil de força na direção da seleção - figura 65 - mostra uma maior folga nos veículos A e C e gradientes de força de seleção semelhantes em todos os veículos para a esquerda. Para a direita, os veículos apresentaram gradientes de força diferentes. Os maiores gradientes foram observados nos veículos A e D, considerados pelos motoristas não técnicos como os melhores. Os motoristas técnicos consideraram o gradiente de força do veículo C como o melhor.

Oscilações no gradiente de força, com picos localizados, resultam em um movimento de seleção considerado pelos motoristas não técnicos como áspero ou não macio.

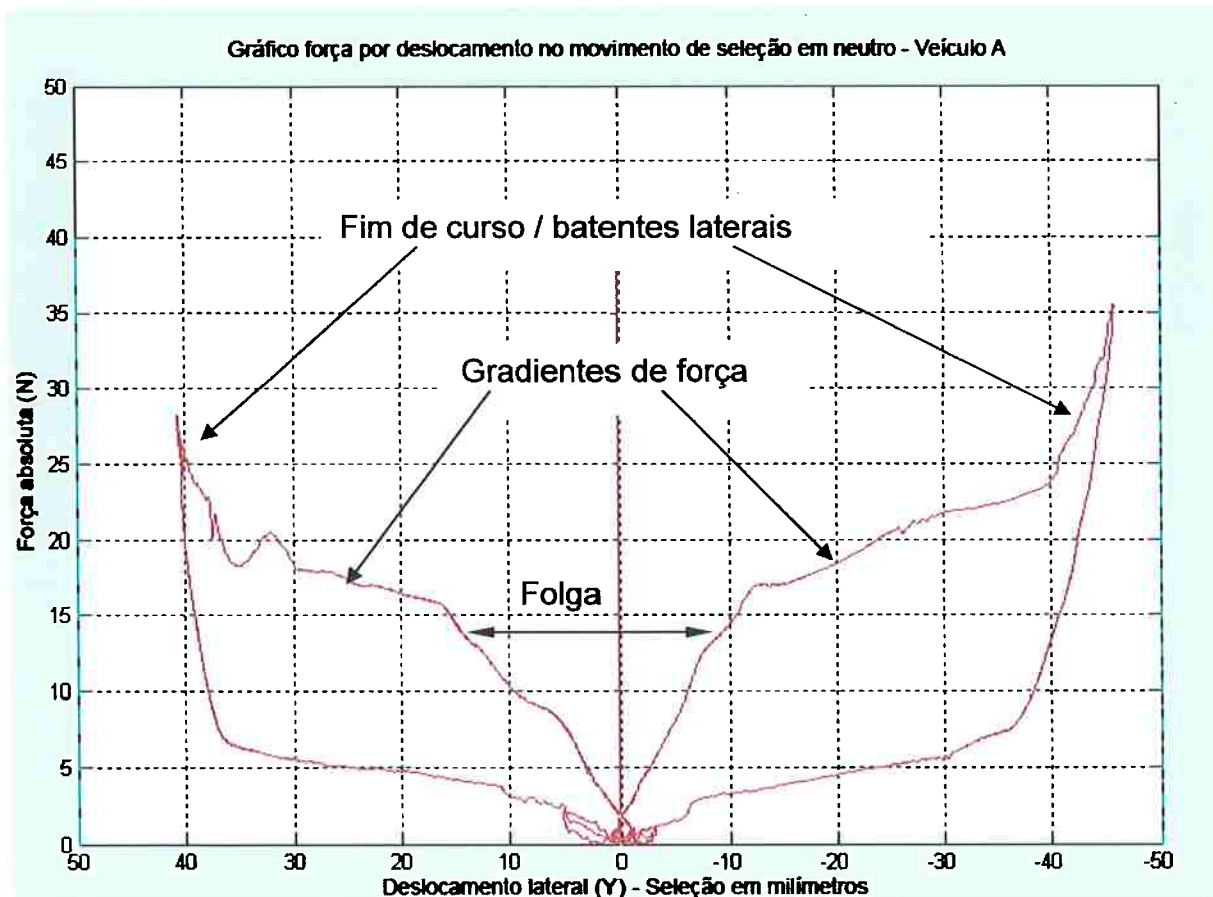


Figura 65 – Análise do gráfico de perfil de força na seleção entre 1-5

Um resumo das medições pode ser observado na figura 66.

Item avaliado	Veículo	Média Avaliação Não técnicos	Média avaliação técnicos	Valores Medidos	Unidade	Descrição
Boa força de engate	A	4.57	4	Estático 25-35 Dinâmico 30-68 (média: 42.7)	N	Faixa de forças e média
	B	3.5	2.5	-	N	
	D	4.13	2.5	Estático 20-30 Dinâmico 27-55 (média: 36.6)	N	
	C	3.71	3.5	Estático 12-20 Dinâmico 23-40 (média: 25.6)	N	
Boa força de seleção	A	3.86	2.5	E: 18 / D: 23	N	Força E para esquerda Força D para direita
	B	3.75	3	-	N	
	D	4.13	3.5	E: 18 / D: 30	N	
	C	3.71	4	E: 15 / D: 20	N	
Precisão no engate	A	4.57	1.5	-	-	Função do deslocamento seleção e engate e as forças associadas
	B	4	2	-	-	
	D	4.75	3	-	-	
	C	4.14	3.5	-	-	
Engate macio sem trancos	A	3.71	3.5	2	-	Número de picos de força
	B	2.75	2	-	-	
	D	4	3	2	-	
	C	2.71	3	2	-	
Boa altura de alavanca	A	4.71	-	170	mm	Diferença de altura entre o ponto H e a alavanca
	B	4.63	-	-	mm	
	D	4.25	-	155	mm	
	C	4.57	-	135	mm	
Bom curso de engate	A	3.57	1.5	F: 150 / T: 100	mm	F: curso à frente T: curso à trás
	B	3.13	2.5	-	mm	
	D	4.5	4	F: 75 / T: 75	mm	
	C	4.29	3	F: 100 / T: 90	mm	
Bom curso de seleção	A	4.29	2.5	E: 50 / D: 50	mm	E: curso para esquerda D: curso para direita Curso entre marchas à frente
	B	3.75	3	-	mm	
	D	4.25	2	E: 45 / D: 45	mm	
	C	4.29	2.5	E: 40 / D: 55	mm	
Boa posição no carro	A	4.57	2.5	Atende	-	Avaliação de alcance em 5a. Marcha
	B	4	2	Atende	-	
	D	4.5	3.5	Atende	-	
	C	3.57	3	Atende	-	

Figura 66 – Comparação dos resultados

As manoplas dos três veículos apresentam dimensional e formato similares. A manopla com material mais rígido ao toque foi a do veículo C. Esse veículo apresenta também o sistema de trocas mais rígido. Essa rigidez de todo o sistema pode ter levado ao mau resultado no quesito de “maciez” no engate atribuído pelos motoristas não técnicos.

As avaliações subjetivas técnicas e não técnicas apresentam diferenças. No entanto, as diferenças observadas nas medições objetivas não são grandes entre os veículos mostrando até certa semelhança entre os sistemas estudados.

A análise dos caminhos da alavanca percorridos durante os engates mostram que o motorista percorre caminhos diferentes conforme a intenção de troca. O estudo dos caminhos utilizados por diversos motoristas pode mostrar uma tendência a ser explorada no desenvolvimento de sistemas de troca para facilitar seu uso. Os caminhos deverão ser observados para uma análise mais profunda da atividade realizada pelo motorista.

6. CONCLUSÕES

A análise das notas da avaliação dos motoristas não técnicos e das notas da avaliação dos motoristas especialistas apresenta uma diferença de resultados demonstrando que a avaliação dos especialistas não representa o desejo ou necessidade do usuário real.

Outra análise do material indicou que o veículo considerado como pior veículo no quesito de sistema de controle na pesquisa geral (veículo A) apresentou resultado na avaliação dos motoristas não técnicos muito semelhante ao veículo considerado como referência (veículo D). Isso demonstra uma possível variação de fabricação entre veículos do tipo A resultante de um sistema não robusto ou de problemas de qualidade.

Pode-se concluir também que a diferença na avaliação técnica e não técnica é resultado da falta de uma análise da real atividade que o motorista exerce durante uma troca, diferente da definição da tarefa da troca de marchas pelos especialistas.

Uma análise baseada no estudo da atividade pode levar a resultados mais eficientes para a definição de um sistema ótimo. Essa análise pode envolver um estudo mais aprofundado dos caminhos percorridos pela alavanca que é o resultado da intenção do motorista e do caminho permitido pela alavanca. A análise ergonômica trata, efetivamente, da tentativa de se reconstituir a tarefa admitida pelo motorista e as dificuldades para sua realização. Tarefa essa diferente da que lhe é prescrita, da tarefa que ele compreendeu e da tarefa que dele se espera.

O estudo dos resultados objetivos e sua comparação com as avaliações subjetivas dão subsídio para a recomendação de algumas especificações para o projeto de novos sistemas de controle.

Item avaliado	Valores Recomendados	Unidade	Descrição
Força de engate	Estático 25-35 Dinâmico 30-50	N	Faixa de força de engate
Força de seleção	E: 18 / D: 30	N	Força E para esquerda Força D para direita
Curso de engate	F: 75 / T: 75	mm	F: curso à frente T: curso à trás
Curso de seleção	E: 50 / D: 50	mm	E: curso para esquerda D: curso para direita Curso entre marchas à frente
Altura de alavanca	135-170	mm	Diferença de altura entre o ponto H e a alavanca

Figura 67 – Recomendações de projeto

A força de engate não pode ser muito baixa, pois passa uma sensação ruim ao motorista. Uma força muito alta irá levar a reclamações.

O gradiente de força na seleção deve ser diferente entre lado direito e esquerdo. Um maior gradiente de força no lado direito ajuda na identificação da 3ª e 5ª marchas. Um gradiente de força de seleção baixo para ambos os lados pode deixar a alavanca sem referência de neutro dificultando o engate de marchas.

O curso de engate é um dos quesitos mais sensíveis ao motorista técnico e não técnico. O motorista busca por cursos reduzidos que ainda transmitam a sensação de engate completo.

O curso de seleção deve ser se possível simétrico e apresentar um deslocamento próximo a 50 mm para fácil identificação da marcha sendo selecionada, ou mesmo, da identificação da marcha engatada de forma visual ou pelo reconhecimento através da posição do braço.

A altura da alavanca não foi um quesito de alta sensibilidade para os motoristas. A altura (diferença entre o ponto H e o topo da manopla da alavanca) variou entre 135 e 170 mm sem afetar as notas dadas. No entanto não se recomenda alavancas mais altas para se evitar que o motorista tenha que manter o braço elevado durante a condução do veículo.

Recomenda-se a continuação do estudo da abordagem ergonômica ao projeto do sistema de controle a fim de se completar as especificações faltantes para a definição do sistema de controle ideal.

A identificação da atividade real realizada pelos motoristas e sua compreensão irá ajudar na melhor especificação da tarefa envolvida e assim das especificações de engenharia para o sistema. Uma observação de um grande número de motoristas associado a uma avaliação subjetiva e objetiva simultânea e gravações em vídeo podem levantar mais informações para o entendimento da atividade real.

REFERÊNCIAS

ANFAVEA; **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira / Brazilian Automotive Industry Yearbook.** Brasil, 2006. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario2006/indice.pdf>>. Acesso em 08 jan. 2007.

CHAFFIN, D. B.; ANDERSSON, G. B. J.; MARTIN, B. J. **Biomecânica ocupacional.** Tradução de Fernanda Saltiel Barbosa da Silva. Belo Horizonte: Ergo, 2001.

DANIELLOU, F. (Coord.). **A ergonomia em busca de seus princípios: debates epistemológicos.** Coordenadora da tradução de Maria Irene Betiol. Revisão técnico-científica de Laerte Idal Szelwar, Leila Nadim Zidan. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

GUÉRIN, F.; LAVILLE, A.; DANIELLOU, F.; DURAFFOURG, J. KERGUELEN, A. **Compreender o trabalho para transformá-lo: a prática da ergonomia.** Tradução de Giliane M. J. Ingratta e Marcos Maffei. Revisão técnico-científica de Laerte Idal Szelwar, Leila Nadim Zidan. São Paulo: Edgard Blücher: Fundação Vanzolini, 2001.

HAMFELD, H.; HANSEN, G.; TRIEB, R.; SEIDL, A. **RAMSIS/SCAN – A new approach to 3D-body-scanning for automated anthropometric measuring and individual product design.** SAE Technical Paper 1999-01-1890. The Hague, 1999.

MANUAL transmissions: How stuff works. Disponível em: <<http://auto.howstuffworks.com/transmission.htm>>. Acesso em 15 jan. 2007.

NETO, D. V.; FLORENCIO, D. G.; RODRIGUES, P.; FERNANDEZ, J. **Manual transmission: synchronization main aspects.** SAE Technical Paper 2006-01-2519. São Paulo, 2006

IIDA, I.; WIERZZBICKI, H. A. J. **Ergonomia: notas de aula.** 3ª ed. São Paulo: EPUSP, 1978.

PARKINSON, M.B.; REED, M. P. **Considering driver balance capability in truck shifter design.** SAE Technical Paper 2006-01-2360. Lyon, 2006.

PARKINSON, M.B.; REED, M. P. **Optimizing vehicle occupant packaging.** SAE Technical Paper 2006-01-0961. Detroit, 2006.

PARKINSON, M.B.; REED, M. P.; CHAFFIN, D. B. **A new approach to modeling driver reach.** SAE Technical Paper 2003-01-0587. Detroit, 2003.

PEACOCK, B. KARWOWSKY, W. (Ed.). **Automotive ergonomics.** London: Taylor & Francis, 1993.

SALVEDY, G. **Handbook of human factors and ergonomics.** 2nd ed. United States: John Wiley & Sons, 1997.

SANDERS, M. S.; McCornick, E. J. **Human factors in engineering and design.** 6th ed. McGraw-Hill Book Company, 1987

SCHERRER, J. et al. **Précis de physiologie du travail. Notions d'ergonomie.** 2nd ed. Paris: Masson, 1992

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. **SAE J287: Surface vehicle recommended practice: Driver hand control reach.** Warrendale, 1998.

_____. **SAE J826: Surface vehicle standard: Devices for use in defining and measuring vehicle seating accommodation.** Warrendale, 1995.

_____. **SAE J826: Surface vehicle standard: H-Point machine and design tool procedures and specifications.** Warrendale, 2002.

_____. **SAE J1100: Surface vehicle recommended practice: Motor vehicle dimensions.** Warrendale, 2005.

_____. **SAE J1608: Surface vehicle recommended practice: Manual transmission shift patterns.** Warrendale, 2001.

STANTON, N. A.; YOUNG, M. S. **A guide to methodology in ergonomics. Designing for human use.** New York: Taylor & Francis, 1999

WIRSCHING, H. J.; JUNGER, J.; FRITZSCHE, F. **An integrated and evaluated simulation of human-seat interaction.** SAE Technical Paper 2006-01-2361. Lyon, 2006.

WOODSON, W. E.; CONOVER, D. W.; **Human engineering guide for equipment designers.** 2nd ed. Berkeley: University of California Press, 1964

APÊNDICE A – Tabelas da recomendação prática SAE J287

TABLE 10m

HAND REACH-RESTRAINED VEHICLE RANGE: (-0.24 < G < +0.24) POPULATION MIX: 50/50 MALES-TO-FEMALES

(mm)

HORIZONTAL REACH FORWARD OF THE HR REFERENCE PLANE AT STATIONS LOCATED LATERALLY FROM THE CENTERLINE OF OPERATOR (C L/O) AND AT ELEVATIONS ABOVE THE REARMOST H POINT. THE ENVELOPE DESCRIBES A 95% LEVEL OF PERFORMANCE OF A DRIVER POPULATION COMPOSED OF 50% MALE AND 50% FEMALE DRIVERS WEARING A TYPE 2s RESTRAINT.

ELEVATION ABOVE H PT (mm)	STATIONS OUTBOARD OF C L/O (mm)							STATIONS INBOARD OF C L/O (mm)								
	400.	300.	250.	200.	100.	50.	0.	50.	100.	200.	250.	300.	400.	500.	600.	
800.	397.	449.	467.	482.	503.	510.	516.	514.	524.	527.	517.	506.	491.	452.	403.	
700.	472.	515.	530.	542.	557.	563.	568.	569.	583.	558.	579.	564.	555.	523.	440.	
600.	528.	563.	576.	586.	596.	597.	596.	606.	623.	629.	625.	617.	604.	578.	536.	470.
500.	562.	593.	605.	614.	619.	614.	603.	627.	644.	653.	656.	651.	643.	616.	572.	505.
450.	573.	602.	614.	623.	625.	616.	597.	632.	647.	658.	666.	663.	656.	628.	582.	516.
400.	580.	606.	619.	628.	628.			654.	672.	672.	666.	666.	637.	587.	523.	
350.	582.	606.	620.	630.	626.			654.	675.	677.	672.	672.	641.	587.	525.	
300.	580.	602.	617.	627.	621.			646.	673.	674.	675.	641.	582.	524.		
250.	573.	594.	610.	622.	613.			633.	669.	677.	674.	637.	572.	518.		
200.	563.	582.	599.	613.	601.			616.	660.	671.	670.	629.	557.	509.		
100.	529.	546.	567.	584.				632.	651.	652.	602.	513.	477.			
0.	479.	494.	520.	542.				590.	617.	621.	558.	450.				
-100.	414.	427.	460.	487.				534.	570.	577.	499.	368.				

TABLE 11m

HAND REACH-RESTRAINED VEHICLE RANGE: (-0.24 < G < +0.24) POPULATION MIX: 75/25 MALES-TO-FEMALES

(mm)

HORIZONTAL REACH FORWARD OF THE HR REFERENCE PLANE AT STATIONS LOCATED LATERALLY FROM THE CENTERLINE OF OPERATOR (C L/O) AND AT ELEVATIONS ABOVE THE REARMOST H POINT. THE ENVELOPE DESCRIBES A 95% LEVEL OF PERFORMANCE OF A DRIVER POPULATION COMPOSED OF 75% MALE AND 25% FEMALE DRIVERS WEARING A TYPE 2s RESTRAINT.

ELEVATION ABOVE H PT (mm)	STATIONS OUTBOARD OF C L/O (mm)							STATIONS INBOARD OF C L/O (mm)								
	400.	300.	250.	200.	100.	50.	0.	50.	100.	200.	250.	300.	400.	500.	600.	
800.	436.	485.	503.	517.	537.	544.	549.	549.	559.	563.	553.	541.	527.	489.	442.	
700.	507.	549.	564.	575.	589.	595.	600.	601.	615.	620.	611.	601.	588.	557.	515.	
600.	559.	595.	608.	617.	626.	627.	626.	636.	652.	659.	655.	647.	637.	609.	567.	500.
500.	593.	624.	635.	644.	647.	641.	629.	654.	670.	679.	683.	679.	671.	643.	599.	532.
450.	603.	631.	643.	652.	652.	642.	622.	657.	672.	683.	692.	690.	683.	655.	607.	542.
400.	608.	635.	647.	656.	656.			682.	697.	697.	691.	691.	662.	611.	547.	
350.	610.	634.	648.	657.	657.			677.	698.	701.	696.	696.	665.	609.	548.	
300.	606.	630.	644.	654.	645.			667.	696.	701.	698.	663.	603.	546.		
250.	599.	621.	637.	648.	635.			653.	690.	698.	696.	658.	591.	539.		
200.	587.	608.	625.	638.	622.			634.	680.	692.	691.	649.	575.	528.		
100.	551.	571.	592.	608.				650.	669.	671.	618.	527.	494.			
0.	498.	518.	544.	565.				606.	633.	637.	572.	460.				
-100.	430.	449.	483.	508.				547.	584.	591.	509.	374.				

TABLE 12m

HAND REACH-RESTRAINED

VEHICLE RANGE: $\{-0.24 < G < +0.24\}$

POPULATION MIX: 90/10 MALES-TO-FEMALES

(mm)

HORIZONTAL REACH FORWARD OF THE HR REFERENCE PLANE AT STATIONS LOCATED LATERALLY FROM THE CENTERLINE OF OPERATOR (C L/O) AND AT ELEVATIONS ABOVE THE REARMOST H POINT. THE ENVELOPE DESCRIBES A 95% LEVEL OF PERFORMANCE OF A DRIVER POPULATION COMPOSED OF 90% MALE AND 10% FEMALE DRIVERS WEARING A TYPE 2a RESTRAINT.

ELEVATION ABOVE H PT (mm)	STATIONS OUTBOARD OF C L/O (mm)							STATIONS INBOARD OF C L/O (mm)							
	400	300	250	200	100	50	0	50	100	200	250	300	400	500	600
800	507	524	538	557	564	570	570	581	584	574	562	546	511	464	
700	569	584	594	609	614	619	620	634	639	631	621	605	577	535	
600	579	614	626	635	644	645	643	653	669	676	678	665	655	627	518
500	611	642	653	661	664	657	644	669	685	695	699	695	687	660	546
450	621	649	661	669	669	657	636	671	686	698	707	705	698	670	557
400	626	652	664	673	669					696	712	712	706	676	562
350	626	651	664	673	669					690	712	715	711	678	562
300	622	646	660	670	659					679	709	715	712	676	559
250	614	637	653	664	649					664	702	711	709	670	551
200	601	624	641	653	634					644	692	704	703	660	539
100	564	585	607	623							661	680	682	628	504
0	510	532	559	579							615	643	647	579	466
-100	439	463	496	521							554	592	598	515	378