

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESENVOLVIMENTO DE BANCADA PARA SIMULAÇÃO
VEICULAR INTEGRANDO REALIDADE VIRTUAL E
MEDIÇÃO DE DADOS FISIOLÓGICOS**

MATEUS RODRIGUES MIRANDA

ORIENTADOR: ALBERTO CARLOS GUIMARÃES CASTRO DINIZ

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS MECÂNICAS

PUBLICAÇÃO: ENM TD – 24/2014

BRASÍLIA (DF)

2014

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESENVOLVIMENTO DE BANCADA PARA SIMULAÇÃO
VEICULAR INTEGRANDO REALIDADE VIRTUAL E MEDIÇÃO
DE DADOS FISIOLÓGICOS**

MATEUS RODRIGUES MIRANDA

**TESE SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
MECÂNICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS MECÂNICAS.**

APROVADA POR:



Prof. Alberto Carlos Guimarães Castro Diniz, PhD (ENM-UnB)

(Orientador)



Prof. Adson Ferreira da Rocha

(Examinador Interno)



Prof. Antônio Cesar Pinho Brasil Jr

(Examinador Interno)



Prof. Jorge Luiz A. Ferreira

(Examinador Interno)



Prof. Nilton Luiz Menegon, PhD (UFSCar)

(Examinador Externo)

BRASÍLIA (DF), 09 de dezembro de 2014.

FICHA CATALOGRÁFICA

MIRANDA, MATEUS RODRIGUES.

Desenvolvimento de Bancada para Simulação Veicular Integrando Realidade Virtual e Medição de Dados Fisiológicos

210 x 297 mm (ENM/FT/UnB, Doutor, Ciências Mecânicas, 2014).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Ergonomia do Produto

2.Simulação Veicular

3.Dados Fisiológicos

4.Realidade Virtual

I. ENM/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MIRANDA, M.R.. (2014). Desenvolvimento de Bancada para Simulação Veicular Integrando Realidade Virtual e Medição de Dados Fisiológicos. Tese de Doutorado em Ciências Mecânicas, Publicação ENM TD – 24/2014, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 234p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Mateus Rodrigues Miranda.

TÍTULO: Desenvolvimento de Bancada para Simulação Veicular Integrando Realidade Virtual e Medição de Dados Fisiológicos.

GRAU: Doutor

ANO: 2/2014

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa obra pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Mateus Rodrigues Miranda

SQS 215 Bloco J Apto. 410

70294-100 Brasília – DF

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa Isabel que sempre me incentivou e ajudou nas fases mais difíceis e ao meu filho Ricardo que chegou para que eu terminasse de completá-lo de forma mais sorridente.

AGRADECIMENTOS

Este foi um longo trabalho, com muitas mudanças, esperas e por fim, sua finalização.

Para a conclusão dele, tive a colaboração de diversas pessoas, direta ou indiretamente, tanto em orientação, quanto em incentivo. Pessoas que me ajudaram nessa longa jornada, ou no início, ou no meio, ou no fim. E existiram aquelas pessoas que estavam sempre presentes, desde o início até o final.

Agradeço à minha família que cresceu durante este Doutorado. Sou imensamente grato à minha esposa Isabel pela paciência, incentivo e anseios compartilhados. E ao meu filho Ricardo, que chegou durante a realização desta tarefa, me ajudando sempre com o seu sorriso e carinho constantes.

Agradeço aos meus pais Iderval e Nilza, também sempre com uma palavra de incentivo. E, é claro, pelas várias revisões feitas pelo meu pai.

Agradeço ao orientador prof. Alberto Diniz, desenrolando e facilitando sempre nas fases críticas. E um especial agradecimento aos coorientadores Prof. Alessandro Borges e Profa. Diana Domingues, sempre presentes e atuantes durante todo o trabalho.

Aos professores que me ajudaram a concluí-lo durante a fase experimental e revisão final. Quero agradecer ao prof. Cristiano Miosso por permitir que os dados fossem coletados; à Profa. Carla Rocha, presente na idealização e desenvolvimentos dos softwares usados durante o trabalho, ao Prof. Maurício Sarmet pelas dicas no instrumento de avaliação subjetiva e ao Prof. Marcus Girão pelas importantes dicas na revisão final.

Aos pesquisadores e bolsistas do LART, agradecendo especialmente ao bolsista Pós Doc. Thiago Bernardes, sempre presente nas fases críticas do desenvolvimento e realização dos experimentos e aos alunos bolsistas, em especial ao Henrik D'oark e Luiz Oliveira pela imprescindível ajuda no desenvolvimento dos softwares desenvolvidos para este trabalho.

A todos os técnicos da Universidade de Brasília - Campus Gama, pela ajuda na montagem e construção do aparato experimental.

À banca examinadora pela sua disponibilidade de avaliar o meu trabalho.

E à CAPES e CNPQ pelo suporte financeiro necessário para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

DESENVOLVIMENTO DE BANCADA PARA SIMULAÇÃO VEICULAR INTEGRANDO REALIDADE VIRTUAL E MEDIÇÃO DE DADOS FISIOLÓGICOS

Esta tese estuda as características qualitativas e quantitativas de um simulador veicular projetado para levar em consideração o comportamento físico e cognitivo de um condutor. Tal simulador insere-se em um ambiente imersivo, dentro de uma CAVE de realidade virtual, em que os dados fisiológicos de respiração, resistência galvânica da pele (GSR) e pressão na palma da mão do condutor são coletados durante os experimentos.

O projeto do simulador e sua construção fundamentam-se na teoria usada em um projeto de Engenharia focado na Ergonomia do Produto, na Engenharia Biomédica e nas Tecnologias Criativas, abordando os tópicos: (i) o que medir e/ou simular; (ii) qual é o melhor método de simulação, bem como as suas vantagens e desvantagens; (iii) quais são as características dos sensores usados; (iv) exemplos de outros usos para o método e as incertezas associadas. No caso, as ações do condutor são analisadas por meio da inter-relação entre os seus dados fisiológicos obtidos antes e durante os experimentos e as imagens captadas durante a simulação.

Este trabalho pode contribuir com a caracterização e o desenvolvimento de sistemas interativos onde embarcam várias tecnologias, interfaces e programas que se denominam tecnologias embarcadas para interação expandida. Os benefícios do uso dessa nova tecnologia poderão ser minimamente observados para efeito da redução de custos, diminuição de tempo de projeto e aumento da qualidade do produto.

Palavras-chave: Ergonomia. Design do Produto. Realidade Virtual. Simulação Veicular, Dados Fisiológicos.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF WORKBENCH FOR VEHICULAR SIMULATION INTEGRATING VIRTUAL REALITY AND MEASUREMENT OF PHYSIOLOGICAL DATA

This thesis studies the qualitative and quantitative characteristics of a vehicle simulator, inserted in an immersive environment within a CAVE of virtual reality, designed to take into account the physical and cognitive performance of a driver. The physiological data: respiration, galvanic skin resistance (GSR) and pressure on the palm of conductor are collected during the simulation. The actions of the driver are analyzed by means of the interrelation between their physiological data, obtained before and during the experiments, and the images captured during the simulation.

Based in the Project Theory focused on Ergonomics, on Biomedical Engineering and on the creative Technologies, the simulator was designed and constructed addressing the following topics: (i) what to measure and / or to simulate; (ii) what is the best method of simulation, as well as their advantages and disadvantages; (iii) what are the characteristics of used sensors; (iv) what are the associated uncertainties; and (v) what other uses can be given to the developed simulator. Being that the actions of the driver are analyzed by means of the interrelation between their physiological data obtained before and during the experiments and the images captured during the simulation.

This work can contribute to the characterization and development of interactive systems that utilize various technologies, interfaces and programs called embedded technologies for expanded interaction. And the benefits of using this new technology can be observed in minimally cost reduction, reduced design time and increased product quality.

Keywords: Ergonomics. Product Design. Virtual Reality. Vehicle Simulation, Physiological Data

Sumário

1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - OBJETIVO GERAL	2
1.2 - HIPÓTESE E PRESSUPOSTOS DE PESQUISA	2
1.3 - METODOLOGIA.....	2
1.3.1 - <i>Aparato experimental</i>	5
1.4 - LIMITAÇÕES	6
1.5 - ESTADO DA ARTE.....	6
1.6 - ESTRUTURAÇÃO DA TESE.....	9
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 - ERGONOMIA E DESIGN DO PRODUTO AUTOMOTIVO.....	10
2.1.1 - <i>Definição de Ergonomia</i>	10
2.1.2 - <i>Objetivos da Ergonomia</i>	11
2.1.3 - <i>Ergonomia aplicada ao projeto</i>	11
2.1.4 - <i>Usabilidade</i>	13
2.1.5 - <i>Antropometria</i>	14
2.1.5.1 - Tabelas antropométricas	15
2.1.5.2 - Percentis.....	17
2.1.6 - <i>User Centered Design – Design Centrado no Usuário (DCU)</i>	18
2.1.6.1 - Métodos e processos do design de interação	20
2.1.6.2 - O Processo de Prototipação em Design de Interação	21
2.1.7 - <i>DHM – Digital Human Modeling – Modelagem Digital Humana</i>	23
2.1.7.1 - Aplicações de DHM na indústria automotiva	24
2.1.8 - <i>Package Automotivo - Ergonomia em um cockpit, normas e recomendações.</i>	

2.1.8.1 -	Vehicle Occupant Packaging (VOP) – Package do Ocupante do Veículo	25
2.1.8.2 -	O papel dos ocupantes no Package Automotivo	27
2.1.8.3 -	O processo de desenvolvimento do Package Automotivo	28
2.1.8.4 -	Passo 1: Desenvolvimento inicial usando as Normas SAE e diretrizes internas da empresa	31
2.1.8.5 -	Passo 2: Desenvolvimento Virtual e Avaliação do Package dos ocupantes	35
2.1.8.6 -	Passo 3: O uso da Realidade Virtual em uma CAVE	39
2.1.8.7 -	Passo 4: Modelagem física usando Mock-ups e Ensaio de usuários com representantes do cliente 40	
2.1.8.8 -	Passo 5: Validação do veículo Finalizado: o feedback dos clientes que compram e utilizam o veículo finalizado 42	
2.2 -	REALIDADE VIRTUAL E SIMULAÇÃO VEICULAR	43
2.2.1 -	<i>Realidade Virtual</i>	43
2.2.1.1 -	Interatividade	44
2.2.2 -	<i>Realidade expandida e sistemas enativos/biocíbridos – Experiência vivida e incorporada</i>	47
2.2.3 -	<i>Simulação Veicular</i>	52
2.2.3.1 -	A Aplicabilidade dos Simuladores	66
2.2.3.2 -	O ato de dirigir	67
2.2.3.3 -	Tipos de atenção	69
2.3 -	SIMULAÇÃO E DADOS FISIOLÓGICOS	71
2.3.1 -	<i>Papéis fisiológicos - Sensores e Sinais</i>	72
2.3.2 -	<i>Resposta Galvânica da Pele (GSR – Galvanic Skin Response)</i>	73
2.3.3 -	<i>Respiração</i>	74
2.4 -	ANÁLISE CRÍTICA DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	77
3 -	DESCRIÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO	78
3.1 -	SOFTWARE DE SIMULAÇÃO VEICULAR BASEADO NO <i>UNITY 3D</i>	79
3.1.1 -	<i>Roteiro</i>	80
3.1.2 -	<i>Cenário</i>	81

3.1.3 -	<i>Veículo</i>	82
3.1.4 -	<i>Especificações e Desempenho do Honda CR-V no simulador</i>	85
3.1.4.1 -	<i>Obstáculos</i>	89
3.1.5 -	<i>Plataforma de Simulação Veicular</i>	91
3.1.6 -	<i>Sensores de Dados Fisiológicos</i>	95
4 -	VALIDAÇÃO DO PACKAGE DA PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO	99
4.1 -	PACKAGE DA PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO	99
4.2 -	ANÁLISE DE VISÃO INTERNA E EXTERNA.....	106
4.3 -	ANÁLISE RULA.....	108
5 -	RESULTADOS E DISCUSSÃO	113
5.1 -	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	113
5.1.1 -	<i>Avaliação Subjetiva</i>	117
5.2 -	QUALIDADE/CONFIABILIDADE DAS MEDIÇÕES	118
5.2.1 -	<i>Caracterização da amostra</i>	122
5.2.2 -	<i>Análise das medições dos dados fisiológicos</i>	123
5.3 -	MEDIÇÃO DA RESPIRAÇÃO	126
5.3.1 -	<i>Frequência Média (Hz)</i>	128
5.3.2 -	<i>Valor Eficaz (RMS)</i>	131
5.4 -	PRESSÃO NO VOLANTE (MÃO ESQUERDA).....	134
5.4.1 -	<i>Frequência Média (Hz)</i>	136
5.4.2 -	<i>Valor Eficaz (RMS)</i>	139
5.5 -	SINAL DE RESISTÊNCIA GALVÂNICA DA PELE - GSR.....	142
5.5.1 -	<i>Frequência Média (Hz)</i>	144
5.5.2 -	<i>Valor Eficaz (RMS)</i>	147

5.6 -	ANÁLISE DAS IMAGENS GRAVADAS DURANTE OS ENSAIOS.....	150
5.7 -	ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES SUBJETIVAS EM RELAÇÃO AO SIMULADOR VEICULAR 162	
5.8 -	ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS	164
6 -	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	167
7 -	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	170
	APÊNDICES.....	176
	APÊNDICE A – SCRIPT DO PROGRAMA PARA CRIAR UM SERVIDOR PARA OS SENSORES - PYTHON.....	177
	APÊNDICE B - SCRIPT DO PROGRAMA PARA LEITURA DOS DADOS DOS SENSORES – PYTHON.....	183
	APÊNDICE C - SCRIPT DO PROGRAMA PARA GERAR PRINTSCREENS EM SINCRONIA COM OS DADOS DOS SENSORES. – PHYTON.....	187
	APÊNDICE D – SCRIPT MATLAB – VISUALIZA SINAIS E IMAGENS.....	189
	APÊNDICE E – SCRIPT MATLAB – LEITURA LOG SENSORES	193
	APÊNDICE F - SCRIPT MATLAB – FREQUENCIA MÉDIA DATA.....	195
	APÊNDICE G - SCRIPT MATLAB – RMS DATA.....	196
	APÊNDICE H – TCLE – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	197
APÊNDICE	I	-
	TERMO_DE_AUTORIZACAO_PARA_UTILIZACAO_DE_IMAGEM_E_SOM_DE_VOZ.....	200
	APÊNDICE J - INSTRUMENTO DE PESQUISA – QUESTIONÁRIO SUBJETIVO	201
	APÊNDICE K – RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO SUBJETIVO.....	207
	APÊNDICE L – GRÁFICOS DOS DADOS FISIOLÓGICOS DOS VOLUNTÁRIOS.....	213
	APÊNDICE M – GRÁFICOS DOS VALORES DE FREQUÊNCIA MÉDIA E RMS DADOS FISIOLÓGICOS DOS VOLUNTÁRIOS.....	224

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conceito e escopo de usabilidade, MORAES & FRISONI (2001).	14
Tabela 2 - Técnicas de Design de Interação. PREECE et al (2005).....	20
Tabela 3 - Tipos de protótipos e suas vantagens e desvantagens. PREECE et al (2005)....	22
Tabela 4 - Exemplos de quatro procedimentos de prototipação com sites.....	23
Tabela 5 – Localização e disposição dos equipamentos em um <i>cockpit</i>	38
Tabela 6 – Zonas para a disposição de equipamentos em um <i>cockpit</i>	39
Tabela 7 - Transferência de Aprendizagem.....	60
Tabela 8 - Principais tarefas envolvidas no desempenho dos motoristas (Adaptado de HAKAMIES-BLOMQUIST, 1996).	67
Tabela 9 - Desvio de Atenção. (Volkswagen <i>apud</i> site DETRAN/MT – Departamento Estadual de Trânsito de Mato Grosso).	70
Tabela 10 – Especificações Técnicas do Honda CR-V modelo 2011.	84
Tabela 11 – Dados Antropométricos. (Fonte: Catia V5 R19).	99
Tabela 12 – Valores das cotas para o Package de acordo com as referências da SAE J1100.	104
Tabela 13 – Dados antropométricos dos participantes. C – Canhoto e D - Destro	123
Tabela 14 – Dados temporais dos eventos da simulação – FASE 1. T em hora:min:seg:milissegundo	125
Tabela 15 – Resultados subjetivos da qualidade funcional do simulador veicular.	163
Tabela 16 – Dados gerais para avaliação dos gráficos para todos os voluntários, suas características subjetivas e ações.....	165

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tabela antropométrica da <i>Henry Dreyfuss Associates</i> . (TILLEY, 2005).	16
Figura 2 - Interdependência entre as atividades do projeto centrado no usuário. (ABNT, 2011).....	19
Figura 3 - Processo de Package no processo produtivo de um veículo. (BEENEY & CHARLAND, 2013).....	26
Figura 4 – Exemplo de Package 2D. (HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).	29
Figura 5 – Padrão de <i>cockpit</i> da <i>Henry Dreyfuss Associates</i> . (TILLEY, 2005).....	31
Figura 6 – Posição do H-Point. (Adaptado de MACEY & WARDLE, 2009).	32
Figura 7 – Equipamento para definição do Ponto H. (HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).	32
Figura 8 – Template para o H-Point do motorista. (HERRIOTTS & JOHNSON, 2013). ..	33
Figura 9 – Imagem do Jack (<i>Simulation Solutions</i> , 2012).....	35
Figura 10 – Imagem do Ramsis. (Ramsis, 2012).	35
Figura 11 – Cotas e elementos de referências para um <i>cockpit</i> básico - (SAE J941, 2002).	37
Figura 12 - Desenvolvimento da Range Rover Evoque na CAVE JLR na Unidade em Gaydon: visão exterior otimizada. (HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).....	40
Figura 13 – Voluntário alto em um mock-up para definir o ingresso/egresso de uma Range Rover. (HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).	41
Figura 14 – Voluntária de baixa estatura avaliando a posição de direção e alcance dos instrumentos em um mock-up estático físico. (HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).	42
Figura 15 - Modelo esquemático de uma CAVE convencional. (HUANG, 2001)	48
Figura 16 – Modelo da Realidade Combinada – Realidade Misturada (RM), MILGRAM, (1994).....	50

Figura 17 - Interface/interação na classificação dos tipos de sistemas virtuais, KIRNER (2008).....	51
Figura 18 – Exemplo de simulador aeronáutico avançado para a aeronave EMBRAER 170 instalado na Swiss Aviation Training, Suíça. (Revista Flap Internacional, 2012).	54
Figura 19 – Simulador veicular interativo da TRL, 2006. (PARKES, 2013).....	56
Figura 20 - Exemplo de modelo de simulador de treinamento de direção usado nas Autoescolas brasileiras. (Realsimuladores.com.br, 2013).....	57
Figura 21 – Modelos de fidelidade verso custo de simulação. (PARKES, 2013).	58
Figura 22 –Ambiente construído usando um critério de validação de aparência otimizado. (PARKES, 2013).	65
Figura 23 – Imagem de uma estrada modelada mais simplificada. (PARKES, 2013).....	65
Figura 24 – Sinais fisiológicos de GSR para as mãos e pés correlacionados com atividades realizadas. (HEALEY, 2009).....	74
Figura 25 – Sinal fisiológico de respiração usando sensores de pressão fixados no peito do voluntário. (HEALEY, 2009)	75
Figura 26 – Sinais de respiração correlacionados com cada uma das atividades propostas durante o ensaio. (HEALEY, 2009).	76
Figura 27 - Mapa da rodovia BR-060 com a marcação do trecho modelado em vermelho. (Adaptado de <i>Google Maps</i> , 2013).....	81
Figura 28 - Vista geral do trecho da Rodovia BR-060 usada para a criação do cenário, versão imagem de satélite. A área tracejada em amarelo representa o trecho modelado. (Adaptado de <i>Google Maps</i> , 2013).	81
Figura 29 - Topologia do trajeto por vista aérea do mapa do <i>Unity 3D</i>	82
Figura 30 - Foto da vista aérea do mapa com o posicionamento da rodovia (linha vermelha).	82
Figura 31 – (a) Honda CR-V modelo 2011, (The CarConnecton, 2013) e (b) Dimensões principais internas e externas do Honda CR-V Modelo 2011, (Subaruofkeene.com, 2013)	83

Figura 32 – Imagem do interior do Honda CR-V modelo 2011. (Smcars.net, 2013).	83
Figura 33 – Imagem da câmera principal do software de simulação com o painel do Honda CR-V.....	85
Figura 34 – Dados da motorização editáveis no script Drivetrain.	87
Figura 35 – Ajuste de motor dentro do simulador.....	87
Figura 36 – Ajuste de Transmissão dentro do simulador.	88
Figura 37 – Ajuste de Suspensão.....	88
Figura 38 – Ajuste de Freios.....	88
Figura 39 – Ajuste de Pneus.	89
Figura 40 – Ajuste de Carroceria.....	89
Figura 41 – Ajuste de Assistência ao veículo.....	89
Figura 42 - Imagem do simulador, no momento em que surgem os bovinos.....	90
Figura 43 - Foto da vista aérea do mapa com o posicionamento dos obstáculos (setas em amarelo) em relação à rodovia (linha vermelha).	91
Figura 44 – Graus de liberdade possíveis na plataforma de simulação veicular.....	91
Figura 45 - Base do simulador modelo SIMBASE. (Simtechpro.com, 2013).	92
Figura 46 - Atuadores <i>D-BOX</i> modelo 3250i. (SimtechPro.com, 2013).....	93
Figura 47 – Sistema de controle do simulador Logitech G27 (Logitech.com, 2013).	93
Figura 48 – Foto do simulador montado para os ensaios experimentais dentro da CAVE do LART.....	94
Figura 49 – Placa de captura e transmissão TI eZ430-RF2500. (TEXAS INSTRUMENTS, 2013).....	96
Figura 50 – Protótipo da placa de aquisição de GSR com a TI eZ430-RF2500 acoplada com dedais de aquisição de sinal.....	97
Figura 51 – Esquema dos circuitos para a respiração/pressão (a) e GSR (b).....	97
Figura 52 – Projeto da placa de aquisição dos sinais de GSR (a), pressão e respiração (b).	98

Figura 53 – Coleta dos sinais fisiológicos via programação Phyton e imagens para o computador central.	98
Figura 54 - Vista isométrica do manequim P50% masculino instalado no simulador dentro da CAVE.....	100
Figura 55 - Vista lateral de um manequim P5% feminino.	100
Figura 56 - Vista lateral de um manequim P50% masculino.	101
Figura 57 - Vista lateral de um manequim P95% masculino.	101
Figura 58 - Package do posicionamento do assento para o percentil 50% Masculino.	102
Figura 59 - Package do posicionamento do volante para o percentil 50% Masculino.	102
Figura 60 - Package do pedal do acelerador para o percentil 50% Masculino.....	103
Figura 61 - Package do apoio de pé/embreagem para o percentil 50% Masculino.	103
Figura 62 – Posicionamento comparativo do simulador com relação ao Honda CR-V – vista Isométrica	105
Figura 63 - Posicionamento comparativo do simulador com relação ao Honda CR-V – vista lateral com manequim P50% Masculino.	105
Figura 64 - Posicionamento comparativo do simulador com relação ao Honda CR-V – vista frontal com manequim P50% masculino.	106
Figura 65 - Posicionamento comparativo do simulador com relação ao Honda CR-V – vista topo com manequim P50% masculino.	106
Figura 66 - Visão do ponto de vista do manequim P50% Masculino em Catia dentro da CAVE.	107
Figura 67 - Visão do ponto de vista do manequim P5% Feminino em Catia dentro da CAVE	108
Figura 68 - Visão do ponto de vista do manequim P95% Masculino em Catia dentro da CAVE	108
Figura 69 – Parâmetros do RULA no Catia V5 R19.	109
Figura 70 - Quadro de Pontuação do RULA. (Manual DDS CATIA V5R19, 2013).	109

Figura 71 – Pontuação e esquema de cores usada no RULA do Catia. (Manual DDS CATIA V5R19, 2013).	110
Figura 72 - Análise RULA para manequim P5% Feminino lado direito.	110
Figura 73 - Análise RULA para o manequim P50% Masculino, lado direito.	111
Figura 74 - Análise RULA para o manequim P50% Masculino, lado esquerdo.	111
Figura 75 - Análise RULA para o manequim P95% Masculino, lado direito.	112
Figura 76 – Sensores de Respiração (tronco) e pressão (mão esquerda) utilizados no experimento.	114
Figura 77 – Sensor de GSR fixados ao braço e mão direita.	114
Figura 78 – Voluntário com os sensores fixados ao corpo, sentado no simulador.	115
Figura 79 – Um voluntário com os sensores durante os ensaios, sentado no simulador dentro da CAVE.	115
Figura 80 – Sinal fisiológico de respiração para o voluntário 5 – valores normalizados com marcação dos tempos de controle (linha tracejada vermelha).	126
Figura 81 – Gráfico das frequências médias do sinal de respiração para o voluntário 5 com marcação dos tempos de controle (seta vermelha).	127
Figura 82 – Gráfico do valor eficaz para o sinal de respiração – voluntário 5 com marcação dos tempos de controle (seta vermelha).	127
Figura 83 – Gráficos de frequência média para o sinal de respiração para todos os voluntários nos pontos de controle.	130
Figura 84 – Evolução ao longo de ensaio da frequência média para todos os voluntários nos pontos de controle.	131
Figura 85 - Gráficos de RMS para o sinal de respiração para todos os voluntários nos pontos de controle.	133
Figura 86 - Evolução ao longo de ensaio do RMS do sinal de respiração para todos os voluntários nos pontos de controle.	134
Figura 87 - Sinal fisiológico de pressão para o voluntário 5 – valores normalizados com marcação dos tempos de controle (linha tracejada vermelha).	135

Figura 88 - Gráfico das frequências médias em Hz do sinal de pressão para o voluntário 5 com marcação dos tempos de controle (seta vermelha).	135
Figura 89 - Gráfico do valor eficaz (RMS) do sinal de pressão para o voluntário 5 com marcação dos tempos de controle (seta vermelha).	136
Figura 90 - Gráficos de frequência média para o sinal de pressão para todos os voluntários nos pontos de controle.	137
Figura 91 - Evolução ao longo de ensaio dos valores de Frequência Média do sinal de pressão para todos os voluntários nos pontos de controle.	139
Figura 92 – Gráficos de Valor Eficaz para o sinal de pressão para todos os voluntários nos pontos de controle.....	140
Figura 93 - Evolução ao longo de ensaio dos resultados de valor eficaz do sinal de pressão para todos os voluntários nos pontos de controle.	141
Figura 94 - Sinal fisiológico de GSR para o voluntário 5 com marcação dos tempos de controle (linha tracejada vermelha).	143
Figura 95 - Gráfico das frequências médias do sinal de GSR para o voluntário 5 com marcação dos tempos de controle (seta vermelha).	143
Figura 96 - Gráfico do valor eficaz do sinal de GSR para o voluntário 5 com marcação dos tempos de controle (seta vermelha).	144
Figura 97 - Gráficos de Frequência Média para o GSR para todos os voluntários nos pts. de controle.	145
Figura 98 - Evolução ao longo de ensaio dos resultados de frequência média do sinal de GSR para todos os voluntários nos pontos de controle.	147
Figura 99 - Gráficos de Valor Eficaz para o GSR para todos os voluntários nos pts. de controle.	148
Figura 100 - Evolução ao longo de ensaio dos resultados do valor eficaz do sinal de GSR para todos os voluntários nos pontos de controle.	150
Figura 101- Imagens captadas no momento do evento início (repouso e começo da movimentação do veículo).....	152

Figura 102 - Imagens ampliadas em amarelo – pressionamento do pedal de embreagem.	153
Figura 103 - Imagens ampliadas em verde – pressionamento do pedal do acelerador.....	153
Figura 104 - Imagens captadas no momento do evento OBT1 – primeiro conjunto de obstrução na pista.	154
Figura 105 – Imagem em vermelho ampliada do evento OBT1.	154
Figura 106- Imagens captadas no momento do evento OBT2 – segundo conjunto de obstrução na pista.	155
Figura 107 - Imagem em vermelho ampliada do evento OBT2.	155
Figura 108 - Imagens captadas no momento do evento Final – o veículo cai no abismo com o fim da pista.	156
Figura 109 - Imagem em vermelho ampliada do evento Final.	156
Figura 110 – Imagens do voluntário 7 para o OBT2.	157
Figura 111 – Dados fisiológicos de respiração com marcação em OBT2 – Voluntário 7.	158
Figura 112 - Dados fisiológicos de pressão com marcação em OBT2– Voluntário 7.	158
Figura 113 - Dados fisiológicos de GSR com marcação em OBT2– Voluntário 7.....	159
Figura 114 - Dados Frequência Média de respiração com marcação em OBT2 – Voluntário 7.	159
Figura 115 - Dados Frequência Média de pressão com marcação em OBT2 – Voluntário 7.	160
Figura 116 - Dados de Frequência Média de GSR com marcação em OBT2 – Voluntário 7.	160
Figura 117 - Dados de RMS de respiração com marcação em OBT2 – Voluntário 7	161
Figura 118 - Dados de RMS de pressão com marcação em OBT2 – Voluntário 7.....	161
Figura 119 - Dados de RMS de GSR com marcação em OBT2 – Voluntário 7.....	162

LISTA DE SIGLAS

CAD: *Computer-Aided Design* – Design Assistido por Computador

CAESAR - *Civilian American and European Surface Anthropometry Resource* – Banco de dados antropométrico de civis americanos e europeus

CAM: *Computer-Aided Manufacturing* – Manufatura Assistida por Computador

DHM: *Digital Human Modelling* – Modelagem Digital Humana

DCU: Design Centrado no Usuário

DEP - *Design Eye Position* – Posição do olho de projeto

ECG: Eletrocardiograma

ECU - *Electronic Control Unity* – Unidade de Controle Eletrônico

EEG: Eletroencefalograma

EOG: Eletrooculograma

FSR – *Force Sensitive Resistor* – Sensor de Força Resistivo

GSR: *Galvanic Skin Response* – Resistência Galvânica da Pele

HDA - *Henry Dreyfuss Associates*

HOTAS - *Hand on Throttle and Stick* – Mão na manete de potência e manche

IEA: *International Ergonomics Association* – Associação Internacional de Ergonomia

IMC: Índice de Massa Corpórea

LART: Laboratório de Pesquisa em Arte e TecnoCiência

NSRP - *Neutral Seat Reference Position* – Ponto neutro de referência para o assento

PLM: *Product Lifecycle Management* – Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto

SAE: *Society of Automotive Engineers* – Sociedade de Engenharia Automotiva

SgRP ou SRP: *Seating Reference Point* – Ponto de Referência do Assento

RA: Realidade Aumentada

RV: Realidade Virtual

VOP: *Vehicle Occupant Packaging* – Projeto de Posicionamento do Ocupante do Veículo

UnB: Universidade de Brasília

USP: Universidade de São Paulo

UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina

UFSCar: Universidade Federal de São Carlos

1 - INTRODUÇÃO

O estudo proposto integra, por meio do projeto e construção de um simulador universal, o uso da Realidade Virtual e a coleta e análise de dados fisiológicos do condutor.

Essa plataforma de simulação, usando a Realidade Virtual, teria capacidade de testar, em quaisquer ambientes, todo e qualquer tipo de cockpit/painel. A justificativa social e humana para este trabalho vem do fato de que, com a tomada dos dados fisiológicos, os projetistas considerariam o bem-estar e a segurança dos condutores, resgatando os aspectos sociais e humanos que podem ser importantes para a segurança do próprio condutor e dos seus passageiros.

Os benefícios do uso dessa tecnologia poderão ser minimamente observados quanto à redução de custos, diminuição de tempo de projeto e quanto ao aumento da qualidade de um produto. Sua aplicação, voltada para a melhoria do processo de desenvolvimento de um determinado produto, com ênfase na Ergonomia e no Design Centrado no Usuário, teria a possibilidade de inserir, nas fases iniciais do ciclo de vida do desenvolvimento desse produto, uma acurada avaliação, mediante o uso de parâmetros fisiológicos dos usuários.

A evolução tecnológica da computação gráfica (software) e dos componentes eletrônicos (hardware) tem proporcionado uma rápida evolução nos sistemas de realidade virtual e a criação de tecnologias criativas para interação homem-computador ainda mais econômicas e com uma maior disseminação entre os usuários comuns.

Este estudo tem como base a fundamentação teórica acerca das principais diretrizes do design com foco no fator humano, prototipagem e avaliação, apresentando, em seguida, aspectos metodológicos sobre os testes com usuários de um protótipo de simulador universal veicular.

Considera-se um estudo inovador, pelo fato de acrescentar à interação humano-computador, a mútua influência do ambiente e sua relação com os fenômenos físicos, mediante os elementos cinéticos dentro do ambiente imersivo de uma CAVE, somados à aquisição de dados fisiológicos e sua correlação com esses elementos, de modo a definir parâmetros durante a experiência.

1.1 - OBJETIVO GERAL

Esta tese de doutorado objetiva o projeto, construção e testes de uma plataforma de simulação veicular universal em que se possa avaliar, em qualquer ambiente, qualquer veículo com o uso da Realidade Virtual, mediante a tomada de dados fisiológicos do condutor.

Tal trabalho compreende a apresentação do embasamento teórico usado em um projeto de Engenharia focado na Ergonomia do Produto, no Design Centrado no Usuário e na Engenharia Biomédica. As ações do condutor dentro do cockpit serão estudadas por meio das análises fisiológicas, correlacionadas com os eventos simulados.

Esta tese aborda os seguintes tópicos: o que medir e/ou simular; qual o método utilizado; características dos sensores utilizados; se é intrusivo ou não; vantagens e desvantagens do método; além de exemplos de outros usos para o método, bem como as incertezas associadas.

1.2 - HIPÓTESE E PRESSUPOSTOS DE PESQUISA

Esta pesquisa parte do pressuposto de que sistemas de simulação com Realidade Virtual, juntamente com dados fisiológicos podem ser eficientes para obter informação de sensações de condutor, tais como fadiga e desconforto, o que geraria parâmetros importantes para o projeto do veículo.

Parte também do pressuposto de que os dados obtidos por tal sistema de simulação universal seriam tão eficientes e úteis quanto obter os mesmos dados de projeto usando os métodos tradicionais como a montagem de mock-ups físicos do interior do veículo e testes de pista externos. No entanto, tais dados, oriundos da simulação genérica teriam um custo de obtenção mais reduzido, em comparação com os métodos tradicionais.

1.3 - METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a realização da pesquisa proposta será um estudo experimental, onde foram avaliados os sinais fisiológicos de indivíduos, correlacionados com dados subjetivos obtidos via questionário, em uma dada situação de estresse, e também

onde o indivíduo simulou a direção de um veículo em uma rodovia dentro de um ambiente imersivo¹ (CAVE).

São oferecidas experiências diante da tela 3D, com imagens estereoscópicas para a sensação de deslocamento no interior de um automóvel, auxiliadas por todo o aparato instalado nessa tela (software de simulação veicular + plataforma de simulação com movimento+ som ambiente surround). Isso permite que a pessoa experimente uma inserção/imersão completa no ambiente virtual, juntamente com as sensações de movimentos verticais e laterais comuns a um veículo. A qualidade das imagens, velocidades, colisões são respondidas pelo sistema humano/computador em termos de sensações físicas, no caso, neste trabalho, através da respiração, GSR (Resistência Galvânica da Pele), e pressão na palma da mão.

Para alcançar o objetivo proposto foi necessário:

- Projetar e construir um simulador veicular universal integrado com uma CAVE;
- Adquirir sinais fisiológicos do condutor, tais como: respiração, pressão na palma da mão e GSR em estado de repouso e usando o simulador;
- Realizar questionários subjetivos com os ocupantes;
- Modelar um ambiente construído (sintético) e projeto de *cockpit* de um veículo em Realidade Virtual e

No projeto do simulador são consideradas questões perceptuais da fisiologia da ação, e como essas percepções são manipuladas pelo design de interação, numa fenomenologia da percepção e do sentido de movimento (BERTHOZ, 2008).

Esses sistemas interativos, em pesquisas recentes do Laboratório de Arte e Tecnociência (LART) foram ampliados por DOMINGUES (2014) em sua denominação para sistemas enativos afetivos. No caso, por tratarem de processos que lidam com as ações dos

¹ O sistema imersivo de realidade virtual ocorre quando o corpo está munido de dispositivos sensoriais, ou de interfaces que ampliam o campo sensorio dentro de ambientes virtuais tridimensionais aos quais o corpo se conecta e possuem a capacidade de oferecer a sensação de se estar vivendo dentro da cena.

seres humanos que são afetados pelo ambiente (enações²), e trocam sinais fisiológicos, em seus estados vitais na transmissão dos dados (afetivos³).

Segundo DOMINGUES (2014), “durante as enações ou trocas com o ambiente, são gerados biogramas (MASSUMI) como fluxos vitais de um *continuum* biocíbrido afetivo (bio+ciber+híbrido). Falamos do corpo como organismos biológicos e do ambiente, que afetam e são afetados pelo ambiente, em sua dimensão física, temporal e espacial”.

Trata-se, portanto, de um aparato tecnológico que permite a comunicação com o ambiente em aquisição e transmissão e processamento de sinais fisiológicos por ações que trazem dados biológicos, somados a dados computacionais e que trazem influências das qualidades híbridas do mundo físico.

O uso de sistemas embarcados dotados de sensores fisiológicos revela os processos enativos afetivos, trazendo os dados vitais e as características do ambiente nas trocas experimentadas que combinam a evolução da engenharia biomédica, engenharia de software e sistemas complexos.

As pesquisas do LART voltam-se a inovações tecnológicas como formas de ampliar a percepção, capacitar, adquirir e visualizar aspectos invisíveis do corpo (unidade corporeamente), bem como verificar estados biológicos que foram suplementados e capacitam indivíduos para tarefas antes impossíveis em estados de um *sensorium* expandido, (DOMINGUES, 2014 apud BERNARD, 1995), com sistemas enativos de percepção expandida, por estados cognitivo-emocionais ativados em suas funções sensoriais por som, luz, calor, transdução de fenômenos biofísicos em visualização de dados, ou outra linguagem tecnológica que registra fenômenos biofísicos.

Esta proposta de simulador que propicia uma condição biocíbrida, somando as sensações no espaço físico com as sensações em espaços de simulação estereoscópica em ambientes de imersão em Realidade Virtual, amplia as questões da ergonomia para o campo

² Enação é um termo definido por MATURANA & VARELA (1980). Define-se pela ação guiada pela percepção, ou seja, a compreensão da percepção é a compreensão da forma pela qual o sujeito percebido consegue guiar suas ações na situação local e pela cognição, que em suas estruturas, emerge dos esquemas sensorio-motores vivenciados que permitem à ação ser construída e guiada pela percepção.

³ Para DOMINGUES (2014), a partir de aproximações com a ciência cognitiva e teorias enacionistas que discutem o acoplamento com o ambiente, pela mútua influência e entrelaçamento corpo/ambiente, ocorre uma cognição incorporada (VARELA *et. Al*, 2003).

mais vasto dos sistemas enativos afetivos das inovações tecnológicas. No caso, abrangendo questões comportamentais da fisiologia e cognição homem-ambiente/homem-máquina, que são pensadas em relação com o design de produto, para efeito de aplicações em treinamentos, em ações que envolvem perigo, segurança, de reabilitação e por fim, projeto do produto, com ênfase em Ergonomia.

1.3.1 - Aparato experimental

O simulador universal, peça-chave para o desenvolvimento deste trabalho teve o seu desenvolvimento realizado no LART, e está inserido também dentro do Projeto ARTE E TECNOCIÊNCIA - SISTEMAS BIOCÍBRIDOS ENFRENTANDO DESAFIOS DO ECOSISTEMA financiado pela CAPES- Prodoc - Quota PVNS - EDITAL MEC/CAPES – Nº 029/2010, sob a orientação e coordenação da Profa. Diana Maria Gallicchio Domingues e pela Universidade de Brasília – Campus Gama.

Para esta Tese, a estrutura base do simulador teria a possibilidade de instalação de um assento automotivo, um sistema de câmbio, um sistema de pedais, um volante e telas de visualização.

O posicionamento desses sistemas é variável de acordo com o projeto de *cockpit* e normatização da SAE. O ambiente externo e a visão do interior do veículo, simulando o painel e outras partes de um veículo, serão projetados via Realidade Virtual, dentro do ambiente de uma CAVE com imagens 3D. Essa tela foi posicionada à frente do simulador, usando imagens estereoscópicas, de modo a simular um trajeto visto na perspectiva do condutor. A montagem do simulador em frente à tela 3D potencializaria as experiências de sensações humanas no espaço físico em enações com o espaço e dados do ambiente virtual sintético.

Neste trabalho foi avaliado um interior de veículo já existente e a bancada do simulador foi totalmente adaptada para se adequar fisicamente ao interior de veículo analisado.

Para a avaliação dos dados experimentais, foram tomados os dados fisiológicos de treze voluntários e as respectivas avaliações subjetivas, através de questionário. Os dados experimentais avaliados foram: respiração e GSR. Foi feita também uma tomada de dados de pressão entre a mão do voluntário e o volante. Os questionários subjetivos aplicados estão

divididos em: dados gerais e antropométricos dos voluntários, Questionário Pré-Condução, Pós-Condução e de Sensações Físicas. Em seguida, tais dados foram compilados e analisados usando o *MatLab* como ferramenta de visualização, verificando se existem correlações entre os dados e as razões para cada resultado.

Esses elementos do aparato experimental foram desenvolvidos e/ou escolhidos para que se tenha um melhor desempenho durante o experimento, sem muita interferência entre a simulação propriamente dita e o usuário. Isso permite a obtenção de dados experimentais confiáveis e que podem ser usados na comparação de situações reais, usando testes de campo.

O desenvolvimento do aparato experimental e tomada de dados foram feitos em conjunto com o LART (Laboratório de Arte e Tecnociência) e o NEI (Núcleo de Engenharia de Inovação). Uma descrição mais detalhada de todo o aparato experimental utilizado neste trabalho será feita no Capítulo 3.

1.4 - LIMITAÇÕES

Esta pesquisa utilizou-se de conceitos, teorias, métodos e ferramentas de comprovada eficiência e amplo reconhecimento científico em suas áreas específicas.

Ela está limitada à tomada de apenas três tipos de dados fisiológicos, que são: respiração, GSR e uma tomada de dados de pressão de uma mão sobre o volante. E serão usados pelo menos dez voluntários para a obtenção dos dados fisiológicos e questionário subjetivo.

Serão testados apenas um cenário externo e um interno para a tomada dos dados experimentais.

O aparato experimental do simulador também foi limitado, não tendo, neste primeiro momento, variação de subida/descida e movimentação lateral. Contudo, possui imersão sonora e visual.

1.5 - ESTADO DA ARTE

A área de simulação veicular está bastante avançada e, com o desenvolvimento de novas tecnologias e interfaces usuário-máquina, o desenvolvimento de sistemas mais realistas e confiáveis deu-se de forma bastante rápida ao longo da última década.

A razão desse avanço decorreu principalmente da popularização de simuladores veiculares domésticos, nos quais o usuário comum tem à disposição, dentro de sua casa, interfaces de simulação que antes eram de uso exclusivo de equipes profissionais de competições, como a F-1 e F-3.

Alguns avanços foram feitos quanto ao modelamento matemático dos simuladores, principalmente quanto a sua utilização em simuladores de baixo custo, permitindo a sua popularização. O trabalho dos pesquisadores CASOLO, CINQUEMANI e COCETTA (2008) tem um apelo didático para aqueles que desejam projetar um simulador veicular de baixo custo.

Em relação aos estudos e pesquisas referentes à tomada de dados fisiológicos, os trabalhos das pesquisadoras PICARD e HEALEY contribuíram enormemente para a área de simulações e a partir de seus estudos diversos outros pesquisadores trabalharam com o tema.

O LART já desenvolve diversos estudos na área de Bioarte e Engenharia Biomédica com a tomada de dados fisiológicos. Em um recente trabalho publicado pelo LART, DOMINGUES (2013) diz que a “idéia de biocíbrido proporciona sensações em um relacionamento de trocas mútuas que ocorrem durante as conexões com propriedades emergentes do corpo e do ambiente que é fisiologicamente locado, resultando em alterações recíprocas de comportamento. A conectividade soma, por conseguinte, a fisiologia sensorial do corpo e as qualidades do ambiente tecnológico no qual há a enação, que contribui para abandonar a ideia original de separação entre os mundos sintéticos e mundos concretos”. É essa base teórica que será usada neste trabalho para a relação entre a fisiologia e os ambientes virtuais da simulação.

Diversos estudos, LAL (2000), BALASUBRAMANIAN (2006), WEI (2011), entre outros) pesquisaram a utilização de sinais fisiológicos avaliando o desempenho do condutor em simuladores automotivos. Vários sinais foram estudados e os resultados experimentais sempre se mostraram próximos à realidade. Isso mostra a efetividade dessa técnica em se estudar o comportamento e desempenho humano durante o ato de dirigir.

A pesquisa em simuladores veiculares modernos dá-se principalmente com a incrementação da Realidade Virtual e Aumentada nas interfaces com o usuário. Pesquisadores como YAN e WEIJIAN (2003) usaram a temática da visão computacional, Realidade Virtual e modelos cinemáticos de veículos aplicados em simuladores. E outros

(ONIKI *et al*, IEEE, 2005), já apresentaram trabalhos usando a Realidade Aumentada e a simulação veicular.

Alguns laboratórios, como o LAMIH – Laboratoire D’Automatique de Mecanique et D’Informatique Industrielles et Humaines (Laboratório de controle industrial e automação Humano), localizado em Valenciene – França, realizam diversas pesquisas juntamente com a indústria de sistemas desenvolvidos em simuladores com dados fisiológicos para a sua aplicação direta no produto final, no caso, um automóvel. Outro centro de pesquisa, o IBV - Instituto de Biomecânica de Valência está atualmente desenvolvendo um sistema que consiste de um conjunto de sensores que, acoplados ao banco e ao cinto do motorista, monitoram sua respiração e a frequência de batimentos cardíacos a fim de detectar efeitos de fadiga. O IBV tem o intuito de utilizar essas pesquisas para desenvolver acessórios de segurança destinados à indústria automotiva.

No Brasil, na área de estudos com simulação e Ergonomia, tem-se o Laboratório de Ergonomia, Simulação e Projetos de Situações Produtivas da UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, especializado no uso de softwares de simulação para realizar trabalhos relacionados com a Ergonomia e atividade humana. O laboratório, inaugurado em 2010, permite expandir os estudos e facilitar o trabalho de 40 pesquisadores do laboratório no uso de tecnologia de captura de movimento, simulação humana e visualização tridimensional.

Na área de simulação aplicada para estudos psicofisiológicos e conforto usando mock-ups físicos, destaca-se um projeto recente realizado no Brasil, intitulado “Conforto e Design de Cabine – Desenvolvimento e análise integrada de critérios de conforto” feito em parceria entre a Universidade de São Paulo (USP), da UFSCar, Universidade de Santa Catarina (UFSC) e pela Embraer S.A. Foi estudada a influência na sensação de conforto segundo os parâmetros de Vibroacústica, Sensações Térmicas, Pressão de Cabine e Ergonomia. Em relação à Ergonomia, foram estudadas as sensações de conforto ligadas às atividades possíveis dentro da cabine de uma aeronave (ingresso, egresso, reclino, áreas de trabalho e entretenimento) e na área de Psicofisiologia, a obtenção de métricas subjetivas e objetivas de avaliação de conforto, em a relação à percepção visual e ambiental com o bem-estar.

Este presente trabalho visa a integração de diversos elementos estudados em separado, como a tomada de dados fisiológicos e o uso de realidade virtual, dentro de um contexto de simulação veicular.

1.6 - ESTRUTURAÇÃO DA TESE

Este trabalho de tese está estruturado em mais cinco capítulos, além dessa Introdução.

No capítulo 2 é tratada a literatura abordando as definições e pressupostos teóricos e práticos necessários à compreensão da questão, que são: Design do Produto e Ergonomia; Realidade Virtual e Simulação Veicular e Simulação e Dados Fisiológicos.

No capítulo 3 é abordada a descrição do simulador, os métodos de pesquisa usados no trabalho, com o detalhamento do aparato experimental utilizado na pesquisa.

No capítulo 4 inicia-se com a validação da plataforma de simulação pela análise de Package.

Os procedimentos para realização dos experimentos e a análise dos dados são mostrados no capítulo 5 onde são discutidos os resultados experimentais obtidos deste trabalho e o alcance dos objetivos propostos.

E, por fim, no capítulo 6, são registradas as conclusões finais, a discussão dos resultados apresentados, as questões conclusivas e as sugestões para trabalhos futuros.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - ERGONOMIA E DESIGN DO PRODUTO AUTOMOTIVO

A Ergonomia como ciência nasceu no século XIX. Contudo, o seu conceito básico, aprimoramento das ferramentas e utensílios de trabalho usados pelo homem, já vem sendo usado desde as civilizações antigas. É considerada uma fusão de três ramos científicos diferentes, a Psicologia, voltada para os aspectos psíquico e cognitivo; a Fisiologia, direcionada para o embasamento sobre o funcionamento físico do homem; e a Engenharia, a partir dos princípios de física e processos de produção e materiais. Além das ciências citadas acima, outros ramos da ciência passaram a fazer parte do universo da Ergonomia, a saber: a inteligência artificial, a Semiótica, a Antropologia e a Sociologia.

2.1.1 - Definição de Ergonomia

Existem diversos conceitos para a palavra Ergonomia, contudo a definição que engloba e explicita o seu campo de atuação e objetivos pode ser apresentada a seguir.

De acordo com MORAES (1998), “conceitua-se a Ergonomia como tecnologia projetual das comunicações entre homens e máquinas, trabalho e ambiente”.

A Ergonomia busca através das ciências fisiológicas e psicológicas (Fisiologia, Neurofisiologia, Psicofisiologia, Psicologia, Psicopatologia, Biomecânica, Anatomia e Antropometria) explicar teoricamente com bases racionais e empíricas a adaptação do homem aos bens de consumo e de capital, meios e métodos de trabalho, planejamento, programação e controle de produção.

Os problemas a serem resolvidos pela Ergonomia estão nos custos humanos do trabalho para o operador, tais como: fadiga, estresse, lesões, mutilações, mortes. Além de acidentes, incidentes, erros constantes e excessivos, paradas na produção, lentidão, entre outros problemas de ordem de manutenção que geram um baixo desempenho no processo de produção e compromete a produtividade do sistema homem-máquina.

A Ergonomia situa-se como mediadora entre as ciências, que estudam os diversos aspectos do ser humano, e as diversas tecnologias de projeto, para as quais fornece recomendações que viabilizam projetos e ambientes.

2.1.2 - Objetivos da Ergonomia

O objetivo da Ergonomia foca-se no homem em seu ambiente de trabalho e executando uma tarefa. Esse trabalho real e concreto compreende o trabalhador, operador ou usuário no seu local de trabalho, enquanto executa sua tarefa, com suas máquinas, ferramentas, equipamentos e meios de trabalho, num determinado ambiente físico e arquitetural, com seus chefes e supervisores, colegas de trabalho e companheiros de equipe, interações e comunicações formais e informais, num determinado quadro econômico-social, ideológico e político.

O ergonomista, juntamente com engenheiros, arquitetos, desenhistas industriais, analistas e programadores de sistema, organizadores do trabalho, propõe mudanças e inovações, partindo de variáveis fisiológicas, psicológicas e cognitivas humanas e segundo critérios que privilegiam o ser humano. E procura atender aos requisitos ergonômicos, pode-se maximizar o conforto, a satisfação e o bem-estar do operador; garantir a segurança; reduzir custos humanos e cargas cognitivas, psíquicas e físicas; e otimizar o desempenho da tarefa, o rendimento do trabalho e a produtividade do sistema homem-máquina.

2.1.3 - Ergonomia aplicada ao projeto

Numa situação ideal, a Ergonomia deve ser aplicada desde as etapas iniciais do projeto de uma máquina, um produto, um sistema de informação, um ambiente, um local de trabalho etc. Estas devem sempre incluir o ser humano como um de seus componentes. As características do usuário devem ser consideradas conjuntamente com as características ou restrições das partes mecânicas.

Sendo assim, considera-se os principais atributos relativos à produção (racionalização da produção, custos de produção, adequação do produto ao meio ambiente, adequação de materiais e adequação de processos); os atributos relativos à forma (coerência formal, ambientação formal, adequação estética, expressão das características culturais, status, informação de uso, adequação ergonômica) e os atributos relativos à função (confiabilidade, desempenho, segurança na utilização, facilidade de utilização, ambientação funcional, facilidade de manutenção, durabilidade, resistência e precisão).

Como referência para avaliação de um projeto de produto, estes são os seguintes atributos que devem ser considerados, segundo LOSCHIAVO *et al* (2000).

- Racionalização do produto;
- Custos de produção;
- Adequação do produto ao meio ambiente;
- Adequação dos materiais;
- Adequação dos processos;
- Coerência formal;
- Ambientação formal;
- Adequação estética;
- Expressão das características culturais;
- Status;
- Informação de uso;
- Adequação ergonômica;
- Confiabilidade;
- Desempenho;
- Segurança na utilização;
- Facilidade de utilização;
- Facilidade de manutenção;
- Ambientação funcional;
- Durabilidade;
- Resistência e
- Precisão

Para que tal atividade ocorra de forma satisfatória e que a eficiência seja máxima, um sistema homem-máquina deve ser planejado como um todo, com o homem completando a máquina. Nesse caso, a máquina seria toda e qualquer ajuda material a ser utilizada pelo homem em seu trabalho, englobando os equipamentos, mobiliários e instalações, de forma que tudo isso complete o homem. Confira IIDA (2005).

A realização de um produto compreende o atendimento das metas do sistema homem-máquina, através da implementação de requisitos e do desempenho pelos seus subsistemas de funções que se relacionam com os requisitos; tal ação implica lidar com várias interfaces. Um projetista, seguindo os requisitos e restrições impostas ao projeto, cria e seleciona alternativas, define critérios para a sua avaliação e validação e transforma esse projeto em um produto que é a materialização da satisfação de necessidades humanas.

2.1.4 - Usabilidade

A partir de MORAES & FRISONI (2001) apud STANTON & BABER (1996) tem-se que a questão fundamental da usabilidade é que o produto deve ser fácil de usar. O súbito interesse sobre usabilidade não significa que usabilidade (ou amigabilidade, ou projetado ergonomicamente, ou design centrado no usuário, ou desenvolvimento de produto orientado para o consumidor) seja um conceito novo. Embora estejam ocorrendo mudanças, já que há um aumento da literatura sobre aspectos físicos do uso de produtos, ainda temos poucos trabalhos publicados sobre aspectos cognitivos do uso de produtos.

Para MORAES & FRISONI (2001) apud LANSDALE & ORMEROD (1995), usabilidade implica que o sistema deve oferecer sua funcionalidade de tal maneira que o usuário, para o qual foi planejado, seja capaz de controlá-lo. Isto é, esse usuário deve ser capaz de controlar um determinado sistema sem constrangimentos demasiados sobre suas capacidades e habilidades.

Como conceito, a usabilidade trata da adequação entre o produto e as tarefas as quais ele se destina, da adequação com o usuário que o utilizará, e da adequação ao contexto em que será usado.

MORAES & FRISONI (2001) apud STANTON & BABER (1996) resumiram uma década de trabalhos representada por SHACKEL (1981), EASON (1984) e BOOTH (1989) para sugerir os fatores que se seguem, as quais servem para delimitar o conceito de usabilidade e para definir o seu escopo, vide Tabela 1.

Tabela 1 – Conceito e escopo de usabilidade, MORAES & FRISONI (2001).

Fácil aprendizagem	O sistema deve permitir que os usuários alcancem níveis de desempenho aceitáveis dentro de um tempo especificado;
Efetividade	Um desempenho aceitável deve ser alcançado por uma proporção definida da população usuária, em relação a um limite de variação de tarefas e em um limite de variação de ambientes;
Atitude	Um desempenho aceitável deve ser atingido considerando custos humanos aceitáveis, em termo de fadiga, estresse, frustração, desconforto e satisfação;
Flexibilidade	O produto deve ser capaz de lidar com um limite de variação de tarefas além daquelas inicialmente especificadas;
A utilidade percebida do produto	EASON (1984) observou que... “o maior indicador da usabilidade de um produto é se ele é usado...” BOOTH (1989) destaca que pode ser possível projetar um produto considerando os critérios de aprendizagem, efetividade, atitude e flexibilidade, mas que simplesmente não seja usado;
Adequar-se à tarefa	Além dos atributos considerados acima, um produto “usável” deve apresentar uma adequação aceitável entre as funções oferecidas pelo sistema e as necessidades e requisitos dos usuários;
Características da tarefa	A frequência com que uma tarefa pode ser desempenhada e o grau no qual a tarefa pode ser modificada, em termos da variabilidade dos requisitos de informação e
Características dos usuários	Um outro aspecto que deve ser incluído numa definição de usabilidade refere-se ao conhecimento, habilidade e motivação da população usuária.

Tradicionalmente, a preocupação com a usabilidade só ocorre no final do ciclo de design, durante a avaliação do produto já finalizado. Resulta que poucas modificações são implementadas e, se algumas realmente substantivas o são, implicam custos elevados. Portanto, desde o início do projeto, deve-se considerar a usabilidade do produto. O modo mais óbvio de obter informações sobre as atividades da tarefa relacionadas com as comunicações e interações das pessoas com os sistemas é observá-las ao realizar tomadas de informação, acionamentos, deslocamentos, comunicações e perguntar como e porque o fazem.

2.1.5 - Antropometria

A antropometria trata de medidas do corpo humano. Essas medidas são muito importantes na determinação de diversos aspectos relacionados ao ambiente de trabalho no sentido de se manter uma boa postura.

Todas as populações são compostas de indivíduos de diferentes tipos físicos que apresentam diferenças nas proporções de cada segmento do corpo. Medidas antropométricas permitem verificar o grau de adequação de produtos em geral, instrumentos, equipamentos, máquinas, enfim, de postos de trabalho ao ser humano. A qualidade ergonômica de um produto passa, necessariamente, pela sua adequação antropométrica. Em um projeto aeroespacial, por exemplo, cada centímetro ou quilograma pode comprometer o desempenho da nave, e um controle fora do raio de ação de um operador (acesso aos instrumentos) de um sistema complexo pode representar a resposta tardia com resultados catastróficos.

Até a década de 50, havia uma preocupação em estabelecer padrões nacionais antropométricos. Contudo, com o advento da globalização sempre crescente, agora é possível atender os padrões de qualquer mercado, basta seguir a tabela da população desejada. Um exemplo clássico de tabela são as tabelas *HumanScale* da *Henry Dreyfuss Associates*, onde além das medidas do próprio corpo humano, ela indica referências sobre distância de assentos, postos de trabalho e esforços para cada percentil medido.

No Brasil, a falta de dados antropométricos da sua população é uma questão ainda pendente. Foram feitas algumas pesquisas na área, contudo a população avaliada foi muito aquém do necessário para se ter um valor razoável.

Recentemente, em 2009, a Gerência de Fatores Humanos em Aviação e Medicina de Aviação (GFHM) juntamente com a EMBRAER e a pedido da ANAC fez uma pesquisa antropométrica de três variáveis para estimar as medidas da população brasileira que utiliza aviões comerciais como meio de transporte. Trata-se do Projeto Conhecer, onde se efetuou medidas, entre 2004 e 2006, numa população de cerca de 10.000 indivíduos e realizando essas medidas em aeroportos nacionais de grande fluxo de passageiros. Existe uma nova proposta das Forças Armadas do Brasil de gerar uma tabela antropométrica atualizada para a população brasileira.

2.1.5.1 - **Tabelas antropométricas**

A primeira e principal falha no dimensionamento da interface homem-máquina encontra-se na seleção da população/pesquisa. Um bom dimensionamento inicia-se com a análise da tarefa, imprescindível para definir exigências visuais e requisitos de visibilidade, assim como exigências acionais, requisitos biomecânicos de movimentação de braços e pernas e a escolha de uma tabela confiável.

Na falta de dados brasileiros, pode-se recorrer a tabelas estrangeiras, com pouca probabilidade de erro. IIDA (2005) comenta que comparando o levantamento brasileiro de IIDA e WIERZBICKI (1973) com o levantamento da matriz da empresa (holandesa), constataram-se diferenças de no máximo 3%. Comparações de medidas brasileiras e estrangeiras mostram que os brasileiros se assemelham aos europeus mediterrâneos (portugueses, espanhóis, franceses, italianos, gregos). São menores que os nórdicos (suecos, noruegueses, dinamarqueses) e maiores que os asiáticos. A tolerância de erro para os casos de antropometria aplicada é de 5 %, então é preferível basear-se em tabelas estrangeiras, principalmente tabelas europeias para povos mediterrâneos do que incorrerem a erros maiores ao basear-se em “levantamentos caseiros” nada confiáveis. Mais grave que a falta de dados, é a aplicação errada dos valores disponíveis, sejam americanos e europeus, sejam até mesmo brasileiros. Isso acaba induzindo a erros ainda maiores. Um exemplo de tabela antropométrica é mostrado na Figura 1.

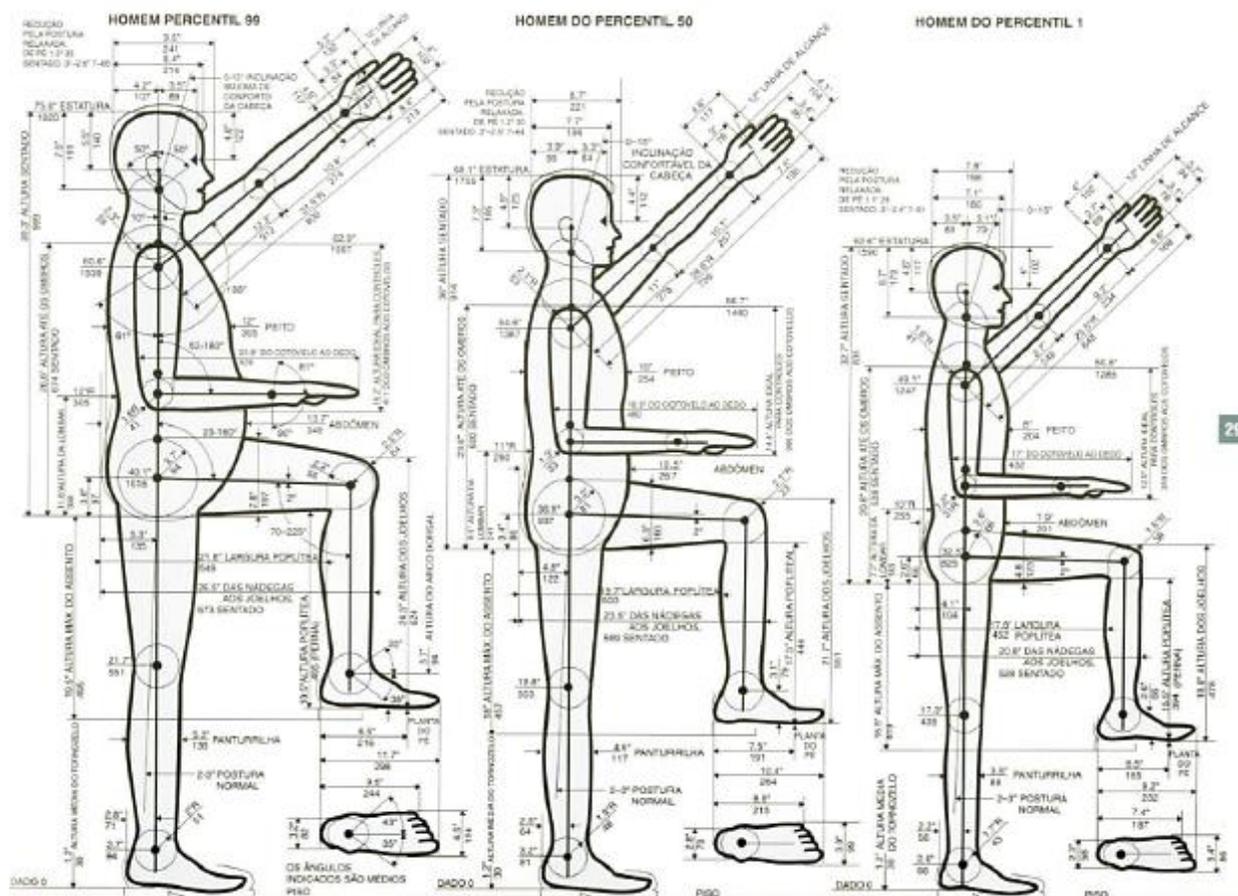


Figura 1 – Tabela antropométrica da *Henry Dreyfus Associates*. (TILLEY, 2005).

Com o advento de softwares específicos de ergonomia que têm dentro do seu banco de dados tabelas antropométricas de diversas etnias, o uso dessas informações tornou-se mais fácil e acessível. Entretanto, deve-se tomar o cuidado de escolher a etnia que mais se aproxima do objetivo. No caso do Brasil, os dados dos europeus do mediterrâneo são o mais confiáveis. E eventuais ajustes de projeto podem ser feitos durante a fase de mock-up.

2.1.5.2 - **Percentis**

Nas tabelas antropométricas, cada medida coletada é registrada e os valores encontrados para cada variável antropométrica são ordenados de modo a indicar a frequência da ocorrência desses valores.

A distribuição dos dados antropométricos dada em uma curva, apesar das variações, aproxima-se muito da distribuição normal ou gaussiana. A partir dessa curva a forma mais usual de se caracterizar um dado boneco é através do uso de percentis. Os percentis dividem a série de valores em cem partes, cada uma correspondendo a 1% da distribuição normal. Com isso, os limites antropométricos de um projeto são apresentados em termos de percentis.

O x^o percentil significa que $x\%$ das pessoas do levantamento antropométrico considerado tem medidas inferiores ou iguais às desse percentil, e que o $100-x\%$ das pessoas tem medidas superiores às desse percentil. Por exemplo, o valor do percentil 95 para estatura indica que 95% da população tem uma medida de estatura menor ou igual ao do percentil 95 e que 5% possui estatura com valor maior. Uma medida do percentil 5 indica que 5% da população possui esta medida com valor menor ou igual a deste percentil e que 95% possui esta medida com valor maior. O percentil 50 corresponde à mediana.

Para um projeto ergonômico, deve-se levar em conta não o percentil médio e sim os extremos da população, geralmente os percentis 95 e 5% ou 97.5 e 2.5%. Assim, a partir das características do produto, das funções do sistema e das atividades a serem desenvolvidas, o projetista considerará ora o valor do percentil extremo máximo, ora o valor do extremo mínimo. Só desse modo é possível acomodar a maior parte da população. Se o projeto requer, por exemplo, que o usuário alcance algo, esteja ele sentado ou de pé, o percentil 5% é o indicado. Tal dado, do extremo mínimo, relativo ao alcance de braço, significa que 95% da população tem alcance de braço maior.

Se o espaço é o principal requisito do projeto, os dados do percentil 95 devem ser usados; num projeto de pedaleira, por exemplo, o percentil 95 vai definir o espaço mínimo necessário para o habitáculo já que ele vai estipular a máxima distância que o pé do usuário poderá alcançar o pedal.

Segundo MORAES & FRISONI (2001) a aplicação desse tipo de raciocínio aparece em PANERO & ZELNIK (1979) que, após a definição e aplicação de cada variável, indicam o percentil que deve ser utilizado. Usando esse método, é possível acomodar a maioria da população. Apenas dessa maneira dimensionam-se corretamente produtos no Brasil, na Europa, Estados Unidos, na África e na Ásia.

Com tudo isso, vê-se que o conhecimento das teorias ergonômicas é de grande importância para que um projetista de *cockpit* consiga conciliar bem toda a funcionalidade do mesmo com as atividades do condutor durante o seu trajeto. Sem esses conhecimentos seria impossível criar um *cockpit* harmônico, eficiente e seguro tanto para o condutor quanto para os ocupantes do veículo.

2.1.6 - User Centered Design – Design Centrado no Usuário (DCU)

Por definição, Design de Interação com abordagem centrada no ser humano ou *Design Centrado no Usuário* (DCU) é um termo geral para uma filosofia de projeto que foca o envolvimento dos usuários e compreensão de suas necessidades e exigências, no *design* de sistemas interativos, segundo ABRAS, MALONEY- & PREECE (2004).

Nesse tipo de abordagem o usuário é posto no centro do processo de desenvolvimento de produtos e/ou serviço. O DCU busca, ainda, promover a inovação utilizando um processo cíclico iterativo, que envolve pesquisa, ideação, prototipação rápida e avaliação, inserindo o usuário a cada etapa, segundo TORY & MOLLER (2004).

O projeto com filosofia centrada no ser humano requer métodos e técnicas que contemplem/envolvam o usuário durante o seu processo produtivo. Segundo a ABNT (2011), quatro são as atividades inter-relacionadas de projeto centrado no ser humano onde se recomenda que estejam presentes durante o projeto de qualquer sistema interativo, vide Figura 2:

- (a) compreender e especificar o contexto de uso;
- (b) especificar os requisitos do usuário;
- (c) produzir soluções de projeto;
- (d) avaliar o projeto.

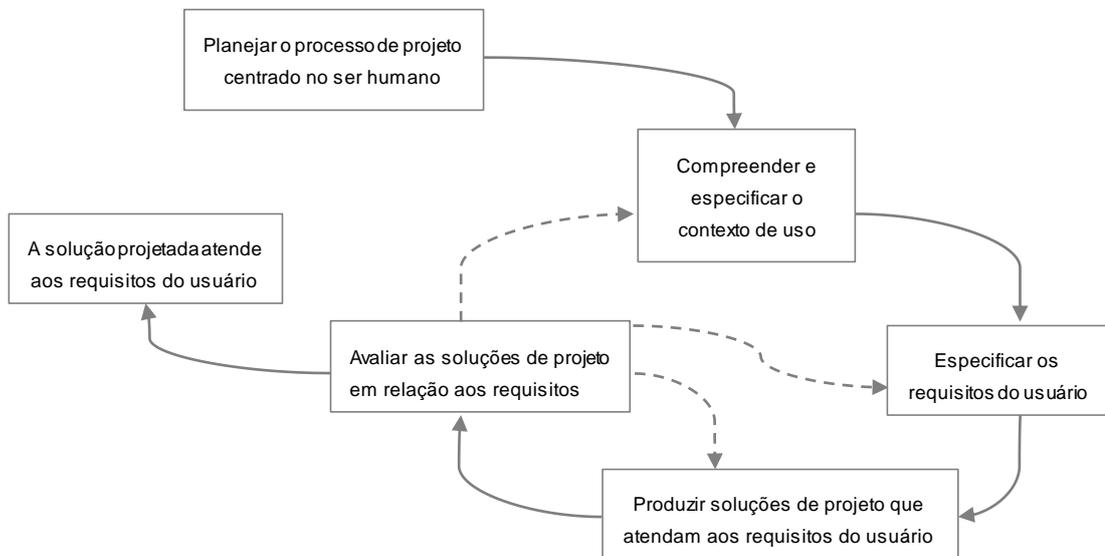


Figura 2 - Interdependência entre as atividades do projeto centrado no usuário. (ABNT, 2011)

A norma da ABNT não aponta métodos específicos, mas serve como base para metodologias centradas no usuário. Em uma sistemática semelhante, proposta por NIELSEN (1993), mais detalhada, é possível perceber as similaridades com a norma da ABNT. Segundo essa sistemática, o processo centrado no usuário deverá conter as seguintes etapas sugeridas:

- (a) conhecimento do usuário;
- (b) análise competitiva;
- (c) definição de metas de usabilidade;
- (d) *design* paralelo;
- (e) *design* participativo;
- (f) *design* coordenado;
- (g) análise heurística;
- (h) prototipagem;
- (i) teste empírico;

- (j) *design* iterativo;
- (l) coleta de feedback.

Um desenvolvimento centrado nos usuários-finais implica descobrir suas necessidades, como eles interagem sob influência de um artefato, questões culturais envolvidas, como executam suas tarefas entre outros, para fins de utilização de todas essas informações nas decisões de *design*, segundo PREECE, et al. (2005). E uma das formas de captar essas necessidades são experimentos como os testes de protótipos, que costumam ser realizados em ambiente controlado, laboratorial. Esses testes procuram identificar problemáticas dos usuários durante interação com o produto ou sistema possibilitando a inovação a partir do olhar sobre as pessoas.

2.1.6.1 - Métodos e processos do **design** de interação

A ABNT não especifica métodos, mas tanto as normas quanto a sistemática proposta por NIELSEN (1993) serviram como bases para o desenvolvimento de métodos onde os usuários são contemplados. PREECE et al (2005) apresenta um quadro comparativo entre métodos e processos centrados no ser humanos:

Tabela 2 - Técnicas de Design de Interação. PREECE et al (2005).

Técnica	Propósito	Estágio no Ciclo de Design
Entrevistas e questionários	Coletar dados relacionados com necessidades e expectativas dos usuários; avaliar alternativas para o <i>design</i> ; prototipar.	No começo do projeto.
Entrevistas e questionários sobre sequências de trabalho	Coletar dados sobre como os usuários usam o artefato, em termos de sequências de atividades.	No começo do projeto.
Grupo Focal	Incluir um bom número de tomadores de decisão num debate sobre questões e requisitos do projeto.	No começo do projeto.
Observação de campo	Coletar dados sobre o ambiente em que o artefato será usado.	No começo do projeto.
<i>Roleplaying</i> , <i>walkthroughs</i> , e simulações	Avaliar alternativas para o <i>design</i> e acrescentar informações adicionais sobre necessidades. Prototipar.	No começo e no meio do projeto.
Teste de usabilidade	Coletar dados quantitativos relacionados a critérios de usabilidade.	No estágio final do projeto
Entrevistas e questionários	Coletar dados qualitativos relacionado à satisfação do usuário quanto ao artefato.	No estágio final do projeto

2.1.6.2 - O Processo de Prototipação em Design de Interação

Para que um produto interativo seja avaliado é necessário o uso de versões para testes com usuários. No início do projeto é comum o uso de papel/papel pluma para prototipagem e conforme o produto vai evoluindo, é necessária a construção de artefatos melhores acabados com materiais mais próximos ao que se pretende utilizar nos produtos. Esse é o processo de prototipação, onde são criados objetos que simulam as ideias de uma forma física e que passam por testes de uso gerando resultados, que podem mudar o conceito do produto, que se tornam novos protótipos, caracterizando ciclos iterativos. Quanto mais iterações acontecem mais o produto atenderá a necessidades do usuário e de negócio, PREECE et al. (2005).

Segundo PREECE et al. (2005), o protótipo é uma representação limitada de um *design* que permite aos usuários interagir com ele e explorar a sua conveniência. Protótipos respondem a questões e fornecem suporte aos *designers* para a escolha de uma dentre as várias opções.

Servem para vários fins:

- testar a viabilidade técnica de uma ideia;
- esclarecer alguns requisitos vagos aos desenvolvedores;
- realizar alguns testes com usuários e avaliações;
- verificar se os rumos do tomados pelo *design* são compatíveis com os objetivos do projeto.

Existem vários níveis de protótipos, cada um com custos, necessidades e objetivos diferentes. Contudo existem dois tipos fundamentais de protótipos: os de baixa e os de alta fidelidade.

Os protótipos de baixa fidelidade: não se assemelham muito ao produto final, usa matérias diferentes, são úteis porque são simples, baratos e de rápida produção, o que figuram como vantagens importantes no começo do projeto. Esses protótipos servem apenas para exploração inicial, e não devem ser mantidos para o resultado final, PREECE et al. (2005). Segundo CYBIS et al. (2008) esses protótipos podem ser chamados de "protótipos horizontais" pois representam apenas a camada da interface de uma função do sistema. Um *storyboard* é um tipo de protótipo de baixa fidelidade.

Já os protótipos de alta fidelidade utilizam materiais que a equipe pretende que esteja no produto final. Esse tipo de protótipo assemelha-se muito com a versão final, apresenta o comportamento e a aparência do produto final, PREECE et al. (2005); CYBIS et al. (2008).

Os protótipos de alta fidelidade costumam apresentar os seguintes problemas: leva muito tempo para ser construído, revisores tendem a comentar aspectos superficiais, em vez do conteúdo, desenvolvedores relutam em alterar algo, pode elevar demais as expectativas. O protótipo de alta fidelidade, contudo, possibilita que as pessoas interajam com um produto imaginado adquirir alguma experiência de como será a utilização quando o produto estiver em ambiente real, PREECE et al. (2005).

Tabela 3 - Tipos de protótipos e suas vantagens e desvantagens. PREECE et al (2005).

Tipo	Vantagens	Desvantagens
Protótipo de baixa fidelidade	<ul style="list-style-type: none"> - Custo mais baixo de desenvolvimento; - Avalia múltiplos conceitos de <i>design</i>; - Instrumento de comunicação útil; - Aborda questões de leiaute de tela e - Útil para identificação de requisitos de mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verificação limitada de erros; - Especificações pobres em detalhe para codificação; - “Uso” conduzido pelo facilitador, utilidade limitada após estabelecimento dos requisitos; - Utilidade limitada para testes de usabilidade e - Limitações de fluxo e navegação
Protótipo de alta fidelidade	<ul style="list-style-type: none"> - Funcionalidade completa; - Totalmente interativo; - Uso conduzido pelo usuário; - Define claramente o esquema de navegação; - Uso para exploração e teste; - Mesmo “<i>look and feel</i>” do produto final; - Serve como uma especificação viva e - Ferramenta de venda e marketing 	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolvimento mais caro; - Sua criação demanda tempo; - Ineficiente para <i>design proof-of concept</i> (demonstração de que o conceito funciona) e - Não serve para coleta de requisitos

O objetivo geral de se fazer um protótipo é alinhar os conceitos e com isso permitir uma avaliação das ideias que vão surgindo: verificar o fluxo das tarefas, se os requisitos do projeto foram ou estão sendo atendidos e descobrir o "novo" e inovar. A prototipação é utilizada para se ter feedbacks mais fidedignos sobre problemas e vantagens da interface em

desenvolvimento e apontar aspectos técnicos falhos. PREECE et al. (2005); CYBIS et al. (2010)

Outro aspecto relevante da prototipação é apontado por VIANA (2012) e diz respeito ao testador. Trata-se do grau de contextualidade do mesmo. Isto é, da medida em que o testador do protótipo é semelhante, ou mesmo coincidente, com o usuário do produto final. Cruzando o critério de fidelidade do protótipo com o de contextualidade do testador obtemos quatro categorias:

Tabela 4 - Exemplos de quatro procedimentos de prototipação com sites.

	Baixa contextualidade do testador	Alta contextualidade do testador
Baixa fidelidade do protótipo	Protótipo feito de papel testado por colegas de trabalho.	Protótipo feito de papel testado com usuários finais.
Alta fidelidade do protótipo	Wireframe dinâmico testado com colegas de trabalho	Wireframe dinâmico testado com usuários finais.

2.1.7 - DHM – Digital Human Modeling – Modelagem Digital Humana

Esse conceito foi inicialmente usado em um relatório divulgado no final de 1960 por militares do departamento da Boeing, RYAN & SPRINGER (1969). Ao longo dos anos, a DHM sai a partir de um contexto de pesquisa para o uso de várias aplicações industriais. Também passa a usar modelos (tais como a escala humana) de manequins 2D (tal como o padrão de ponto J826-H manequim SAE), para modelos humano em 3D.

DHM é usado para assegurar que as considerações ergonômicas serão levadas em conta o mais cedo possível durante o processo de design em um ambiente 3D. Ela permite a alterações de design, quando estes ainda são fáceis de fazer e com baixo custo. Assim, ainda em um ambiente 3D, alterar uma configuração de interior do carro ou uma tarefa de fabricação é muito mais viável do que em um contexto real, uma vez que tudo está em uso ou em produção. Pode-se facilmente imaginar, provavelmente, a diferença de custo ao fazer alterações em uma estação de trabalho em uma linha de montagem de automóveis, no ambiente 3D, em comparação, em fazer tais mudanças em um ambiente real, tendo que parar a linha de produção.

2.1.7.1 - **Aplicações de DHM na indústria automotiva**

DHM é usado mais amplamente na indústria automotiva. A SAE - *Society of Automotive Engineers* participou na promoção de pesquisas e conferências através do comitê SAE G-13, bem como na organização de um evento anual conhecido como as conferências DHM até 2008. A SAE é uma organização de desenvolvimento de normas para profissionais de engenharia em mercados aeroespacial, automotivo, e indústrias de veículos comerciais. A SAE publica mais de 1.600 normas técnicas relativas à concepção de automóveis de passageiros. Entre estas, estão uma série de normas de Ergonomia que são essenciais para o Package dos ocupantes do veículo.

Desde então, conferências DHM são realizadas de forma independente ou integradas dentro de eventos de ergonomia mais genéricas, como a Associação Internacional de Ergonomia (IEA). A automotiva foi o primeiro setor industrial a projetar um carro totalmente em 3D antes da primeira parte real sequer existir. Isso representa um exemplo de adoção DHM dentro de um ambiente de gerenciamento de ciclo de vida do produto (PLM). As principais aplicações automotivas de DHM em veículo estão no Package do ocupante (integração do humano dentro do veículo de acordo com as suas funcionalidades e limites dimensionais) e na manufatura digital.

2.1.8 - **Package Automotivo - Ergonomia em um *cockpit*, normas e recomendações.**

Esse termo refere-se simplesmente à concepção de um veículo em torno de um intervalo de dimensão especificado de motoristas e passageiros.

Package é o termo usado na indústria automotiva para descrever a inserção harmoniosa de vários componentes e sistemas do espaço do veículo/arquitetura.

Na fase de Package, pensa-se em sistemas e componentes como: *powertrain* (motor e caixa de velocidades); chassis (incluindo suspensão, pedais e volante); elétricos (instrumentos, unidade de controle eletrônico (ECU), chicotes elétricos) e estrutura ('estrutura em branco', acabamentos de interior e exterior e sistemas de controle climático).

Além das partes principais, existem centenas ou mesmo milhares de componentes menores a serem incluídos (como chaves individuais, relés, fusíveis, etc.). Além disso, o Package do ocupante está preocupado não só com a montagem dessas peças, mas fazê-lo de

uma maneira em que eles interagem harmoniosamente (conhecido como sistema e compatibilidade de componentes). Mas para o Package, os "componentes" fundamentais são, os ocupantes, ou seja, o motorista e passageiros.

Neste caso, o Package usa os conceitos de Ergonomia e aplica o conhecimento de características e capacidades humanas para a criação de um veículo. Resumindo, o conhecimento sobre as pessoas envolve uma abordagem multidisciplinar, com ênfase na antropometria, biomecânica, psicologia, estatística, e assim por diante. É, portanto, uma função especializada realizada por aqueles com formação em ergonomia. O ergonomista automotivo irá interagir com uma variedade de especialistas automotivos: designers, engenheiros (exteriores e interiores) de Package de veículos, chassis, carroçaria, *powertrain*, elétricos, e assim por diante. Além desses designers técnicos e engenheiros que são responsáveis pelo desenvolvimento da geometria do veículo, o ergonomista automotivo também irá interagir com os profissionais da área que estão definindo o segmento de veículo e sua relação com os concorrentes (planejamento de produtos, pesquisa de mercado, a marca), bem como aquelas pessoas gestão do processo de desenvolvimento, tais como gerentes de projeto.

Cada uma dessas áreas tem um papel importante no processo de desenvolvimento do veículo, mas ninguém mais do que o ergonomista automotivo, deve garantir que o melhor ajuste possível entre o veículo e seus ocupantes seja alcançado, com o maior número de pessoas possível acomodados confortavelmente. Ou seja, toda a gama de condutores e ocupantes dentro da população pretendida são considerados e servidos em termos de conforto, facilidade de uso e também de segurança.

Tal como acontece com qualquer introdução de ergonomia, é muito importante notar que a filosofia fundamental da disciplina é ajustar o produto para o utilizador, e não o utilizador para o produto. Assim, no cenário automotivo, não se quer que o motorista tenha que se adaptar a um design de interior/exterior pobre e comprometido, mas em vez disso, deve-se procurar a projetar um veículo para atender grande parte das suas necessidades e capacidades.

2.1.8.1 - **Vehicle Occupant Packaging (VOP) – Package do Ocupante do Veículo**

O projeto do *cockpit* e o layout interno de um veículo são baseados na usabilidade, ergonomia, conforto, presença visual, tecnologia, e assim por diante. Esses estudos podem

ser realizados no início do processo de design usando DHM, sem ter que construir maquetes físicas e fazer o teste com pessoas reais que representam a população-alvo. Designers usam tais estudos para compreender como as pessoas vão usar ou se movimentar no produto. Essencialmente, a análise poderia ajudar na compreensão de como os botões e comandos funcionam em conjunto com a ação do condutor, bem como a forma como 'encaixa' o motorista no ambiente interior e assentos. A análise pode implicar estudos de posturas, alcance, espaço, forças, conforto e um ambiente visual.

O uso do DHM fornece a possibilidade de se ter todos os atores que colaboram durante o processo de design: o fornecedor do assento, designers de painel, membros da equipe de estruturas e outros participantes atrelados ao desenvolvimento do produto. Todas essas pessoas podem trabalhar em paralelo tendo em conta alterações introduzidas por outros com a evolução do projeto (Figura 3).

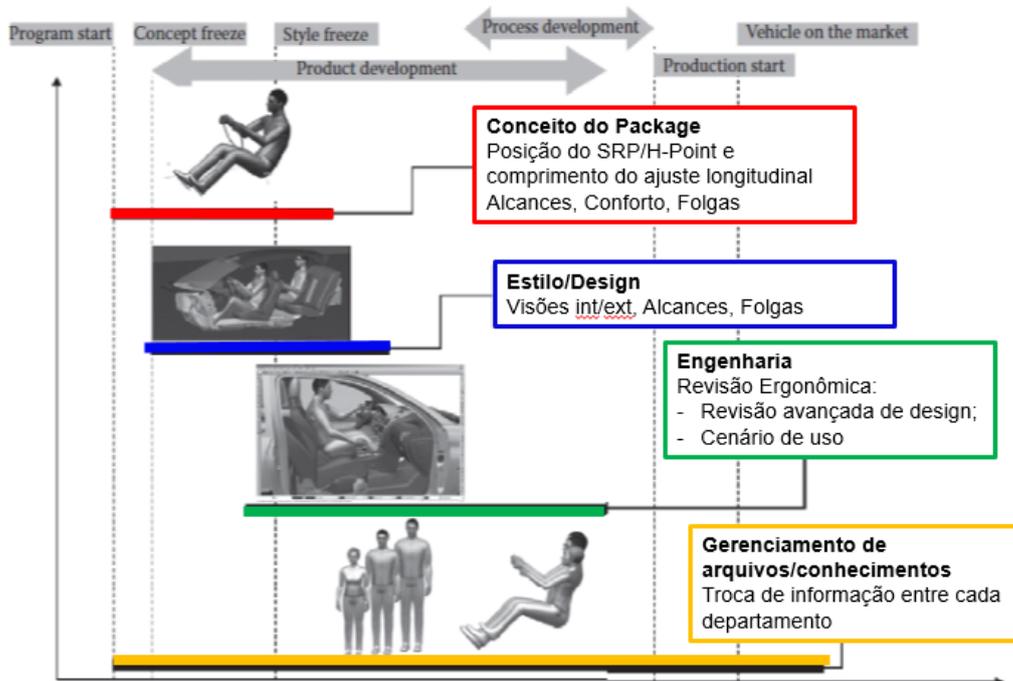


Figura 3 - Processo de Package no processo produtivo de um veículo. (BEENEY & CHARLAND, 2013).

Com o avanço das técnicas e softwares de modelagem e projeto, o projeto de um produto usando apenas com ferramentas virtuais é bastante viável. O questionamento mais crítico está relacionado à percepção e às sensações humanas.

Mais pesquisas são ainda necessárias para confirmar a carga cognitiva, a resposta de estímulo e aspectos psicológicos. Tudo isso leva ao fator humano de tempo de resposta.

Um tempo de resposta e ajuste pode ser carregado para uma ferramenta DHM; mas uma compreensão mais profunda é necessária para comprometer-se com a simulação virtual versus resultados reais. A segurança é o aspecto mais importante nesse processo de concepção, de modo que fazer projetos usando totalmente ambientes e validações virtuais é um processo que ainda está por vir e que ainda necessita de muita pesquisa.

2.1.8.2 - **O papel dos ocupantes no Package Automotivo**

A descrição de Package automotivo mostrado acima pode parecer simples. Certamente, todos os veículos devem acomodar confortavelmente o motorista e os passageiros. Afinal de contas, simplesmente descrevem-se os fundamentos de ergonomia automotivos, e, certamente, todos devem reconhecer a sua importância. Contudo, é interessante considerar que o Package Automotivo é uma tarefa tão difícil quanto desafiadora.

Geralmente na indústria automotiva, vê-se uma preocupação com design (estética). Em um mercado competitivo, o design exterior, em particular, é um claro diferencial entre os veículos e é de grande importância na decisão de compra. Como consequência, o aspecto estético do design do veículo, muitas vezes tem precedência sobre o aspecto menos óbvio da ergonomia do veículo. É de grande importância, em seguida, que a entrada da ergonomia ao design do veículo ocorra desde o primeiro dia do processo de desenvolvimento e continue durante todo o processo. Apenas por estar envolvida com o projeto (engenharia), a equipe de ergonomia é capaz de influenciar o projeto para atender as metas de ergonomia que foram definidas.

O processo de design automotivo tem sido historicamente baseado em equipes de projeto rivais ou designers individuais, com um forte elemento de competição. Claramente, cada designer espera que o seu projeto será o escolhido: um único projeto bem sucedido de um veículo pode definir a carreira do designer, então a pressão para gerar um belo exterior é significativa. Por conseguinte, na fase inicial do processo de concepção, há uma forte tentação para focar a estética do design exterior à custa de funcionalidade, tal como isto pode ser visto como um inibidor para o design exterior. Há também a sensação de que o projeto pode ser posteriormente modificado para incluir os critérios do Package.

No entanto, essa filosofia de concepção "de fora para dentro" é um pouco falha ou muitas vezes difícil de se atingir, significativamente, uma vez que apresenta sérios desafios

para a equipe de desenvolvimento de veículos, muitas vezes com resultados comprometidos. Um projeto de sucesso é conseguido quando se atinge um objetivo conjunto dentro das restrições claramente definidas.

Deve-se também entender que, além de estética exterior, o Package Automotivo é apenas um dos muitos desafios que os engenheiros automotivos e designers e, como tal, pode ser comprometido. Outras considerações durante o processo de desenvolvimento de veículos incluem requisitos legais, qualidade, facilidade de manutenção, aerodinâmica, peso, facilidade de fabricação, a dinâmica do veículo, desempenho e economia, requinte, durabilidade e confiabilidade, segurança e proteção, além, é claro, como a consideração importante de custo.

Assim, enquanto os autores consideram o motorista e passageiros o elemento de suprema importância na concepção dos veículos e engenharia, seus colegas de trabalho em outras áreas da engenharia automotiva terão uma ênfase diferente e, conseqüentemente, lutar por seus próprios atributos particulares. Isso é claramente demonstrado pelo fato de que todos os veículos produzidos hoje são, de alguma maneira, um compromisso de projeto, apresentando um conjunto de atributos do veículo. É de importância, então, que o processo do desenvolvimento do Package garanta que tais compromissos sejam estipulados e definidos com base em dados ergonômicos e processos conhecidos e validados. Outros desafios surgem a partir da comunidade de engenharia. O ocupante humano é menos bem definido “geometricamente”, de modo que é sempre tentador para o engenheiro que assumir que qualquer compromisso pode ser feito por o componente que se adapta, isto é, o ocupante humano. Essa é uma das muitas pressões no projeto de Package e por que o ergonomista automotivo precisa de dados robustos para definir metas para acomodar os ocupantes.

2.1.8.3 - O processo de desenvolvimento do Package Automotivo

No desenvolvimento de qualquer veículo, o nível de detalhe/realidade aumenta de um esboço inicial 2D projeto ou render artístico, para imagens virtuais 3D e em seguida, gerar os protótipos físicos. O processo reflete dessa forma: começando com a geometria 2D e dimensões básicas (SAE J1100 e diretrizes internas da empresa), que define a arquitetura básica do veículo (Figura 4). Ele então evolui para o CAD, com a modelagem de um veículo virtual, onde motorista e passageiros (utilizando ferramentas de CAD como CATIA e do software de modelagem digital de humano RAMSIS ou o próprio Human Builder), em

seguida, para avaliações físicas de veículos protótipos iniciais, os mock-ups (conhecidos também como 'bucks'), utilizando avaliadores físicos (pessoas). Cada uma dessas etapas é descrita em detalhe nas seções seguintes.

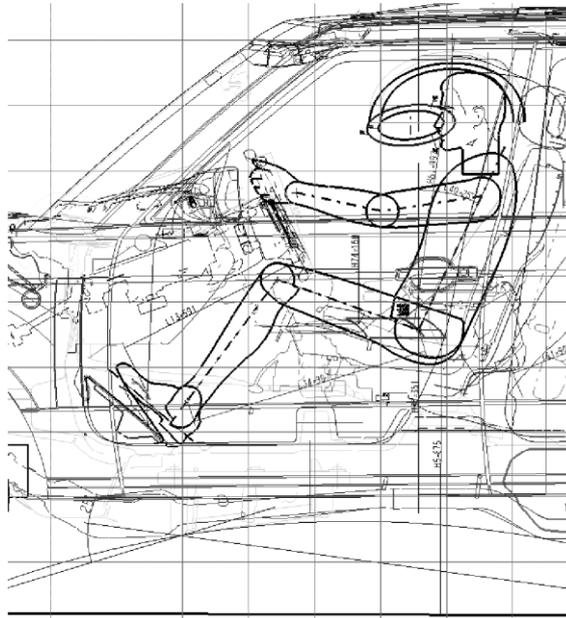


Figura 4 – Exemplo de Package 2D. (HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).

Especificamente, na área de ergonomia são analisados os seguintes aspectos:

- Antropometria e posicionamento do condutor;
- Visibilidade externa e interna;
- Localização e disposição dos equipamentos e mostradores;
- Temperatura dos equipamentos e do *cockpit* em geral;
- Iluminação externa e interna;
- Ruído e vibração;
- Cor de painéis e mostradores;
- A Apresentação da Informação ao Condutor e
- Sensibilidade Tátil – botoeiras e manetes.

Todos os aspectos citados acima possuem normas ou recomendações específicas que regem a sua aplicabilidade e certificação. No caso de *cockpit* de automóveis, existem

inúmeras as normas e referências aplicáveis, sendo que as principais para o projeto básico de um *cockpit* são:

- CAESAR 3D – Edição Norte Americana e Européia;
- Escala Antropométrica HDA(2001);
- SAE AS-8049A – *Procedure for Establishing SRP* – Procedimentos para se estabelecer o SRP;
- SAE J1100 – Motor vehicle dimensions
- SAE J941 – Motor vehicle driver's eye locations
- SAE J1050 – Describing and measuring the driver's field of view
- SAE J287 – Driver Hand Control Reach
- SAE J1052 – Motor vehicle driver and passenger head position
- SAE J1517 – Driver selected seat position
- SAE J1516 – Accommodation tool reference point
- SAE J1183 – Determining seat index point
- SAE J826 – Devices for use in defining and measuring vehicle seating accommodation;
- J2402 - Symbols for Controls and Displays Standards, etc.

No projeto de um *cockpit*, é necessário conhecer a população usuária final, no caso, os ocupantes. Os dados desses ocupantes, tais como: dimensões corporais e peso tornam-se fatores importantes e até limitantes durante a fase de projeto de um veículo. Para um *cockpit* funcional é importante um correto posicionamento dos comandos e equipamentos no interior do veículo. Tais comandos devem estar acessíveis a qualquer tipo de percentil considerado, e seu uso deve ser levado em conta até o final do curso do comando.

Comandos como: volante pedais, alavanca de câmbio (manual ou automático), botoeiras dos painéis, devem atender aos limites de percentil estipulados por norma ou requisito, permitindo, tanto para o percentil maior quanto para o menor, um bom desempenho da função de comandar a veículo com conforto e eficiência. O estudo

antropométrico, devido a sua importância, torna-se um dos itens importantes para o dimensionamento final do veículo.

Para projetos de usam-se as normas e referências SAE, como a SAE J941 e a escala da HDA (2005), vista na Figura 5.

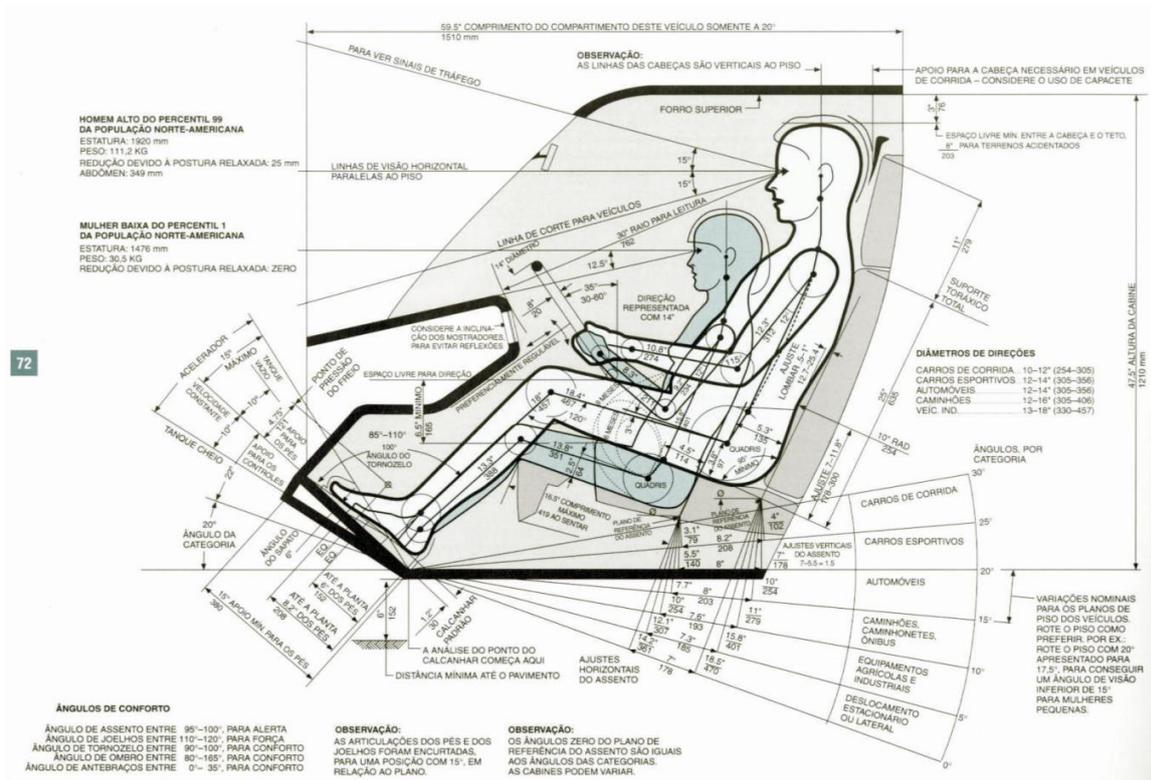


Figura 5 – Padrão de cockpit da Henry Dreyfuss Associates. (TILLEY. 2005).

2.1.8.4 - Passo 1: Desenvolvimento inicial usando as Normas SAE e diretrizes internas da empresa

Em termos simples, o primeiro passo no processo tem como objetivo definir a postura do motorista e, em seguida, definir a arquitetura inicial do veículo em torno do motorista.

Ao fazer isso, várias normas SAE são referenciadas.

A SAE fornece as SAE *Recommended Practices* (Recomendações Práticas) para estabelecer o Package inicial. No entanto, é preciso ter cuidado na sua utilização, e qualquer Package deve ser verificado e refinado através de avaliações com voluntários humanos usando um mock-up físico. Também é importante notar que as normas SAE podem ser mais

aplicáveis a uma população dos EUA, ao passo que os veículos desenvolvidos para os mercados em todo o mundo vão exigir dados detalhados relativos a esses mercados para refinar o Package do ocupante de forma adequada.

Antes que o processo de localização do ocupante seja definido, é importante considerar primeiramente o ponto de quadril do condutor (Ponto H). O ponto H descreve um cruzamento teórico da coxa do ocupante e linhas tronco (Figura 6).

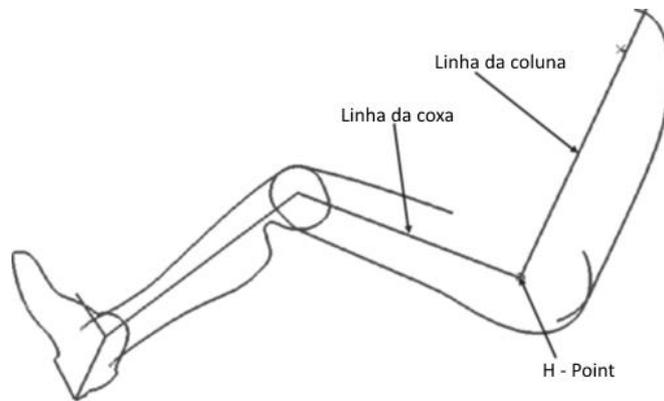


Figura 6 – Posição do H-Point. (Adaptado de MACEY & WARDLE, 2009).

Usando a máquina de ponto H - 3D (SAE J4002), como mostrado na Figura 7, a localização do ponto H em relação ao assento físico pode ser determinada. Esse parâmetro pode então ser utilizado para posicionar o ponto H de um modelo em 2D (Figura 6) em relação a um assento de CAD. Assim, o ponto H pode ser usado para relacionar um dado físico com a geometria virtual.



Figura 7 – Equipamento para definição do Ponto H. (HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).

Considerando que em um assento fixo (não ajustável) existe apenas uma posição do ponto H, em um assento ajustável (por exemplo, o do condutor) o ponto-H pode ser localizado em uma série de posições. Os extremos destes podem ser mapeados e descritos como o envelope movimento do assento, essa linha é chamada de Seat Track Travel, ver Figura 8. Para obter um ponto de referência para o *Package* dos ocupantes, o fabricante irá criar um ponto-H específico, conhecido como o ponto de referência do assento (SgRP – Seating Reference Point). Este é o ponto de referência usado para posicionar o modelo SAE 2D.

O SgRP é um ponto de referência fundamental para definir e descrever o *Package* e dimensões do veículo, ver Figura 8. Muitos dos fatores relacionados ao ocupante e os requisitos legais são cotados em relação ao SgRP. O engenheiro de *Package* e designer automotivo, portanto, precisa ter uma boa compreensão disto. Além disso, o SgRP permite correlação entre o virtual e ambientes físicos, proporcionando um método consistente para a comparação dos veículos (internos e dos concorrentes).

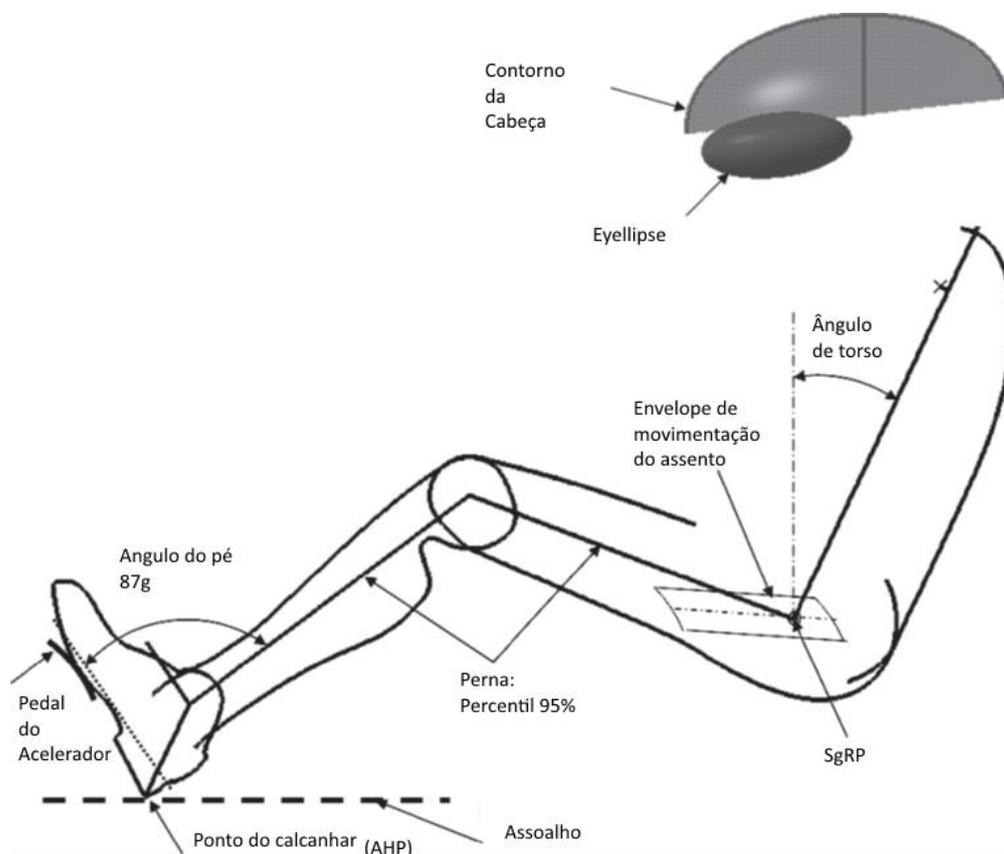


Figura 8 – Template para o H-Point do motorista. (HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).

Após configurar o *Package* do motorista, uma variedade de ferramentas de CAD e as recomendações SAE são usadas para estabelecer o espaço ao redor do ocupante, localização dos controles primários e secundários, e definição dos campos de visão diretos e indiretos.

Exemplos das recomendações utilizadas para estabelecer o *Package* incluem o seguinte:

- **Contornos da cabeça** definida na SAE J1052 são usados para ajudar a estabelecer a arquitetura da cabine superior do veículo, de forma a assegurar que o motorista tenha espaço suficiente ao redor da cabeça e garantir a segurança em caso de capotamento.

- **Localização de controle para a mão do condutor**, conforme definido na norma SAE J287. São usados para ajudar a estabelecer a localização dos controles primários e secundários, de forma a assegurar que eles estão ao alcance do condutor.

- **Localização ocular do condutor** pode ser representado usando “*eyellipses*”, como definido no SAE J941. Estes são usados para ajudar a estabelecer a arquitetura do veículo, de forma a assegurar que o motorista tem uma visão adequada, tanto interna, quanto externa.

Tendo estabelecido o *Package* do motorista, os *Packages* para os passageiros traseiros podem agora serem definidos. Isso permite a sua postura, localização em relação ao condutor, o espaço à sua volta a ser definido.

Além das recomendações da SAE, as diretrizes internas da empresa também são levadas em conta e são usadas em conjunto com elas. Tais diretrizes da empresa são baseadas na experiência de desenvolvimento de veículos no segmento, de dimensões aceitáveis e preferíveis, e também pode se referir à aferição dos veículos concorrentes, isto é, para ser competitivo com o conjunto existente de veículos concorrentes, adotando as dimensões médias relativas para o espaço dos ocupantes.

No fim dessa primeira etapa do processo de desenvolvimento do *Package* dos ocupantes é esperado ter um *Package* inicial que pode ser usado como um bom ponto de partida.

Por isso, pode-se dizer que o *Package* não tem grandes falhas. No entanto, está muito longe de ser um *Package* congelado e requer mais desenvolvimento e refinamento de cumprir com êxito as necessidades da população usuária.

2.1.8.5 - **Passo 2: Desenvolvimento Virtual e Avaliação do Package dos ocupantes**

Ferramentas de CAD com modelos humanos digitais estão disponíveis para serem usados no processo de Design e Ergonomia. Esses modelos humanos podem ser configurados para representar as pessoas de várias formas e tamanhos em muitas populações, e assim representar o grupo de usuários destinado a qualquer veículo. Esses pacotes de software especializados incluem RAMSIS, JACK e SAMMIE, bem como modelos digitais humanos disponíveis, a exemplo do CATIA (Human Builder) ou pacotes da ALIAS CAD. Alguns exemplos do Jack e Ramsis podem ser vistos nas Figura 9 e Figura 10.

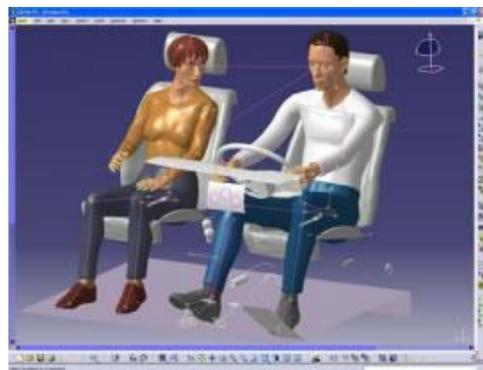


Figura 9 – Imagem do Jack (*Simulation Solutions*, 2012).

Figura 10 – Imagem do Ramsis. (Ramsis, 2012).

O objetivo dessas ferramentas de CAD é prever a interação das pessoas com um ambiente físico. Como tal, qualquer software escolhido deve primeiro ter sido validado para verificar se, por exemplo, as posturas previstas, alcance e visão, de fato, coincidem com aqueles experimentados por ocupantes humanos em um ambiente físico. Claramente, o comportamento humano é complexo e, por isso, é difícil de ser modelado. Muitos engenheiros acreditam que esses modelos humanos digitais representam a resposta a todas as suas questões de ergonomia, e que eles podem emplacar com sucesso um veículo utilizando ferramentas de CAD com grande confiança no resultado final. A modelagem

digital humana traz muitos benefícios para o processo de design, mas deve ser usado como um filtro bruto para remover os mais óbvios problemas de Package dos ocupantes.

Ensaio de usuários com representantes da população de usuários com um mock-up representativo irá destacar as questões que não são evidentes utilizando modelagem digital humana, incluindo as questões de conforto a longo prazo, efeitos da fadiga, e uma série de questões sutis, tais como a aceitação do produto com base na experiência do passado. As principais vantagens da modelagem digital humana são de que o Package do ocupante pode ser desenvolvido e avaliado no início do programa veículo sem os altos custos associados com a concepção, construção e avaliação de um mock-up físico.

Além disso, usando uma ferramenta de modelagem digital humana para desenvolver o Package inicial do ocupante, quando um mock-up físico é subsequentemente incorporado, representa uma concepção que já é refinada em certa medida; a maioria das principais questões já deveriam ter sido resolvidas por meio de avaliações virtuais e assim os conceitos básicos do Package do ocupante devem ser postos em prática.

2.1.8.5.1 Visibilidade

A visibilidade de um *cockpit* afeta as atividades durante um trajeto, principalmente nas fases mais críticas, como ultrapassagens e desvio de obstáculos.

No estudo da visibilidade, tem-se como ponto de referência o DEP, ou seja, posição de referência do olho; isto é, uma coordenada que indica a posição do centro monocular do olho do condutor quando sentado no assento. Para se obter o DEP correto, o condutor deve estar sentado, seguindo o posicionamento do SRP e o NSRP, ou seja, ponto de referência do assento e ponto neutro de referência do assento respectivamente, ver Figura 11. O procedimento para se achar o SRP é originado da norma SAE AS-8049A. O DEP é um ponto que deve estar imóvel já que é referência para todos os tipos de percentis. Os condutores de percentis diferentes conseguem atingir essa coordenada com o auxílio dos ajustes do assento (vertical e lateral) e geralmente existem dispositivos alinhadores que indicam se o condutor está ou não no ponto certo. Nessas análises são avaliados também os movimentos oculares e de rotação da cabeça, em todos os sentidos, obedecendo as limitações antropométricas.

As normas que se aplicam a *cockpit* de veículos são a SAE J941, SAE J1050 e SAE J1052. Nelas encontram-se todas as definições e limites geométricos aplicados a um *cockpit*.

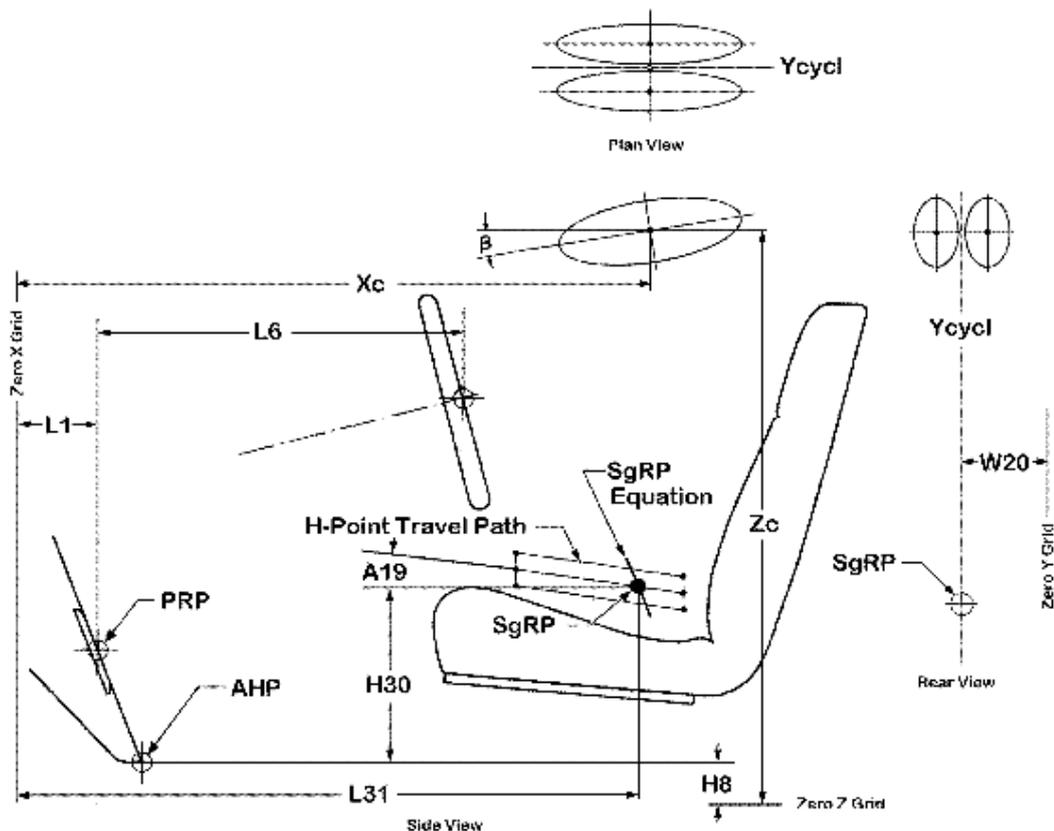


Figura 11 – Cotas e elementos de referências para um *cockpit* básico - (SAE J941, 2002).

Em um *cockpit*, considera-se tanto a visibilidade externa quanto a interna. O projeto integrado de ambas faz com que o *cockpit* se torne mais seguro para o condutor e para os seus ocupantes.

2.1.8.5.2 Localização e disposição dos equipamentos

Os equipamentos dentro do *cockpit* são posicionados de acordo com a prioridade de sua utilização, para garantir que o condutor não cometa erros ou que ele não tenha desconforto. A má disposição dos instrumentos de um veículo pode comprometer seriamente a segurança e a boa usabilidade do *cockpit*.

Os itens mais importantes a serem considerados sobre a localização e disposição dos equipamentos durante o projeto de um *cockpit* são:

Tabela 5 – Localização e disposição dos equipamentos em um *cockpit*.

Visibilidade	O operador deverá enxergar todo o equipamento em sua posição normal de trabalho sem que haja movimento excessivo do corpo ou cabeça, de acordo com a prioridade de utilização.
Agrupamento	Os controles e display deverão ter um arranjo funcional por sistemas, obedecendo a sequência de operação de forma progressiva.
Identificação	O operador deverá identificar o grupo, controles e displays rapidamente sem erros.
População	Deverão ser considerados os percentis e suas limitações para alcance dos equipamentos e displays para um determinado arranjo de painel.
Indicação	Quando um sistema for de emergência, ele deverá ser diferenciado através do tato ou cor. (ex. lista amarela, laranja e preta).
Frequência de Utilização	Quanto maior for o uso do equipamento, este deverá ficar mais próximo do operador.
Lógica de Check List	No sentido horário e de cima para baixo.
Clearence (áreas livres)	Os controles deverão ter espaço suficiente sem que haja qualquer estrutura adjacente que impeça a sua completa operação e visibilidade. Quando houver necessidade de o operador usar luvas, os comandos e espaços deverão ser maiores e permitir área mínima de toque.
Atuação para Sentidos Coerentes	Todas as chaves “ligado/desligado” na mesma condição de atuação. Ligado para cima e desligado para baixo.

A caracterização da localização e disposição dos equipamentos são subdivididos em zonas. São três zonas em específico:

Tabela 6 – Zonas para a disposição de equipamentos em um *cockpit*.

ZONA I	Controles que devem ser alcançados com o cinto dos assentos travado e com membros não totalmente estendidos. Nela estão incluídos: sistema de escape – todos os movimentos; manche – posição neutra; pedais – posição neutra; manete de potência – posição neutra.
ZONA II	Controles que devem ser alcançados com o cinto dos assentos travado e com membros podendo estar totalmente estendidos. Nela estão incluídos: controles de emergência; manche – todo curso; pedais – todo curso; manete de potência – todo curso. Nesta zona, é desejável possuir também os demais comandos: comando trem de pouso normal e emergência, cancelamento da trava do trem de pouso, controles de emergência elétrico e hidráulico, comando HOTAS, comando de voo secundário, comandos do sistema elétrico principal e pedais de freio.
ZONA III	Demais Controles.

2.1.8.6 - **Passo 3: O uso da Realidade Virtual em uma CAVE**

Muitas empresas automotivas estão usando instalações de realidade virtual, CAVEs, para auxiliar o processo de desenvolvimento de veículos. Esse ambiente imersivo é simplesmente um espaço com três paredes e piso, atuando como telas em que imagens de alta resolução são projetadas. Vestindo óculos “3D”, como no cinema, permitindo que o usuário visualize e entenda mais facilmente a geometria de um veículo em 3D (Figura 12).

Isso dá ao engenheiro veículo a capacidade de avaliar a geometria do veículo antes da construção de um modelo físico. Além disso, é possível avaliar rápida e facilmente designs alternativos ou veículos concorrentes para fins de comparação.

No entanto, deve-se notar-se que esse é meramente um passo adicional no processo de desenvolvimento e que, no momento de desenvolvimento, a CAVE não é nenhum substituto para avaliar um veículo físico. Por exemplo, a mensuração da facilidade de entrada e saída no veículo ainda necessita de avaliação física.



Figura 12 - Desenvolvimento da Range Rover Evoque na CAVE JLR na Unidade em Gaydon: visão exterior otimizada. (HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).

O uso de uma CAVE nos centros de desenvolvimento automotivo provou ser uma ferramenta de comunicação muito útil. Ela pode ser usada de forma rápida e claramente mostra um veículo embrionário para a equipe do projeto. Ao fazer isso, ele traz à vida um veículo que só existe como geometria 3D em um mundo virtual e assim ajuda o engenheiro de Package a obter apoio e validar suas propostas.

Nessa fase do processo, o Package do veículo está tornando-se cada vez mais refinado e aspectos relacionados do veículo, como visão interior e exterior, são agora otimizados. Como, por exemplo, incluir o perfil do capô. A próxima etapa descreve o processo de modelagem.

2.1.8.7 - **Passo 4: Modelagem física usando Mock-ups e Ensaio de usuários com representantes do cliente**

Essa etapa do processo de Package do ocupante envolve a modelagem física tanto do veículo e quanto dos ocupantes destinados (clientes-alvo).

O mock-up (buck) é um modelo físico do veículo, com uma precisão de poucos milímetros. Aspectos do projeto que são críticos para o Package do ocupante estão incluídos de forma tão precisa quanto possível, ao mesmo tempo aspectos que são não críticos para o

Package são expressos apenas em uma forma bruta (materiais, muitas vezes não são representativos daqueles em um carro). Mas o mock-up é, contudo, suficiente para dar uma sensação de como o veículo final seria na realidade. Essa é uma ferramenta cara que toma recursos significativos para produzir. Antes de um mock-up ser avaliado, o equipamento para definir o ponto H da SAE deve ser utilizado para garantir que o envelope assento seja representativo de acordo com a geometria pretendida.

Os mock-ups podem ser estáticos ou dinâmicos. Mock-ups estáticos são avaliados em uma posição fixa dentro de um laboratório, e são, inicialmente utilizados para obter dados de satisfação do cliente, como: facilidade de entrada e saída, o conforto da posição de condução, e assim por diante (Figura 13 e Figura 14). Mock-ups dinâmicos/protótipos de veículos dinâmicos podem ser conduzidos, e assim avaliados dinamicamente. Eles tendem a ter um maior grau de representação e de modo que eles são extremamente caros e demorados para produzir. No entanto, eles são vitais para o desenvolvimento e avaliação de tais atributos dos veículos que são melhor avaliados dinamicamente, tais como a concepção de espelhos retrovisores, que deve ser avaliada em manobras de estacionamento.



Figura 13 – Voluntário alto em um mock-up para definir o ingresso/egresso de uma Range Rover. (HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).



Figura 14 – Voluntária de baixa estatura avaliando a posição de direção e alcance dos instrumentos em um mock-up estático físico. (HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).

Na Seção 2.1.8.1, descreve-se a modelagem de pessoas usando o software de modelagem digital de RAMSIS humano. Mas no final do processo, quando se tem modelos físicos de veículos para validação, é preciso escolher os motoristas e passageiros que utilizarão os veículos, selecionando pessoas que representam o mais próximo possível da base de clientes destinados ao redor do mundo. Os voluntários humanos devem ser cuidadosamente escolhidos e um número apropriado deve ser utilizado em avaliações.

O uso de mock-ups físicos torna possível também fazer estudos do ambiente dentro do veículo, como exemplo, temos o conforto térmico, vibracional, escolha de cores e texturas no acabamento, avaliação cognitiva das informações passadas pelo painel e principalmente, conforto nos assentos.

2.1.8.8 - **Passo 5: Validação do veículo Finalizado: o feedback dos clientes que compram e utilizam o veículo finalizado**

Grande parte dos Estúdios de Design realizam várias pesquisas anuais da indústria automotiva dos EUA, assim como em outros países. A pesquisa APEAL (Automotive Performance, Execution and Layout) da J.D. Power reflete atitudes dos consumidores em relação aos atributos de um veículo. Dados e pesquisas da JD Power fornecem aos engenheiros de uma dada empresa fabricante, um feedback do cliente de modelos em relação

às suas próprias marcas, bem como a de veículos concorrentes. Essa informação é valiosa na medida em que permite ao engenheiro compreender como os impactos da geometria e forma do veículo atuam sobre a percepção do cliente, por exemplo, visão, espaço, facilidade de entrada e saída.

Tal informação ajuda a validar os resultados do processo de desenvolvimento *in-house* e também irá ajudar no desenvolvimento futuro de um veículo.

2.2 - REALIDADE VIRTUAL E SIMULAÇÃO VEICULAR

2.2.1 - Realidade Virtual

Realidade virtual consiste numa tecnologia de interface avançada que permite ao utilizador interagir, visualizar e manipular objetos em diversos ambientes. O objetivo dessa interface complexa é recriar ao máximo a sensação de realidade no utilizador e fazer com este a sinta como se fosse real. Para isso, são utilizados equipamentos (como luvas de dados) para que exista estimulação não só da visão, mas também dos outros sentidos do utilizador.

Existem várias definições aceitas para realidade virtual. Isso é devido, em parte, à natureza interdisciplinar da área e também ao seu processo de evolução. De uma maneira simplificada, podemos dizer que realidade virtual (RV) é a forma mais avançada de interface entre o usuário e o computador até agora disponível, HANCOCK (1995). Trata-se de uma interface homem-máquina que simula um ambiente real e permite aos participantes interagirem com o mesmo, LATTA & OBERG (1994). Agrupando-se algumas outras definições de realidade virtual, BURDEA & COIFFET (1994); JACOBSON (1991); KRUEGER (1991), pode-se dizer que RV é uma interface, em que o usuário pode realizar imersão, navegação e interação em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, utilizando canais multissensoriais.

Uma outra definição propõe que realidade virtual seja a simulação do tempo-espaço 4D, a animação do ponto de observação apresentada em um contexto interativo em tempo real, ADAMS (1994). Na prática, a realidade virtual permite que o usuário navegue e veja, em tempo real, um mundo de três dimensões, com seis graus de liberdade (6GDL), que mostra a capacidade do *software* definir e a capacidade do *hardware* reconhecer seis tipos de movimentos: para frente/para trás, acima/abaixo, esquerda/direita, inclinação para cima/para baixo, angulação à esquerda/à direita e rotação à esquerda/à direita.

Na realidade física, o indivíduo existe em três dimensões, tem a sensação do tempo real e a capacidade de interagir com o mundo ao seu redor. Os equipamentos de RV simulam essas condições, chegando ao ponto em que o usuário pode “tocar” os objetos em um mundo virtual e fazer com que eles mudem de acordo com suas ações, Von SCHWEBER & Von SCHWEBER (1995).

A grande vantagem desse tipo de interface é que o conhecimento intuitivo do usuário a respeito do mundo físico pode ser transferido para manipular o mundo virtual. O usuário entra no espaço virtual das aplicações e visualiza, manipula e explora os dados da aplicação em tempo real, usando seus sentidos, particularmente os movimentos naturais tridimensionais do corpo. Para apoiar esse tipo de interação, o usuário utiliza dispositivos não convencionais como capacete de visualização e controle, luvas e outros. Esses dispositivos dão ao usuário a impressão de que a aplicação está funcionando no ambiente tridimensional real, permitindo em sua exploração a movimentação natural dos objetos com o uso das mãos.

O uso de realidade virtual permite ao usuário sensação de presença em um ambiente criado por computadores, ou seja, permite a imersão do usuário em um ambiente virtual. Aplicando realidade virtual em treinamento, detalhes complexos presentes na operação real podem ser recriados e experimentados pelo treinado sem a necessidade de vivenciar a operação real.

A evolução tecnológica da computação gráfica e dos componentes eletrônicos tem proporcionado uma rápida evolução nos sistemas de realidade virtual e a criação de novas tecnologias de interação homem-computador ainda mais econômicas e com uma maior disseminação entre os usuários comuns.

2.2.1.1 - **Interatividade**

A interatividade num ambiente virtual pode ser definida como a possibilidade de o utilizador dar instruções ao sistema e o modo como faz, quer seja através de ações efetuadas neste, quer seja nos seus objetos. A partir daí, o sistema muda, adaptando-se e criando novas situações ao utilizador.

As características da interatividade são:

- A comunicação, que cria precisamente uma ligação mútua entre sistema e utilizador a partir de dispositivos na periferia do sistema;
- O feedback, que nos dá a capacidade de controlar a forma como os objetos inseridos no ambiente virtual são manipulados, através de estímulos sensoriais sistema-utilizador;
- O controle e a resposta, que consentem ao sistema a capacidade de regular e atuar diretamente nos comportamentos dos objetos pertencentes ao ambiente virtual;
- O tempo de resposta, que é o tempo que passa desde que o utilizador faz uma ação sobre um dos objetos até que se dá a modificação pretendida no sistema;
- A adaptabilidade, que trata da aptidão que o sistema tem de alterar o ambiente virtual, considerando as ações do utilizador sobre os seus objetos.

2.2.1.1.1 Níveis de Interatividade segundo a relação Homem-Máquina

Tendo em conta a relação Homem-máquina, podemos distinguir 3 níveis de interatividade: reativa, coativa e proativa.

- **Reativa**, o utilizador tem um controle limitado sobre os conteúdos do ambiente virtual. A interação e o feedback são controlados pelo sistema e seguem um caminho pré-programado.

- **Coativa**, o utilizador tem o controle da sequência, do ritmo e do estilo das ações desenvolvidas sobre os conteúdos do ambiente virtual.

- **Proativa**, o utilizador tem o controle da estrutura e do conteúdo das ações desenvolvidas no ambiente virtual.

2.2.1.1.2 Tipos de Interatividade

Os tipos de Interatividade são:

Hierárquica – Esse tipo de interatividade é desenvolvido de forma reativa, o utilizador navega no sistema a partir de um conjunto de opções predefinidas, podendo definir um trajeto;

De atualização – Esse tipo de interatividade desenvolve-se de forma proativa e pode variar de um formato mais simplificado de perguntas e respostas até formatos bem mais complexos podendo apresentar componentes de inteligência artificial. A interatividade entre o sistema e o utilizador permite gerar conteúdos atualizados e individualizados em resposta aos estímulos gerados pelo utilizador;

Construtiva – Esse tipo de interatividade é uma extensão do tipo de interatividade de atualização e desenvolve-se de forma proativa. O utilizador, de modo a atingir um determinado objetivo, constrói um modelo por manuseamento de objetos, precisando portanto de seguir a sequência correta de ações a realizar até conseguir obter o resultado pretendido;

Sobre objetos – O utilizador ativa objetos utilizando o rato ou um outro dispositivo apontador para obter respostas por parte do sistema. Esses objetos alteram o seu funcionamento consoante fatores específicos;

Linear – Esse tipo de interatividade desenvolve-se de forma reativa e o utilizador pode definir o sentido da sequência das ações desenvolvidas no ambiente virtual, mas apenas acedendo à seguinte ou à precedente. Assim, sendo uma interação linear é mais fácil gerar ações;

De suporte – Esse tipo de interatividade desenvolve-se de forma reativa, o utilizador recebe do sistema apoio sobre o seu desempenho através mensagens de ajuda e manuais;

Reflexiva – Esse tipo de interatividade desenvolve-se de forma proativa. O sistema formula perguntas às quais o utilizador responde e pode comparar as suas respostas com as de outros utilizadores ou com as de especialistas, fazendo-o refletir sobre elas;

De hiperligação – Esse tipo de interatividade desenvolve-se de forma proativa, o sistema determina as ligações de que precisa a fim de garantir que o utilizador possa aceder aos seus elementos de todos os trajetos possíveis, criando assim um ambiente mais flexível.

2.2.1.1.3 Níveis de Interatividade segundo a ação sensorial

Os níveis de ação sensorial podem ser classificados em três tipos: elevada, média e baixa.

No nível de interação elevada o utilizador está imerso em um ambiente virtual, onde todos os seus sentidos são estimulados. No nível de interação média apenas alguns sentidos do utilizador estão a ser utilizados e existe um controlo limitado do desenrolar da ação no ambiente virtual. No nível de interação baixa o utilizador não se sente integrado no ambiente virtual e só alguns dos seus sentidos estão a ser utilizados.

O objetivo das soluções interativas de realidade virtual é que o utilizador esteja inserido num ambiente irreal. É pois necessário que essas soluções sejam sujeitas a um processo de avaliação, nomeadamente no caso das alterações que possam ser provocadas ao utilizador em nível psicológico e social e do nível de qualidade da aplicação em causa. As características analisadas para avaliar as soluções interativas são as seguintes:

- Qualidade do som e imagem;
- Qualidade do ambiente virtual e percentagem de realismo;
- Funcionamento dos dispositivos periféricos;
- Utilização correta das cores;
- Aspetos visuais;
- Qualidade da estimulação tátil e percepção de força.

2.2.2 - Realidade expandida e sistemas enativos/biocíbridos – Experiência vivida e incorporada

A CAVE do LART (Laboratório de Pesquisa em Arte e TecnoCiência) oferece espaços de simulação estereoscópica para imersão em uma CAVE, ou seja, um cubo imersivo de realidade virtual, dotado de interfaces plurissensoriais para imersão em caverna digital, vide Figura 15. Dotada de interfaces de alto grau de sensorialidade, o projeto demanda a criação de ambientes e o desenvolvimento de interfaces (software e hardware) para interação com o ser humano.

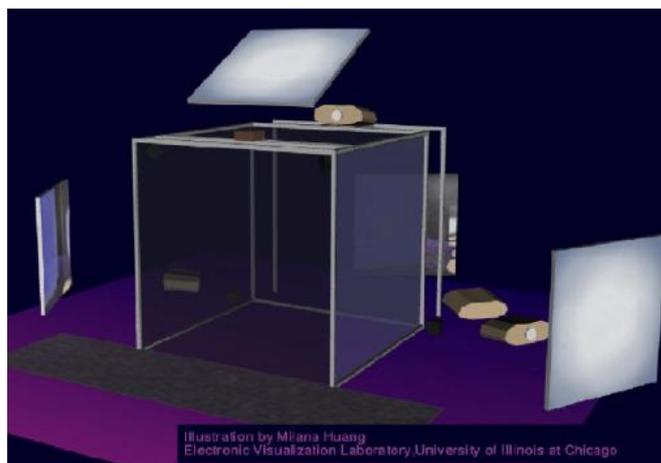


Figura 15 - Modelo esquemático de uma CAVE convencional. (HUANG, 2001)

A realidade virtual, que propicia a imersão por navegação espacial em mundos tridimensionais, resulta de grandes avanços em bibliotecas gráficas que geram ambientes tridimensionais abertos à interatividade e à imersão. O processo criativo e científico exige a escrita de programas que lidam com a modelagem e renderização por simulação geométrica de cenas e objetos baseada em leis físicas e genéticas, propiciando a geração de um cosmos tecnológico que, durante as interações, afirma a presença do corpo e de suas ações. Não se trata somente de geração de animações, mas de possibilitar a condição especial de experimentar o território virtual e os objetos em toda sua dinâmica em escala humana. Nesse sentido, é que vai ocorrer o “realismo” como experiência vivida pelo corpo nas cenas construídas em linguagem numérica. São mundos de um realismo conceitual, onde os cálculos, através de algoritmos e funções, possibilitam modificar interativamente o mundo virtual. As classes e funções algorítmicas, escritas em linguagem orientada a objeto, são responsáveis pelos acontecimentos no mundo virtual como narrativas que simulam vários graus de realidade desse mesmo mundo. A imersão é experimentada com equipamentos especiais que oferecem o acesso e diálogo no interior de mundos sintéticos.

O uso de rastreadores, luvas, óculos ou outra interface háptica permite agir no ambiente com dispositivos que rastreiam as ações do corpo, provocando mudanças no território virtual. Em todas as situações, as experiências perceptivas são cada vez mais performáticas. Os *trackers* ou rastreadores são sistemas de captura para a direção e movimento do corpo, suas ações e gestos. Todas essas tecnologias têm uma dimensão tátil ou háptica, e o corpo pode tocar as imagens. Entre os periféricos de RV e suas variáveis,

existem ainda as *dataglove*, ou luvas com *emitters*, para tocar nos dados, além dos sistemas de câmeras, sistemas com magnetismo, ondas sonoras, infravermelho, entre outros dispositivos hápticos que, assim como joystick, estão entre outras tecnologias para aquisição e comunicação de sinais. O hardware é também dotado de placas para renderização em tempo real e simulação sensorial. Os rastreadores também possibilitam a manipulação de objetos e toque em objetos virtuais modelados em 3D, que podem ser aproximados, girados, arrastados, em correspondência e simultaneidade das ações no espaço físico. Age-se conforme leis da física e da dinâmica, em ambientes regidos por modelos matemáticos para a geração de força e vibração. Dessa maneira, tais modelos aumentam a capacidade de imersão e permitem ao participante sentir as consequências daquilo que se está fazendo, mediante feedbacks que podem levar a sensações de pressão, de dinâmica de força, tais como o ato de apertar um parafuso ou bater com um martelo.

Entretanto, são as experiências em medicina que levam a situações radicais, onde a vida é checada através da virtualidade. Dispositivos hápticos permitem hoje operações em mundos de realidade ampliada. Os dispositivos de retorno de força com captadores que garantem sensações mais precisas e confiáveis, atualmente, estão buscando sensações relacionadas à temperatura e em compressões sobre superfícies. Por outro lado, o realismo auditivo explora a tridimensionalidade de sons que também ganham um poder imersivo, sendo especializados de forma a gerar sensações com ilusão de profundidade. Os dispositivos monofônicos não podem fornecer variáveis sonoras de localização espacial indicando à direita, à esquerda, etc. Assim, na realidade virtual, é necessário também simular um verdadeiro universo sonoro tridimensional. Hoje existem sistemas que oferecem a correspondência nas trocas de percepção visual em função dos movimentos que reforçam as sensações auditivas.

O corpo implicado, de maneira fisiológica, num ambiente virtual tridimensional, experimentando sensações de estar vivendo dentro dele, é o que se denomina de interatividade imersiva. São interfaces interativas que ligam o corpo ao ambiente, gerando enações, por relações estruturadas entre os seres humanos e próteses sintéticas que oferecem perceptos em ambientes interativos. A imersão pelas trocas mútuas, na relação corpo/ambiente entrelaçados, confirma a tese de Ted Krueger. KRUEGER (2004) de ser a percepção “um fenômeno de laboratório”.

Os inventores das CAVEs, Carolina Cruz-Neira, com DeFanti e Sandin, propuseram “*a room with a view*”, culminando num espaço sensorial imersivo. Eles declaram que esse sistema foi criado com o fim de evitar a necessidade de vestir capacetes que limitam a mobilidade do corpo. Em consonância com outros pesquisadores internacionais, o uso da CAVE, com pisos que oferecem esteiras para movimentos do corpo nos estados de conectividade e evasão no interior de cavernas de realidade virtual, é referência para este projeto.

O termo em inglês *Virtuality Continuum* representa esse conceito da Ciência da Computação e estabelece uma escala contínua entre o completamente virtual, Realidade Virtual; e o completamente real, a Realidade. O *continuum* realidade-virtualidade envolve todas as possíveis variações e composições de objetos reais e virtuais. Tal conceito foi introduzido primeiramente por MILGRAM (1994).

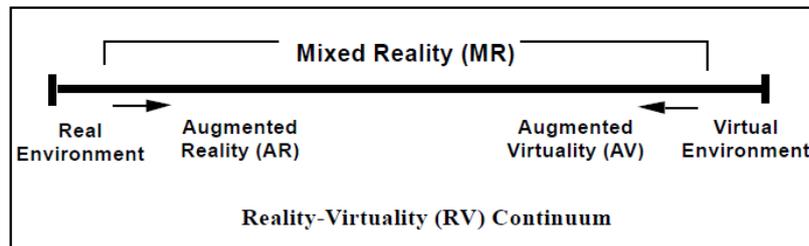


Figura 16 – Modelo da Realidade Combinada – Realidade Misturada (RM), MILGRAM, (1994).

Os processos de visualização de Realidade Misturada e Realidade Aumentada (RA) permitem a criação de novos tipos de interface entre o homem e o computador por visão computacional. Um sistema de Realidade Aumentada é definido por três características: combinação do real com virtual, interatividade em tempo real e registro em 3D.

KIRNER (2008) mostra a separação entre os diversos conceitos que englobam a Realidade Virtual. Nos anos 2000, técnicas de inteligência artificial e interação multimodal, aliadas à computação ubíqua, contribuíram para o desenvolvimento de dispositivos mais avançados e de sistemas de Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Virtualidade Aumentada com algum grau de inteligência e comportamentos não determinísticos. Objetos reais inteligentes e os sistemas virtuais inteligentes foram desenvolvidos interagindo com os usuários de maneira não determinística e com reações diferenciadas em função de situações variadas.

O diagrama da Figura 17 apresenta também a influência do tipo de interface/interação na classificação dos tipos de sistemas virtuais. Nesses sistemas, o uso de interfaces/interações do ambiente real define os ambientes de Realidade Aumentada e de Hiper-realidade. O uso de interfaces/interações do ambiente virtual define os ambientes de Realidade Virtual e de Virtualidade Aumentada inteligentes e sem inteligência.

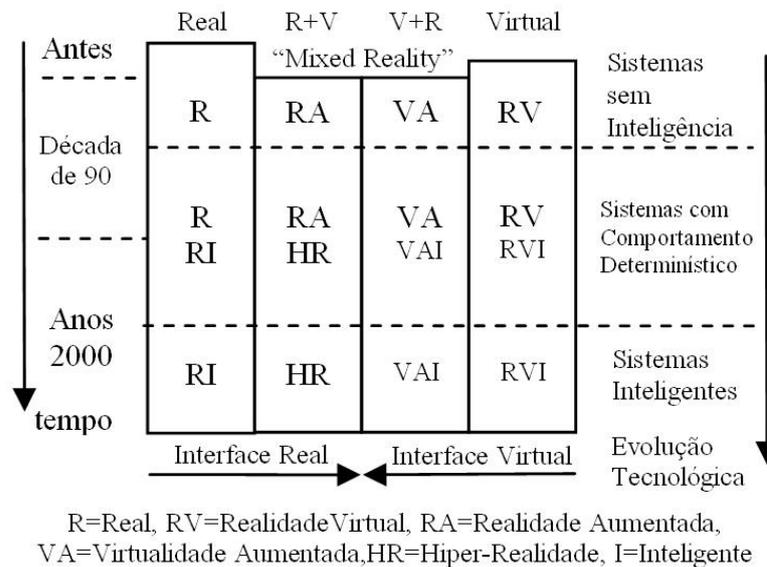


Figura 17 - Interface/interação na classificação dos tipos de sistemas virtuais, KIRNER (2008).

Este trabalho transdisciplinar, envolvendo engenharia, cientistas com foco nas ciências humanas, questões antropológicas, sociais, psicológicas, considerando ainda especialistas da engenharia biomédica, neurociência, além da ciência da interface, ergonomia, informática e biofísica, deve verificar, desenvolver, aprimorar e transferir interfaces tecnológicas (próteses, realidade virtual, biofeedback, sensores táteis e outras tecnologias eletrônicas) e biotecnologias. Além disso, busca-se desenvolver práticas e abordagens pertinentes e relacionadas com a questão da percepção e da reabilitação, seja como acessório, seja como reconfiguração da capacidade do corpo, incluindo ainda o poder de mapear a (de)eficiência pelo comportamento e corpos interfaceados ao ambiente.

Outra qualidade das realizações na caverna é a condição *biocybrid*, tendo conceito de híbrido do Peter Anders, reforçada por sinais fisiológicos configurando uma experiência de realidades mistas (bio + ciber + híbrido). Essas questões comuns e diferenças nos campos do design, da ciência e tecnologia são o tema desta pesquisa e serão desenvolvidas, em

planos específicos, durante o período do projeto, em estreita colaboração intra - inter e transinstitucional. Tais questões abordarão a ampliação de pesquisas sinestésicas de biofeedback e bioengenharia: da imersão - evasão - realidade misturada – paisagem remota – espaço físico - espaço de dados, ou seja, o biocíbrido. Tratando-se, então, de propiciar comportamentos e experiências em zonas determinadas pelo design de interação, que soma propriedades do espaço físico onde o corpo se desloca, do cyberspaço e dos dados processando informações.

Entre os problemas da investigação de sistemas biocíbridos que requerem a ampliação dos recursos tecnológicos, está o uso da Caverna de realidade virtual para experiências sensoriais em ampliação sinestésica por sensação a partir da soma com sensações do mundo físico, numa relação com a arte cinética dos anos 80, e seus expoentes Jules Le Parc e Palatnik na América Latina. A cinética do piso com movimento, deslocamentos, desequilíbrio, colisão, vibração, rotação, trepidações são focos da expansão das interações com os espaços de dados, gerando os sistemas biocíbridos.

Nesse contexto, segundo DOMINGUES (2013), “a condição biocíbrida é expandida além da arte e do entretenimento, como é aplicada a engenharia automotiva e engenharia biomédica. Na verdade, as sensações cinestésicas vão replicar a sensação de deslocamento no interior de um automóvel, bem como as sensações de vibrações e movimentos verticais típicos de um veículo, diferentes velocidades, colisões, etc. Essas várias condições serão criadas pelo sistema em termos de sensações físicas e os dados sintéticos fornecidos por atuadores, bem como pelo biofeedback, usando respiração, calor, batimentos cardíacos e outros sinais recolhidos pelos nossos circuitos de sensores fisiológicos.”

É no contexto da condição biocíbrida e usando as interfaces da CAVE do LART que serão realizados os experimentos propostos por este trabalho.

2.2.3 - Simulação Veicular

Por “*simulador de direção*” entende-se qualquer dispositivo que realiza a função de reproduzir, em um contexto virtual, condições de uso de um veículo automotivo, BALDWIN e FORD (2006). Partindo-se desse ponto, um simulador é um artefato apto para oferecer um ambiente virtual que guarda fidedignidade ao reproduzir um ambiente real, ao

ponto de o aprendizado ocorrido no primeiro incrementar habilidades empregáveis no segundo.

O objetivo principal do estudo da simulação é melhorar a qualidade das decisões administrativas, por SHANNON (1975), e uma característica desejável da simulação é a animação gráfica, especialmente para modelagem de processos de manufatura, por LAW & HAIDER (1989). A animação permite um excelente meio de estabelecer a credibilidade para o modelo simulado, SEEVERS (1988). De acordo com Van Norman, NORMAN (1992), a realidade virtual é apontada como uma das principais ferramentas gráficas visuais a serem utilizadas no futuro para simulação de manufatura.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, LOBÃO & PORTO (1996) afirmam que a nova tendência para simuladores de eventos discretos aponta para sistemas interativos e inteligentes, nos quais serão largamente empregadas técnicas de realidade virtual, inteligência artificial e sistemas especialistas. A realidade virtual seria utilizada inicialmente no módulo de animação, que é a parte do software que mostra ao mesmo tempo a interação entre os diversos componentes do modelo, durante a execução de uma corrida de simulação. Dessa forma, o usuário poderá não somente interagir com os componentes do sistema durante seu “funcionamento virtual”, mas também imergir no interior do modelo dando mais realismo ao sistema e permitindo uma exploração mais detalhada do mesmo.

Seguindo o exemplo estabelecido pela indústria da aviação, simuladores veiculares foram desenvolvidos para a pesquisa e a formação para condutores de veículos rodoviários. Existem simuladores mais baratos, caros, grandes e pequenos; muitos deles são operados por pessoal experiente e conhecedor, alguns não são.

A noção de simulação parcial e toda a questão de quão realista e completa é uma experiência necessita estar em concordância para que o simulador possa ser útil para um treinamento ou de pesquisa subjacente. É claro que a indústria da aviação, tanto militar como civil, acredita no grande benefício dessas técnicas avançadas de simulação. Os pilotos são treinados em simuladores como parte de seu currículo obrigatório. Na verdade, para algumas aeronaves todas as horas de formação exigidos podem ser realizados em um simulador credenciado e certificado.

Simuladores de aeronaves avançados (Figura 18), embora muito caros, são vistos como de custo eficaz quando comparado com o custo de acesso a um avião real ou o custo

de dano ou perda da aeronave devido a erros cometidos durante o programa de treinamento. Grande parte do valor é visto na capacidade de recriar situações de emergência, tais como falha de equipamento ou condições meteorológicas extremas, que seria impraticável ou perigosa para tentar na vida real.



Figura 18 – Exemplo de simulador aeronáutico avançado para a aeronave EMBRAER 170 instalado na Swiss Aviation Training, Suíça. (Revista Flap Internacional, 2012).

O caso de simuladores veiculares é menos claro. LEE (2004) dá exemplos de sistemas de formação iniciais, incluindo o simulador de condução do Estado de Iowa, EUA, de 1958, que ligava o mock-up de uma cabine de veículo a um modelo físico em escala, permitindo ao condutor controlar ações do veículo em um layout de estrada rudimentar. Tal sistema não tinha a intenção de desenvolver o aprendizado das ações de um veículo de controle, mas foi destinado a permitir que o aluno aprenda algo sobre regras de trânsito e comportamento antecipatório. Desde então, tem havido muitas técnicas inovadoras diferentes, incluindo vídeo de cenas reais e, mais recentemente, ambientes gerados por computador que levam a experiências imersivas que podem ser muito semelhantes às sensações de conduzir um veículo real.

O interesse militar na simulação tem sido forte e tem apoiado o desenvolvimento de muitos sistemas, enquanto que nos últimos anos a indústria de jogos de computador do mercado de massa incluiu uma série de jogos de corrida que têm empurrado o grau de realismo aparente para a frente.

Em termos de aplicações na linha de desenvolvimento de produto, investigação e formação de condução, houve duas principais vertentes do desenvolvimento. Simuladores de pesquisa foram necessários para experimentações aplicadas que sejam muito caras ou muito perigosas para conduzir na estrada real; para estudos, por exemplo, de distração do motorista e de imparidade, ou investigações sobre novas opções de design de rodovia.

Simuladores de treinamento foram desenvolvidos para treinar condutores novatos e em treinamento e foi projetado para permitir que aprendam os conceitos mais básicos de controle dentro de um ambiente benigno, ou aqueles que são dirigidos aos motoristas profissionais (por exemplo, a polícia) para cursos de formação tática de respostas em condições de emergência ou alta carga de trabalho.

Desde a década de 1970, a tecnologia e, em especial, a tecnologia de computador, tem avançado rapidamente. A capacidade de fornecer sensações físicas razoavelmente realistas para o motorista, de movimento da cabine do carro e a sensação dos controles, aliado ao fornecimento de imagens geradas por computador levou a um crescimento substancial no uso de simulação, tanto para pesquisa quanto para treinamento, CARSTEN & JAMSON (2011).

Muitos dos institutos nacionais de pesquisa de segurança rodoviária e um número crescente de universidades e organizações de treinamento agora operam simuladores veiculares, como parte de suas atividades principais (Figura 19). No momento, esta área ainda não é regulamentada com total liberdade de entrada para o mercado de treinamento ou para a comunidade científica.



Figura 19 – Simulador veicular interativo da TRL, 2006. (PARKES, 2013).

Já que é difícil saber, só de olhar para um simulador, exatamente o que ele pode fazer, ou como exatamente ele pode fazê-lo, há uma demanda crescente de ambas as comunidades científicas e de formação para alguns meios de categorizar ou de acreditar simuladores para diferentes fins.

A simulação e treinamentos, em geral, poderiam desempenhar um papel valioso nas áreas de formação em direção, princípios ergonômicos e comportamento em situações de emergência. Contudo, não prescreve exatamente quais elementos podem ser adequados, ou condenar aqueles que são inadequados. A introdução de formação básica obrigatória e contínua vai exigir um grande aumento da capacidade na indústria de treinamento.

À medida que a indústria se expande, há uma expectativa geral de que a simulação vai se tornar mais comum, e poderia, eventualmente, ser um componente essencial dos currículos. No entanto, poderia ser um erro supor que, simplesmente porque os simuladores são comuns, bem sucedidos, e necessários na aviação ou aplicações militares de veículos terrestres, de que serão igualmente bem aceitos e adequados para treinamento motorista de caminhão/carro de passeio e, portanto, mais tarde, tornar-se componentes de rotina de todos os programas de formação de condutores.

No Brasil, recentemente foi publicada a Resolução CONTRAN 493/2014 alterando as Resoluções 168/2004 e 168/2010, especialmente no tocante ao número de horas

obrigatórias, aulas noturnas e ao uso de simuladores de direção. Segue abaixo um descritivo das alterações.

- O aumento de 25% para 30% das aulas simuladas CatB;
- A autorização do uso dos simuladores na Adição de CatB;
- A autorização do uso dos simuladores em 4 das 5 aulas noturnas obrigatórias;

O uso dos simuladores de direção no Brasil (Figura 20) ainda não está totalmente expandido em todo o território nacional, pois alguns Estados da federação ainda estão regulamentando o seu uso.



Figura 20 - Exemplo de modelo de simulador de treinamento de direção usado nas Autoescolas brasileiras. (Realsimuladores.com.br, 2013).

Os possíveis benefícios da simulação são claros. Há potencial para: controle do ambiente de treinamento, repetição de combinações específicas de recursos, pontuação desempenho objetivo, redução de custos e entrega consistente tutorial online. Os meios de formação também podem ser mais eficazes do que o mundo real, devido à capacidade de remover os elementos não essenciais de qualquer cenário particular; e mais seguro, devido à falta de risco físico, não importando uma possível falha no desempenho.

No entanto, os potenciais operadores de simuladores de treinamento precisa saber o seguinte:

- O que eles podem realmente fazer?;

- Quanto vai custar?;
- Que novas habilidades serão necessárias para os treinadores?;
- Como eles serão credenciados? e
- Como os simuladores devem ser usados dentro de um currículo mais amplo?

Um conjunto semelhante de perguntas poderia ser colocado pela comunidade de pesquisa. O problema no momento é que, enquanto existem vários sistemas de alta fidelidade de simulação de caminhão convincentes disponíveis, existem muito poucas respostas disponíveis para a última das perguntas acima.

A Figura 21 abaixo tenta demonstrar parte do dilema atual. Num mundo ideal, poderíamos esperar que haveria uma relação linear clara entre o custo de um sistema de simulação em particular e o valor da transferência de formação que podem ser derivadas (linha A). Na realidade, a relação é provável que seja menos do que simples.

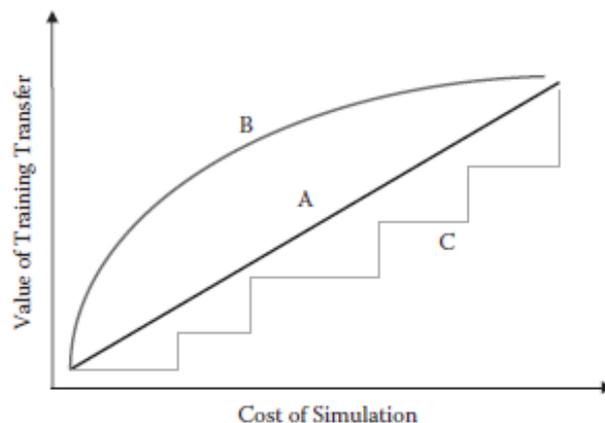


Figura 21 – Modelos de fidelidade verso custo de simulação. (PARKES, 2013).

Há certamente uma forte suspeita de que pode tornar-se cada vez mais caro para adicionar fidelidade como se move ao longo da linha (B), e acréscimo de despesas pode resultar em retornos decrescentes sobre o investimento. Na prática, há muitas decisões a serem tomadas na especificação de um simulador, e por isso uma função degrau (linha C) pode ser mais realista.

Decisões como a possibilidade de incluir um sistema de movimento, ou para incluir vários sistemas de projeção, ou para incluir som e imagens 3D, tudo isso exige saltos de tecnologia que têm implicações substanciais de custos.

Os exemplos acima mostram que os sistemas podem ser diferentes em termos do grau de simulação de tarefas, a partir de partes específicas da tarefa de condução (por exemplo, a percepção de risco, ou o uso de certos controles) para recriações de toda a experiência de condução. No entanto, para um determinado grau de simulação, há também preocupações sobre a fidelidade ou a validade do sistema.

Para a criação de simuladores pode-se usar como base modelo teórico-metodológico de aprendizagem por simulação de VINCENZI (2009), descrito em cinco fases:

1) Análise da realidade a ser simulada. No caso do presente estudo, a realidade do trânsito brasileiro, em diferentes cenários: urbano, rural, cidade pequena, etc.

2) Selecionar características do ambiente a ser simulado para delimitação de um escopo para simulação. Esse processo de recorte e modelagem cria o que VINCENZI chama de “conceito sobre a realidade”.

3) Partindo do “conceito sobre a realidade” determina-se um modelo de simulador, mediante escolhas projetuais tais como: “*Eventos aleatórios ou roteirizados?*”, “*Orientado a metas ou tarefas?*”, “*Simulador físico ou puramente digital?*”, “*Qual deve ser o nível de realismo físico do simulador?*”, etc.

4) O planejamento estipulado na fase anterior é usado para desenvolver um artefato tecnológico chamado Simulador.

5) No uso do Simulador, o aprendiz tem um determinado desempenho (“*Performance-S*”, isto é, no simulador). Tal processo desenvolve habilidades no aprendiz que podem ser transferidas, até certo ponto, para uso no ambiente real que foi o ponto de partida do sistema, gerando assim a “*Performance O*”, ou Desempenho Operacional. O objetivo final de todo simulador é enriquecer a *Performance-O* por meio de uma transferência positiva do aprendizado ocorrido na *Performance-S*.

VINCENZI destaca a importância da Fidelidade, isto é, a congruência entre o “*conceito sobre a realidade*” e o ambiente de simulação. A fidelidade é garantida por fatores

tais como: condições físicas do modelo, equipamento usado, qualidade audiovisual, interfaces aspectos comportamentais de imersão, etc. A transferência de aprendizagem da *Performance-S* para *Performance-O* é, segundo VINCENZI, diretamente proporcional a fidelidade do simulador. O foco principal deste trabalho está no estudo do fenômeno da transferência de aprendizagem, que segundo BALDWIN & FORD (2008), ela pode ser de quatro tipos:

Tabela 7 - Transferência de Aprendizagem

	Do virtual para o real	Do real para o virtual
Benéfica	Caso desejado. Consiste em melhorar habilidades de direção na estrada mediante treino no simulador.	Incrementar o domínio do simulador após aprendizagem na cabine de um carro.
Prejudicial	Aprender o significado errado de sinalizações no trânsito, p.e., porque o modelo de simulador usava um cenário mal modelado.	Adquirir “vícios de direção” em aulas práticas e reproduzi-los no simulador.

Como a transferência de aprendizagem pode ser de caráter positivo (aprendizagem útil para melhorar o desempenho operacional) ou negativo (aprendizagem que prejudica o desempenho operacional), objetivou-se investigar qual tipo e nível de transferências de aprendizagem ocorre em sujeitos experimentais expostos aos três modelos de protótipos, a fim de determinar que condições tornam mais provável a ocorrência de transferência positiva de aprendizagem.

Outro item importante para ser tratado no desenvolvimento de simuladores veiculares é a ideia de como seria a validação do simulador. Isso pensando na sua eficácia e na sua proximidade com o elemento real que se pretende simular.

A validação foi pensada em vários tipos de termos e que a lista abaixo não é abrangente, serve para destacar alguns dos conceitos importantes:

Validação de aparência;

Validação de desempenho;

A validação de construção;

A validação de conteúdo;

Validação objetiva;

Validação relativa;

Validação de aparência refere-se à aparência inicial e sensação de um sistema e como ele é similar ao veículo simulado. Validação de desempenho refere-se às características do veículo replicado e pode ser medido diretamente (por exemplo, aceleração, frenagem, perfis de som). Tanto para fins de pesquisa e treinamento, é importante que a construção e validação de conteúdo sejam maximizadas. Isso significa que se é dada uma formação a um motorista usando percepção de risco, as variáveis nos cenários devem refletir o risco e não algum outro fator imprevisto.

Em simuladores muito avançados poderíamos esperar os resultados sobre qualquer medida de desempenho, sendo muito semelhantes aos que poderiam ser obtidos em um sistema real. Assim, por exemplo, se um motorista escolhe uma determinada velocidade em uma estrada simulada particular, seria de esperar que eles escolham uma velocidade muito semelhante com o equivalente do mundo real. O mesmo se pode esperar em termos de modelagem de pista, os tempos de reação, os espaçamentos em relação aos outros veículos, as escolhas de ultrapassagem, tempo necessário para se sentir cansado e assim por diante, BITTNER *et al.* (2002); REIMER *et al.* (2006). Na prática, encontramos muito poucos exemplos de tentativas sistemáticas para medir a validação objetiva de simuladores.

Em vez disso, os fornecedores e os profissionais estão satisfeitos com o conceito de validação relativa.

Para fins de formação assume-se que, se os comportamentos esperados são apresentados em um simulador, e este irá transferir, pelo menos em parte, para uma situação real. Deste modo, os investigadores estão convencidos de que, se duas coisas são comparadas num simulador (por exemplo, drogas, os regimes de sono, os sistemas de informação, as configurações de veículos), e se promove uma resposta melhor de um do que o outro, seria possível, pelo menos na direção do efeito, prever a mesma resposta em um ensaio equivalente no mundo real também. Para a maioria dos fins de pesquisa, pode-se argumentar que validação relativa e validação de aparência são os principais fatores. Validação de aparência é importante para incentivar o participante a aceitar a natureza da investigação e participar de uma forma natural. Validação relativa é importante para permitir a

generalização dos resultados para mundo real, em situações equivalentes. Se o foco do simulador é o treinamento ou avaliação do motorista, pode-se argumentar que tanto a validação de desempenho e validação objetiva são de maior importância.

Então, qual o grau e fidelidade de simulação são necessários para que o treinamento seja eficaz e válido para de motoristas de caminhão, por exemplo? Para validação de aparência de um simulador de caminhão, seria necessário especificar o grau mais elevado e fidelidade disponível dentro de um orçamento específico. Mas, se a formação tem de ser eficaz em termos de custos quando comparado com treinamento do mundo real tradicional, os orçamentos serão restringidos e um compromisso pode ser necessário nos pontos de vista de instalações mais complexas e com alto grau de acabamento. No momento, há pouca informação disponível para permitir escolhas perfeitas entre as despesas de um determinado sistema de movimento em vez de em um sistema visual particular, até mesmo sistema de som e vibração.

Pode-se até questionar se o movimento é necessário para a formação de sucesso. A literatura da aviação oferece uma gama de pontos de vista. Alguns sugeriram que porque os pilotos experientes muitas vezes dependem de movimento em vez de leituras do instrumento, o movimento torna-se mais importante à medida que aumenta o nível de experiência (BRIGGS & WIENER (1959), apud WILLIGES, ROSCOE & WILLIGES, 1973). Da mesma forma, pode-se argumentar que caminhoneiros experientes confiam mais em movimento, som e vibração em vez do painel exibido para julgar o desempenho do veículo. Assim, algumas lições apropriadas para os motoristas novatos podem ser conduzidas em simuladores de tarefas simples, e as lições baseadas em habilidades avançadas exigiria um componente de movimento. Se decidirmos que movimento é importante, então a fidelidade deve ser abordada. Assim, sistemas de movimento pobres podem ter uma transferência negativa de treinamento para situações do mundo real.

WILLIGES, ROSCOE & WILLIGES (1973) propôs a noção de realismo essencial, referente não ao que poderia ser considerado como essencial para a melhoria da validação de aparência, mas em vez disso, essencial para as necessidades de formação específicas em questão.

Na verdade, validação de aparência é um item delicado da especificação do sistema de treinamento, como sempre exigirá o maior conjunto de recursos viáveis. Em vez disso,

há três elementos importantes que devem orientar as decisões em matéria de simulação dentro do processo de formação:

A eficácia e a aceitabilidade da aprendizagem no simulador.

A transferência da aprendizagem para o mundo real.

A retenção de habilidades ou conhecimentos aprendidos.

LEE (2004) colocou uma série de questões interessantes sobre o desenvolvimento do simulador e concluiu que a busca de níveis mais elevados de fidelidade em simulação pode não ser adequado, ou até mesmo desejável. As razões apresentadas foram que o aumento da fidelidade pode minar o controle do cenário; e assim, limitar a coleta de dados, diluir o potencial treinamento e aumentar a probabilidade de causar náuseas pelo uso do simulador. Por exemplo, se uma simulação é capaz de proporcionar um ambiente urbano altamente realista e complexo em uma situação de tráfego intenso, pode ser uma manifestação altamente impressionante do estado da técnica da indústria de simulação, mas pode forçar o condutor para atender aos elementos periféricos em detrimento ao objetivo da formação atual.

Se o motorista deve se concentrar em responder a um sinal particular na cena, um ambiente complexo pode apresentar uma série de sinais de concorrentes e que seria difícil para o treinador para ter certeza de que levou a resposta pelo condutor. Tirando o ruído estranho da cena (removendo sinais concorrentes) permitiria que o comportamento ou habilidade especial para ser desenvolvida de forma eficaz e eficiente. A habilidade pode ser posteriormente validada em um ambiente mais complexo e realista, mesmo que seja em um simulador ou na estrada real.

Relatórios estão surgindo nesse aspecto dos custos dos benefícios do treinamento em simulação. WELLES & HOLDSWORTH (2000) analisou as características necessárias para a formação com sucesso em uma variedade de simuladores comerciais e concluiu que:

“... Dados até esta data, embora esboçado, anedótico ou muito preliminar, fornecem uma forte sugestão de que simuladores veiculares...” podem reduzir os acidentes, melhorar a proficiência motorista e sensibilização para a segurança, e reduzir as operações da frota e custos de manutenção.

Os autores acima referem-se à formação de percepção de risco em policiais, resultando na redução nos acidentes de cerca de 74% e redução de acidentes global de cerca de 24% em um período de 6 meses após o treinamento.

Mais recentemente, DOLAN *et al.* (2003) apresentaram evidências de um estudo de simulação de gestão de consumo de combustível que acompanhou 40 motoristas por meio de um programa de treinamento de 2 horas, e mais tarde para 6 meses de acompanhamento. Os motoristas receberam formação específica nos aspectos operacionais e táticas de seleção de marchas adequadas em um simulador de média fidelidade.

Os resultados indicaram uma melhora média de 2,8%, com mais de 7% sendo indicado para aqueles motoristas com um recorde de pré-treinamento deficitário.

Esses relatórios são encorajadores, mas não nos levam muito longe em direção a uma especificação mínima para os sistemas que podem fornecer uma transferência semelhante de benefício de treinamento.

O ponto de partida é geralmente com o uso de traçados rodoviários e cenas realistas. Bem como a percepção de velocidade e distância produzindo um ambiente que inclui informações importantes que permite que os princípios de treinamento possam ser demonstrados, mas que também não seja muito distante de cenas convencionais da estrada realistas.

RIZZO *et al.* (2002) demonstraram um conceito interessante com uma cena de estrada, mediante um banco de dados criado especificamente para acolher as experiências envolvendo participantes com deficiência cognitiva e suas percepções de velocidade e distância. O experimento incluiu um grande número de manobras de frenagem em um curto espaço de tempo; e se fosse realizado em uma cena estrada modelada de aspecto "tradicional" teria promovido altos níveis de náuseas pelo uso do simulador. No entanto, o ambiente rodoviário foi especialmente construído usando-se aspectos de cor, matiz, textura e objeto de codificação de obscurecimento para produzir um ambiente de condução que não tinha validação de aparência (realismo aparente), mas com muita utilidade para a equipe de pesquisa. Dados precisos poderiam ser recolhidos a partir de um grande número de participantes com problemas muito mínimos de náuseas.

As cenas mostradas abaixo (Figura 22 e Figura 23) são um exemplo extremo, para os dois lados, mas em sendo assim, serve para ilustrar o ponto que utilidade tem sido maximizada por uma análise cuidadosa dos requisitos específicos da tarefa em questão.



Figura 22 –Ambiente construído usando um critério de validação de aparência otimizado. (PARKES, 2013).

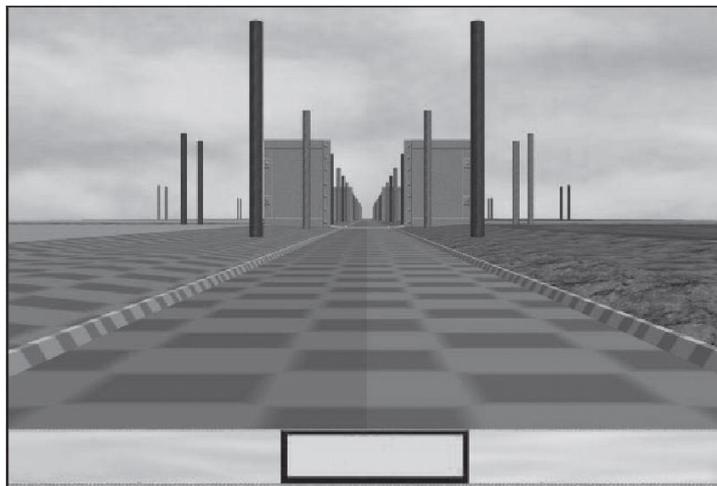


Figura 23 – Imagem de uma estrada modelada mais simplificada. (PARKES, 2013).

A evolução tecnológica dos simuladores continuará com os fabricantes procurando desenvolver produtos para o mercado e buscando vantagens comerciais por meio na melhoria do desempenho. No entanto, as melhorias em computadores e projetores, ou sistemas de movimento, em si mesmos, não vão levar a um aumento considerável no uso. É necessário um foco no realismo essencial, e a área principal para isso é na aparência das bases de dados de cena de estrada. Tais cenas da estrada e os cenários devem ser

desenvolvidos de modo a suportar a capacidade do condutor para interpretar a informação saliente sem sobrecarregar o sistema visual com informações desnecessárias.

Um movimento para a certificação de sistemas de simulação de condução veicular é necessário, mas vai demorar muito tempo para chegar a um consenso. Debates continuarão sobre a melhor forma de considerar a fidelidade de simulação, validade e o estabelecimento de critérios acordados para categorização do simulador será atingida lentamente. Nesse meio tempo, os simuladores continuarão a ser desenvolvidos; sistemas de movimento caros e sempre grandiosos serão projetados, imagens geradas por computador serão projetadas com melhor resolução e maior atenção será dada ao feedback realista de forças de controle. Contudo, talvez será dada menos atenção para se resolver questões relativas à melhor forma sobre do uso de um simulador na investigação de um problema particular, ou a melhor forma de integrar o treinamento dentro de um programa de formação geral.

2.2.3.1 - **A Aplicabilidade dos Simuladores**

Conduzir um veículo pode ser considerado uma atividade complexa, na qual muitas variáveis estão interagindo, próprias do condutor, como do meio. Deste modo, os ambientes virtuais favorecem a construção de cenários que possibilitam a simulação de inúmeras situações, que permitam a interação do jogador com o ambiente simulado.

A utilização das Tecnologias de Informação no desenvolvimento de jogos pode favorecer o despertar de emoções, atitudes, e habilidades em seus jogadores. Segundo RIBEIRO (2006), o desenvolvimento de um cenário virtual, através do jogo traz benefícios como: recria cenários de difícil acesso, temporários e perigosos; possibilita criar um espaço virtual localizado e uma diversidade de situações problemas e a construção de situações contextualizadas. Para a aprendizagem no trânsito, a possibilidade de criar ambientes com diversidade de estímulos, cenas típicas, situações problema, como um possível acidente, por descuido ao dirigir, em um ambiente controlado, são de grande valor.

Segundo BACKLUND *et al.* (2008), os jogos não são realistas, no sentido integral da condução, mas parecem ter um impacto sobre alguns aspectos da condução de um automóvel. O estudo da utilização desses recursos em jogos e simuladores de condução, portanto, vem auxiliar no desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de motoristas, como no jogo digital com situações de trânsito.

2.2.3.2 - O ato de dirigir

O ato de dirigir envolve um complexo processo de interação das funções psicológicas e cognitivas. Os motoristas estão expostos no trânsito a fatores de risco, e conduzir um veículo envolve memória, atenção, tomada de decisões em um ambiente repleto de informações, como tráfego de pedestres, de outros veículos, diversidade de sons e imagens. A multiplicidade de fatores, envolvidos no ato de dirigir influenciam o comportamento dos condutores e, conseqüentemente, sua forma de conduzir um veículo. Uma causa relevante, apontada na ocorrência de acidentes de trânsito, refere-se ao comportamento dos condutores e o fator humano é, muitas vezes, considerado o principal responsável por eles.

A observação do comportamento de condutores e a avaliação, frente às inúmeras características inerentes ao ato de dirigir, demanda estratégias que possibilitem averiguar a dinâmica desses fatores. Dentro dessa perspectiva, a utilização de recursos tecnológicos no processo de avaliação de condutores torna-se de grande valor, por possibilitar a utilização de sons e imagens, a caracterização de situações de trânsito que possibilitem, a partir da interação do condutor com esse meio, averiguar a sua capacidade perceptiva e atencional, suas decisões e seu desempenho. HAKAMIES-BLOMQUIST (1996) estrutura um esquema correlacionando as funções psicológicas e sua demanda ao dirigir (adaptado e apresentado na Tabela 8).

Tabela 8 - Principais tarefas envolvidas no desempenho dos motoristas (Adaptado de HAKAMIES-BLOMQUIST, 1996).

Campo Funcional	Tarefas Demandadas
Percepção.	Detectar objetos; Perceber movimentos; Estimar velocidade.
Atenção.	Focar a atenção; Varredura do campo perceptivo; Atenção seletiva; Reagir a eventos inesperados;
Habilidades Motoras.	Desempenhar manobras com alto nível de complexidade (por exemplo: estacionar o carro numa vaga de difícil acesso); Manuseio dos diferentes controles do veículo;
Outros processos cognitivos e comportamentais envolvidos na interação com outros usuários do ambiente viário.	Prever o comportamento dos outros usuários da via a partir da observação; Comportar-se de maneira previsível; Capacidade de negociar a entrada num fluxo ou numa interseção.

As situações de trânsito exigem dos condutores atitudes que demandam atenção, percepção e habilidades motoras. Como, por exemplo, reagir a eventos inesperados, repentinamente, um buraco na pista. Nesse caso, a variável velocidade também deve ser considerada, pois quanto maior ela for menor será o tempo para a reação do motorista. Os fatores envolvidos no tempo de reação que favorecem a compreensão do processo de reação frente a um objeto na via serão abordados, mais detalhadamente, no item sobre Fatores de alteração da atenção.

Os acidentes de trânsito em muitos casos são consequências da falta de habilidade por parte dos condutores. Portanto, uma forma eficaz para reduzir o número de acidentes é proporcionar uma melhor formação ou reciclagem em reparação às competências do condutor.

As leis e as normas são formas de regulação da vida em sociedade, das condutas individuais e das relações sociais. No entanto, a norma não se transforma imediatamente em ação pelas pessoas sujeitas a ela. Conforme THIELEN (2002), a percepção da norma vai orientar as decisões acerca do comportamento no trânsito dos condutores, aproximando-os ou afastando do que seria desejável para a segurança de todos. No Brasil, a autora, ao entrevistar motoristas com e sem multas de velocidade, conclui que os condutores, ao cometer infração, percebem os riscos envolvidos no excesso de velocidade.

Conforme mencionado anteriormente, os fatores humanos são os grandes responsáveis pelo envolvimento em acidentes, e para ROZESTRATEN (1988, p. 95) isso se deve a "um comportamento falho, relacionado a alguma deficiência na ação do condutor, mais do que da agressividade deliberada ou da irresponsabilidade". HOFFMANN e GONZÁLEZ (2003) ressaltam que, entre as falhas humanas que possam levar o condutor a sofrer um acidente, estariam as causas diretas e indiretas. Nas causas diretas estariam envolvidos:

- O problema ou erro de reconhecimento e identificação – sinais de trânsito, distâncias, obstáculos;
- Erros de processamento – o Código Brasileiro de Trânsito (CTB) que regula a circulação;
- Erros de tomada de decisão, ou erros de execução da manobra.

São considerados, ainda, os agentes inibidores da prudência (veículos que incitam comportamentos temerários, o superestimar a habilidade como condutor, a subestimação da

própria velocidade), a inexperiência e os problemas de aprendizagem, os condutores com pouca experiência, por serem mais suscetíveis a sofrer acidentes (HOFFMANN & GONZÁLEZ, 2003). Os aspectos levantados pelos autores apontam fatores que influenciam a forma de condução de motoristas e aumentam a possibilidade de envolvimento em acidentes. Sendo assim, merecem ser considerados na abordagem sobre os comportamentos de risco no trânsito. A busca intencional de riscos e emoções que está diretamente ligada às questões de violação, conforme abordado no limite aceitável de risco por WILDE (2005). A utilização de telefone celular ao dirigir e os erros por possíveis problemas de reconhecimento e identificação também compõem ações de risco no trânsito. Esses dados corroboram com a abordagem que vem sendo delineada sobre os comportamentos de risco no trânsito e os fatores humanos presentes, muitas vezes, nos acidentes.

2.2.3.3 - Tipos de atenção

A atenção é um processo psíquico fundamental no trânsito, principalmente para o condutor, ao dirigir, por este se encontrar em um ambiente com muitos estímulos, como pedestres, ciclistas, sinalizações, sons diversos. A discriminação de estímulos é um fator de alerta na verificação de indícios de perigo ao se conduzir um veículo. Conforme STERNBERG (2000), a atenção possui quatro funções principais:

- Atenção seletiva – a capacidade de selecionar um estímulo dentre vários, permitindo checar previsões, geradas a partir da memória, de regularidade passadas no ambiente (ex: estudar ouvindo música). Capacidade de concentrar a atenção em alguns estímulos em detrimento de outros, JOU (2006);

- Vigilância – a expectativa de detectar o aparecimento de um estímulo específico. TOUGLET (2002) também a denominada como atenção concentrada ou sustentada;

- Sondagem – procurar ativamente estímulos particulares (ex: procurar chaves perdidas);

- Atenção dividida – é a possibilidade de o indivíduo manter sua atenção em estímulos diferentes para executar mais de uma tarefa simultaneamente (ex: conversar facilmente enquanto dirige). Esse tipo de atenção indica que, para a divisão da atenção, uma das informações deve estar sendo mediada pelo processamento automático; a outra, por meio de esforço cognitivo, pelo processamento controlado.

A pouca concentração ou a falta de concentração ao conduzir um veículo altera o tempo normal de reação – comportamento que ocasiona riscos no trânsito. A alteração da concentração e o retardo nos reflexos podem estar relacionados a alguns fatores, como:

- Consumir bebida alcoólica;
- Usar drogas e medicamento que modificam o comportamento;
- Ter participado, recentemente, de discussões fortes com familiares, no trabalho, ou por qualquer outro motivo;
- Ficar muito tempo sem dormir, dormir pouco ou dormir muito mal e
- Ingerir alimentos muito pesados, que acarretam sonolência (Departamento Nacional de Transito, 2005, p. 9).

Para um desempenho mais seguro no trânsito, o condutor deve observar os fatores relacionados, os quais devem ser evitados ao dirigir, principalmente no que diz respeito à bebida alcoólica ou a drogas, pois além de reduzirem a concentração, afetam a coordenação motora, mudam o comportamento e diminuem o desempenho, o que limita a percepção de situações de perigo, reduzindo a capacidade de ação e reação. Para MARÍN & QUEIROZ (2000), o consumo de álcool é o fator mais associado a acidentes, pois dificulta a tomada de decisões e entorpece as habilidades psicomotoras.

O desvio de atenção, seja por qualquer atividade, como a mais simples de acender um cigarro ao dirigir, representa momentos decisivos, pois segundos fazem a diferença entre colidir ou não. A tabela 2 expõe alguns desvios de atenção relacionados ao tempo e à distância percorrida.

Tabela 9 - Desvio de Atenção. (Volkswagen *apud* site DETRAN/MT – Departamento Estadual de Trânsito de Mato Grosso).

Ação do motorista	Tempo gasto (estimado em segundos)	Distância percorrida à 100 km/h (em metros)
Acender um cigarro	3 s	80 m
Beber um copo de água	4 s	110 m
Sintonizar o rádio	4 s	110 m
Procurar objeto na carteira	+ de 3 s	Mais de 80 m
Consultar um mapa	+ de 4 s	Mais de 110 m
Discar número de telefone	5 s	Mais de 110 m

Compreende-se, assim, que o desvio de atenção, mesmo que breve a distância percorrida, pode ocasionar um acidente. A utilização do telefone celular, segundo a Tabela

9, consumiria provavelmente 5 segundos, o dobro do tempo entre a percepção e a reação, que é de 2,5 segundos.

O condutor, ao dirigir, está sujeito a imprevistos constantemente e deve decidir sobre os procedimentos a serem tomados, da forma mais rápida possível, ou seja, o processo de reação, como ao depara-se com um obstáculo na pista. Segundo KHISTRY & LALL (2003), o processo de reação envolveria a percepção – processo pelo qual um indivíduo extrai uma informação necessária do ambiente como insumo à sua tomada de decisão. Assim, é útil avaliar-se o tempo requerido desde a percepção até a reação. A percepção envolveria, então, o atraso na percepção (tempo entre visibilidade e ponto de percepção) e o intervalo de identificação de risco (tempo para conhecer que há possibilidade de acidente).

Sendo assim, a reação compreenderia o componente de tempo para análise e a tomada de decisão, mais o tempo efetivo de resposta, por exemplo, colocar o pé no freio. Os autores destacam que o tempo comumente utilizado entre percepção e reação é de 2,5 segundos.

Os estudos na área de Trânsito sobre os comportamentos de condutores, as funções psicológicas e cognitivas presentes no ato de dirigir, os aspectos de segurança no trânsito e os investimentos, nesta área, tornam-se essenciais na tentativa de um controle maior deste cenário caótico no qual se encontra o trânsito de cidades e rodovias brasileiras. A procura de respostas para os problemas de trânsito vem ao encontro da busca por possíveis soluções. Não se pode atribuir apenas ao condutor a responsabilidade dos acidentes e sim considerar um complexo sistema envolvendo conservação e construção de vias, aspectos meteorológicos, fiscalização dentre outros. No entanto, o fator humano possui um papel de fundamental importância frente aos riscos no trânsito.

2.3 - SIMULAÇÃO E DADOS FISIOLÓGICOS

A gravação e processamento de sinais fisiológicos da vida real com a finalidade de detectar afetividade apresentam muitos desafios além daqueles encontrados no laboratório. Por exemplo, questões de como encontrar a linha adequada e normalização que assumam algum significado em função do tempo. Movimentos físicos também se tornam um fator importante quando esses sinais fisiológicos muitas vezes sobrecarregam os sinais por causa das emoções. Movimentos também têm um efeito sobre os próprios sensores e as precauções devem ser tomadas para minimizar o ruído devido a mudanças no posicionamento e perda

de conectividade. As coletas de dados também são discutidas de modo que eventos repentinos, como sons inesperados, alguém batendo no corredor ou um espirro não sejam confundidos com um evento emocional traumático.

A maioria dos experimentos que usam a fisiologia para detectar afetividades ocorrem em laboratório e há uma boa razão para isso. Em um laboratório, tanto o sujeito e o ambiente podem ser controlados. A sala pode ser à prova de som, a iluminação pode ser ajustada e as coisas que o sujeito vê e ouve podem ser limitadas. Mais importante, para a duração da experiência, um elevado grau de controle pode ser exercido sobre o comportamento do sujeito. Por exemplo, o sujeito pode ser instruído para se sentar e descansar tranquilamente enquanto você toma medidas de base ou para executar várias tarefas em um monitor de computador que lhe foi fornecido.

Durante o período de teste, o voluntário pode ser impedido de se levantar ou andar em volta, mascar chiclete, conversar, ouvir música ou beber café. Na vida real, essas restrições não existem. Para capturar uma autêntica afetividade no campo, as atividades que ocorrem naturalmente devem ser esperadas, e métodos, pensados a partir de análise, devem ser postos em prática.

Para outras medidas psicofisiológicas comumente utilizadas, considerações ambulatoriais ainda não foram tratadas em termos de alternativas para a colocação, design e processamento.

2.3.1 - Papéis fisiológicos - Sensores e Sinais

Existe uma longa história de investigação sobre as correlações fisiológicas das emoções. Embora a maioria dos teóricos recentes, como CANNON e SCHACHTER tenham argumentado que a cognição desempenha um papel interpretativo significativo em nossa experiência de emoções, suas teorias não afirmam que as emoções não têm correlações fisiológicas significativas.

Nos últimos anos, os investigadores estão utilizando sensores fisiológicos, como: frequência cardíaca, resposta galvânica da pele, eletromiografia, respiração e temperatura da pele para encontrar diferenciação autônoma entre os estados emocionais básicos, tais como raiva, medo, tristeza, alegria e desgosto. Esses sensores foram também utilizados em

ambientes ambulatoriais para medir as reações emocionais de pacientes com transtornos de pânico e em pessoas psicologicamente normais.

HEALEY e PICARD fizeram um trabalho extremamente minucioso sobre as correlações entre esses sinais fisiológicos e as emoções. Essas informações extraídas durante uma série de atividades estruturadas e projetadas para recriar áreas problemáticas, foram encontradas quando da realização de um experimento que se utilizava equipamentos vestíveis. O protocolo experimental foi de que cada sujeito realizava as seguintes atividades: descanso, enquanto estiver sentado; levantar-se; andar; sentar-se e descansar, mas durante esse período envolver-se em conversa informal com o pesquisador; levantar-se e começar a movimentar-se; sentar e descansar, desta vez sem falar e, finalmente, tentar tossir três vezes. Durante o experimento inicial, tosse e espirros foram planejados para gerar efeitos fisiológicos e perturbadores dos dois. O tossir era a ação mais fácil para as pessoas realizarem.

2.3.2 - Resposta Galvânica da Pele (GSR – Galvanic Skin Response)

A Resposta Galvânica da Pele (GSR) é um termo que quase sempre se refere à resposta do aspecto da condutividade da pele. Essa medição é mais comumente tomada com dois eletrodos colocados de modo que a passagem condutiva entre eles atravessa a palma da mão. Uma pequena corrente é ligada entre os eletrodos e a tensão é assim medida. A razão para o posicionamento da palma (mão ou pé) é a elevada concentração de glândulas sudoríparas nas palmas das mãos e as solas dos pés. Ao contrário da maioria das glândulas sudoríparas, que respondem principalmente à temperatura, glândulas sudoríparas ecrinas têm demonstrado serem sensíveis a estímulos mentais e emocionais.

No laboratório, a medição é geralmente sempre feita através das palmas das mãos, uma vez que as mãos são facilmente acessíveis e não sendo usada para outros propósitos durante a experiência. Embora o pé tenha alguns problemas de contato, especialmente durante a caminhada, oferece uma segunda opção viável para a tomada de leitura GSR em campo.

A Figura 24 mostra o sinal gravado durante um experimento usando sinais de GSR. Pode ser visto, a partir desse sinal, que os resultados tirados do pé comparados com os da mão em todas as atividades têm apenas uma pequena diminuição de intensidade. As três

tosses tornaram-se mais claras com o Sinal GSR comparadas com o batimento cardíaco. A técnica típica para o processamento do sinal de GSR é avaliar, em nível do sinal, com uma respectiva linha de base, e medir as características da amplitude, tempo de subida e queda tempo (recuperação) ou os picos característicos do sinal. Os três picos estão bem definidos correspondendo a cada uma das tosses na Figura 24.

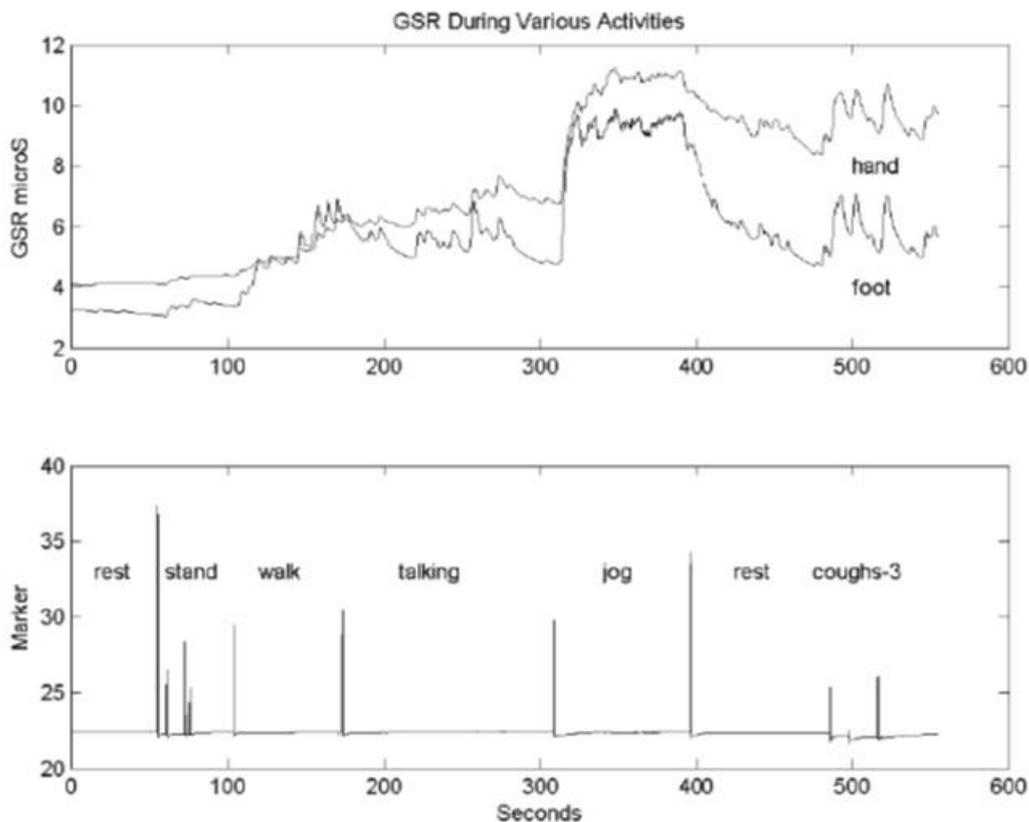


Figura 24 – Sinais fisiológicos de GSR para as mãos e pés correlacionados com atividades realizadas. (HEALEY, 2009).

2.3.3 - Respiração

Apesar da real medição da respiração exigir a medição da troca gasosa de cada respiração, envolvendo o uso de um aparelho pesado ao redor do nariz e boca, aspectos de respiração podem ser medidos através expansão da cavidade torácica.

Ao contrário da respiração real, a expansão do peito da cavidade pode ser medida por um simples sensor de pressão colocado em torno do peito. A Figura 25 mostra o padrão geral do sinal de respiração durante das atividades. Os declínios no sinal indicam que o sensor de pressão está menos tensionado, indicando que o volume de peito diminuiu. A

Figura 26 mostra uma visão detalhada do sinal durante o repouso, falar e tossir. Todas essas três atividades ocorreram enquanto sentado. O processamento do sinal de respiração para elucidar a ambiguidade entre ensaios como estes são mais bem sucedidas se primeiramente determinar se o voluntário não está em movimento.

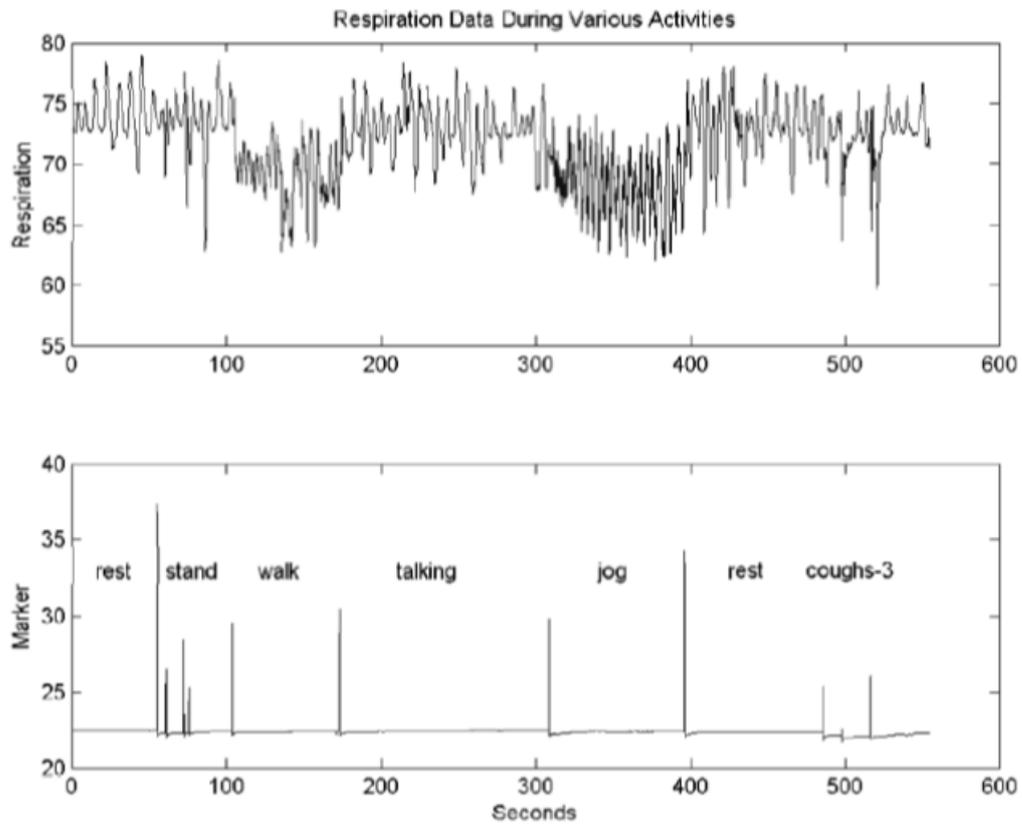


Figura 25 – Sinal fisiológico de respiração usando sensores de pressão fixados no peito do voluntário. (HEALEY, 2009)

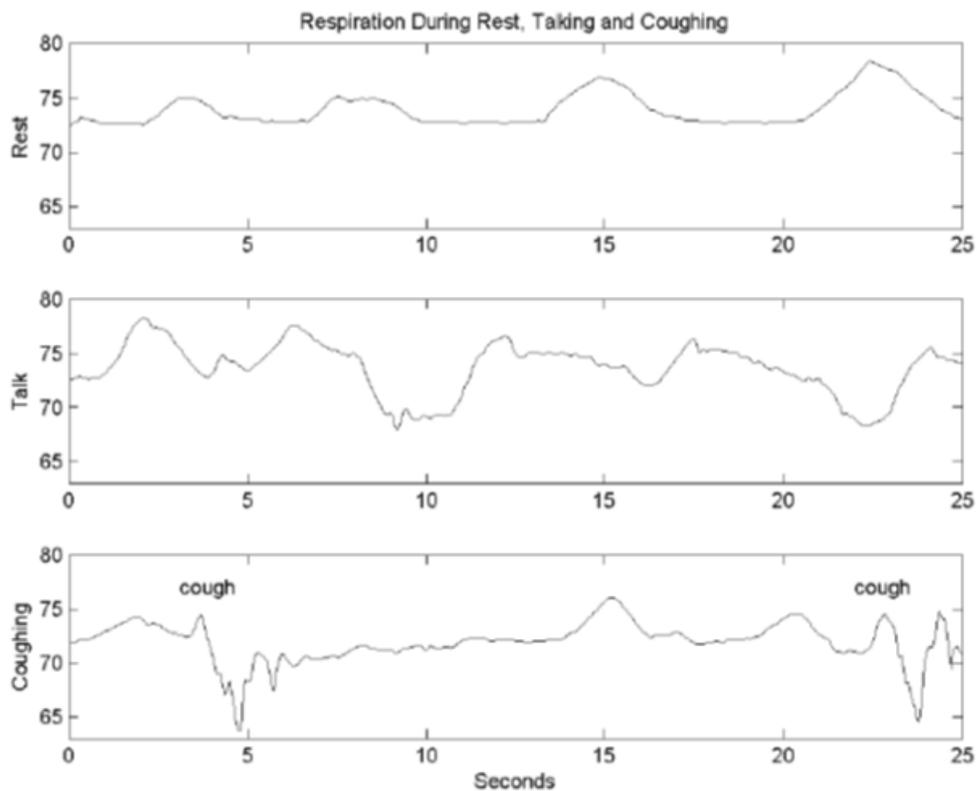


Figura 26 – Sinais de respiração correlacionados com cada uma das atividades propostas durante o ensaio. (HEALEY, 2009).

Há vários desafios importantes para a tomada de processamento de sinal afetivo dentro de um laboratório para um ambiente externo, sem controle. Um grande desafio são os efeitos fisiológicos do movimento e as atividades diárias que podem ser susceptíveis para confundir o sinal de emoção.

Existem duas abordagens para esse problema: a primeira é controlar a atividade, e só tentar a análise afetiva durante os períodos de repouso relativo; e a segunda, tentar modelar os efeitos de movimento e excluí-los. Finalmente, mesmo depois de os efeitos dos movimentos serem eliminados e os estímulos serem conhecidos, o sistema humano pode responder de forma diferente a um estímulo baseado em estímulos anteriores ou eventos internos ou externos desconhecidos. Para superar esse último obstáculo, pode ser necessário interpretar o sinal em um modelo que inclui a história e especificações do voluntário. Uma forma de ter esses dados é realizando, juntamente com os ensaios, um questionário subjetivo para ter dados sobre o emocional do voluntário naquele momento do ensaio e dados antropométricos e até mesmo de comportamento.

2.4 - ANÁLISE CRÍTICA DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo de Revisão Bibliográfica teve como finalidade fazer uma revisão de todas as tecnologias e bases teóricas usadas neste trabalho.

O capítulo abordou os conceitos de Ergonomia, focando principalmente em Ergonomia do Produto, como também nas questões relativas ao projeto automotivo. Nessa parte, foi mostrado o método atual de um projeto de Package automotivo, seguindo as normas da SAE, os fundamentos de usabilidade, Design Centrado no Usuário e a inserção do DHM nas fases de desenvolvimento. Com a leitura, vê-se que o projeto do interior de um veículo é sempre focado na segurança e conforto do condutor e passageiros, tanto para atender aos requisitos de projeto, quanto para atender ao público alvo, com o interesse no mercado.

Em seguida foram apresentadas as tecnologias usadas neste trabalho, como a Realidade Virtual, Expandida e sistemas enativos e biocíbridos. O uso dessas tecnologias tem um impacto muito forte quando se pensa em simulação veicular, tema também abordado na revisão. É a partir dessas tecnologias que se torna possível aproximar o ambiente real para o ambiente simulado, com a facilidade de se fazer estudos e pesquisas dentro de um ambiente controlado e com resultados válidos.

Por fim, foi abordado o tema da integração do uso de dados fisiológicos e simulação, apresentando metodologias validadas no meio de pesquisa internacional e que foram usadas nesse trabalho.

A partir da revisão da literatura e de considerações experimentadas em outros contextos, viu-se a necessidade de desenvolver um simulador veicular, de baixo custo, integrado a um ambiente de Realidade Virtual e com a obtenção de dados fisiológicos dos condutores, a fim de se obter parâmetros de projeto que possam ser usados nas fases iniciais no desenvolvimento de um produto. Esse método será apresentado nos capítulos posteriores, com a descrição e caracterização do simulador proposto.

3 - DESCRIÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO

Este trabalho de tese é caracterizado por ser predominantemente experimental, onde uma plataforma para simulação veicular integrada a uma CAVE e com tomada de dados fisiológicos dos condutores foi desenvolvida, validada e utilizada para demonstrar suas características para se obter parâmetros fisiológicos dos condutores.

Dessa forma, este capítulo apresenta uma descrição da plataforma e seus instrumentos usados nos experimentos. No capítulo 4, a plataforma veicular é validada de acordo com as normas de Package da SAE e no capítulo 5, apresentam-se a metodologia dos experimentos realizados usando a plataforma de simulação, bem como os resultados obtidos e suas análises.

O ambiente experimental proposto para este experimento foi uma plataforma de simulação com capacidade de gerar movimentos nos três eixos, integrado com um software de simulação veicular e sensores para obtenção de dados fisiológicos. Esses elementos estão integrados à CAVE para uma maior imersão do indivíduo no ambiente a ser simulado.

A pesquisa, por visar sistemas interativos que embarcam várias tecnologias, interfaces e programas, ou seja, tecnologias embarcadas (*embedded technologies*), demanda sempre etapas de programação e desenvolvimento. O objeto maior é a interação expandida, por interfaces multimodais, ou numa interface mais complexa, *crossmodal*⁴, misturando interfaces sensoriais, de rede, de mobilidade ou outra qualquer. Uma função sensorial é cruzada com outra, transferindo um sentido para outro sentido atendendo a projetos de ampliação e suplementação perceptiva.

No estudo das questões da percepção fisiológica da ação foram utilizados sensores fisiológicos durante os testes simulados captando-se as reações dos condutores ao longo do tempo de simulação. Os dados fisiológicos medidos foram: o GSR, a respiração e pressão da mão sobre o aro do volante.

⁴ Percepção Crossmodal é a percepção que envolve as interações entre duas ou mais modalidades sensoriais diferentes. Exemplos incluem sinestesia, substituição sensorial, e situações em que a visão e a audição interagem na percepção da fala. A percepção Crossmodal é cada vez mais estudada na neurociência para obter uma melhor compreensão das propriedades de grande escala e de longo prazo do cérebro.

Os sinais de respiração e GSR, segundo PICARD e HEALEY, são ótimos indicadores de resposta de um indivíduo a determinados eventos de estresse. Além desses dois dados fisiológicos, a pressão da palma da mão do condutor sobre o volante do simulador, para verificarmos as relações da pressão da mão em situações de perigo/estresse.

Para realizar os experimentos de simulação foi necessário desenvolver ou adquirir parte dos equipamentos/software. Tais itens consistem em três elementos principais:

- Software de Simulação Veicular;
- Plataforma de Simulação Veicular com capacidade de movimento;
- Sensores de dados fisiológicos.

Tais elementos do aparato experimental foram desenvolvidos e/ou escolhidos para que se obtivesse um melhor desempenho durante o experimento, sem muita interferência entre a simulação propriamente dita e o usuário. Isso permitiu a obtenção de dados experimentais sem a intervenção do operador e que podem ser usados em situações reais, por exemplo, em testes de campo.

3.1 - SOFTWARE DE SIMULAÇÃO VEICULAR BASEADO NO UNITY 3D

O software de simulação veicular usado foi desenvolvido dentro da plataforma *Unity 3D 2.5*, pelos pesquisadores do LART, MIRANDA (2014).

A plataforma *Unity 3D*, da *Unity Technologies*, permite ao desenvolvedor de software criar, em uma só plataforma, todo o ambiente e as físicas atreladas ao jogo/simulador. Com a programação de scripts é possível otimizar e criar elementos como, por exemplo, a física de um automóvel. Compreende-se com física do automóvel, a simulação de seu funcionamento em relação ao desempenho, com inclusão de equações para cálculo de relação de marcha, potência, aerodinâmica, efeito da gravidade e acelerações, como também, a sua aparência e interatividade, dentro do ambiente do simulador. Além da inclusão de um automóvel é possível criar o ambiente onde a simulação acontece, com rodovias, obstáculos, interativos ou não, também com toda a física e reações com o automóvel, muito similar ao real. Isso torna a plataforma *Unity 3D*, uma excelente ferramenta para o desenvolvimento de simuladores veiculares com características e elementos totalmente abertos e possíveis de se programar e reprogramar de acordo com as

necessidades do desenvolvedor. A plataforma *Unity 3D* usada neste trabalho foi a versão gratuita, versão *Unity 3D 2.5*.

Para se desenvolver um jogo/simulador, deve-se definir o seu roteiro. A partir desse roteiro, definem-se as necessidades de modelagem e jogabilidade que serão desenvolvidas e programadas para atender ao roteiro criado.

No roteiro são definidos os elementos que irão ser incluídos na simulação, pensando nos objetivos finais que se pretende com o software. Como se está desenvolvendo um simulador veicular para testes de estresse e ação e reação de condutores, deve-se tomar bastante cuidado para que não se coloque elementos que tirem o foco do experimento. Houve uma preocupação na criação do simulador para que isso não ocorra, deixando o roteiro limpo e simples, focando basicamente nas situações de estresse que se pretende estudar.

Seguem abaixo as características de cada um dos elementos principais do software de simulação veicular.

3.1.1 - Roteiro

A ideia do simulador seria gerar situações críticas de perigo ao longo de uma rodovia, fazendo alusão ao “teste do alce⁵”. O teste do alce é um exemplo de uma situação real de perigo que um condutor pode vir a presenciar durante a direção de um veículo.

No roteiro proposto, o usuário tem a tarefa de guiar o carro dentro dos limites de velocidade de segurança pela rodovia Brasília-Goiânia. Esse usuário deve desviar dos obstáculos na estrada quando necessário. No ambiente do simulador, não existirão outros veículos transitando em conjunto com o usuário. Sua única ação será de conduzir o veículo ao longo da estrada.

⁵ Antes do seu lançamento, os modelos novos de veículos são submetidos a diversos testes de segurança, entre eles o teste do alce. Este consiste em conduzir o veículo em alta velocidade numa estrada, subitamente desviar para a pista à esquerda e pouco depois retornar para a da direita. Dessa forma, pode-se avaliar a estabilidade numa situação de emergência, em que for necessário desviar de algum obstáculo inesperado. O nome tem sua origem no fato de que nos países nórdicos é comum os alces surgirem na estrada para lamber o sal que se joga na pista durante o inverno com a finalidade de derreter a neve.

3.1.2 - Cenário

O cenário é um trecho da rodovia Brasília-Goiânia (BR-060) em um trecho de 11 km (Figura 27 e Figura 28). A estrada e o cenário foram capturados do mapa de satélite da Google. A modelagem da rodovia foi feita a partir de uma das vias da rodovia, seguindo os padrões do DNER. A topologia da estrada leva em conta os aclives e declives, conforme o trecho real de estrada. Ao longo da estrada árvores modeladas foram inseridas para tornar o ambiente mais real. A rodovia possui também uma elevação em relação ao acostamento de 50 mm de altura, similar à elevação de uma rodovia padrão. O mapa usado e a modelagem do ambiente no *Unity 3D* podem ser verificados nas Figura 29 e Figura 30.

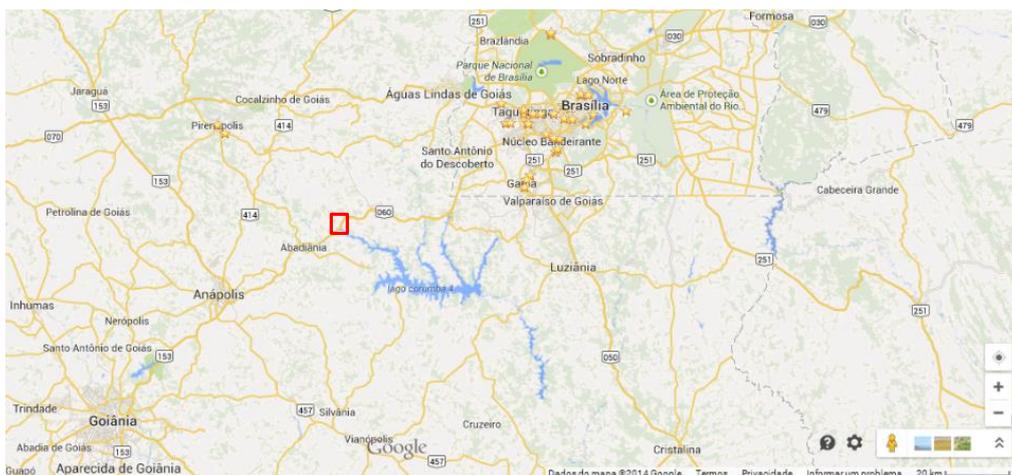


Figura 27 - Mapa da rodovia BR-060 com a marcação do trecho modelado em vermelho. (Adaptado de *Google Maps*, 2013).

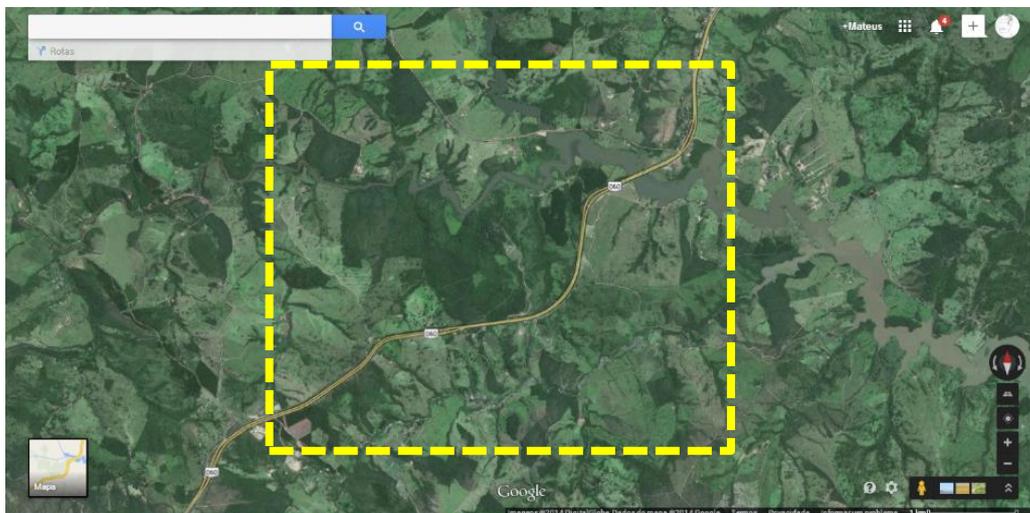


Figura 28 - Vista geral do trecho da Rodovia BR-060 usada para a criação do cenário, versão imagem de satélite. A área tracejada em amarelo representa o trecho modelado. (Adaptado de *Google Maps*, 2013).

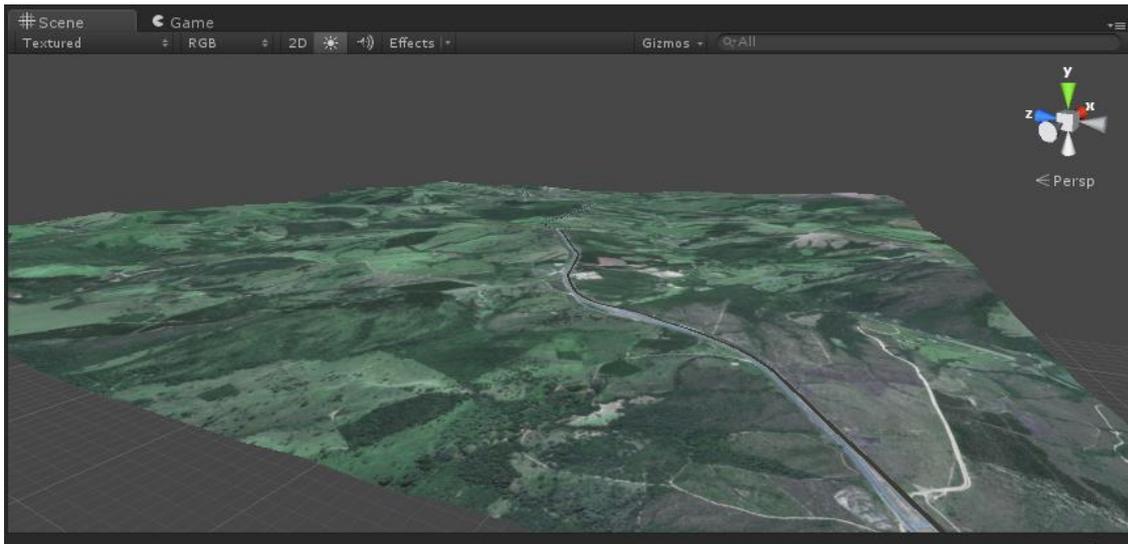


Figura 29 - Topologia do trajeto por vista aérea do mapa do *Unity 3D*.

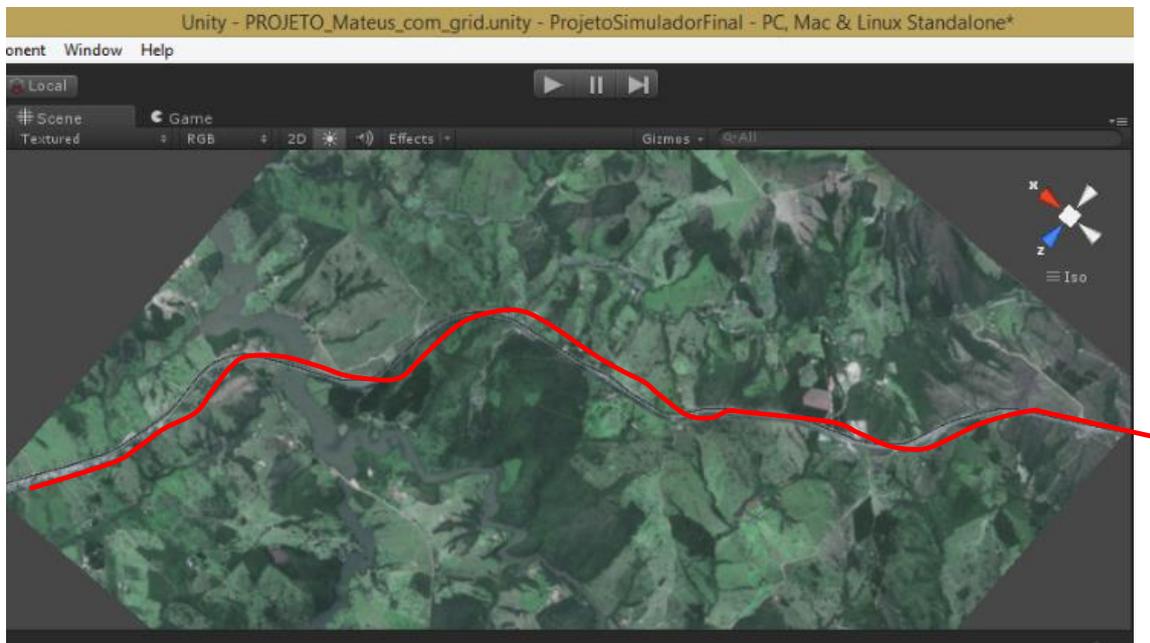


Figura 30 - Foto da vista aérea do mapa com o posicionamento da rodovia (linha vermelha).

3.1.3 - Veículo

O veículo simulado é um Honda CR-V de terceira geração, modelo 2011 RE7 (Figura 31 e Figura 32). A escolha do veículo foi motivada pela sua aceitação no mercado de SUVs, estando em 2011 na quinta colocação ou 6,4% no mercado de SUVs geral e na

segunda colocação, considerando a classe de SUV médio/grande porte, FENABRAVE (2011). Outro item de escolha foram pelas suas características de ser um SUV de médio/grande porte, adequado para viagens de longa duração em rodovias federais. As especificações e dimensões técnicas do Honda CR-V podem ser vistas na Tabela 10.

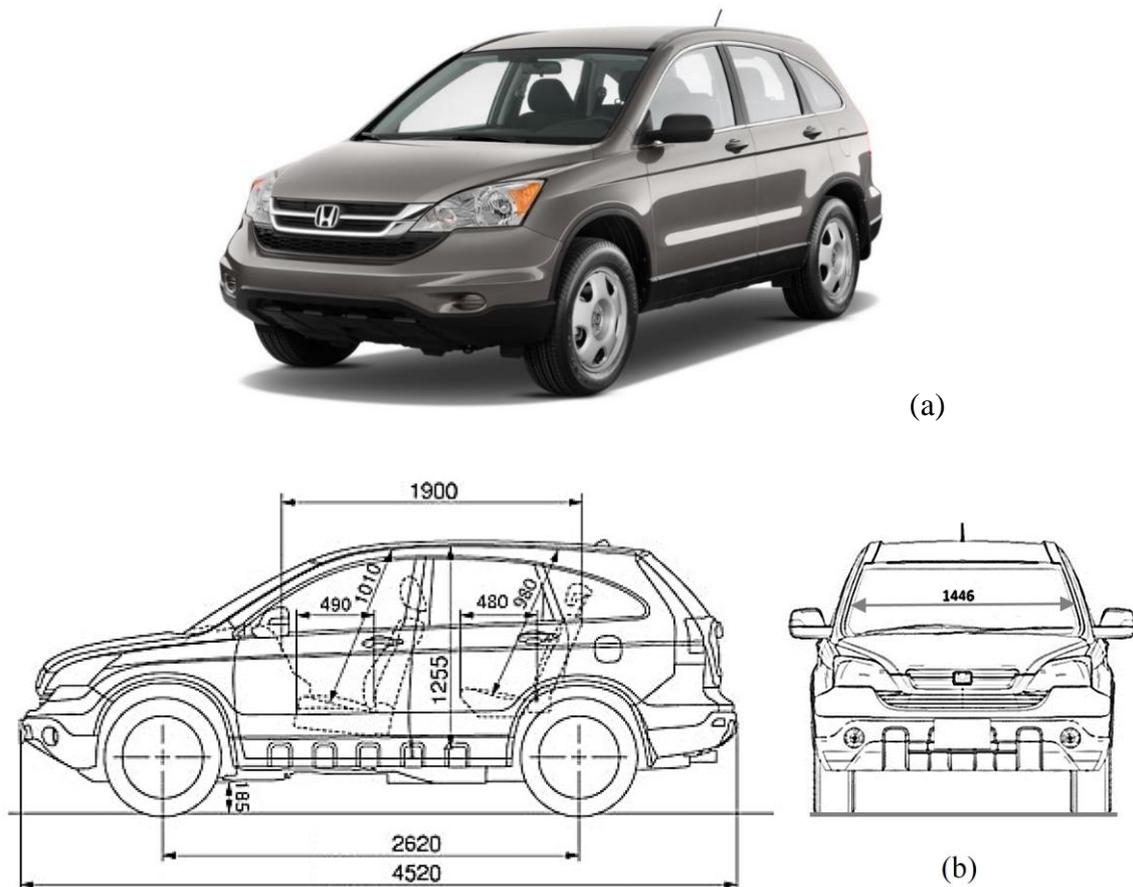


Figura 31 – (a) Honda CR-V modelo 2011, (The CarConnecton, 2013) e (b) Dimensões principais internas e externas do Honda CR-V Modelo 2011, (Subaruofkeene.com, 2013)



Figura 32 – Imagem do interior do Honda CR-V modelo 2011. (Smcars.net, 2013).

Tabela 10 – Especificações Técnicas do Honda CR-V modelo 2011.

Motor	
Posição e cilindros	Transversal/4 em linha
Material do bloco	Alumínio
Válvulas por cilindro	4
Diâmetro e curso	81 x 96,6 mm
Cilindrada	1997 cm ³
Taxa de compressão	10,6:1
Alimentação	Injeção multiponto sequencial
Potência máxima	155 cv a 6500 rpm
Torque máximo	19,4 m.kgf a 4300 rpm
Potência específica	77,6 cv/l
Câmbio	
Tipo e marchas	Automático / 5
Relação e velocidade por 1000 rpm (em km/h)	
1 ^a	2,78 / 11
2 ^a	1,68 / 18
3 ^a	1,13 / 27
4 ^a	0,77 / 40
5 ^a	0,59 / 52
Relação de diferencial	4,44
Tração	Dianteira
Freios	
Dianteiros	Disco ventilado (Ø 297 mm)
Traseiros	Disco (Ø 305 mm)
Antitravamento	ABS
Direção	
Sistema	Pinhão e cremalheira
Assistência	Elétrica
Diâmetro de giro	11,3 m
Suspensão	
Dianteira	Independente McPherson, mola helicoidal, estabilizador
Traseira	Independente, braços sobrepostos, mola helicoidal, estabilizador
Rodas	
Dimensões	6,5 x 17 pol
Pneus	225/65 R 17 T
Dimensões Gerais	
Comprimento	4520 mm
Largura	1820 mm
Altura	1680 mm
Entre-eixos	2620 mm
Bitola dianteira	908 mm
Bitola traseira	1019 mm
Ângulo de entrada	28°

Tabela 10 - Continuação	
Ângulo de saída	22°
Altura assoalho ao chão	185 mm
Coeficiente Aerodinâmico (Cx)	
Capacidade do tanque	58 L
Peso	1592 kg
Relação Peso-potência	10,2 kg/cv
Relação Peso-torque	78,8 (kg/mkgf)
Dimensões Internas Principais em (mm)	
Largura do interior	1446 (dia) / 1423 (tras.)
Altura assento ao teto dia.	1010
Altura assento ao teto tras.	980
Altura assoalho teto	1255
Comprimento assento	490 dia / 480 tras.

Sua modelagem no simulador inclui o exterior e interior do veículo e possui câmeras posicionadas para a visão externa e de primeira pessoa, vide Figura 33.



Figura 33 – Imagem da câmera principal do software de simulação com o painel do Honda CR-V.

3.1.4 - Especificações e Desempenho do Honda CR-V no simulador

A simulação da dinâmica veicular é realizada pelo script programável “*Drivetrain*” dentro do ambiente *Unity 3D*, oriundo do pacote de programação do *Car Unity Pro*.

O script “*Drivetrain*” leva em consideração os dados principais de peso, coeficiente aerodinâmico, potência máxima, relação de marchas, etc. Tais itens podem ser ajustados no script (Figura 34). Esses dados também podem ser ajustados no programa executável do simulador dentro da janela de *Setup* de forma mais prática. São sete janelas com diversos ajustes, onde o usuário tem a possibilidade de setar os parâmetros através de uma barra de rolagem, ajustando os valores de acordo com as especificações do fabricante. O script “*Drivetrain*” foi ajustado para os dados técnicos do veículo real, sendo que os parâmetros possíveis de ajuste, são:

- Ajuste de Motor (Figura 35);
- Ajuste de Transmissão (Figura 36);
- Ajuste de Suspensão (Figura 37);
- Ajuste de Freios (Figura 38);
- Ajuste de Pneu (Figura 39);
- Ajuste de Carroceria (Figura 40) e
- Ajuste de Assistência ao veículo (Figura 41).

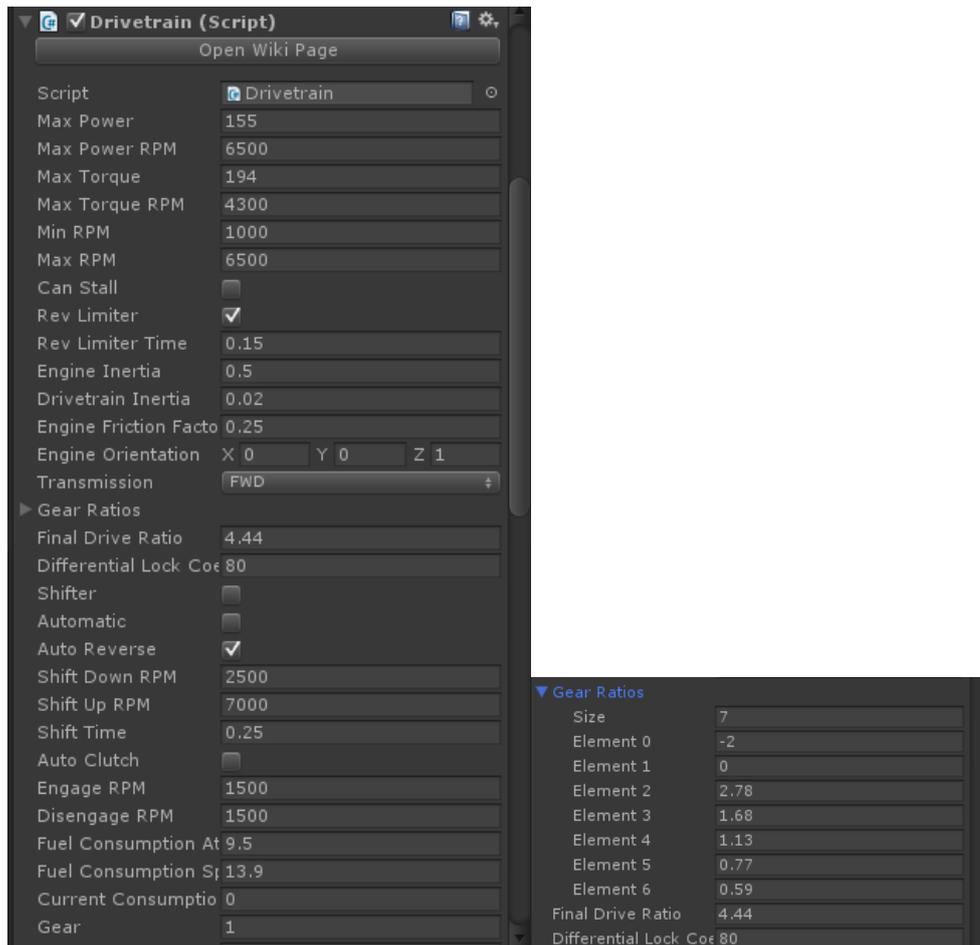


Figura 34 – Dados da motorização editáveis no script Drivetrain.

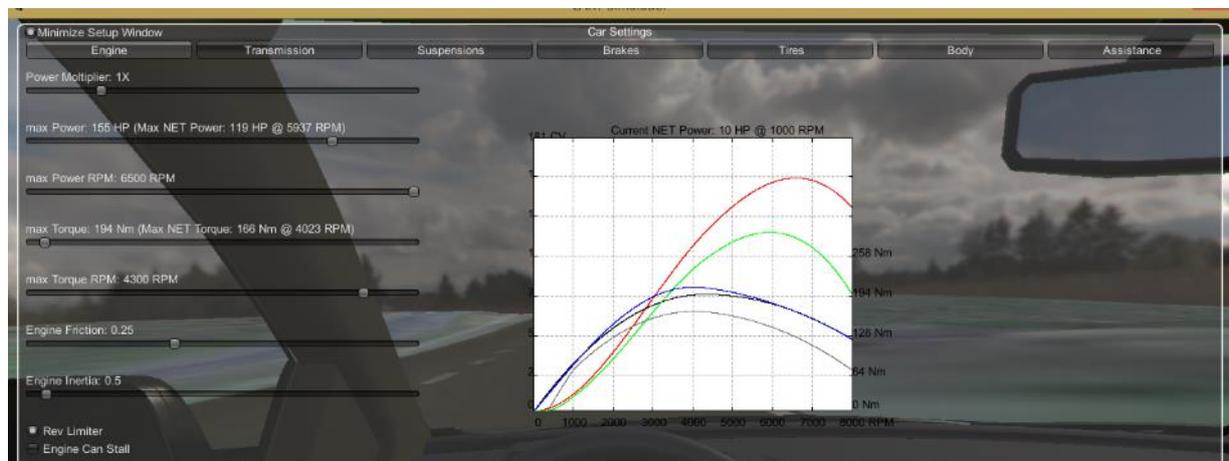


Figura 35 – Ajuste de motor dentro do simulador.



Figura 36 – Ajuste de Transmissão dentro do simulador.



Figura 37 – Ajuste de Suspensão.



Figura 38 – Ajuste de Freios.



Figura 39 – Ajuste de Pneus.



Figura 40 – Ajuste de Carroceria.



Figura 41 – Ajuste de Assistência ao veículo.

3.1.4.1 - Obstáculos

Os obstáculos são objetos modelados compostos por um grupo de indivíduos da espécie dos bovinos. Esse conjunto de bovinos é formado por quatro indivíduos adultos de 450 kg e 1,40 m de altura.

Os obstáculos encontram-se em dois locais ao longo do trecho. Eles ficam numa posição estática no cenário, no meio da rodovia. Contudo, a sua percepção é dificultada pelas árvores ao longo do trajeto.

O primeiro obstáculo localiza-se a 4,4 km do início do trecho simulado (40% do percurso - Figura 43). Neste evento ocorre a obstrução do lado direito da via. O segundo obstáculo localiza-se a 7,7 km no início do trecho simulado (70% do percurso - Figura 43). Nesse evento ocorre a obstrução total da via.

O simulador, nesses dois eventos, expõe o condutor a situações de estresse ao longo do trajeto. O primeiro evento exige do condutor uma manobra rápida para a esquerda para desviar do obstáculo. No segundo evento, o obstáculo exige a saída do veículo da pista. Caso o condutor colida com os obstáculos, o veículo não será avariado para dar continuidade à simulação.

Outro elemento de estresse é a elevação da pista em relação ao acostamento. Com descontinuidade da pista em 50 mm, este elemento pode ocasionar a perda da estabilidade do veículo e uma consequente saída da pista.



Figura 42 - Imagem do simulador, no momento em que surgem os bovinos.

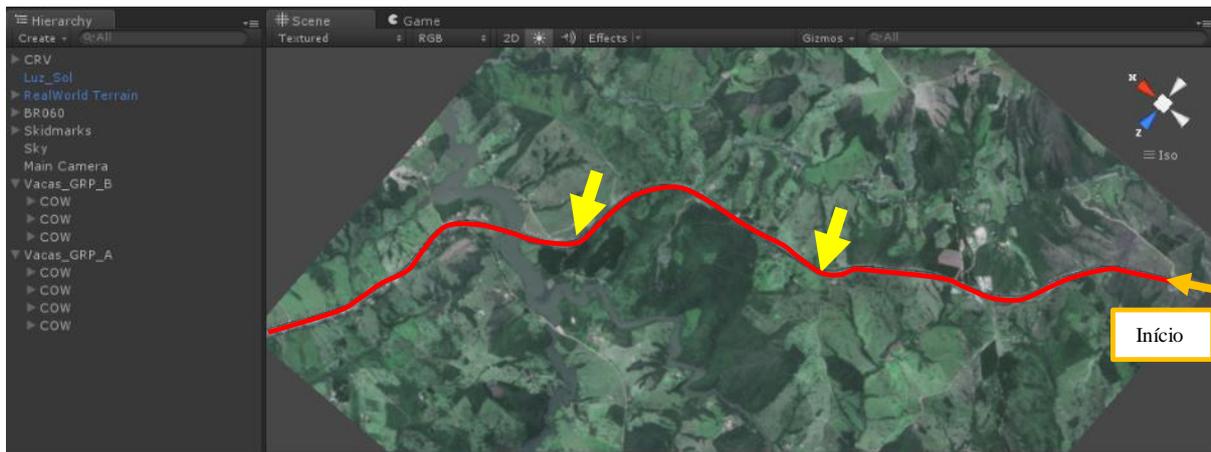


Figura 43 - Foto da vista aérea do mapa com o posicionamento dos obstáculos (setas em amarelo) em relação à rodovia (linha vermelha).

3.1.5 - Plataforma de Simulação Veicular

A plataforma de simulação veicular compreende a parte física do aparato experimental. Posiciona o condutor dentro do ambiente de simulação reproduzindo um veículo real.

A base da plataforma é fabricada com perfis de alumínio estruturado servido de suporte para os pedais, volante, assento e alavanca de câmbio. A base da plataforma apresenta translação no eixo Z e rotação nos eixos X e Y (Figura 44).

O condutor é posicionado na plataforma veicular respeitando-se as regras de posicionamento do Package automotivo e normas da SAE.

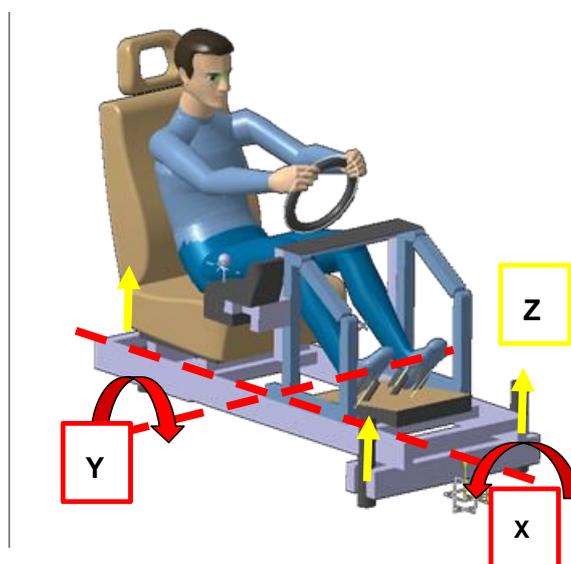


Figura 44 – Graus de liberdade possíveis na plataforma de simulação veicular.

O aparato experimental usado para este estudo utiliza a base do sistema de simulação da *SIMTECH PRO*, modelo *SIMBASE FRAME*, com três atuadores *D-Box*, modelo 3250i. (Figura 45 e Figura 46). A base de simulação foi adquirida pelo LART financiado pela CAPES- Prodoc - Quota PVNS - EDITAL MEC/CAPES – Nº 029/2010, pelo Projeto ARTE E TECNOCIÊNCIA - SISTEMAS BIOCÍBRIDOS ENFRENTANDO DESAFIOS DO ECOSISTEMA, sob a orientação e coordenação da Profa. Diana Maria Gallicchio Domingues e pela Universidade de Brasília – Campus Gama.

Essa base da *SIMTECH PRO* é totalmente ajustável, o que permite a inserção de qualquer geometria de interior que se pretenda simular. Assim como na versão completa da *SIMTECH PRO*, foi adquirido um conjunto de direção para jogos de alta desmpenho da Logitech, modelo G27. Seu conjunto possui um volante com sistema de câmbio semiautomático, um conjunto de pedais (embreagem, freio e acelerador) e um sistema de câmbio manual. A escolha desse conjunto deu-se pela alta confiabilidade e excelente precisão nos controles e porque o volante tem também o recurso de force feedback, permitindo a sensação real de direção de um veículo (Figura 43).



Figura 45 - Base do simulador modelo SIMBASE. (Simtechpro.com, 2013).



D-Box modelo 3250i

Número de eixos: 3

Atuadores: 3

Elevação Vertical: 3.8 cm

Peso máximo por atuador: 114 kg

Peso máximo estrutural: 340 kg

Figura 46 - Atuadores *D-BOX* modelo 3250i. (SimtechPro.com, 2013)



Figura 47 – Sistema de controle do simulador Logitech G27 (Logitech.com, 2013).

O assento instalado na plataforma é da caminhonete Mitsubishi L200, original e com o sistema de trilho, permitindo o ajuste horizontal do assento na plataforma. Foi feito um ajuste de altura do assento, colocando-se dois conjuntos de barras de 50 mm, aumentando, assim a altura do assento em relação ao assoalho.

Todo o conjunto foi instalado dentro da CAVE LART para que o usuário possa ter uma imersão completa do ambiente usando a Realidade Virtual.

O resultado na montagem final do simulador veicular com todos os seus dispositivos instalados pode ser visto na Figura 48.



Figura 48 – Foto do simulador montado para os ensaios experimentais dentro da CAVE do LART.

Paralelamente à montagem dos sistemas do simulador, foi feito um estudo do Package do próprio simulador e este comparado ao veículo Honda CR-V original. O resultado das análises mostra que a base do simulador da Simtech Pro ajusta-se perfeitamente à posição de direção do Honda CR-V. Isso permite ter a confiabilidade de que o usuário tenha as mesmas sensações táteis e que os controles estejam posicionados similarmente ao veículo simulado. Foram analisadas as posições de:

- Posição de X e Y do volante;
- Posição de X e Y dos pedais;
- Posição de X e Y da alavanca de câmbio;
- Posição de X e Y do assento;
- Campo de visão interno entre o volante e a tela de projeção do cenário painel/ambiente;

Os resultados podem ser vistos no Capítulo 4.

3.1.6 - Sensores de Dados Fisiológicos

A aquisição dos dados fisiológicos é um método eficaz, segundo PICARD e HEALEY, para obter parâmetros usados para detecção de estresse.

Os sensores, para não interferir na imersão da simulação, tiveram as seguintes características:

1. Interferir o mínimo com as ações do condutor: as dimensões dos circuitos dos sensores têm um design reduzido para minimizar a interferência com os movimentos e ações dos voluntários e a transmissão dos dados é feita via sinal *wifi*, sem fios, para o computador central, também com o intuito de não interferir com os movimentos e ações dos voluntários;
2. Independências entre os circuitos: evitar que a perda do sinal de um sensor durante o experimento influencie o sinal de outro sensor;
3. Sincronização dos sinais fisiológicos: as imagens do simulador, com relação ao tempo para permitir a correlação entre os diferentes sinais fisiológicos e a ação do voluntário;
4. Armazenamento dos dados: armazenar os sinais no computador central de forma organizada para posterior análise dos dados;
5. Redundância nos sensores: cada sinal é captado por no mínimo dois sensores para que uma eventual perda de sinal de um deles evite o descarte do conjunto total de dados.

Os dados fisiológicos que estão associados ao estresse do condutor são: respiração, GSR, ECG e EEG. Outros sinais, como o EMG, taxa de oxigenação e EOG são mais relacionados com a detecção de fadiga. Nesse trabalho, os dados coletados foram os seguintes:

- Respiração;
- GSR (Resistência Galvânica da Pele);
- Pressão da mão sobre o volante.

Os dois primeiros foram usados pela sua eficácia em avaliar o estresse e por permitir a flexibilidade de movimentos do condutor durante o ensaio. Já a pressão da mão foi usada experimentalmente, a fim de se testar a sua relação com o estresse e as ações do condutor.

Os demais não foram usados por não permitir a flexibilidade de movimentos do condutor no simulador.

O dispositivo central de coleta pré-processamento dos sinais é composto por um computador conectado a um dispositivo de aquisição de dados sem fio. Foi utilizado o kit de desenvolvimento Texas Instruments eZ430-F2013 (Figura 49). Este kit é equipado com o microprocessador MSP430 e com um módulo de transmissão. Os sinais adquiridos são digitalizados por conversores analógico-para-digital de 12-bit de pelo microprocessador MSP430. A taxa de amostragem da ordem de 2 kHz nos módulos de aquisição. Em função das taxas de transmissão de módulos *wifi*, a taxa de amostragem efetiva de cerca de 40 Hz no computador central. O sistema receptor de dados permite adquirir um conjunto de dados a cada 25 ms (1/40 s). E considerando tempos de percepção e reação (TPR) comuns para os condutores de veículos, no pior dos casos, com o valor de 0,64 s, SOUSA (2013) apud COLELLA (2008), esta taxa de aquisição é suficientemente alta, considerando a aplicação desejada.



Figura 49 – Placa de captura e transmissão TI eZ430-RF2500. (TEXAS INSTRUMENTS, 2013).

O sensor usado para captar a respiração foi um sensor de força tipo resistivo (FSR - *Force Sensitive Resistor*), da fabricante *Interlink* – modelo quadrado. Para a pressão da mão foi usado um sensor resistivo (FSR) tipo fita, modelo *Interlink* de diâmetro de 0.5". Cada sensor está associado a uma placa de aquisição de dados dedicado ao condicionamento do sinal e sua transmissão ao dispositivo receptor central. Tais circuitos estão apresentados nas Figura 50 e Figura 51. O projeto mais atual da placa de aquisição é mostrado na Figura 52. As Figura 76 e Figura 77 mostram a instalação dos sensores no corpo do condutor.

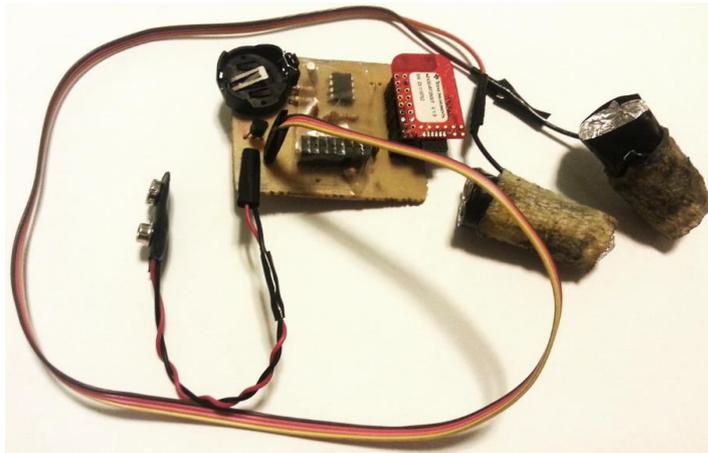


Figura 50 – Protótipo da placa de aquisição de GSR com a TI eZ430-RF2500 acoplada com dedais de aquisição de sinal.

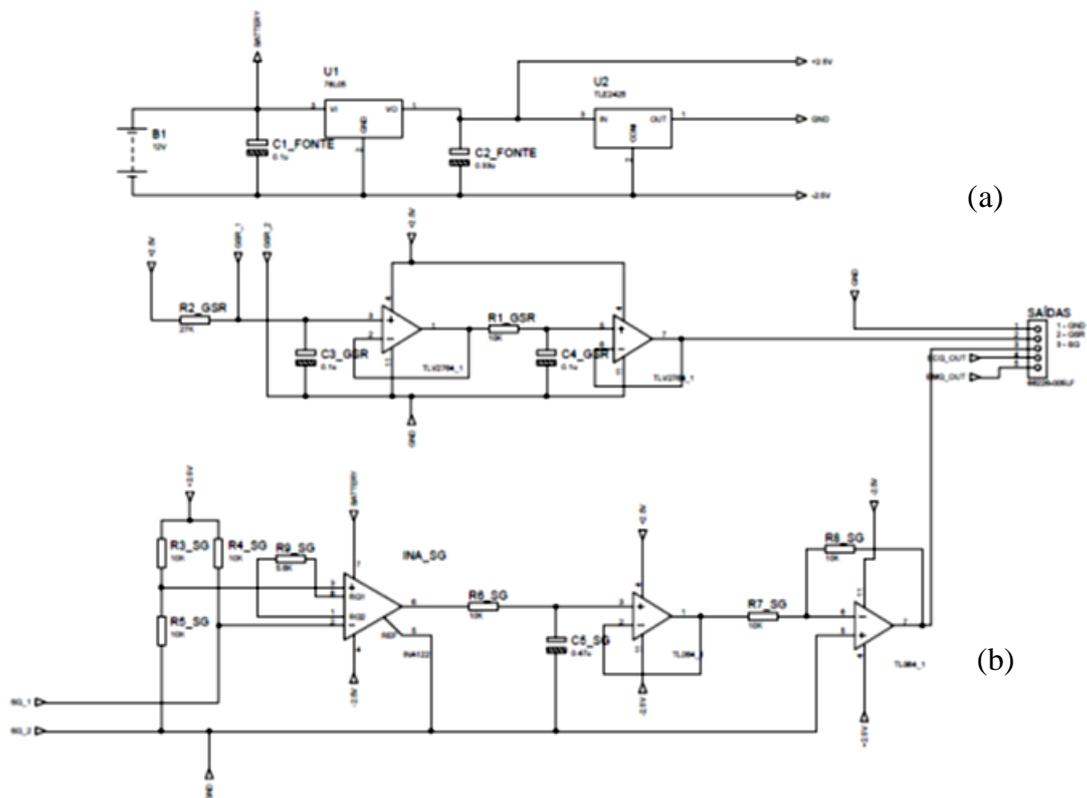


Figura 51 – Esquema dos circuitos para a respiração/pressão (a) e GSR (b).

Esta placa, desenvolvida por MIOSSO et al (2013) é composta por circuito acoplado ao transmissor TI eZ430-RF2500. A placa é limitada a quatro canais. Duas placas de aquisição são utilizadas para a plataforma veicular para possibilitar a aquisição dos sinais fisiológicos.

4 - VALIDAÇÃO DO PACKAGE DA PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO

Para validar a eficácia ergonômica da plataforma de simulação foi necessário fazer a validação de Package do simulador em relação ao Honda CR-V.

Foram usados, para tal, as normas da SAE J941, J1100, J1050 e as diretrizes de projeto automotivo citadas no Capítulo 2.1.8. Foi utilizado o programa de modelamento 3D Catia V5R19 e suas ferramentas específicas de Package do pacote Human Buidier. O simulador foi modelado no ambiente do Catia V5 R19 e foi usado também um modelo em 3D do veículo simulado, no caso, um Honda CR-V modelo 2011.

4.1 - PACKAGE DA PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO

Para a análise do Package da plataforma de simulação foi adotada a faixa de percentil utilizada pela indústria automotiva. Essa faixa de percentil vai do percentil 5% (P5%) Feminino ao percentil 95% (P95%) Masculino. Isso garante que o estudo atinja 90% da população.

Usando o modelo da plataforma de simulação, foram posicionados três manequins do Catia V5R19 com os seguintes percentis: P5% feminino, P50% masculino e P95% masculino (Figura 55 a Figura 57). A população escolhida para setagem dos manequins foi a população francesa, por se aproximar mais da população brasileira IIDA (2005). Os dados antropométricos básicos para os manequins são descritos na Tabela 11.

Tabela 11 – Dados Antropométricos. (Fonte: Catia V5 R19).

Dado antropométrico	P5% Feminina	P50% Masculino	P95% Masculino
Estatura (mm)	1520	1745	1850
Peso (kg)	44,6	70,6	86,7

Os assentos e posição de volante foram setados para cada um dos manequins. A partir desse momento, foram feitas as análises de Package. A sequência que vai da Figura 58 à Figura 61 representa os manequins sentados do simulador, em conformidade com o posicionamento de um condutor automotivo pelas normas da SAE.

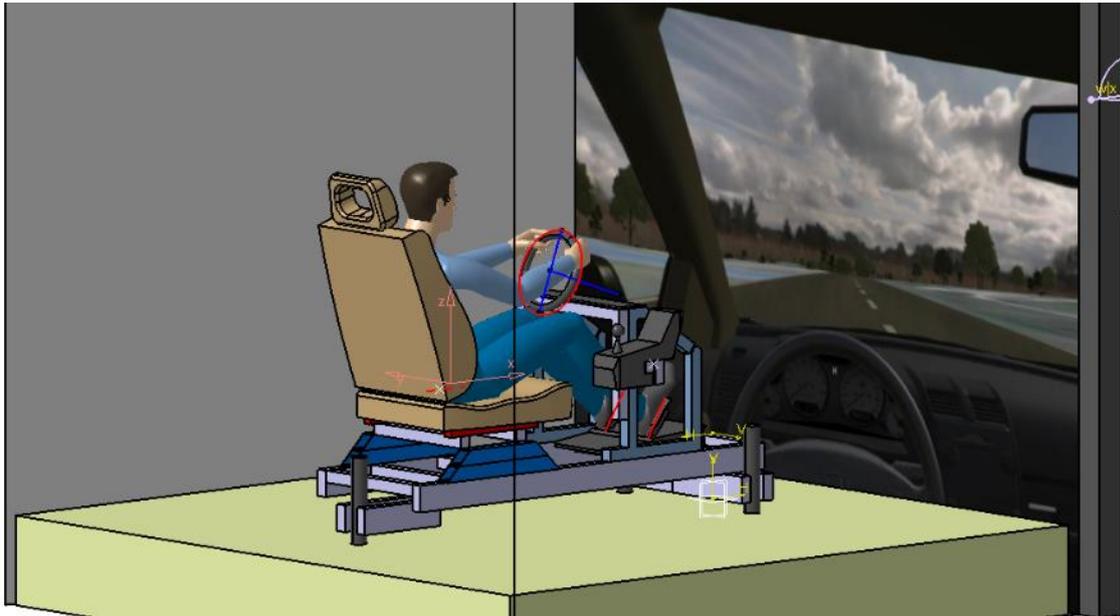


Figura 54 - Vista isométrica do manequim P50% masculino instalado no simulador dentro da CAVE.

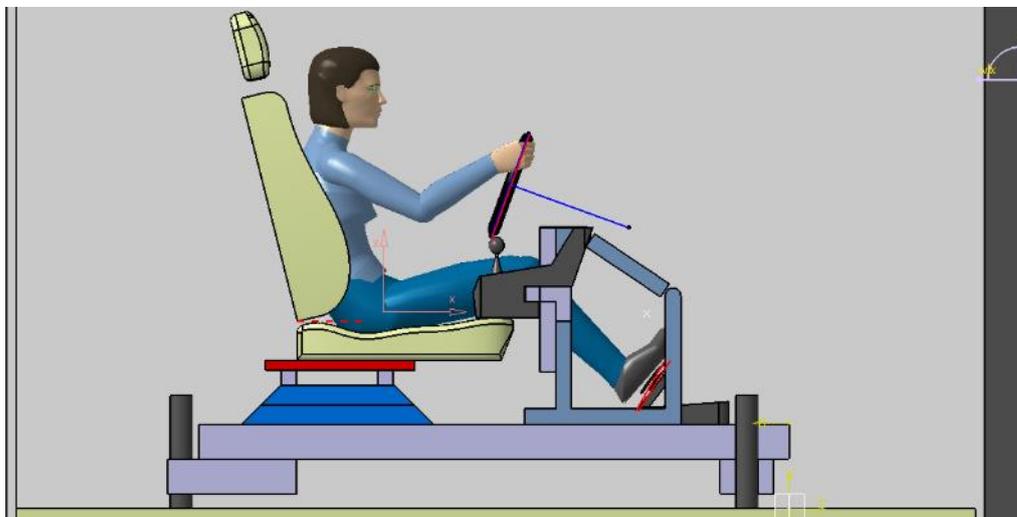


Figura 55 - Vista lateral de um manequim P5% feminino.

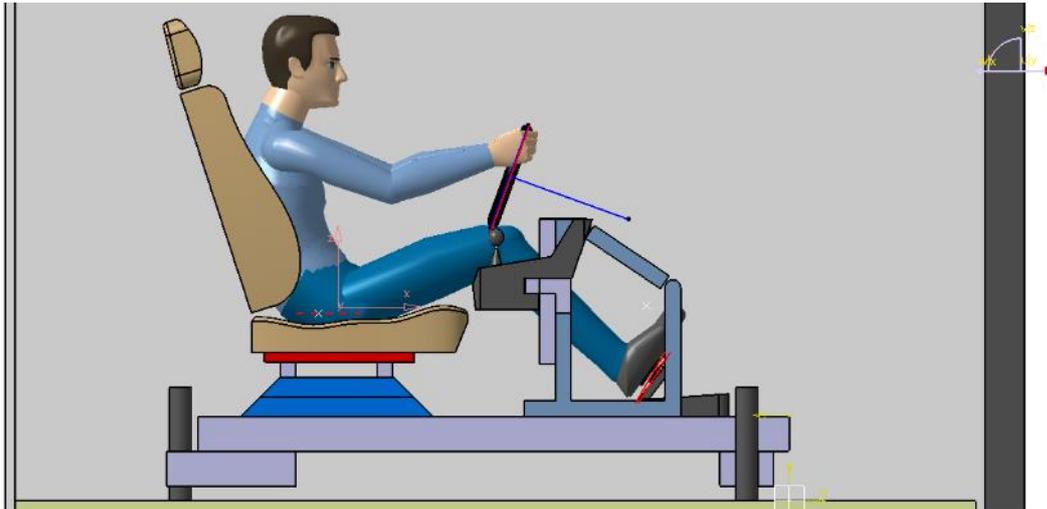


Figura 56 - Vista lateral de um manequim P50% masculino.

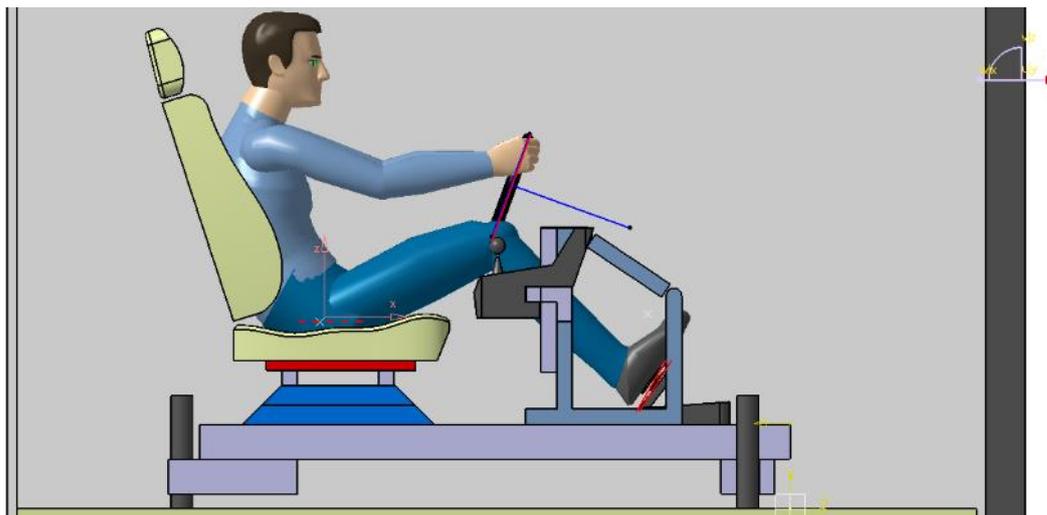


Figura 57 - Vista lateral de um manequim P95% masculino.

Foram realizados, também, os Packages respectivos para cada um dos manequins. Os valores das cotas do Package conforme a norma SAE J1100, podem ser vistos na Tabela 12. A sequência que vai da Figura 58 à Figura 61 representa a setagem das cotas de referência de Package no Catia.

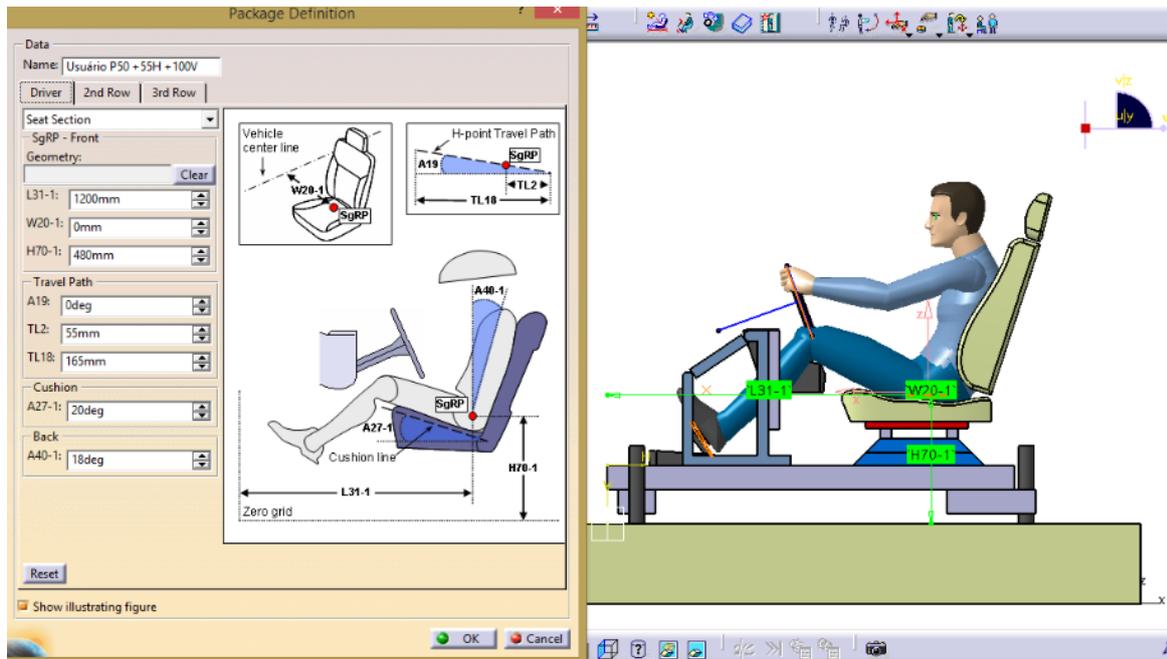


Figura 58 - Package do posicionamento do assento para o percentil 50% Masculino.

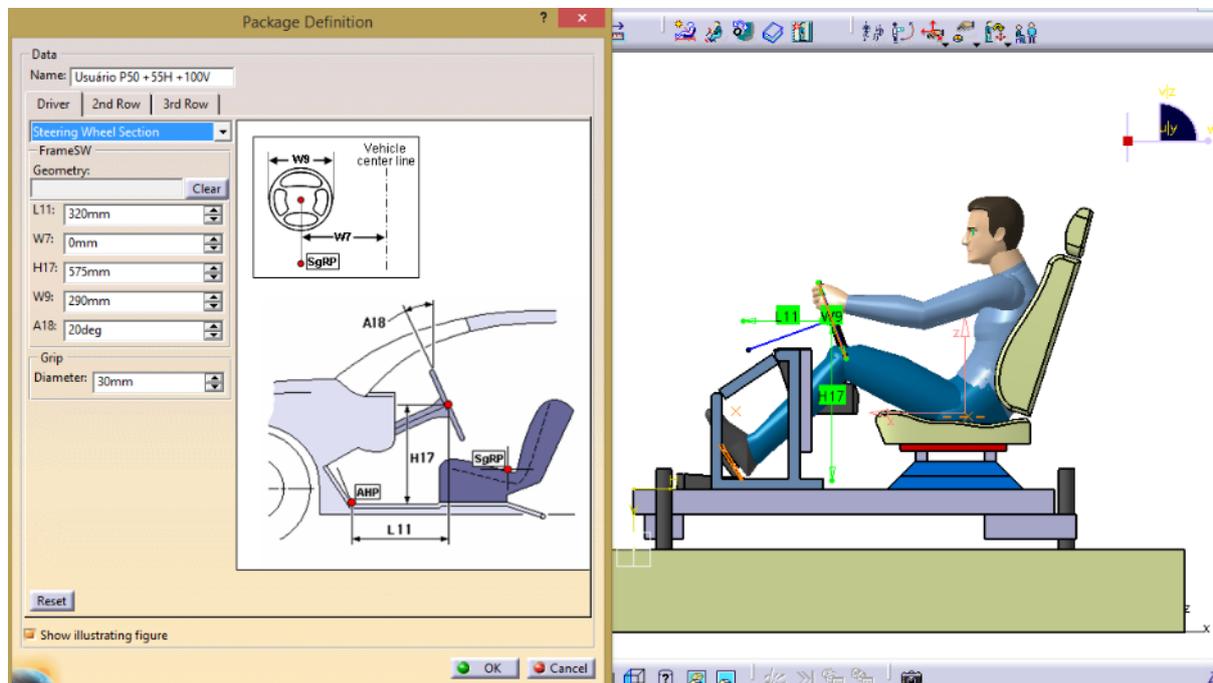


Figura 59 - Package do posicionamento do volante para o percentil 50% Masculino.

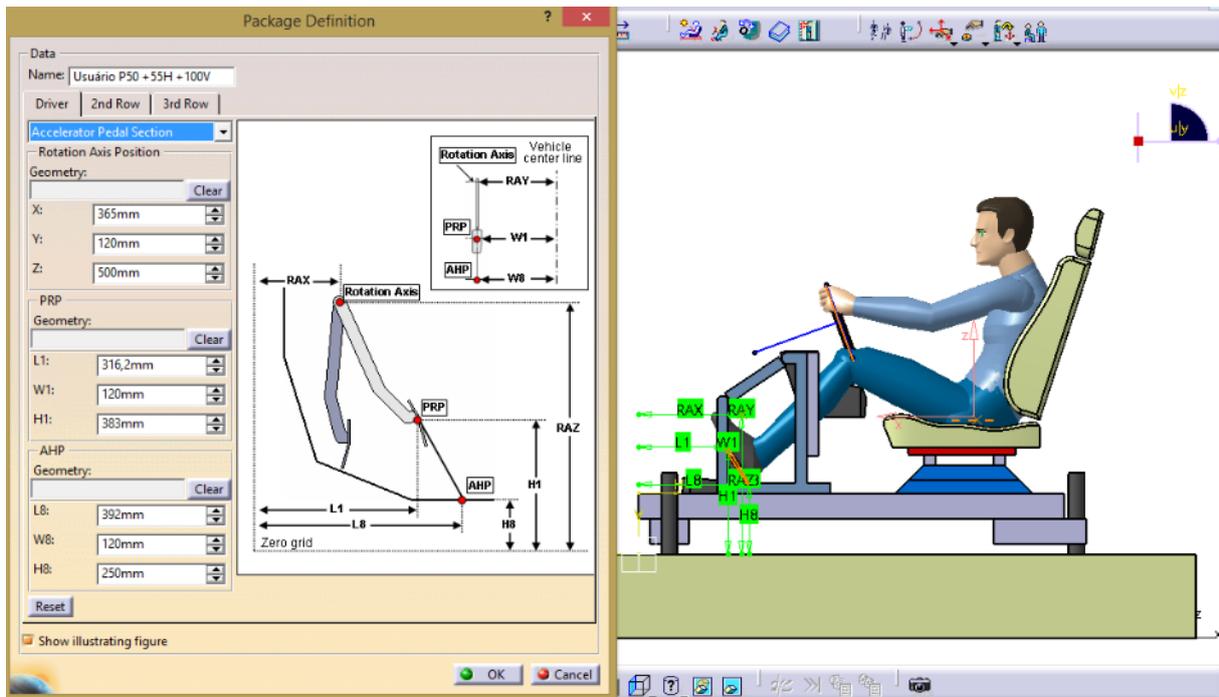


Figura 60 - Package do pedal do acelerador para o percentil 50% Masculino.

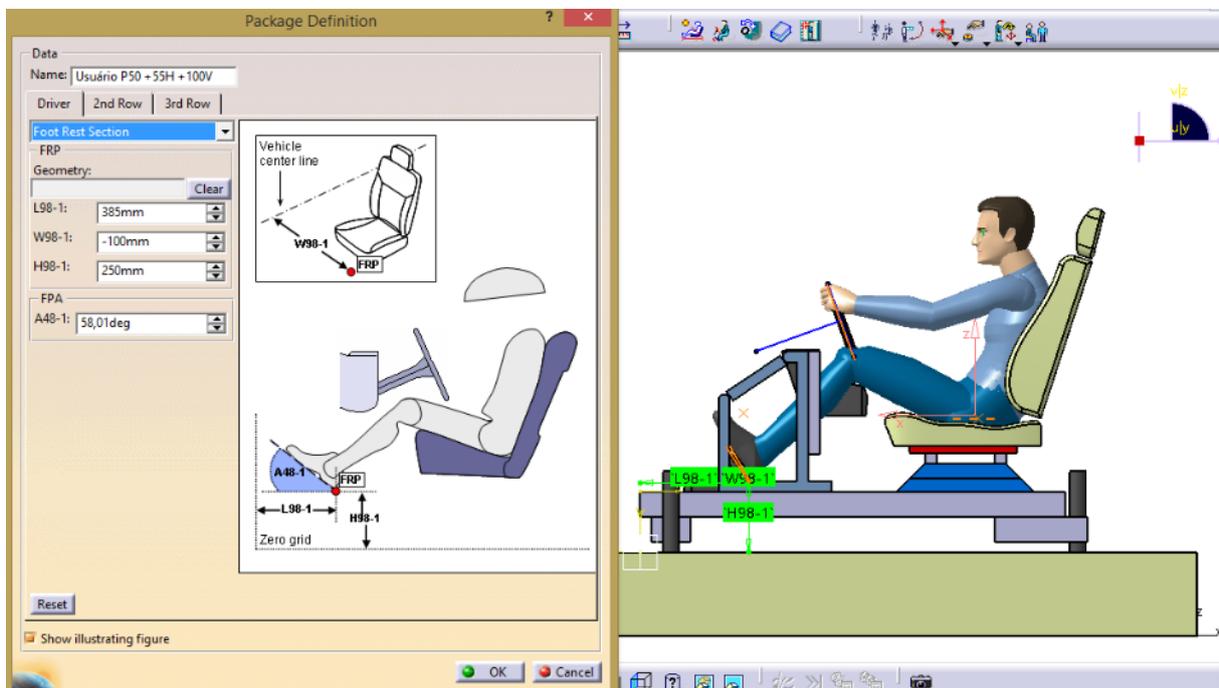


Figura 61 - Package do apoio de pé/embreagem para o percentil 50% Masculino.

Tabela 12 – Valores das cotas para o Package de acordo com as referências da SAE J1100.

Nomenclatura	Medida P5%	Medida P50%	Medida P95%
Assento			
L31-1 (mm)	1200	1200	1200
W20-1(mm)	0	0	0
H70-1 (mm)	480	480	480
A19 (graus)	0	0	0
TL2 (mm)	0	55	130
TL18 (mm)	165	165	165
A27-1 (graus)	20	20	20
A40-1 (graus)	18	18	18
Volante			
L11 (mm)	320	320	320
W7 (mm)	0	0	0
H17 (mm)	575	575	575
W9 (mm)	290	290	290
A18 (graus)	20	20	20
Diâmetro da espessura do aro do volante (mm)	30	30	30
Pedal do Acelerador			
RAX (mm)	365	365	365
RAY (mm)	120	120	120
RAZ (mm)	500	500	500
L1 (mm)	316,2	316,2	316,2
W1 (mm)	120	120	120
H1 (mm)	383	383	383
L8 (mm)	392	392	392
W8 (mm)	120	120	120
H8 (mm)	250	250	250
Descanso do pé			
L98-1 (mm)	385	385	385
W98-1(mm)	-100	-100	-100
H98-1 (mm)	250	250	250
A48-1 (graus)	58,01	58,01	58,01

Uma avaliação comparativa entre o posicionamento do assento, volante, pedais e câmbio foi feita entre esses elementos do simulador e os mesmos do Honda CR-V. O resultado da análise foi bastante satisfatório. Não se observaram diferenças maiores que 15 mm. A maioria das medidas de posicionamento tiveram uma precisão de até 5 mm.

O comparativo foi realizado posicionando o modelo da plataforma de simulação com o modelo do Honda CR-V. Os modelos foram posicionados entre si usando o ponto H

(*H-Point*), que é a referência primária do Package automotivo. Este ponto está representado na sequência das Figura 62 à Figura 65 como um conjunto de eixo X,Y e Z, localizado um pouco acima da base do assento. Com isso, assegura-se que a referência de Package de ambos os modelos é a mesma.

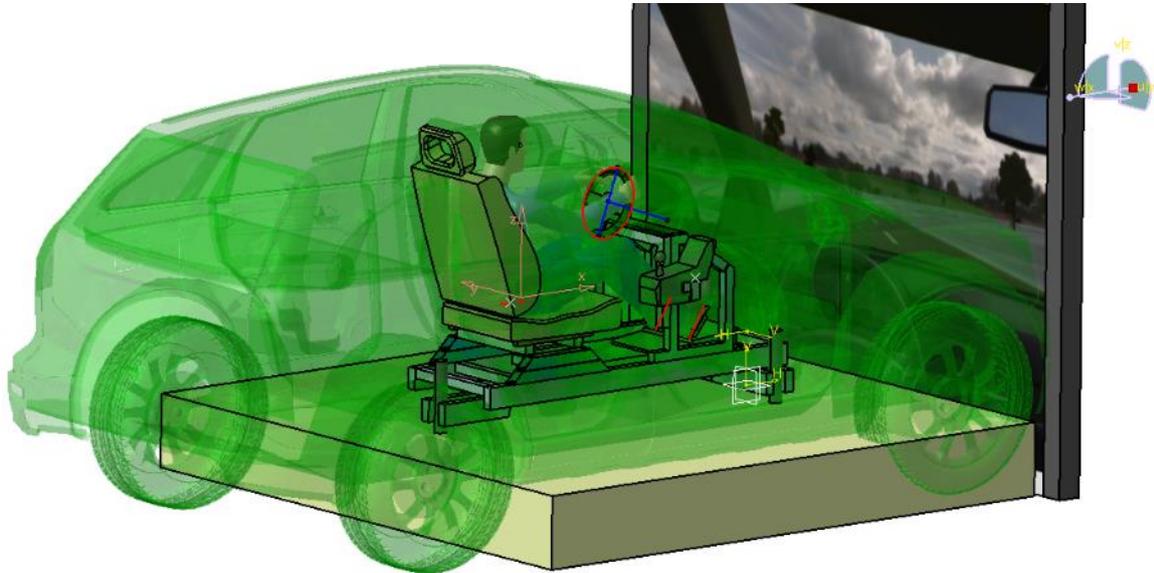


Figura 62 – Posicionamento comparativo do simulador com relação ao Honda CR-V – vista Isométrica

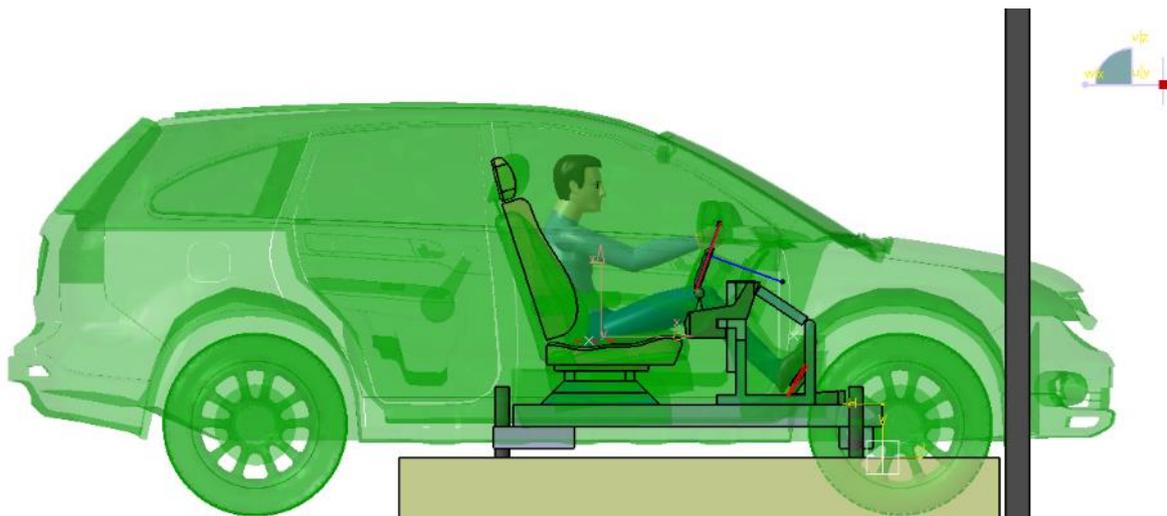


Figura 63 - Posicionamento comparativo do simulador com relação ao Honda CR-V – vista lateral com manequim P50% Masculino.

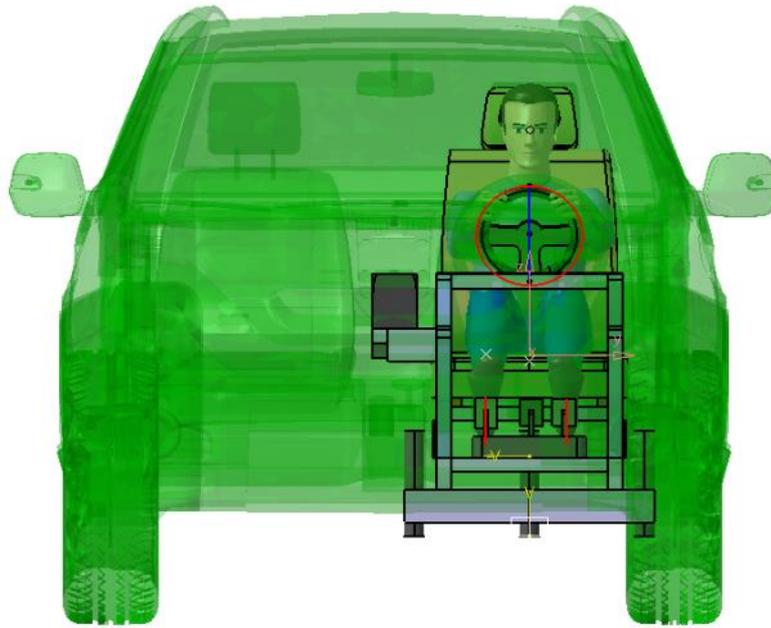


Figura 64 - Posicionamento comparativo do simulador com relação ao Honda CR-V – vista frontal com manequim P50% masculino.

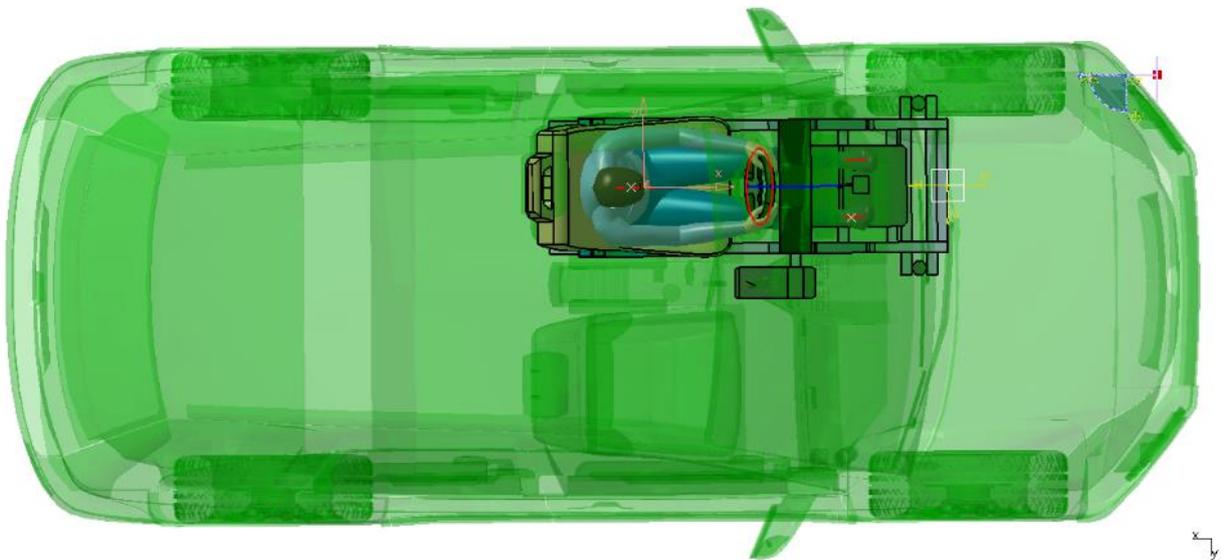


Figura 65 - Posicionamento comparativo do simulador com relação ao Honda CR-V – vista topo com manequim P50% masculino.

4.2 - ANÁLISE DE VISÃO INTERNA E EXTERNA

Completando a análise de Package do simulador, verificam-se as visões internas e externas do simulador. A preocupação maior fixa-se atenção em uma possível obstrução do volante com relação à imagem projetada. Primeiro, diminui-se a sensação de realismo.

Segundo, ocorre a obstrução da visão do painel principal impedindo a visão do velocímetro, do contador de giros do motor e da indicação da marcha.

Após a análise em Catia, verificou-se ausência de obstrução do volante com a projeção da tela (Figuras 64 a 66), o que foi comprovado, in loco, posteriormente. O manequim do P5% Feminino ao P 95% Masculino possui visão desobstruída do painel de instrumentos entre o aro e corpo do volante com um ajuste mínimo da altura do volante. O ajuste requerido compreende-se em torno de 0 a 90 mm na vertical.

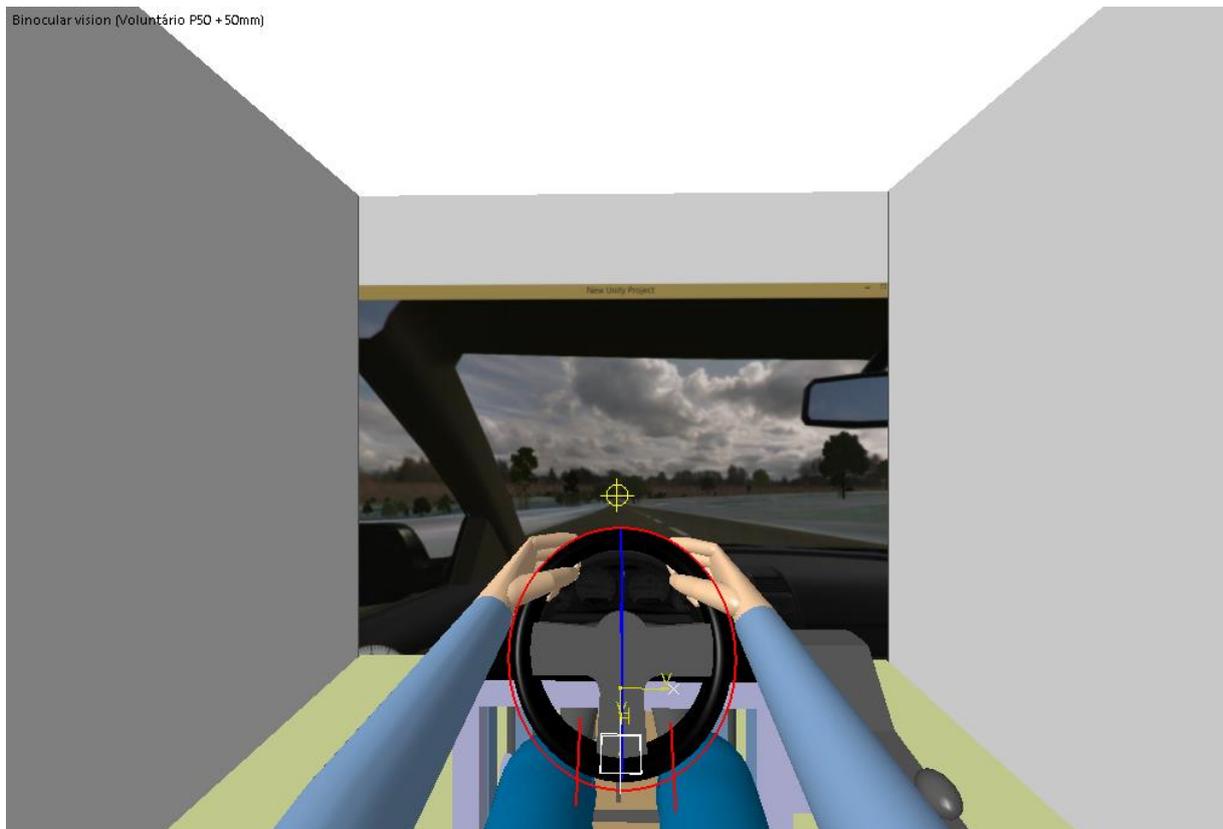


Figura 66 - Visão do ponto de vista do manequim P50% Masculino em Catia dentro da CAVE.

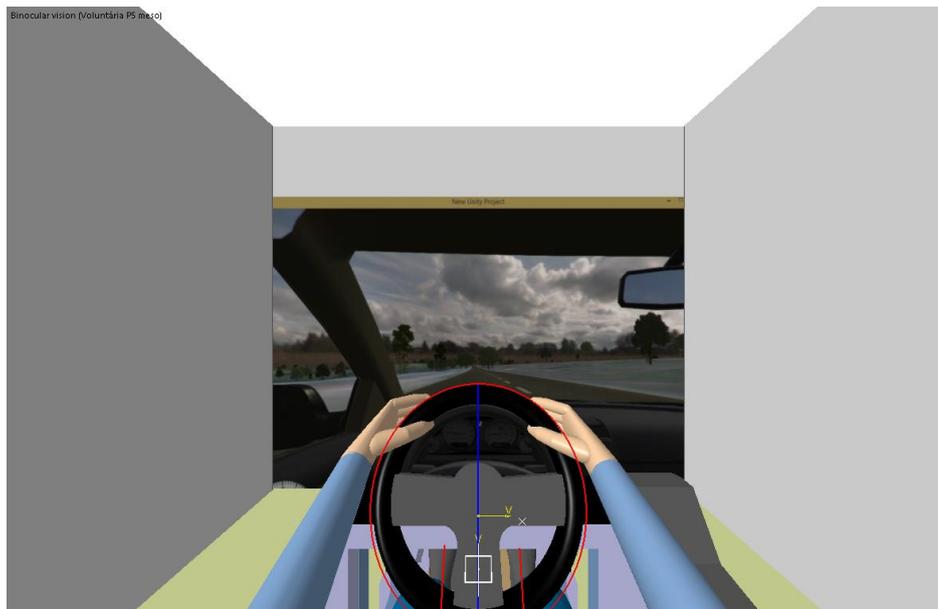


Figura 67 - Visão do ponto de vista do manequim P5% Feminino em Catia dentro da CAVE

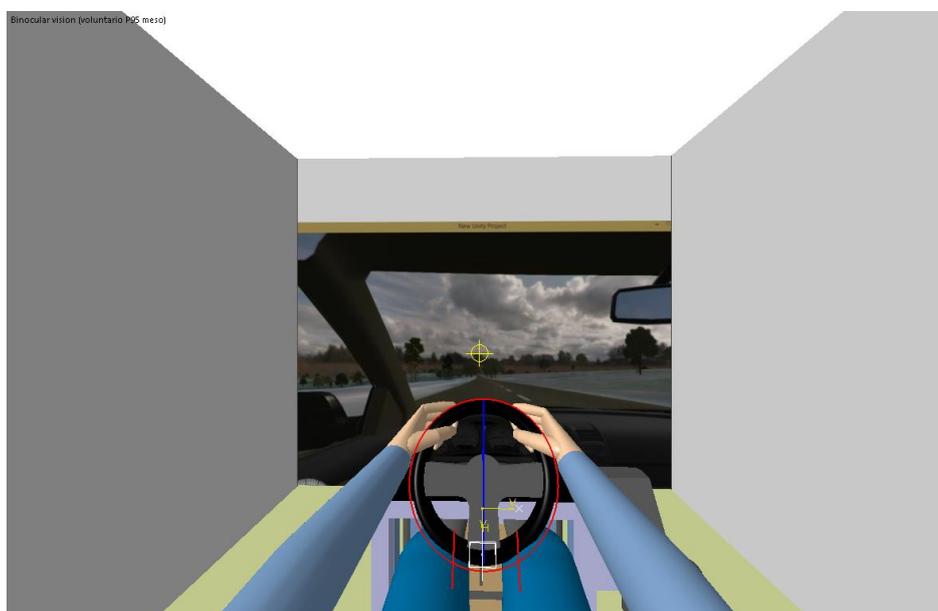


Figura 68 - Visão do ponto de vista do manequim P95% Masculino em Catia dentro da CAVE

4.3 - ANÁLISE RULA

Uma outra análise realizada foi a RULA (Rapid Upper Limb Assessment). O RULA é uma das ferramentas existentes no Catia que possibilita uma análise prévia do conforto do condutor de acordo com os ângulos entre os segmentos corporais. Os parâmetros usados no

RULA do Catia V5 R19 estão mostrados abaixo, na Figura 69. As Figura 70 e Figura 71 mostram o procedimento de pontuação usado como referência.

Ergonomic Analysis

RULA Parameters

- Shoulder elevation threshold: 9,253deg
- Upper arm abduction threshold: 17,959deg
- Arm rotation threshold: 20,602deg
- Wrist deviation threshold: 8,6deg
- Wrist twist threshold: 152deg
- Neck twist threshold: 38,325deg
- Neck side-bending threshold: 5,25deg
- Trunk twist threshold: 1,05deg
- Trunk side-bending threshold: 0,788deg

Figura 69 – Parâmetros do RULA no Catia V5 R19.

RULA Employee Assessment Worksheet

Complete this worksheet following the step-by-step procedure below. Keep a copy in the employee's personal folder for future reference.

A. Arm & Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position

Step 1a: Adjust...

If shoulder is raised: +1;
If upper arm is abducted: +1;
If arm is supported or person is leaning: -1

Step 2: Locate Lower Arm Position

Step 2a: Adjust...

If arm is working across midline of the body: +1;
If arm out to side of body: +1

Step 3: Locate Wrist Position

Step 3a: Adjust...

If wrist is bent from the midline: +1

Step 4: Wrist Twist

If wrist is twisted mainly in mid-range: +1;
If wrist at or near end of twisting range: +2

Step 6: Look-up Posture Score in Table A

Use values from steps 1, 2, 3 & 4 to locate Posture Score in Table A.

Step 6: Add Muscle Use Score

If posture mainly static (i.e. held for longer than 1 minute) or if action repeatedly occurs 4 times per minute or more: +1

Step 7: Add Force/load Score

If load less than 2 kg (intrinsic): +0;
If 2 kg to 10 kg (intrinsic): +1;
If 2 kg to 10 kg (static or repeated): +2;
If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3

Step 8: Find Row in Table C

The combined score for the Arm/Wrist analysis is used to find the row in Table C.

SCORES

Table A

Upper Arm	Lower Arm	Wrist				
		1	2	3	4	5
1	1	1	2	3	4	5
1	2	2	3	4	5	6
1	3	3	4	5	6	7
1	4	4	5	6	7	8
1	5	5	6	7	8	9
2	1	2	3	4	5	6
2	2	3	4	5	6	7
2	3	4	5	6	7	8
2	4	5	6	7	8	9
2	5	6	7	8	9	10
3	1	2	3	4	5	6
3	2	3	4	5	6	7
3	3	4	5	6	7	8
3	4	5	6	7	8	9
3	5	6	7	8	9	10
4	1	2	3	4	5	6
4	2	3	4	5	6	7
4	3	4	5	6	7	8
4	4	5	6	7	8	9
4	5	6	7	8	9	10
5	1	2	3	4	5	6
5	2	3	4	5	6	7
5	3	4	5	6	7	8
5	4	5	6	7	8	9
5	5	6	7	8	9	10

Table B

Neck	Trunk					Legs
	1	2	3	4	5	
1	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
1	3	4	5	6	7	8
1	4	5	6	7	8	9
1	5	6	7	8	9	10
2	2	3	4	5	6	7
2	3	4	5	6	7	8
2	4	5	6	7	8	9
2	5	6	7	8	9	10
3	3	4	5	6	7	8
3	4	5	6	7	8	9
3	5	6	7	8	9	10
4	4	5	6	7	8	9
4	5	6	7	8	9	10
5	5	6	7	8	9	10

Table C

Final Wrist & Arm Score	Final Neck, Trunk & Leg Score				
	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6
1	3	4	5	6	7
1	4	5	6	7	8
1	5	6	7	8	9
2	2	3	4	5	6
2	3	4	5	6	7
2	4	5	6	7	8
2	5	6	7	8	9
3	3	4	5	6	7
3	4	5	6	7	8
3	5	6	7	8	9
4	4	5	6	7	8
4	5	6	7	8	9
5	5	6	7	8	9

B. Neck, Trunk & Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position

Step 9a: Adjust...

If neck is twisted: +1; If neck is side-bending: +1

Step 10: Locate Trunk Position

Step 10a: Adjust...

If trunk is twisted: +1; If trunk is side-bending: +1

Step 11: Legs

If legs & feet supported and balanced: +1;
If not: +2

Step 12: Look-up Posture Score in Table B

Use values from steps 9, 10 & 11 to locate Posture Score in Table B.

Step 13: Add Muscle Use Score

If posture mainly static or if action 4 times or more: +1

Step 14: Add Force/load Score

If load less than 2 kg (intrinsic): +0;
If 2 kg to 10 kg (intrinsic): +1;
If 2 kg to 10 kg (static or repeated): +2;
If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3

Step 15: Find Column in Table C

The combined score from the Neck/Trunk & Leg analysis is used to find the column on Chart C.

Final Score =

Subject: _____ Date: / / _____
 Company: _____ Department: _____ Scorer: _____

FINAL SCORE: 1 or 2 = Acceptable; 3 or 4 investigate further; 5 or 6 investigate further and change soon; 7 investigate and change immediately
 Source: McAtamney, L. & Corlett, E.N. (1993) RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, 24(2) 91-99.
 © Professor Alan Hedge, Cornell University, Feb. 2001

Figura 70 - Quadro de Pontuação do RULA. (Manual DDS CATIA V5R19, 2013).

Segment	Score Range	Color associated to the score					
		1	2	3	4	5	6
Upper arm	1 to 6	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
Forearm	1 to 3	Green	Yellow	Red	Grey	Grey	Grey
Wrist	1 to 4	Green	Yellow	Orange	Red	Grey	Grey
Wrist twist	1 to 2	Green	Red	Grey	Grey	Grey	Grey
Neck	1 to 6	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
Trunk	1 to 6	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red

Figura 71 – Pontuação e esquema de cores usada no RULA do Catia.
(Manual DDS CATIA V5R19, 2013).

O resultado do RULA para os percentis avaliados foi bastante similar aos encontrados nas avaliações de automóveis de passeio. Os condutores não estarão em uma posição muito desconfortável, e o posicionamento deles no simulador veicular é bastante similar a um veículo real. Os resultados dos valores são vistos nas Figura 72 à Figura 75. Nas imagens, os segmentos corporais em amarelo estão representando a região do corpo com valores acima da pontuação em verde. A análise foi feita para o lado direito e esquerdo, tendo valores iguais para ambos os lados.

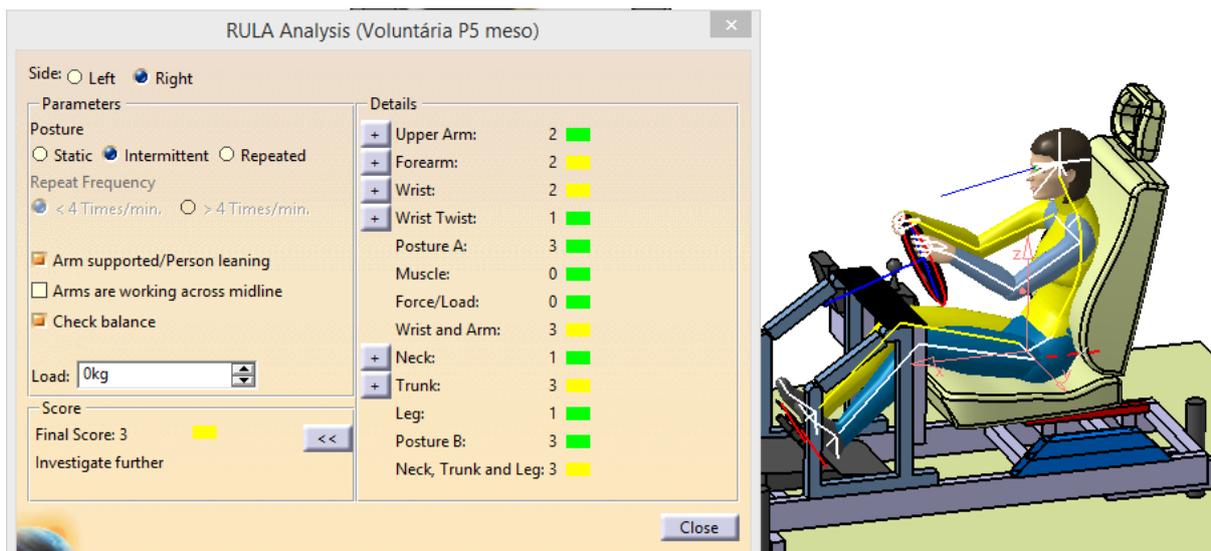


Figura 72 - Análise RULA para manequim P5% Feminino lado direito.

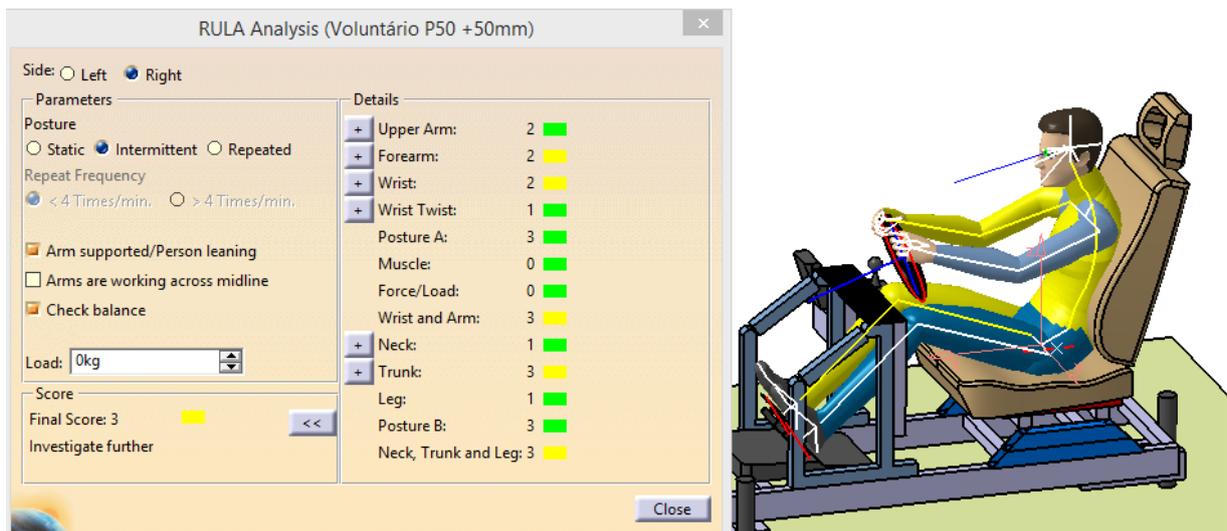


Figura 73 - Análise RULA para o manequim P50% Masculino, lado direito.

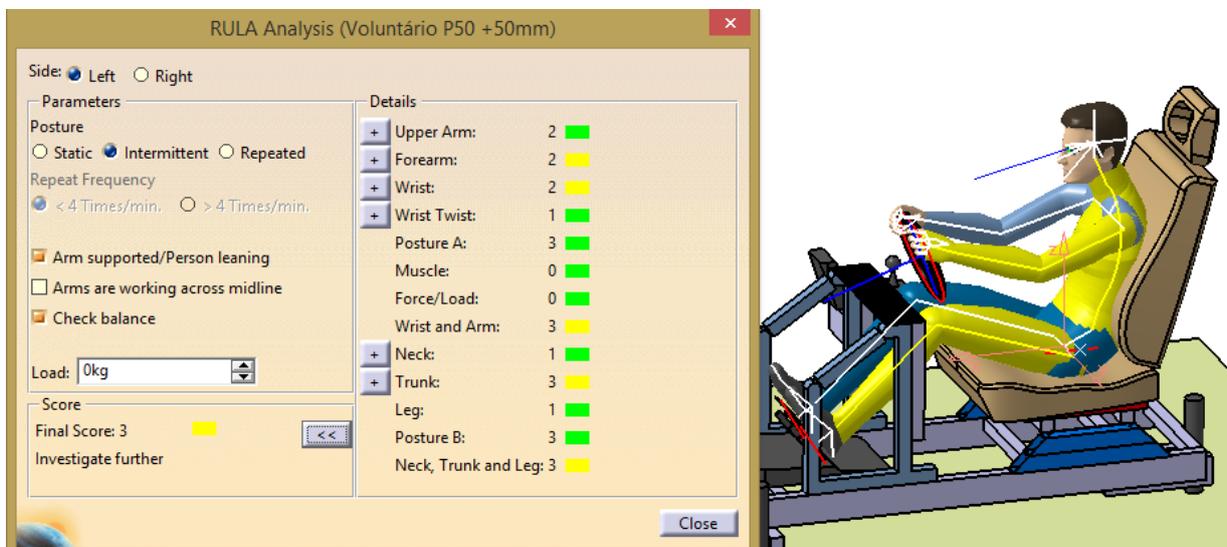


Figura 74 - Análise RULA para o manequim P50% Masculino, lado esquerdo.

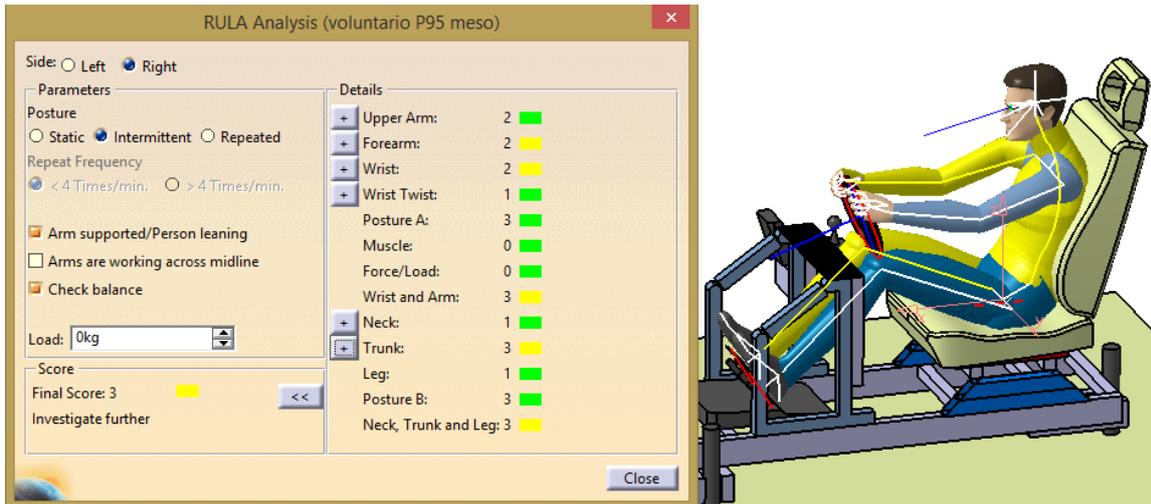


Figura 75 - Análise RULA para o manequim P95% Masculino, lado direito.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os procedimentos experimentais e os resultados obtidos durante os ensaios com a plataforma de simulação veicular, já validado de acordo com as normas de Package da SAE.

5.1 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental adotado teve como preocupação primordial a confiabilidade dos dados adquiridos por meio de uma plataforma de simulação veicular onde o condutor está, em grande parte do experimento, em movimento e em alguns casos, com movimentos bruscos.

Um único protocolo de ensaio foi seguido durante os experimentos no simulador para garantir a uniformidade dos resultados.

Para cada um dos voluntários foram coletados simultaneamente os sinais de GSR, respiração e pressão na mão, sendo que tais dados foram transmitidos via wireless mediante uma placa de captura e transmissão TI eZ430-RF2500 da Texas Instruments.

Esses dados foram coletados em dois momentos distintos, que foram:

- Aplicação do instrumento de avaliação subjetiva, com o voluntário sentado no simulador e usando uma prancheta para preencher o questionário e
- Durante a simulação sem os movimentos com o simulador desenvolvido via *Unity 3D*.

Os sensores foram colocados nos voluntários da seguinte maneira:

- Respiração: O conjunto de dois sensores de pressão foi posicionado sob uma cinta de velcro colocada nos voluntários em volta do tronco, um pouco abaixo na linha das axilas. A placa de aquisição de dados e a bateria foram posicionadas ao lado da cinta de velcro, presas no próprio velcro, lateralmente e sem interferências com os sensores de pressão (Figura 76).

- Sensores de Pressão da mão: Os dois sensores de pressão foram vestidos na palma da mão esquerda do voluntário por meio de velcro. A placa e bateria foram presas no antebraço esquerdo do voluntário também por meio de velcro (Figura 76).

- GSR: Os dois terminais do GSR foram vestidos na ponta dos dedos da mão direita do voluntário e a placa e bateria foram presas no antebraço direito por meio de velcro (Figura 77).

O conjunto montado em um voluntário sentado no simulador em posição de direção pode ser visto nas Figura 78 e Figura 79.



Figura 76 – Sensores de Respiração (tronco) e pressão (mão esquerda) utilizados no experimento.

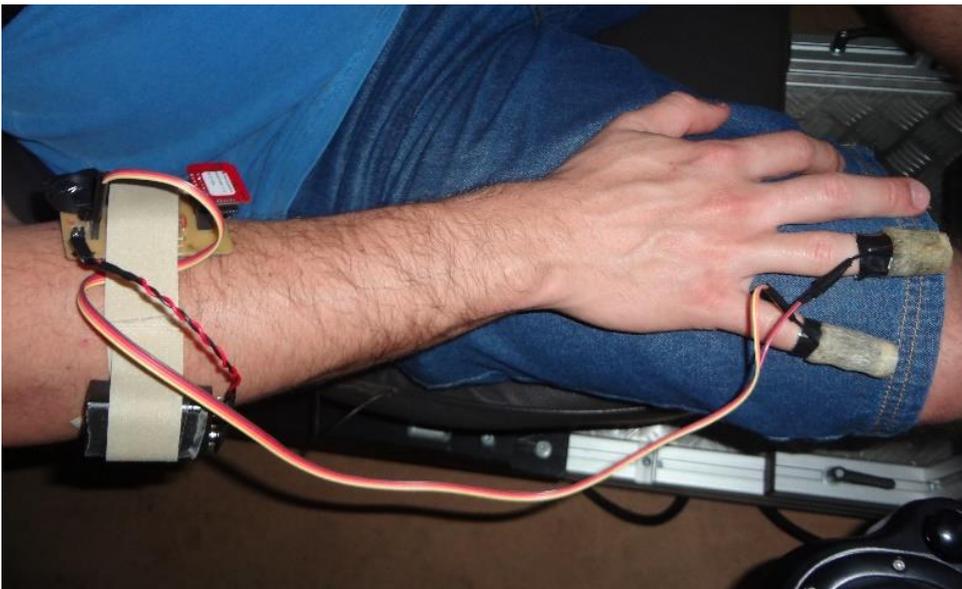


Figura 77 – Sensor de GSR fixados ao braço e mão direita.



Figura 78 – Voluntário com os sensores fixados ao corpo, sentado no simulador.



Figura 79 – Um voluntário com os sensores durante os ensaios, sentado no simulador dentro da CAVE.

O protocolo de ensaio experimental seguiu as seguintes etapas:

1. Gerais/Legais: explicação sobre o funcionamento do simulador e aplicação do TCLE, Termo de Conhecimento Livre e Esclarecido e Termo para utilização de imagem e som;
2. Aplicação da avaliação subjetiva: preenchimento do questionário antropométrico por parte do voluntário e da primeira etapa do questionário subjetivo, avaliando o estado emocional do voluntário naquele instante e sua experiência em direção e simulação veicular;
3. Ensaio em Repouso: instrumentação do voluntário com os sensores fisiológicos; início da simulação com a tomada dos dados com o voluntário em repouso, sentado no simulador e com duração média de 3 min com a captação dos dados fisiológicos via *wifi*;
4. Ensaio com a simulação: início da simulação sem movimento com a tomada dos dados fisiológicos do voluntário via *wireless* e filmagem do evento. O tempo de simulação variou de voluntário para voluntário, dependendo de diversos fatores, como por exemplo, velocidade e tempo de passagem pelos obstáculos;
5. Finalização do ensaio: retirada dos sensores fisiológicos nos voluntários e preenchimento da segunda parte do questionário subjetivo, avaliando o simulador veicular, o estado emocional e as sensações sentidas durante o experimento.

Vale ressaltar que o voluntário teve total liberdade de parar o ensaio em qualquer momento. Considerou-se a possibilidade de o voluntário, durante o ensaio, sentir tonturas e desorientação por conta da imersão em ambiente 3D virtual e por causas das acelerações sentidas pelos atuadores.

Em seguida os dados foram guardados e analisados estatisticamente individualmente no início e depois foram analisadas as suas correlações em função do tempo, juntamente com o questionário subjetivo que foi feito antes e após a tomada dos dados e para cada um dos voluntários. Para isso, foi usado o software *MatLab* 2013 como ferramenta de leitura dos dados e visualização dos resultados em forma de gráfico.

5.1.1 - Avaliação Subjetiva

A avaliação subjetiva aplicada teve o objetivo de caracterizar os voluntários comportamental e antropometricamente, conhecendo o estado em que se encontravam antes e durante os experimentos, servindo também como um instrumento de caracterização do aparato experimental proposto.

O instrumento de avaliação subjetiva possui três partes principais, aplicadas em diferentes momentos durante o experimento.

A primeira parte contempla os dados pessoais e antropométricos dos participantes e um questionário pré-condução, que tem o intuito de se conhecer quão experiente é o voluntário nos quesitos de condução de veículo e simulação. Serão usadas perguntas diretas, sim/não ou com mais opções de resposta.

A segunda parte do instrumento, de pós-teste e aplicadas depois do experimento, tem a finalidade de se avaliar o simulador em si. Sua funcionalidade e características. Possui perguntas em que o voluntário terá que marcar em um quadro gradual de intensidade, similar ao mostrado abaixo:

1 Como foi a sensação de envolvimento (sensação de interação e imersão no ambiente) dentro do simulador comparado com um veículo real?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Pouco realista

Realista

Muito realista

E a terceira e última parte, também aplicadas depois do experimento, englobando um conjunto de perguntas relacionadas às sensações físicas sentidas pelo voluntário durante e após os experimentos. Um exemplo dessas perguntas é visto abaixo:

Fadiga

Nenhum Leve Moderada Grave

Os resultados dos questionários experimentais foram usados em correlação com os dados fisiológicos obtidos e também pelas respostas às ações realizadas pelos voluntários durante os experimentos.

5.2 - QUALIDADE/CONFIABILIDADE DAS MEDIÇÕES

Todo o aparato do simulador mostrou ser bastante eficaz na tomada dos dados fisiológicos durante o experimento. Os sensores, com o envio de sinal via wifi, conseguiram transmitir corretamente os dados para o computador. Esses sensores funcionaram com um mínimo de falhas, mesmo quando todos eles estavam ligados e enviando os sinais. O software de simulação também funcionou perfeitamente, apresentando uma qualidade gráfica superior. Dos resultados obtidos com os treze voluntários, dois não foram usados; um foi por falha nos sensores por mal contato entre os sensores e as placas de aquisição; e o outro, por causa de baixa carga na bateria. Dos dados escolhidos para as análises dos gráficos, apenas 8 pontos de 792 foram descartados. A eficácia do sistema mostrou-se bastante alta, já que dos 936 pontos possíveis de análise (13 voluntários vezes 12 pontos temporais vezes seis resultados gráficos), apenas 80 pontos foram descartados na análise. Isso chega a uma eficácia de 91,5% de dados úteis.

Os sensores usados no experimento mostraram-se suficientemente robustos, mas para testes futuros incluindo o simulador em movimento, deve-se utilizar reguladores de tensão mais robustos e uma blindagem de voltagem maior, não permitindo a passagem de alta corrente para a placa de aquisição de dados *wifi* para não queimá-la.

O conjunto de dados apresentados a seguir representa os ensaios feitos com o simulador veicular sem movimentos, com os atuadores desligados. Nesse ensaio foi usado o software de simulação baseado no *Unity 3D* desenvolvido pelo LART, simulando o teste do alce em um trecho da rodovia que liga Brasília à Goiânia.

Após a coleta dos dados fisiológicos e preenchimento dos questionários subjetivos pelos participantes, foi realizada a análise desses dados.

Os dados colhidos durante o experimento foram de três tipos:

- Questionário subjetivo preenchido à mão pelos voluntários;
- Dados fisiológicos gravados no computador em um bloco de arquivo .log contendo dois nós de sensores. O primeiro nó representa dois sensores de respiração e dois sensores de pressão e o segundo nó representa o sensor de GRS.
- Gravação das imagens da tela do computador usado para a simulação durante a rodada de ensaio.

O procedimento adotado para a análise dos dados constituiu-se de quatro fases:

- Leitura dos dados no computador via *MatLab*;
- Transcrição dos dados colhidos no questionário subjetivo em um arquivo em Excel e sua posterior análise estatística.
- Visualização dos eventos ocorridos durante a simulação pelas imagens captadas da tela do computador.
- Análise dos gráficos gerados pelos dados fisiológicos correlacionados com os eventos durante a simulação.

Os dados fisiológicos foram gravados no computador e usou-se o *MatLab* para ler os resultados e fazer gerar os gráficos para cada sensor. Os dados foram gerados em dois tipos de arquivos diferentes, um arquivo .log e diversos arquivos .jpg que foram os printscreens da tela. Cada conjunto de sensor possuía o seu gráfico específico; sendo que no primeiro nó, tinham-se os dados dos sensores de respiração e pressão na mão, e no segundo nó, os dados do GSR. Foram desenvolvidas funções no *MatLab* para a leitura dos dados, geração dos gráficos correspondentes com normalização para a respiração e pressão e com uma faixa específica de valores do eixo Y para os dados de GSR.

No *Matlab* foi usado um filtro passa-baixa para diminuir o ruído dos dados, com frequência de corte de 40 Hz e período de amostragem $T_s = 0,0001$. A função de transferência de um filtro de 1ª ordem pode ser dada por:

$$G(s) = \frac{K \cdot a}{a + s} \quad (5.1)$$

Sendo $s = -a$, o polo do filtro e “K” o ganho do filtro.

A frequência de corte, f_c do filtro pode ser determinada por: $\omega = a$, o que resulta em:

$$a = 2 \cdot \pi \cdot f_c \quad \text{Portanto:} \quad (5.2)$$

$$f_c = \frac{a}{2 \cdot \pi} \text{ em Hz.} \quad (5.3)$$

Fazendo a discretização, tem-se:

$$\frac{u(s)}{e(s)} = G(s) = \frac{K.a}{a+s} \quad (5.4)$$

Sendo “u” é o sinal de saída do filtro e “e” é o sinal de entrada. Então:

$$a.u(t) + s.u(t) = k.a.e(t), \text{ logo:} \quad (5.5)$$

$$a.u(t) + \frac{d}{dt}u(t) = k.a.e(t) \quad (5.6)$$

Pela aproximação por Euler, tem-se:

$$a.u(k-1) + \frac{u(k)-u(k-1)}{T_s} = k.a.e(k-1), \text{ o que resulta em:} \quad (5.7)$$

$$u(k) + (1 - Ts.a).u(k-1) + Ts.k.a.e(k-1), \quad (5.8)$$

sendo “Ts” o período de amostragem. E para K = 1, tem-se:

$$u(k) + (1 - Ts.a).u(k-1) + Ts.a.e(k-1) \quad (5.9)$$

Os scripts usados no *Matlab* podem ser conferidos nos Apêndices D e E

Foram também implementados os cálculos das frequências médias usando para tal a Transformada de Fourier Janelada – STFT (Short Time Fourier Transform) para um período de tempo de 15 segundos ao longo de todo o tempo do ensaio com a visualização gráfica por função de observação de Hamming. Tal implementação mostra a variação dos valores em um dado período de tempo estabelecido.

A aplicação da STFT neste caso se deu porque as funções variam com o tempo (não-estacionárias). Consiste em mover uma janela de tempo pequeno sobre o sinal temporal e obter o espectro de Fourier em função do deslocamento no tempo. A idéia é isolar o sinal nas vizinhanças do instante t, então aplicar a Transformada de Fourier afim de estimar o

conteúdo “local” de frequência neste instante. O resultado é representado em termo da amplitude da função amplitude do envelope e seu quadrado representa os valores do espectro de força em cada posição.

A STFT tem a seguinte formulação:

$$STFT_f^u(t', u) = \int_t [f(t) \cdot W(t - t')]. e^{-j2\pi ut} dt \quad (5.10)$$

Onde: t' é o parâmetro de tempo; “ u ” é o parâmetro de frequência; $f(t)$ é a função a ser analisada; $W(t - t')$ e a função janela.

No cálculo da frequência média foi usada a função do Matlab para a Transformada de Fourier “ $Y = \text{fft}(x)$ ”, no caso:

$$X(k) = \sum_{j=1}^N x(j) \omega_N^{(j-1)(k-1)}, \quad (5.11)$$

Onde:

$$\omega_N = e^{(-2\pi i)/N} \quad (5.13)$$

Para a STFT, o cálculo no Matlab foi implementado com a seguinte linha de código, vide Apêndice F:

```
(...) x_ = x_(:) .* window(@hamming, length(x_));  
x = fft(x_); (...)
```

No caso, a função janela usada foi a de Hamming, com a função do Matlab “ $w = \text{hamming}(L)$ ”. Sendo a função Hamming dada pela função:

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(2\pi \frac{n}{N}\right), 0 \leq n \leq N \quad (5.14)$$

E comprimento da janela, “ L ”:

$$L = N+1 \quad (5.15)$$

Para os dados de respiração, pressão e GSR, a frequência média mostra modificações comportamentais nos eventos indicando a capacidade de se identificar a relação com os eventos estudados através da variação da intensidade do sinal, indicando uma

maior ou menor frequência. No caso da respiração, valores altos de frequência indicam uma respiração ofegante. Em relação à pressão da mão, a taxa de mudança de aplicação de força no volante. E para o sinal de GSR, a resposta temporal do condutor às situações de estresse. Respostas e mudanças fisiológicas mais rápidas indicariam valores maiores.

Também foi implementado o cálculo da Média Quadrática (RMS - Root Mean Square) ou valor eficaz para todos os gráficos analisados, vide Apêndice G. Tais valores mostram as médias quadráticas entre os intervalos de 15 segundos.

Os resultados do valor eficaz também mostram modificações comportamentais nos eventos indicando a capacidade de se identificar sua relação com os eventos estudados. Altos valores do valor eficaz indicam para o sinal de respiração, uma respiração mais profunda e uma respiração menos profunda, considerando valores menores comparativamente. Para o sinal de pressão, similarmente, temos uma pressão maior na palma da mão para valores de RMS maiores e menores para valores de baixa pressão. Já para o sinal de GSR, valores baixos indicam estresse do voluntário, ao contrário de valores maiores, que indicam um estado emocional de calma.

Na análise dos dados, por convenção, foram usados dos dados dos sensores de número 1, embora os sensores redundantes tenham funcionado bem. Esses dados foram analisados juntamente com os eventos ocorridos durante a simulação através das imagens de *printscreens* gravadas ao longo dos ensaios e com uma taxa média de 10 imagens por segundo. Dessas imagens foi possível observar elementos de controle do veículo, como: uso dos pedais, posição do volante, marcha do motor e posição do volante. Foi possível também avaliar elementos externos ao veículo, como: os obstáculos intencionalmente colocados nos pontos de controle e posição do veículo na estrada.

5.2.1 - Caracterização da amostra

Nesta primeira fase do experimento foram coletados os dados de 13 voluntários, sendo duas mulheres e onze homens. Os dados antropométricos dos participantes são mostrados na Tabela 13.

Procurou-se obter uma grande variedade de perfis antropométricos, desde uma voluntária feminina de baixo percentil, próximo aos 5% até um representante masculino com

alto percentil, próximo aos 95%. E também com diversos IMCs, indo desde o ectomorfo, passando pelo mesomorfo e finalizando no endomorfo. Os resultados completos dos questionários subjetivos para a FASE 1 são mostrados no Apêndice K.

Tabela 13 – Dados antropométricos dos participantes. C – Canhoto e D - Destro

Unity 3D	Vol1	Vol2	Vol3	Vol4	Vol5	Vol6	Vol7	Vol9	Vol10	Vol12	Vol13	Média	Mediana
Sexo	F	F	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
Idade (anos)	19	18	20	22	22	19	38	21	26	28	31	24	22
Peso (kg)	53	56	76	70	101	84	88	76	60	81	83,5	75,32	76
Altura (m)	1,56	1,65	1,8	1,8	1,8	1,77	1,7	1,7	1,7	1,88	1,68	1,73	1,7
Uso da Mão	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	C		

5.2.2 - Análise das medições dos dados fisiológicos

Seguindo o procedimento descrito acima, todos os dados dos voluntários foram analisados para obtenção dos resultados.

Cada conjunto de dados dos voluntários foi analisado de acordo com os eventos de controle. Tais eventos analisados foram os seguintes:

- Momento em repouso de cerca de três minutos e início da simulação com a pressão no volante com a mão esquerda por três vezes;
- Momento de estresse 1 – Visualização dos obstáculos no primeiro trecho e ação de não colidir com eles;
- Momento de estresse 2 – Visualização dos obstáculos no segundo trecho e ação de não colidir com eles;
- Final da simulação com a queda do veículo quando termina a pista.

Tais eventos foram identificados nos seus tempos de ocorrência e estes foram usados para fazer as análises dos gráficos. Os pontos temporais de controle usados na análise foram:

- Início: 1 - T_i antes - representa o período com os tempos de 40 segundos antes do voluntário engatar a primeira marcha e acelerar;
 - 2 - T_i – tempo em que o voluntário inicia a movimentação do carro no simulador;
 - 3 - T_i depois – tempo depois que o voluntário iniciou a simulação.

- OBT1: 4 - OBT1 antes – representa o período antes do obstáculo 1;
 - 5 - OBT1 – representa o período durante a passagem pelo obstáculo 1;
 - 6 - OBT1 depois – representa o período depois da passagem pelo obst. 1.
- OBT2: 7 - OBT2 antes – representa o período antes do obstáculo 2;
 - 8 - OBT2 – representa o período durante a passagem pelo obstáculo 2;
 - 9 - OBT2 depois – representa o período depois da passagem pelo obst. 2.
- Final: 10 - Final antes – representa o período antes do término da pista;
 - 11 - Final – representa o período durante a passagem pelo término da pista;
 - 12 - Final depois – representa o período depois da passagem pelo término da pista.

Cada um desses eventos foi marcado nos gráficos do *MatLab* em um laço de ΔT , captando o evento um pouco antes e um pouco depois. Uma função do *MatLab* gerou um conjunto de 25 imagens usando os *printscreens* das telas marcadas com o tempo inicial e tempo final e intercaladas entre elas. Isso foi possível, porque cada imagem gravada foi nomeada pelo horário exato em horas:minutos:segundos:milissegundos no momento em que eram gravadas durante o experimento. Esse procedimento facilitou a leitura e análise das imagens de acordo com o tempo do evento. A Tabela 14 mostra os momentos de ocorrência dos eventos principais e o tempo de início de cada um deles. Os dados de dois voluntários (voluntários 8 e 11) não puderam ser usados na avaliação porque apresentaram falha durante o experimento, sendo descartados da análise.

Em seguida, com o resultado dos dados do questionário subjetivo, a partir dos gráficos com os valores de frequência média e valor eficaz em função do tempo dos dados dos sensores de GSR, respiração e pressão e os conjuntos de 25 imagens gravadas para cada um dos eventos escolhidos, foi possível analisar todos os ensaios de forma coordenada.

Tabela 14 – Dados temporais dos eventos da simulação – FASE 1. T em hora:min:seg:milissegundo

Análise dos dados dos sensores fisiológicos – FASE 1											
	T inicio	T final	Δ Tfinal	Ti simulação	Δ Ti	T OBT1	Δ T1	Ti OBT2	Δ T2	T Abismo	Δ Tabs
Vol1	10:04:50:260	10:16:04:920	675	10:08:29:500	219	10:11:15:013	385	10:13:04:090	494	10:15:40:606	650
Vol2	10:32:41:600	10:43:19:930	639	10:35:57:840	196	10:38:42:080	361	10:40:29:098	468	10:42:53:030	612
Vol3	11:13:28:920	11:21:36:010	488	11:15:56:900	148	11:17:50:960	262	11:19:38:360	370	11:21:15:067	467
Vol4	11:32:43:300	11:41:46:340	543	11:36:26:010	223	11:38:28:900	345	11:39:45:960	423	11:41:16:349	513
Vol5	11:50:40:800	11:58:50:480	490	11:53:52:700	192	11:55:40:400	300	11:56:47:060	367	11:58:20:573	460
Vol6	12:33:25:540	12:42:03:330	518	12:37:05:700	220	12:38:57:500	332	12:40:09:800	404	12:41:35:709	490
Vol7	14:18:34:450	14:32:12:250	818	14:21:22:250	168	14:25:21:890	407	14:27:51:640	557	14:31:32:873	778
Vol8	Erro de gravação dos dados										
Vol9	15:15:37:050	15:26:27:970	651	15:19:29:600	232	15:21:43:130	366	15:23:43:070	486	15:25:57:833	620
Vol10	15:38:36:510	15:50:24:130	708	15:41:30:700	174	15:45:04:170	388	15:47:00:230	504	15:49:57:271	681
Vol11	Erro de gravação dos dados										
Vol12	16:34:26:270	16:44:48:360	623	16:37:48:733	203	16:40:23:283	358	16:41:55:744	450	16:44:11:568	586
Vol13	16:57:44:475	17:07:09:455	584	17:01:27:798	242	17:03:31:068	366	17:04:52:889	447	17:06:43:931	558
Média (s)			612,455		201,5	Intervalo	351,8	Intervalo	451,8	Intervalo	583,18
Média (min:s)			10:12		03:21	02:31	05:52	01:40	07:32	02:11	09:43

5.3 - MEDIÇÃO DA RESPIRAÇÃO

A análise do dado fisiológico de respiração foi realizada em conjunto com os dois tipos de gráficos plotados usando o *MatLab*, que são: o gráfico com os dados temporais dos valores de frequência média (Hz) que mediu a taxa de variação da respiração e o gráfico de valor eficaz, que mediu a intensidade de respiração, ambos nos tempos em que ocorriam os eventos. Para exemplo, são mostrados nas Figura 81 e Figura 82 os gráficos para o voluntário 5, escolhido por ter uma característica bem similar ao que ocorreu em grande parte dos voluntários e por não ter tido pontos experimentais excluídos das análises.

As análises foram feitas em conjunto com os dois gráficos, sendo que para cada um desses gráficos e para cada um dos voluntários foram extraídos os pontos de controle, de 1 a 12 e em seguida plotados as curvas das frequências médias e valor eficaz pelos eventos de controle para cada um dos voluntários, vide Figura 83 à Figura 86.

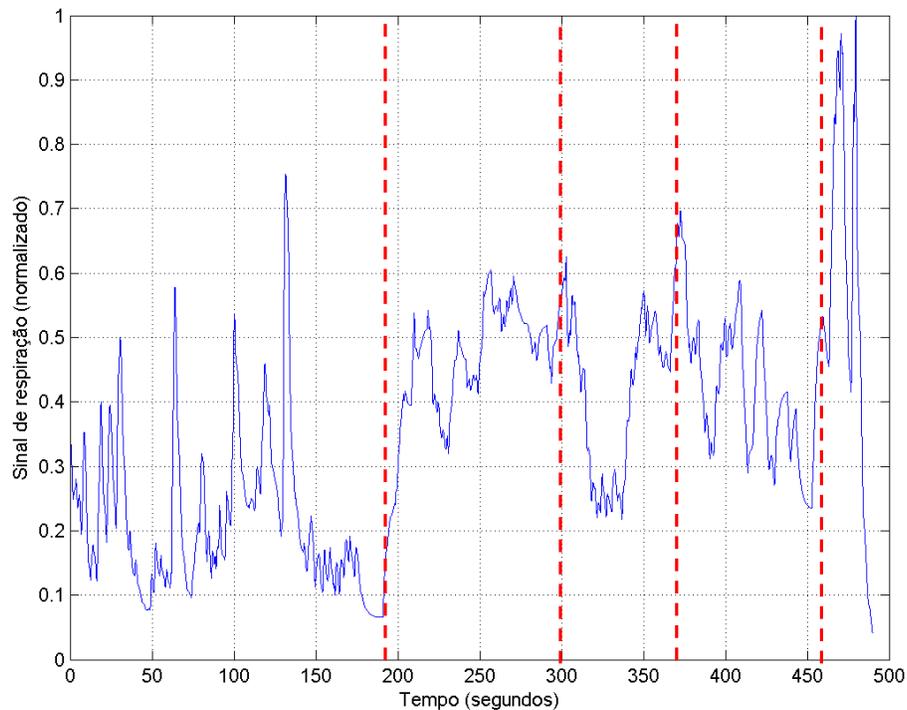


Figura 80 – Sinal fisiológico de respiração para o voluntário 5 – valores normalizados com marcação dos tempos de controle (linha tracejada vermelha).

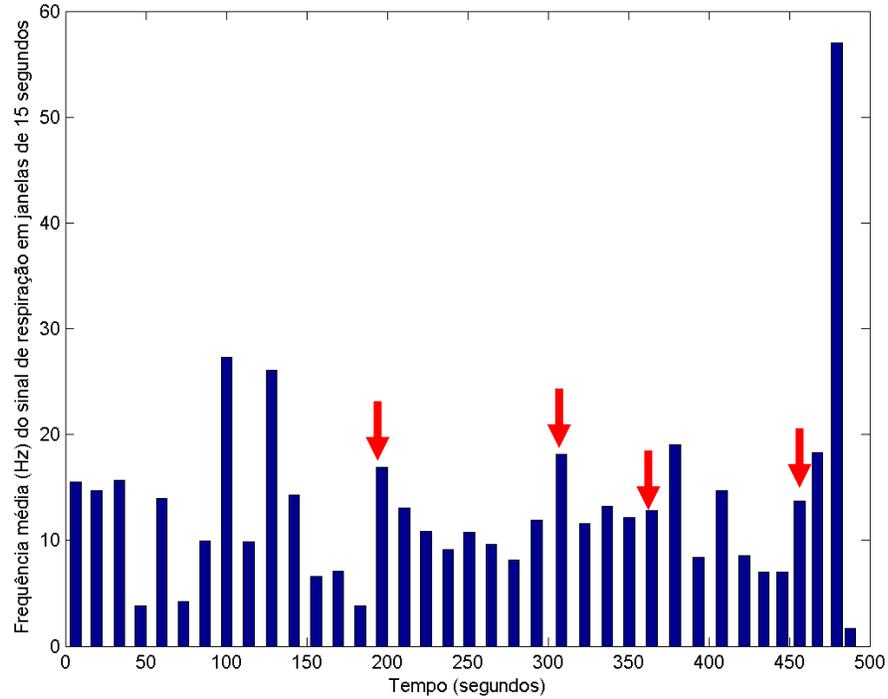


Figura 81 – Gráfico das frequências médias do sinal de respiração para o voluntário 5 com marcação dos tempos de controle (seta vermelha).

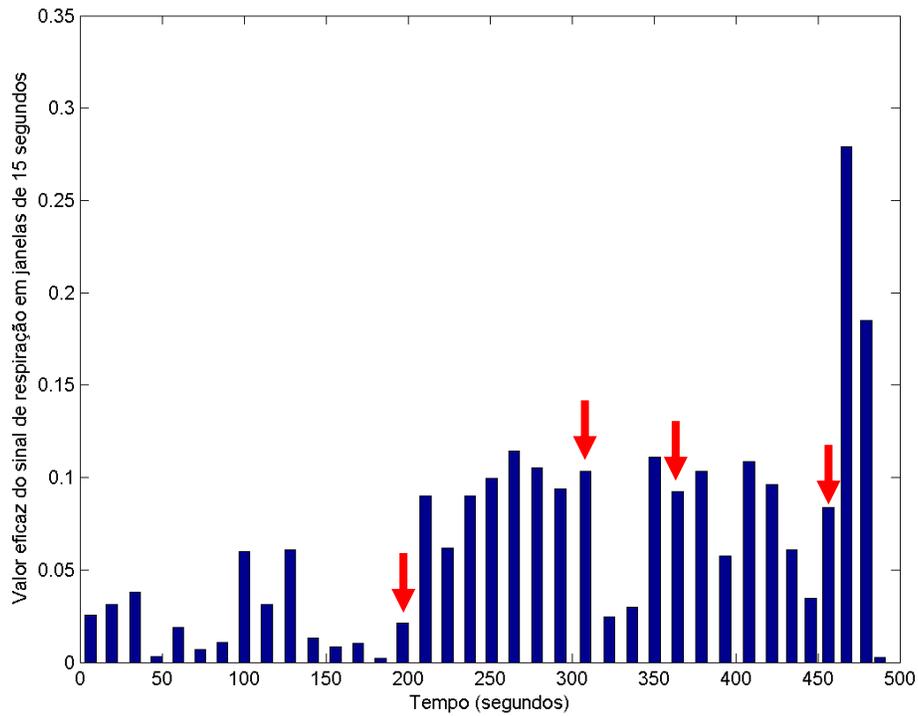


Figura 82 – Gráfico do valor eficaz para o sinal de respiração – voluntário 5 com marcação dos tempos de controle (seta vermelha).

5.3.1 - Frequência Média (Hz)

Para o gráfico dos valores de frequência média, que mede a variação da taxa de respiração do voluntário ao longo do tempo, o simulador conseguiu identificar em 100% dos casos uma variação nos eventos. Três pontos foram excluídos das análises por estarem muito fora das curvas características, portanto, não representativos.

Dos 44 eventos analisados, apenas 9 tiveram uma mudança leve (20% dos casos) e 35 mudanças significativas (80%) de variação na frequência de respiração.

Caracterizando essa taxa de mudança, foi analisado para cada ponto temporal de controle um conjunto de três pontos, sendo um ponto imediatamente antes, o intermediário (que seria o ponto que mais se aproxima do valor exato do ponto temporal de controle) e um ponto imediatamente após. É considerada inflexão, quando os pontos anterior e posterior têm valores acima ou abaixo do valor do ponto mediano. Em caso de valores crescentes, considera-se o termo “Crescente” e o mesmo para os pontos com características decrescentes ao longo do tempo. Do total dos 44 conjuntos analisados, 28 deles foram inflexões (63,6%), 3 conjuntos de pontos (7%) foram situações decrescentes e 13 conjuntos de pontos (29,6%) foram situações crescentes. Isso indica que o simulador com a captação dos sinais fisiológicos de respiração consegue identificar uma situação de mudança de sensação por parte dos voluntários e se ela é inflexiva, crescente ou decrescente. Tais dados podem ser verificados na Tabela 16.

Os gráficos da Figura 83 mostram as variações de frequência média de respiração antes, ao longo e depois dos eventos de controle. Pode-se notar que a escala em Y variou de valores de 0-50 e 0-20, formando as classes dos voluntários acima do valor 30 e abaixo de 30. Sete voluntários (2, 3, 6, 7, 10, 12 e 13) tiveram valores variando de 0-50, apontando altas frequências de respiração, comparados com os outros quatro voluntários (1, 4, 5, e 9) que tiveram valores na escala de 0-20, o que indicou uma respiração menos ofegante.

Analisando os dados dos eventos temporais e sua evolução com o tempo para todos dos voluntários, observa-se uma variação grande entre eles.

Pela Figura 84, pode-se avaliar o gráfico da seguinte forma:

- os voluntários 1, 6, 7, 13 tiveram uma evolução crescente da taxa de respiração;

- os voluntários 2 e 10 tiveram frequências maiores no início e no obstáculo 2;
- os voluntários 3 e 12 tiveram uma diminuição constante da taxa de respiração;
- o voluntário 4 teve altas taxas no início e no final e
- os voluntários 5 e 9 tiveram frequências maiores no obstáculo 1 e no final;

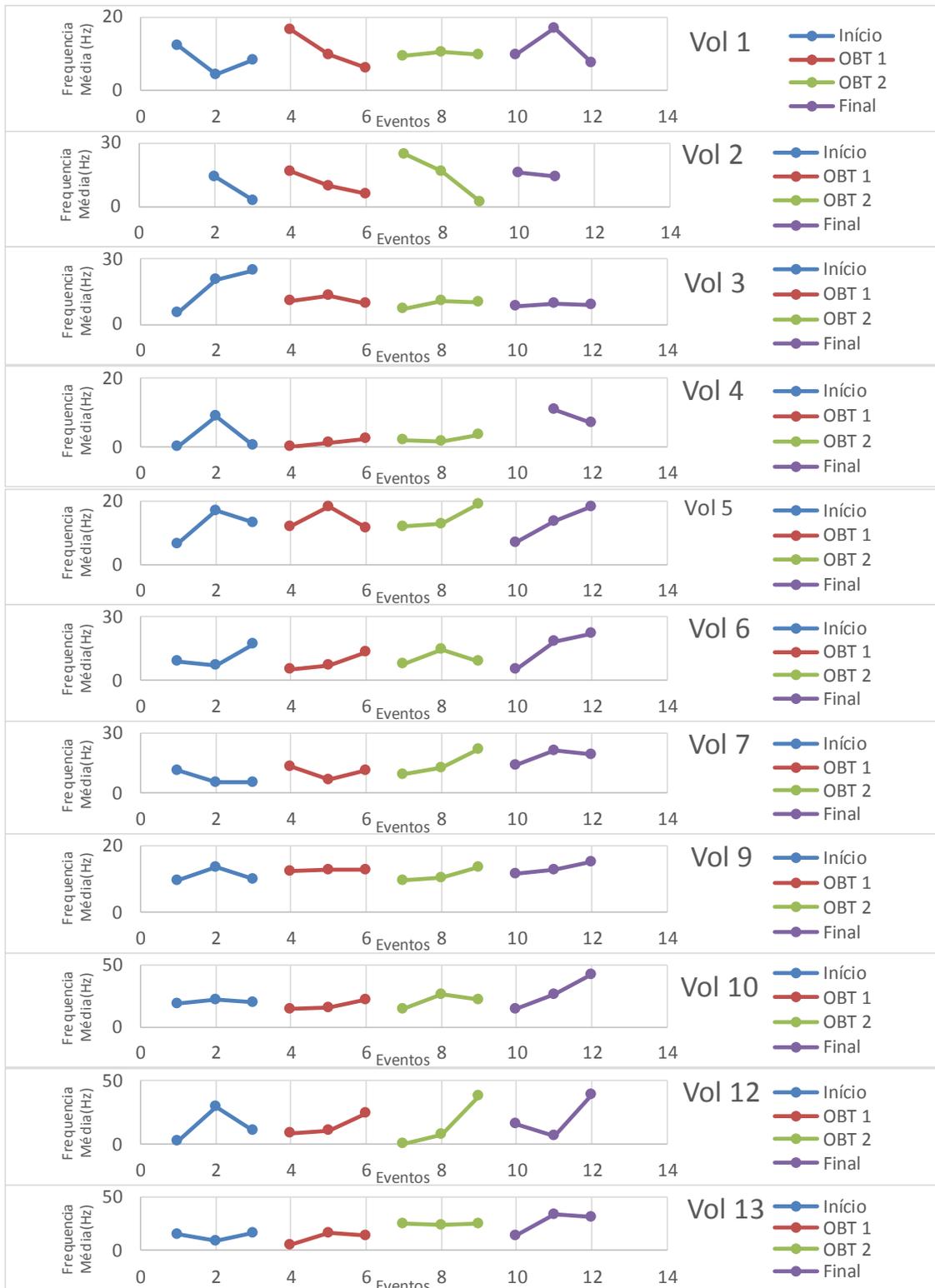


Figura 83 – Gráficos de frequência média para o sinal de respiração para todos os voluntários nos pontos de controle.

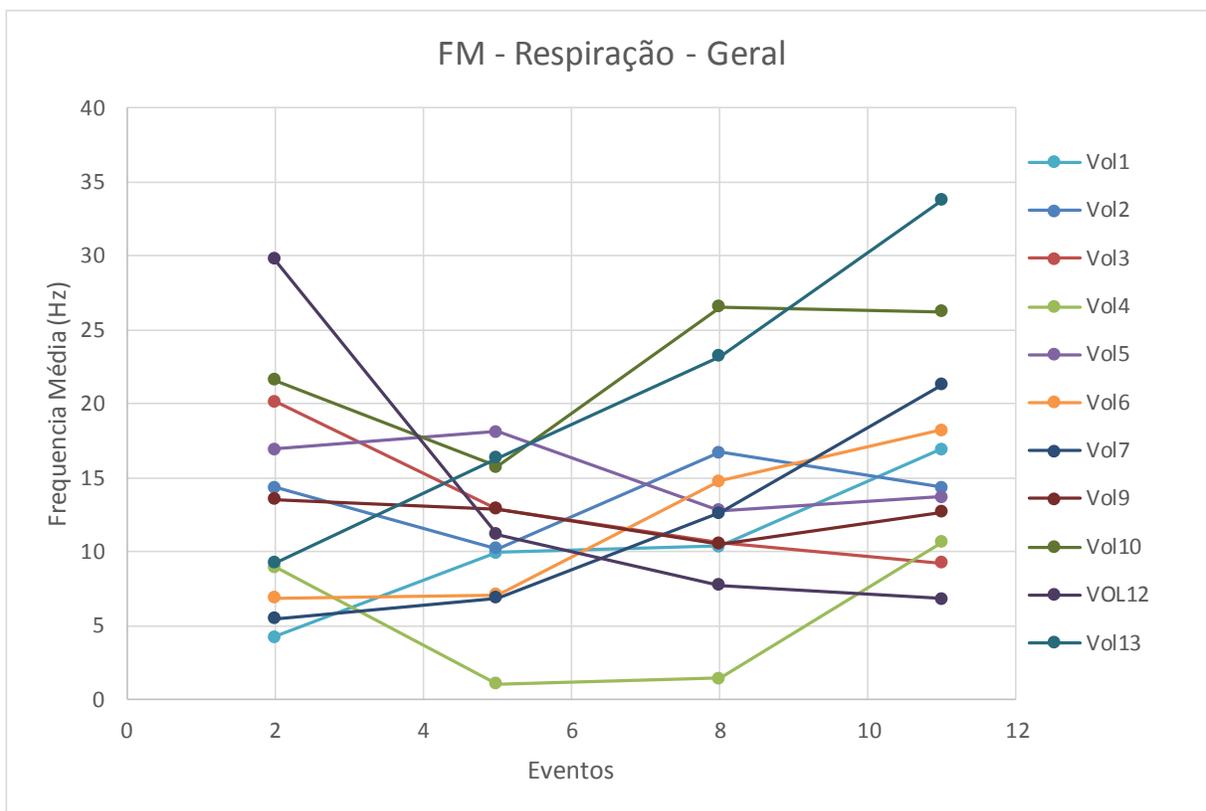


Figura 84 – Evolução ao longo de ensaio da frequência média para todos os voluntários nos pontos de controle.

5.3.2 - Valor Eficaz (RMS)

Em relação aos valores calculados de RMS, para a respiração, tais valores identificam a intensidade de respiração. Diferentemente de sua taxa, obtida pela frequência média.

Os resultados para os dados de respiração para os pontos de controle temporais mostram que para o RMS dos 44 eventos analisados, 14 tiveram uma mudança leve (32% dos casos), 26 (59%) tiveram mudanças significativas de variação na intensidade de respiração e apenas 4 (9%) não houve mudança significativa.

Caracterizando essa taxa de mudança, 22 conjuntos de pontos foram inflexões (50%), 8 conjuntos de pontos (18,2%) foram situações decrescentes e 10 conjuntos de pontos (22,7%) foram situações de variação crescente, vide Tabela 16.

Os gráficos apresentados na Figura 85 mostram as variações de RMS de respiração ao longo dos eventos de controle. Pode-se notar que a variação de escala em Y do RMS varia bastante entre duas classes de voluntários, uma com valores máximos de 0,3 a 0,5 de RMS e a outra com valores de RMS abaixo de 0,2. Oito deles (vols. 1, 3, 5, 6, 7, 9, 12, e 13) ficaram com uma variação de 0 a 0,5 indicando que esses voluntários tiveram uma intensidade maior da respiração, comparado aos outros três voluntários (2,4, 10) que apresentaram baixos valores de RMS, de 0,01 a 0,2, indicando que durante a simulação a respiração deles não foi muito intensa.

Com a análise dos dados de RMS dos eventos temporais e sua evolução com o tempo para todos dos voluntários, comparativamente com os dados de frequência média, observa-se também uma grande variação entre eles.

Pela Figura 86, pode-se avaliar o gráfico apresentado com a variação de RMS pelos eventos controle da seguinte forma:

- os voluntários 1 e 3 tiveram uma evolução crescente da intensidade de respiração;
- os voluntários 2 e 6 tiveram intensidades maiores no início e no obstáculo 2;
- os voluntários 5, 9 e 13 tiveram intensidades maiores no obstáculo 1;
- o voluntário 4, 10 e 12 tiveram as mais altas intensidades no início;
- o voluntário 7 teve frequências maiores no obstáculo 1 e no final;

Uma comparação entre os resultados de frequência média e RMS permite classificar os voluntários em quatro tipos de acordo com suas características de respiração. Nota-se que dos 11 voluntários analisados, 5 deles (3, 6, 7, 12, e 13) tiveram uma respiração ofegante e com alta intensidade; um (4) teve uma respiração menos ofegante e com baixa intensidade e 5 voluntários variaram essas características, com os voluntários 1, 5, e 9 com baixa frequência e alta intensidade e os voluntários 2 e 10 com alta frequência e baixa intensidade.

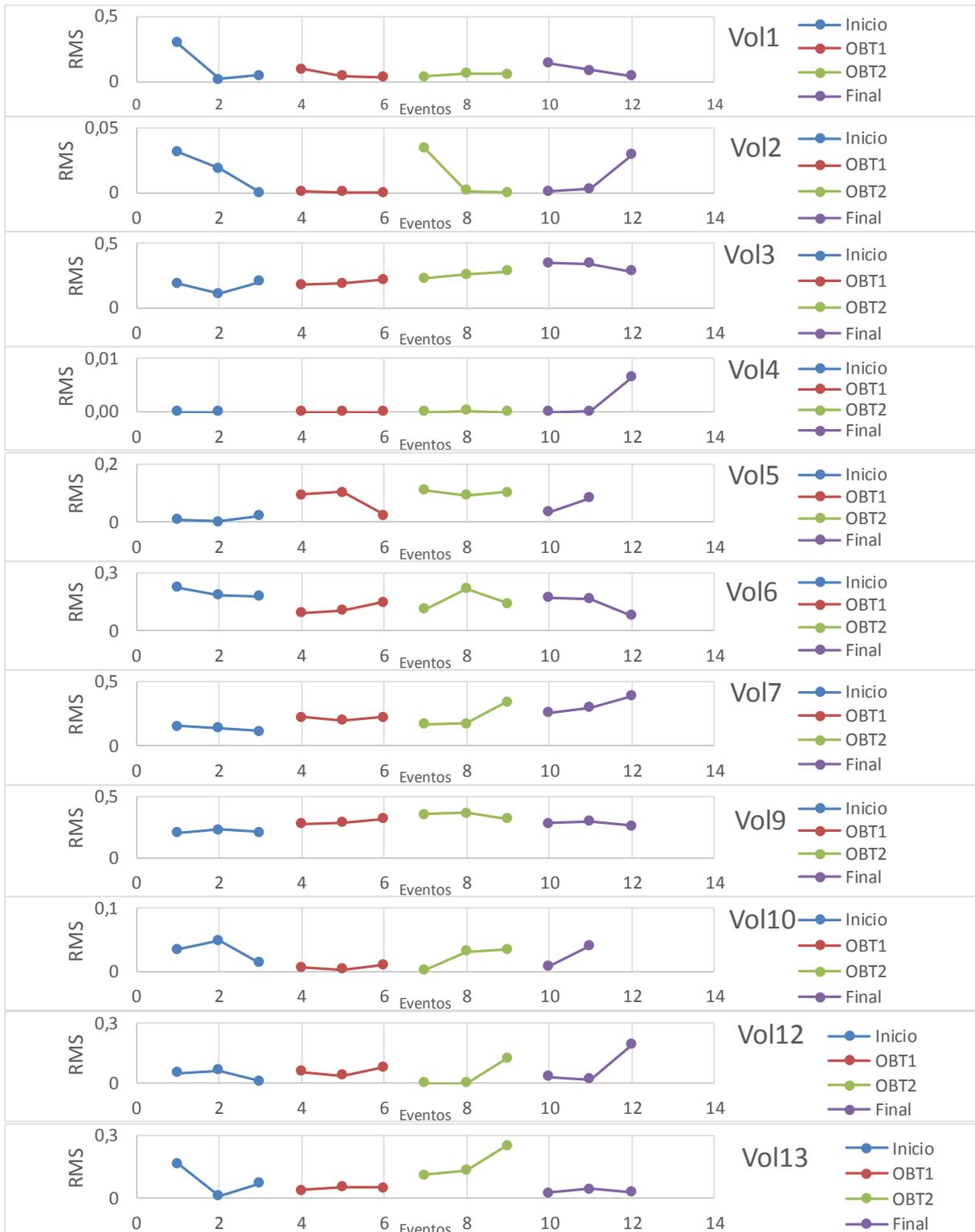


Figura 85 - Gráficos de RMS para o sinal de respiração para todos os voluntários nos pontos de controle.

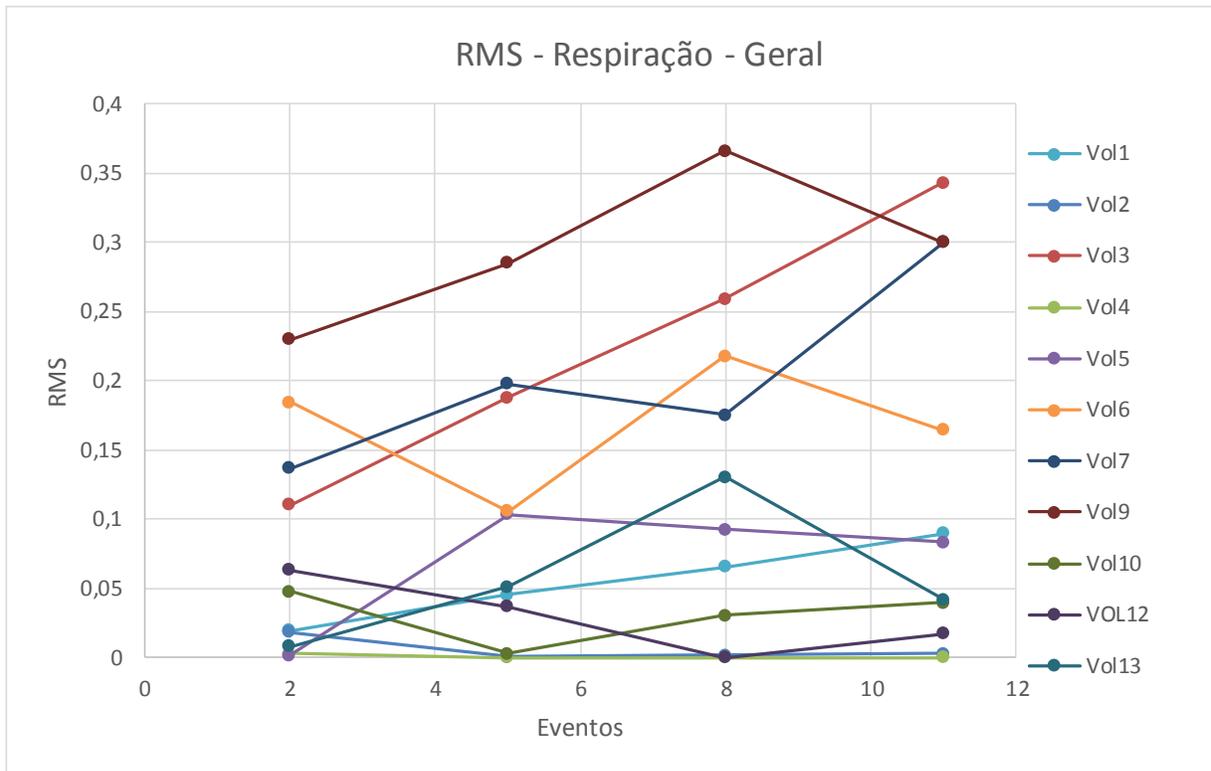


Figura 86 - Evolução ao longo de ensaio do RMS do sinal de respiração para todos os voluntários nos pontos de controle.

5.4 - PRESSÃO NO VOLANTE (MÃO ESQUERDA)

Continuando a análise, usando os mesmos procedimentos feitos para os dados de respiração, serão mostrados os resultados das análises para os gráficos de pressão na mão.

A análise do dado fisiológico de pressão da mão esquerda no volante foi realizada em conjunto com os gráficos com os dados temporais dos valores de frequência média que mediram a taxa de variação da pressão, bem como o gráfico dos valores de valor eficaz que mediu a intensidade da pressão aplicada, ambos nos tempos em que ocorriam os eventos, vide Figura 88 e Figura 89.

Uma característica comum apresentada em todos os gráficos foi a indicação distinta do marcador para início da simulação com o aperto da mão ao volante por três vezes.

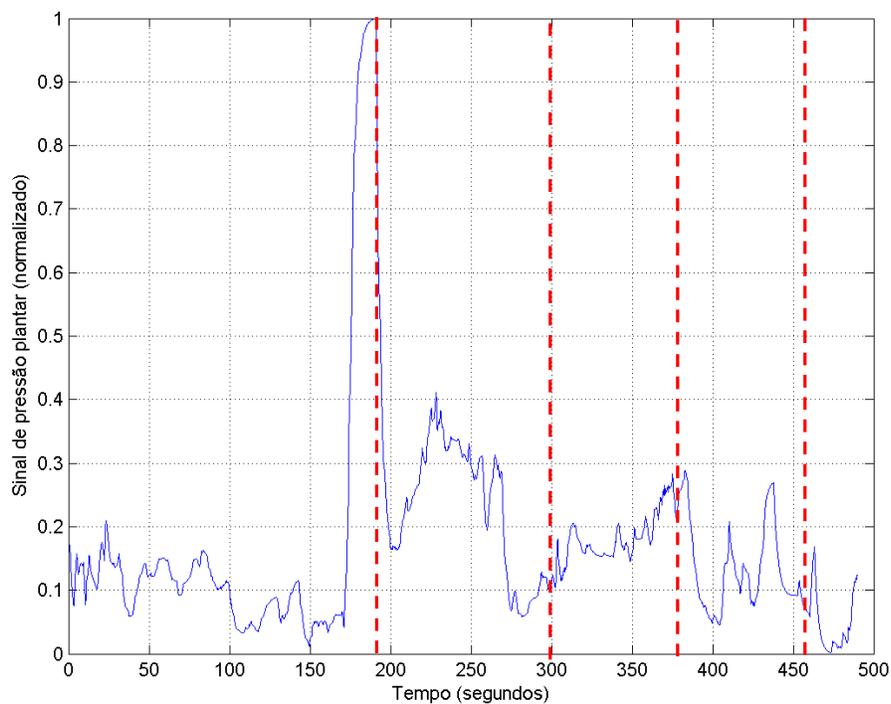


Figura 87 - Sinal fisiológico de pressão para o voluntário 5 – valores normalizados com marcação dos tempos de controle (linha tracejada vermelha).

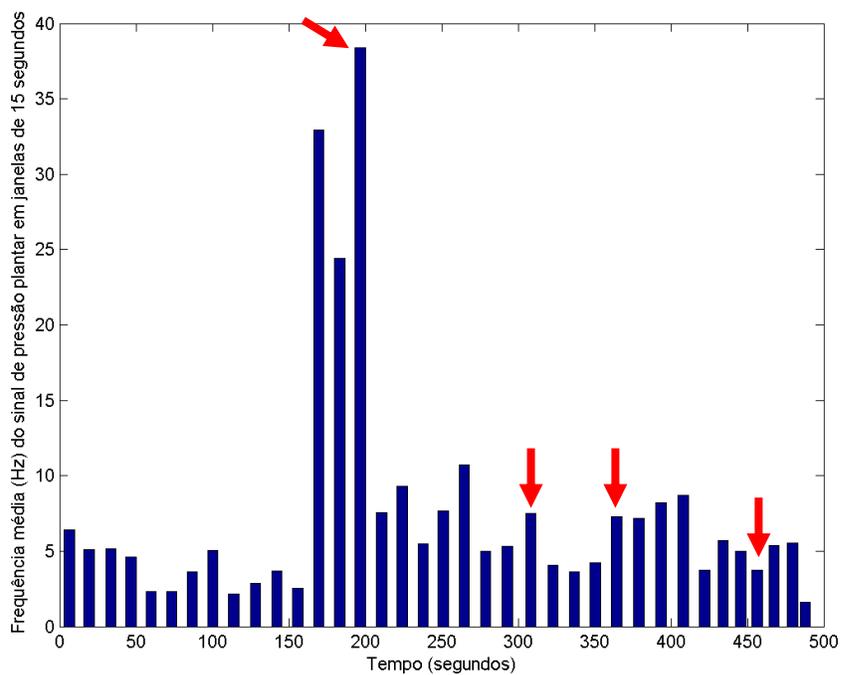


Figura 88 - Gráfico das frequências médias em Hz do sinal de pressão para o voluntário 5 com marcação dos tempos de controle (seta vermelha).

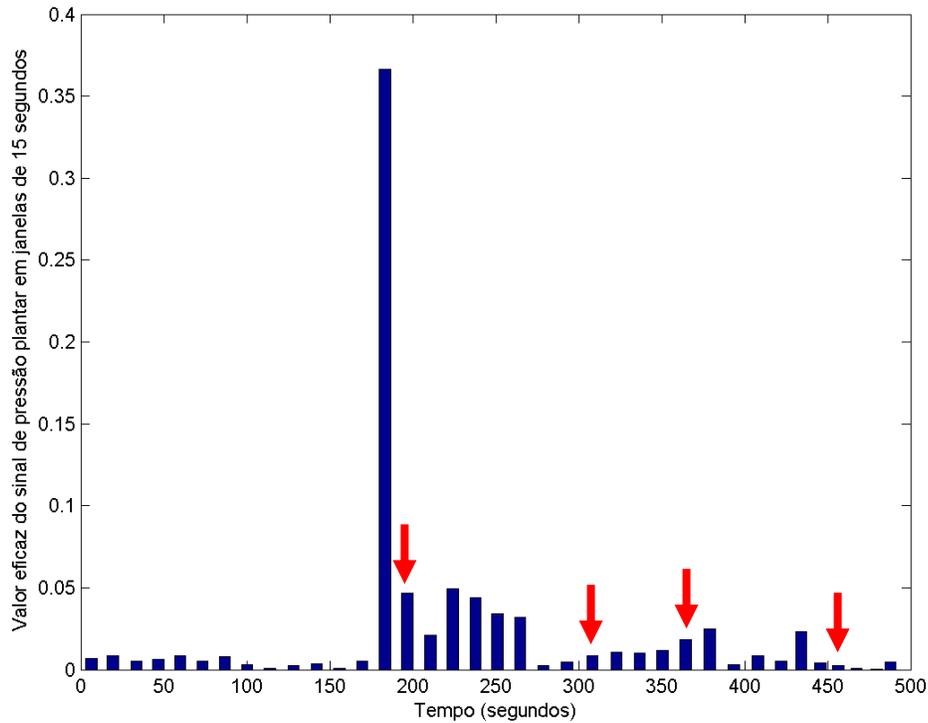


Figura 89 - Gráfico do valor eficaz (RMS) do sinal de pressão para o voluntário 5 com marcação dos tempos de controle (seta vermelha).

5.4.1 - Frequência Média (Hz)

Para o gráfico dos valores de frequência média, que mede a variação da taxa de pressão que o voluntário aplica ao volante pela mão esquerda ao longo do tempo, o simulador conseguiu identificar em 100% dos casos uma variação nos eventos, embora tendo, muitas vezes, apenas uma pequena variação. Apenas um ponto foi excluído das análises por estar muito fora das curvas características, tendo sido considerado não representativo.

Dos 44 eventos analisados, apenas 10 tiveram uma taxa de mudança leve (22,7% dos casos – variações abaixo de 2 Hz) e 34 mudanças significativas (77,3%) de variação na frequência de pressão.

Os gráficos da Figura 90 mostram as variações de frequência média de pressão antes, ao longo e depois dos eventos de controle.

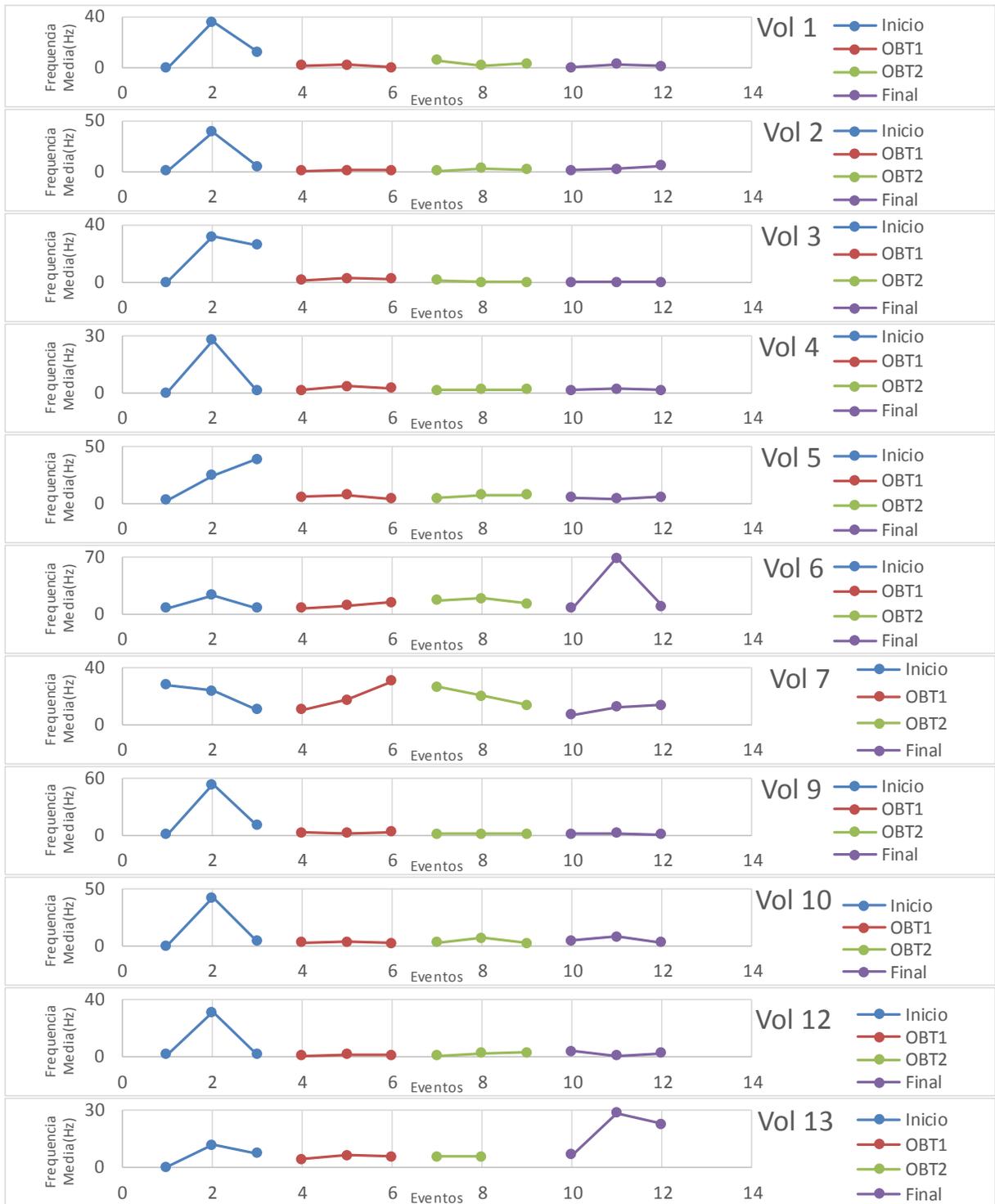


Figura 90 - Gráficos de frequência média para o sinal de pressão para todos os voluntários nos pontos de controle.

Caracterizando essa taxa de mudança, 32 conjuntos de pontos foram inflexões (72,7%), 4 conjuntos de pontos (9,1%) foram situações decrescentes e 8 conjuntos de pontos (18,2%) foram situações crescentes, vide Tabela 16.

Isso indica que o simulador com a captação dos sinais fisiológicos de pressão consegue identificar em todos dos casos uma situação de variação de tensão por parte dos voluntários que é passada ao volante.

De acordo com os valores máximos apresentados, nove voluntários (vols. 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 12, e 13) ficaram com uma variação de 0 a 50 Hz, indicando que eles tiveram valores de frequência de baixo para médio comparado aos outros dois voluntários (6 e 9) que apresentaram valores de frequência acima de 60 Hz. Contudo, descartando o dado do início, onde o voluntário apertava o volante pela indicação do pesquisado, a frequência média encontrada durante o ensaio foi bem baixa, ficando em torno de 8 Hz, indicando que não houve uma mudança muito brusca nas pressões aplicadas ao volante.

Outro resultado que se pode observar é que todos os voluntários deram o aperto inicial no volante, vide Figura 91. A partir dele, também, observa-se que:

- os voluntários 6 e 13 tiveram uma grande variação de pressão na mão na fase final;
- os voluntários 2, 6, 7, 10 e 12 tiveram um aumento de pressão no volante na fase do obstáculo 2 que foi considerada a mais difícil;
- os voluntários 1, 3, 4, 5 e 9, tiveram um aumento proporcional de pressão na fase do obstáculo1 em relação aos outros;

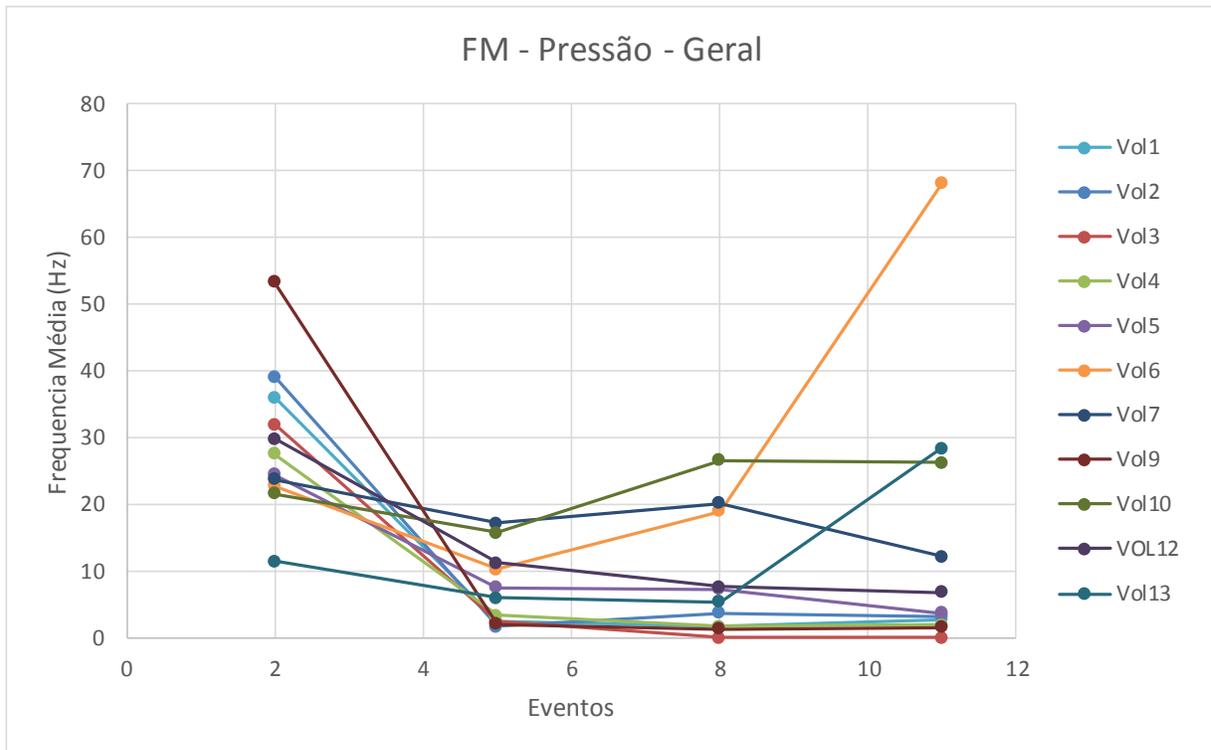


Figura 91 - Evolução ao longo de ensaio dos valores de Frequência Média do sinal de pressão para todos os voluntários nos pontos de controle.

5.4.2 - Valor Eficaz (RMS)

Em relação aos valores calculados de RMS, para a pressão na palma da mão esquerda no volante, tais valores identificam a intensidade de pressão aplicada ao longo do tempo.

Os resultados para os dados de pressão para os pontos de controle temporais mostram que para o RMS dos 44 eventos analisados, 17 tiveram uma mudança leve, com RMS abaixo de 0,02 (38,63% dos casos), já 20 (45,45%) tiveram mudanças significativas de variação na intensidade de respiração, acima do RMS de 0,02, e 7 conjuntos (15,9%) foram pontos que permaneceram praticamente constantes.

Caracterizando essa taxa de mudança dos valores de RMS, 25 conjuntos de pontos foram inflexões (56,8%), 5 conjuntos de pontos (11,36%) foram situações decrescentes, 7 conjuntos de pontos (15,9%) foram situações crescentes e 7 conjuntos (15,9%) foram pontos que permaneceram praticamente constantes. Vide gráficos da Figura 92.

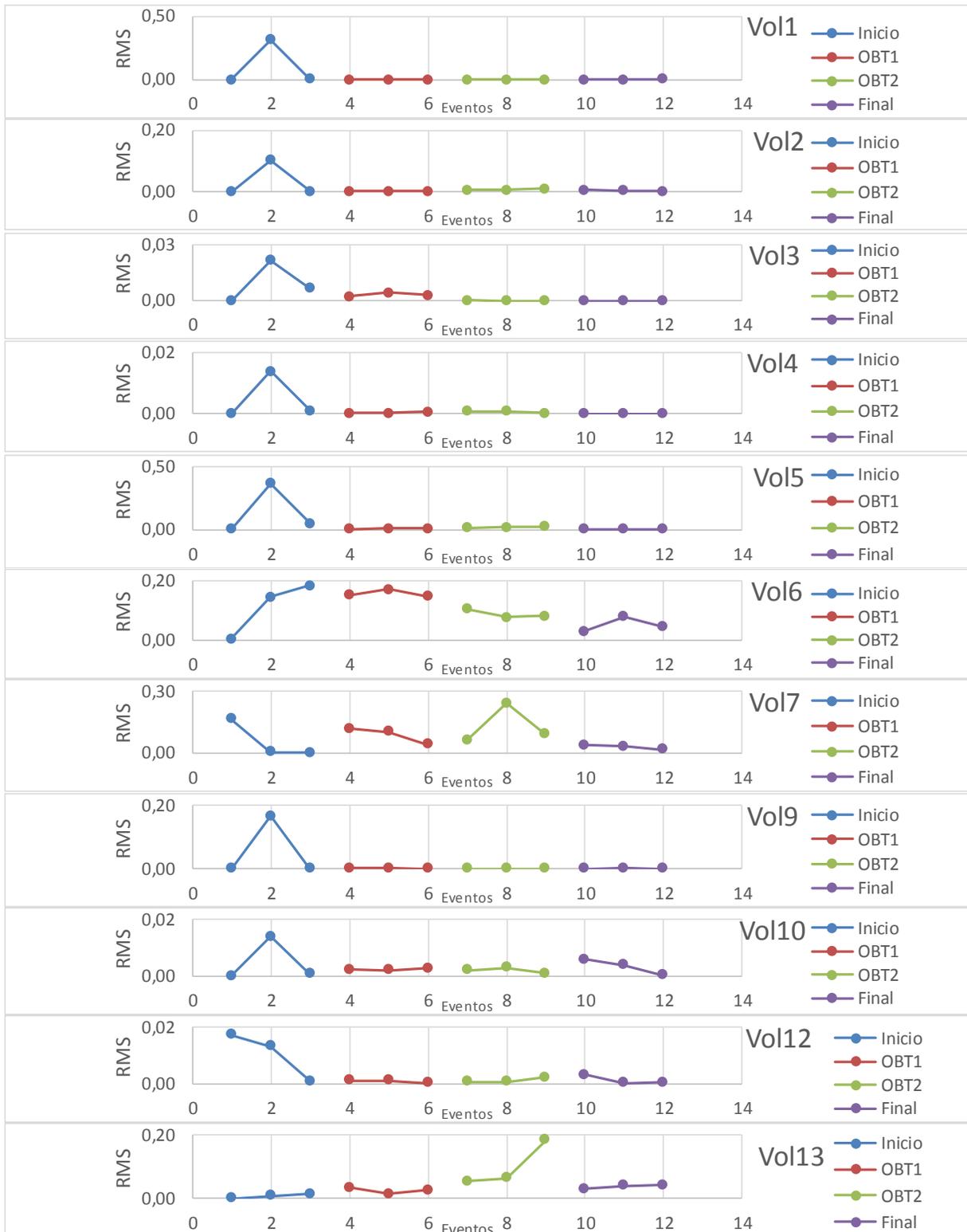


Figura 92 – Gráficos de Valor Eficaz para o sinal de pressão para todos os voluntários nos pontos de controle.

Analisando os dados de RMS dos eventos temporais e sua evolução com o tempo para todos dos voluntários, observa-se uma maior constância entre os voluntários, mais por conta do ato de pressionar o volante no início do ensaio.

Na análise, de acordo com os valores máximos apresentados, sete deles (vols. 1, 2, 5, 6, 7, 9 e 13) ficaram com uma variação de RMS de 0,1 a 0,5, indicando que esses voluntários tiveram valores mais altos de pressão comparados aos outros quatro voluntários (3, 4, 10 e 12) que apresentaram valores de valor eficaz de pressão abaixo de 0,1. Contudo, descartando o dado do início, onde o voluntário apertava o volante pela indicação do pesquisado, os valores de RMS encontrados durante o ensaio foi bem baixa, ficando abaixo de 0,1, indicando que não houve uma aplicação muito intensa de pressões da mão ao volante.

De acordo com a Figura 93, pode-se avaliar o gráfico da seguinte forma:

- os voluntários 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10 e 12 tiveram uma alta no início do ensaio e apresentaram valores bem baixos de pressão nos outros eventos;
- o voluntário 6 manteve a pressão alta no início e no obstáculo 1;
- os voluntários 7 e 13 mantiveram uma alta pressão no obstáculo 2;

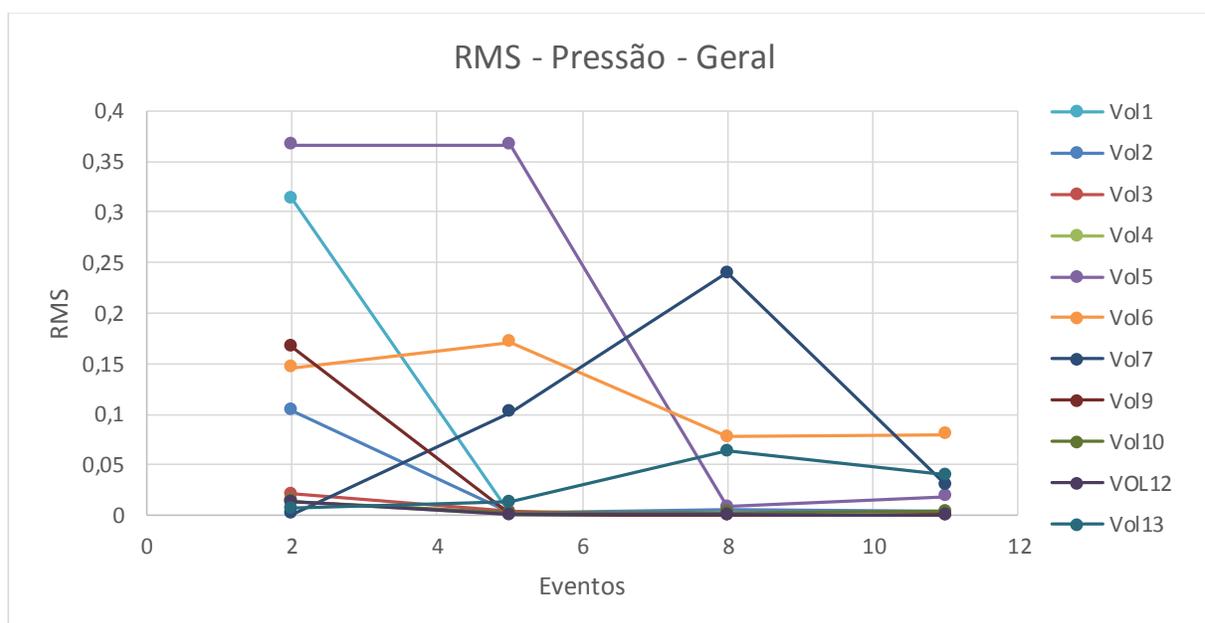


Figura 93 - Evolução ao longo de ensaio dos resultados de valor eficaz do sinal de pressão para todos os voluntários nos pontos de controle.

Fazendo uma comparação entre os valores encontrados de frequência média e RMS, observa-se que o indicador de pressão nas mãos apenas foi eficaz para medição de grandes variações de pressão ao longo do ensaio para apenas três voluntários (6, 7 e 13). Nesses voluntários, as variações de pressão em relação à frequência e intensidade variaram bastante, ao passo que nos outros oito voluntários, as variações ocorreram apenas na aplicação da pressão no início do ensaio.

5.5 - SINAL DE RESISTÊNCIA GALVÂNICA DA PELE - GSR

A análise do dado fisiológico de GSR, que mede as pequenas variações de tensão na pele, indicando estresse, foi feita da mesma forma que os anteriores. Na Figura 94, temos os dados originais em Volts, na Figura 95 temos o gráfico dos valores de frequência média e na Figura 96, os valores de RMS.

No caso do GSR, valores altos da frequência média indicam mudanças bruscas do estado emocional do voluntário, como, por exemplo, um susto. Já valores altos de valor eficaz para este experimento indicam uma situação de calma e serenidade e valores baixos indicam uma situação de estresse vivenciada pelos voluntários. As análises foram feitas observando os dois gráficos em conjunto, sendo que para cada um desses gráficos e para cada um dos voluntários foram extraídos os pontos de controle, de 1 a 12 e em seguida plotados as curvas das frequências médias e valor eficaz pelos eventos de controle para cada um dos voluntários, vide Figura 97 e Figura 98.

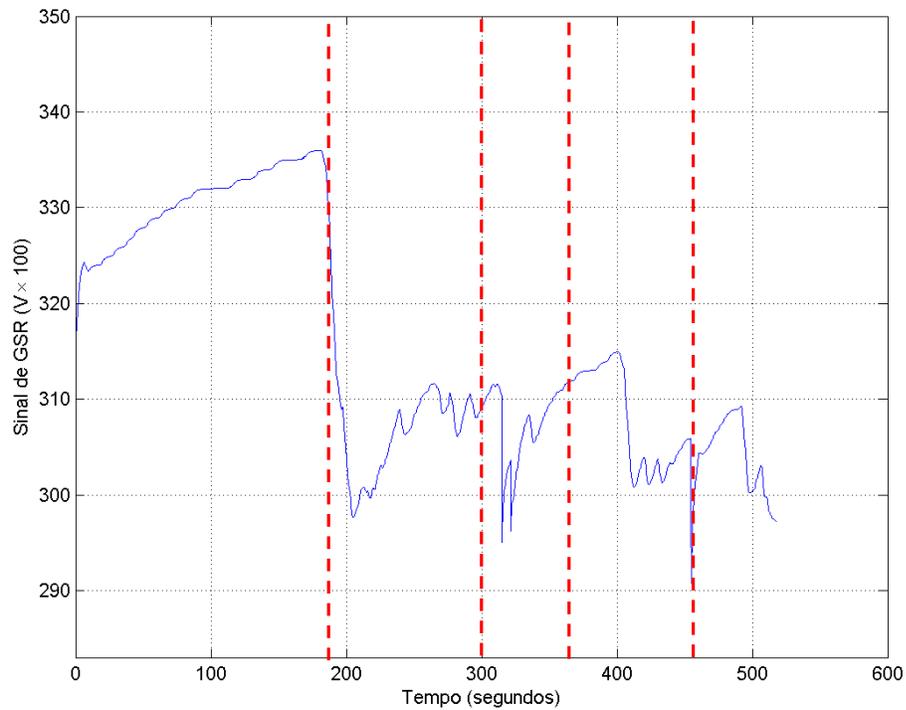


Figura 94 - Sinal fisiológico de GSR para o voluntário 5 com marcação dos tempos de controle (linha tracejada vermelha).

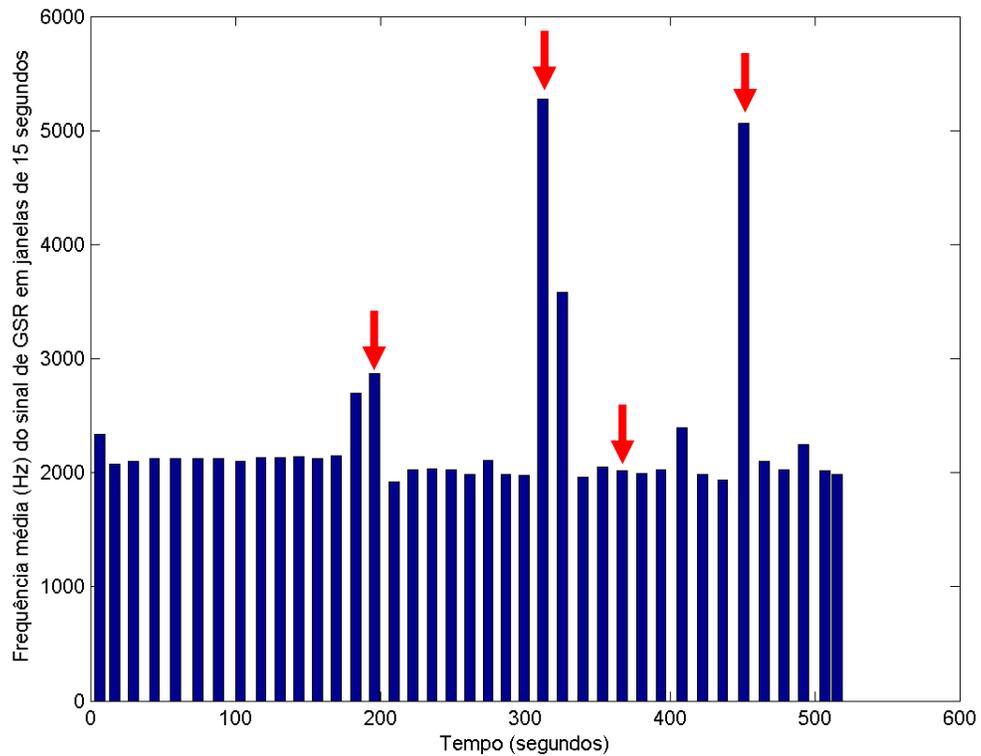


Figura 95 - Gráfico das frequências médias do sinal de GSR para o voluntário 5 com marcação dos tempos de controle (seta vermelha).

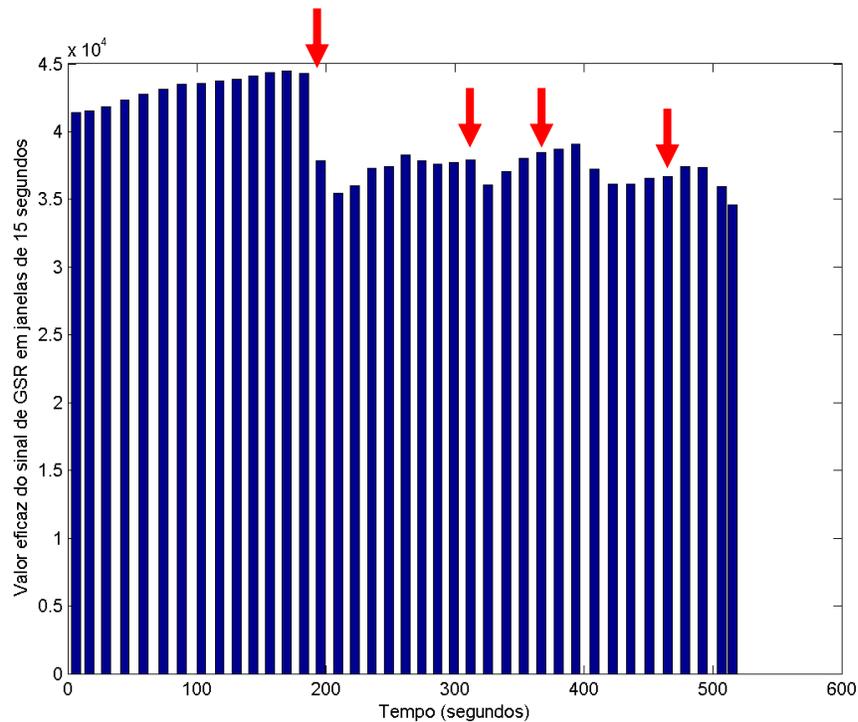


Figura 96 - Gráfico do valor eficaz do sinal de GSR para o voluntário 5 com marcação dos tempos de controle (seta vermelha).

5.5.1 - Frequência Média (Hz)

Para o gráfico dos valores de frequência média, que mede a variação dos valores de GSR ao longo do tempo de simulação, o simulador conseguiu identificar em 100% dos casos uma variação nos eventos. Neste caso, valores altos da frequência média indicam mudanças bruscas do estado emocional do voluntário. Apenas um ponto foi excluído das análises por estar muito fora das curvas características, portanto, não representativo.

Dos 44 eventos analisados, apenas 3 (6,8% dos casos) tiveram uma mudança altas com variações acima de 4000 de 20 Hzs e 41 (93,2%) tiveram mudanças abaixo de 3000 Hz de variação na frequência de GSR. Caracterizando essa taxa de mudança, 33 conjuntos de pontos foram inflexões (75%), 2 conjuntos de pontos (4,5%) foram situações decrescentes e 9 conjuntos de pontos (20,5%) foram situações crescentes, vide Figura 97.

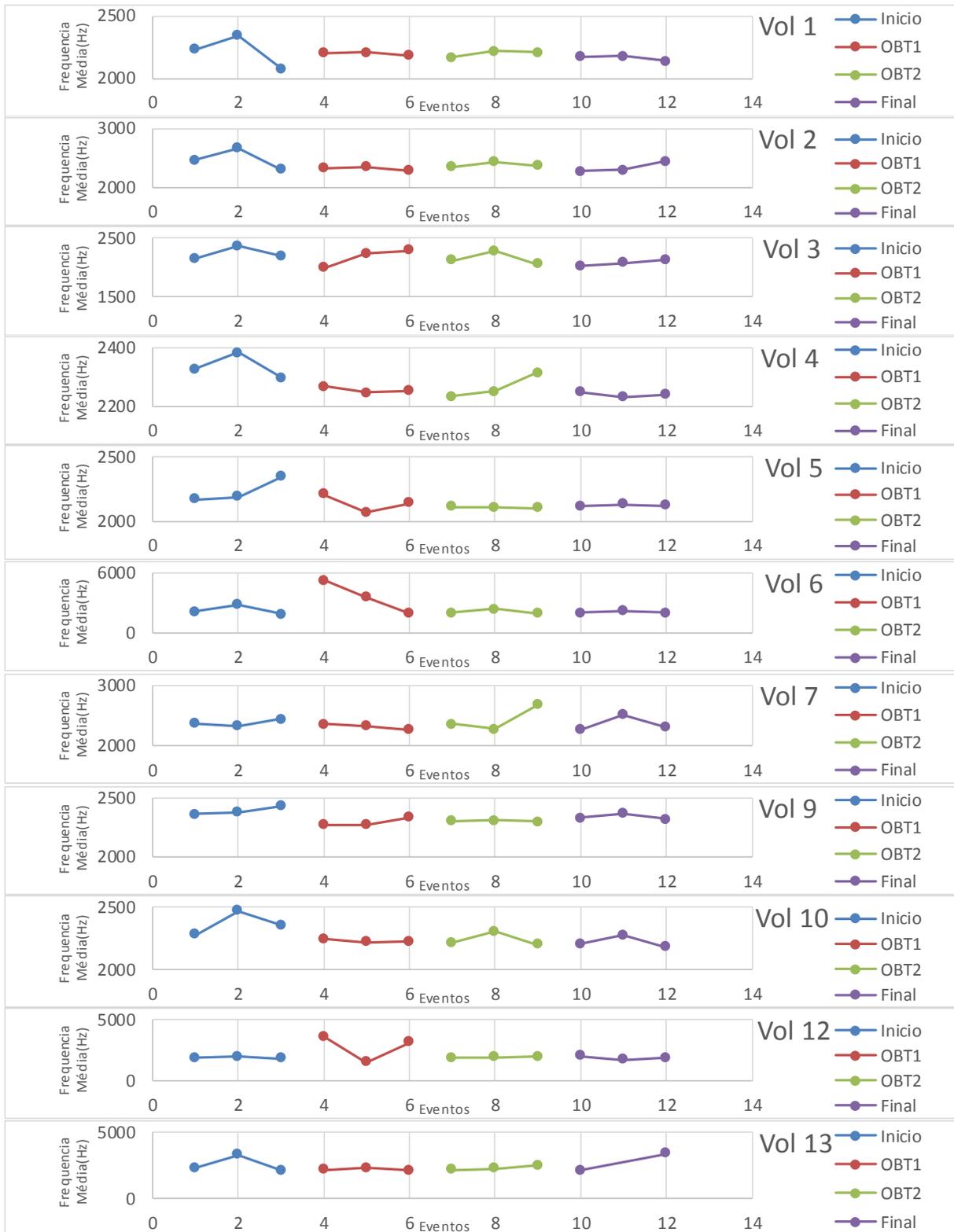


Figura 97 - Gráficos de Frequência Média para o GSR para todos os voluntários nos pts. de controle.

Explicando os eventos nos gráficos da Figura 97, considera-se que os pontos de inflexão positiva, inflexão negativa, os pontos crescentes e decrescente indicam uma saída do estado de calma para o estado de estresse, contudo o seu grau de variação é que indica o quão intenso foi essa mudança. Em dez dos voluntários essa alta variação ocorreu no início. E nos casos onde essa mudança foi sentida nos outros momentos, ocorreram situações de bastante estresse. A exemplo do voluntário 3 que levou 30 s para passar pelo OBT1 chegando a dar ré; no vol. 4 que passou pelo OBT2 a 200 km/h; no vol. 7 que levou 45 s para passar pelo OBT2, chegando a bater nos obstáculos e no vol.12, onde a maior variação ocorreu no OBT1 e que ele freiou forte, saindo de 100 km/h para 40 km/h em um tempo curto. Isso mostra que as variações da frequência média são bons avaliadores de mudança de sensação, já que em 100% dos casos esse parâmetro foi observado.

Os dados anteriores podem ser comprovados também usando o gráfico da Figura 98, em que se podem caracterizar os resultados da seguinte forma:

- os voluntários 1, 2, 3, 4, 7, 10 e 12 tiveram pico alto no início e um alto valor no obstáculo 2;
- os voluntários 5, 9, 13 tiveram intensidades maiores no início e no final;
- o voluntário 6 teve um alto valor no obstáculo 1.

Tais características validam ainda mais o fato de que os altos valores de frequência média ocorridos no início indicaram que este foi o período mais crítico para os voluntários pois saíam do repouso e iniciavam a simulação.

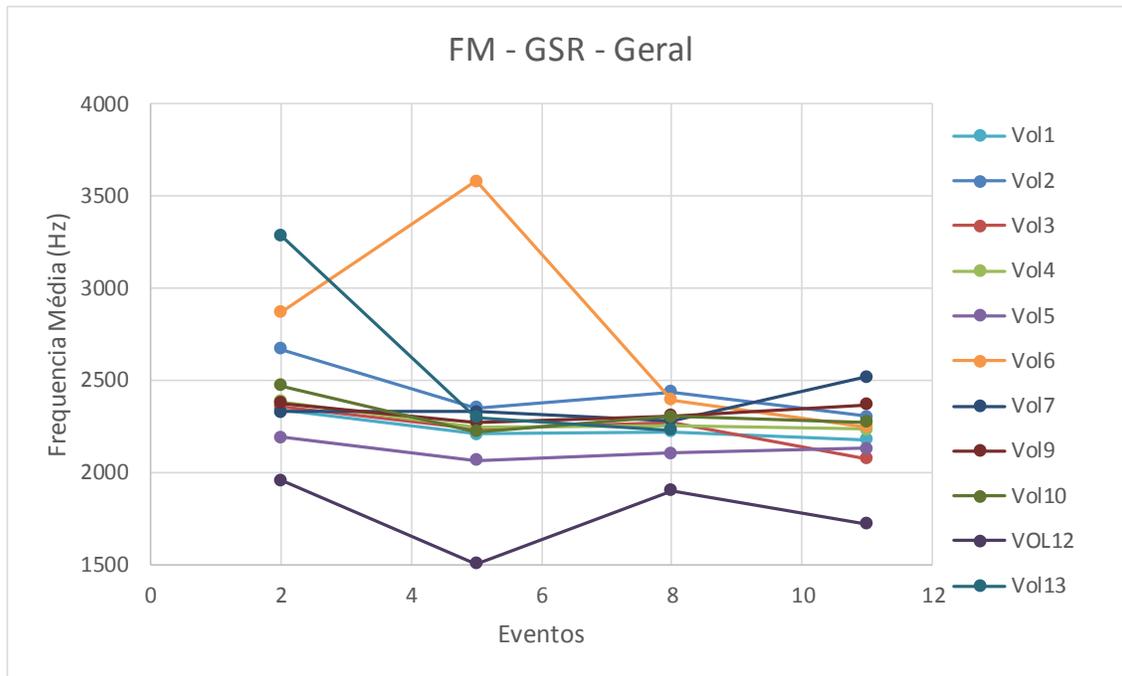


Figura 98 - Evolução ao longo de ensaio dos resultados de frequência média do sinal de GSR para todos os voluntários nos pontos de controle.

5.5.2 - Valor Eficaz (RMS)

Em relação aos valores calculados de RMS para o sinal de GSR tais valores identificam a intensidade dos valores de GSR aplicados ao longo do tempo. Sendo que, quanto maior o valor eficaz, maior será a situação fisiológica de calma e quanto menor este valor, maior será a sensação de estresse do voluntário.

Os resultados para os dados de GSR relativo aos pontos de controle temporais mostram que para o RMS dos 44 eventos analisados, 9 (20,5% dos casos), tiveram uma mudança leve, com mudança de valores de RMS abaixo de 1000 e 26 (79,5%) tiveram mudanças significativas de variação na intensidade de respiração com valores de RMS maiores que 1000.

Caracterizando essa taxa de mudança, 23 conjuntos de pontos foram inflexões (52,3%), 17 conjuntos de pontos (38,6%) foram situações decrescentes e 4 conjuntos de pontos (9,1%) foram situações crescentes, vide Figura 99.

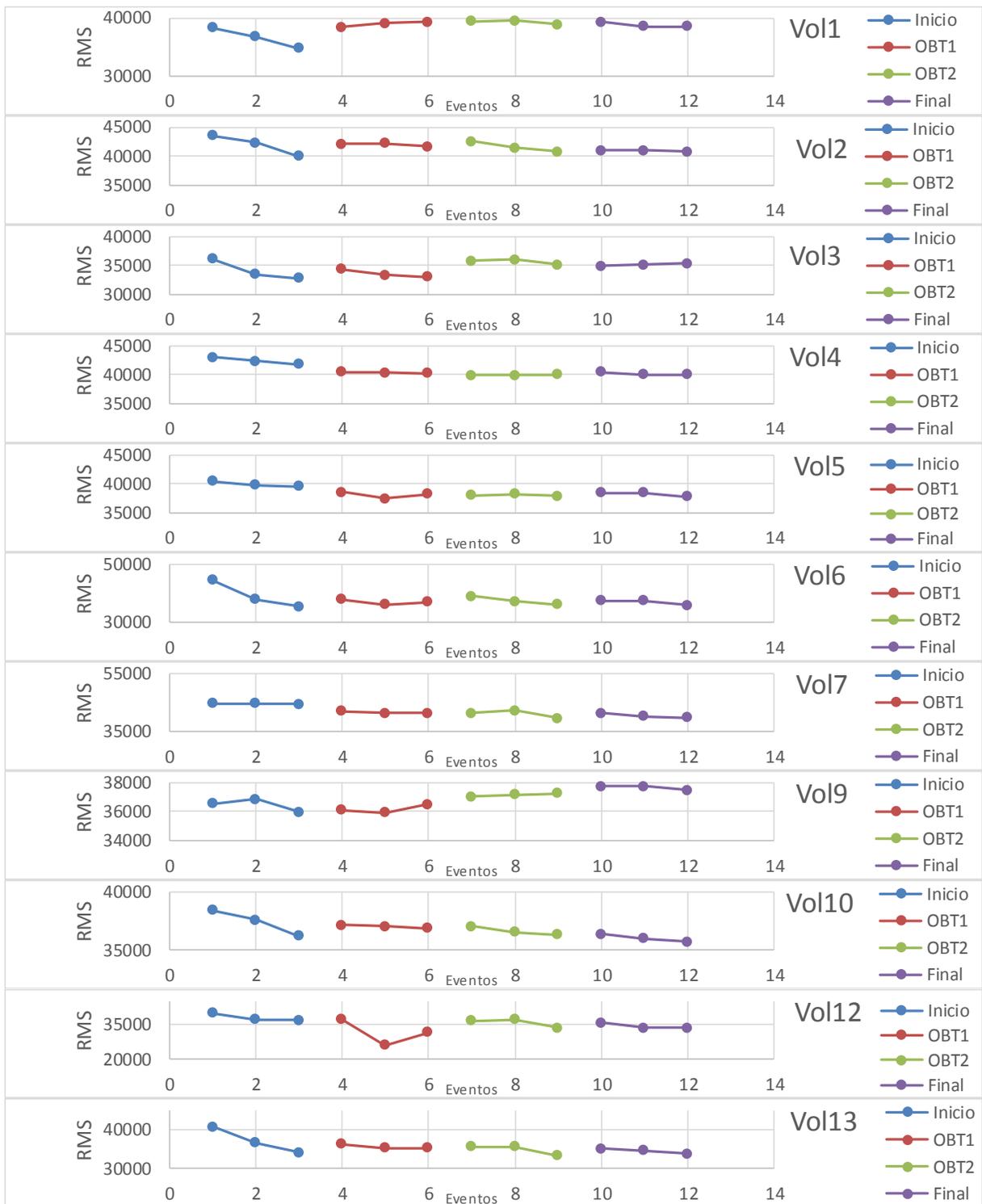


Figura 99 - Gráficos de Valor Eficaz para o GSR para todos os voluntários nos pts. de controle.

Analisando os dados de RMS dos eventos temporais e sua evolução com o tempo para todos dos voluntários, observa-se uma constância entre eles, principalmente em relação ao período de repouso/início e os outros períodos. Neste caso, a tendência de pontos decrescente indica uma variação de calma para estresse. Essa tendência foi observada em todos os voluntários na fase de início. Nas outras fases, a grande maioria foram as tendências decrescentes, também indicando que o nível de estresse permanecia ainda por um tempo (15 s). Em apenas 4 casos de 44, a tendência foi voltar à calma rapidamente ($T < 15$ s), nesse caso, a passagem pelos obstáculos foi rápida, com um $T < 3$ s.

Avaliando pelos pontos mais próximos dos eventos temporais, pela Figura 100, pode-se analisar o gráfico da seguinte forma:

- os voluntários 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13 tiveram situações onde a sensação de maior calma se deu antes do início dos experimentos, no período de repouso, outra evidência disso são os pontos inicial e final do período de início em que todos apresentam uma curva decrescente, indicando que o voluntário passou de um período de calma para um período de estresse por conta do início da simulação;

- o voluntário 1 teve o período de calma maior entre os obstáculos;

- o voluntário 12 teve um pico de estresse no obstáculo 1, onde freou bruscamente, saindo de 100 km/h a 40 km/h e passando pelos obstáculos em 2 s.

- os voluntários 3 e 9 também tiveram um aumento no estresse durante o obstáculo 1, onde apresentaram grande dificuldade em sair dele, levando cerca de 30 s para passarem pelo obstáculo.

- o voluntário 7 teve um pico de estresse no obstáculo 2 onde houve colisão, levando 45 s para passar pelos obstáculos.

- os voluntários 5 e 6 tiveram um pico de estresse durante o obstáculo 1, pois passaram por ele a 120 km/h.

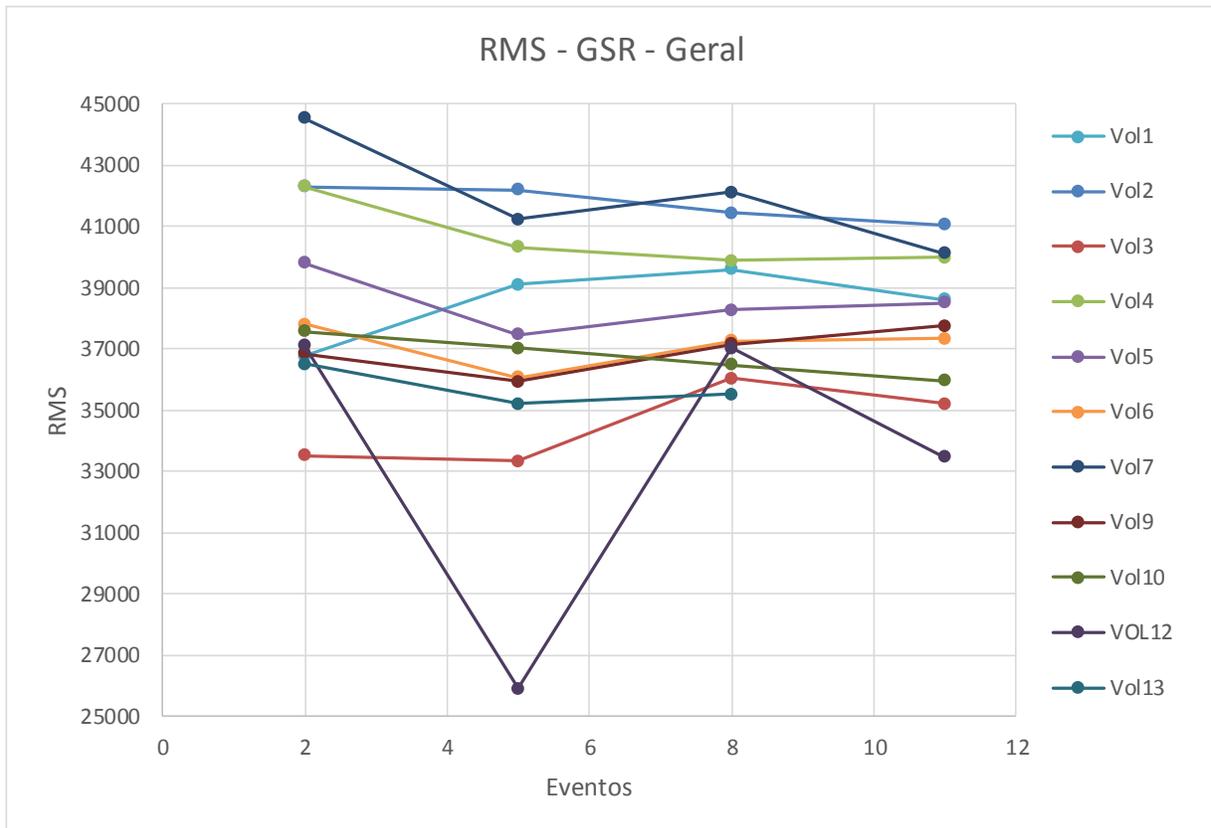


Figura 100 - Evolução ao longo de ensaio dos resultados do valor eficaz do sinal de GSR para todos os voluntários nos pontos de controle.

Fazendo uma análise comparativa entre os dados de frequência média e RMS, para o sinal fisiológico de GSR, obteve-se a constatação de que o sinal GSR medido nos ensaios conseguiu captar todas as variações esperadas nos eventos de controle. Aconteceram eventos de batida, freada e passagens rápidas, todos muito bem sinalizados pelos dados obtidos. E também a sua intensidade entre os eventos e entre os voluntários, principalmente devido à sua correlação com os eventos particulares vividos por cada um deles.

5.6 - ANÁLISE DAS IMAGENS GRAVADAS DURANTE OS ENSAIOS

Outra análise estabelecida para este trabalho foi a análise visual dos eventos com precisão de 0,125 s (1/8 de segundo). A taxa de aquisição das imagens gravadas durante o ensaio

foi de 8fps. Essa taxa foi satisfatória para conseguir captar com precisão o tempo exato em que cada evento ocorreu.

A sua avaliação foi feita da seguinte forma: para cada laço de evento criado nos gráficos, tanto de respiração, pressão e GSR, foram geradas um conjunto de 25 imagens com os *printscreens* da tela gravados durante os ensaios. Isso evidencia os eventos analisados e mostra o que os voluntários estavam enxergando durante a simulação durante a passagem pelos eventos de controle.

É possível também com essas imagens identificar além dos eventos externos OBT1, OBT2 e o final da pista, obter informações de velocidade, marcha, posição do volante e o grau de pressão no pedal de acelerador, freio e embreagem. No painel, são mostrados o velocímetro, a rotação do motor e o indicativo de qual marcha o veículo está. E existem três indicativos de acionamento dos pedais de acordo com a pressão aplicada a eles, representados por barras localizadas no canto inferior direito da tela, sendo que o nível das barras cresce com a pressão aplicada. A barra azul indica pressionamento da embreagem; a barra vermelha, o freio e a barra verde, o pedal do acelerador.

Exemplos dessas imagens podem ser vistos nas Figura 101, Figura 104, Figura 106 e Figura 108 referentes aos períodos de tempo de Início, OBT1, OBT2 e Final para o voluntário 2.

Esse voluntário obteve a “melhor” atuação durante a passagem dos obstáculos, passando por eles numa velocidade alta, sem sair da pista e fazendo a passagem da esquerda para a direita, segundo as especificações do teste do alce. A grande maioria dos voluntários passou fora da pista, muitos deles pela direita, no caso, pelo acostamento.

Na Figura 101, foram marcados os eventos de repouso (vermelho) e início da movimentação do veículo, em amarelo, com o aperto da embreagem (barra inferior azul) e em verde, o início do movimento com a aperto do pedal do acelerador (barra inferior verde). As Figura 102 e Figura 103 são as ampliações das imagens marcadas em verde e amarelo.

Para os eventos OBT1 e OBT2, observa-se nas imagens marcadas em vermelho (Figura 104 à Figura 107), o momento em que o voluntário se depara com o obstáculo, no caso, bovinos

ao longo da pista. É possível, pela avaliação do painel, checar em qual marcha e em qual velocidade o voluntário estava passando pelo obstáculo no momento em questão.

Igualmente para o evento Final, a imagem marcada em vermelho indica o exato momento em que o voluntário sai da pista modelada, caindo num abismo (Figura 108 e Figura 109). Como nos outros, pela Figura 109, pode-se checar a velocidade, se usou o freio, posição do volante e em qual marcha o veículo estava.

As análises dos outros 10 voluntários seguiram esse mesmo padrão. Tanto de procedimento, quanto de resultados.

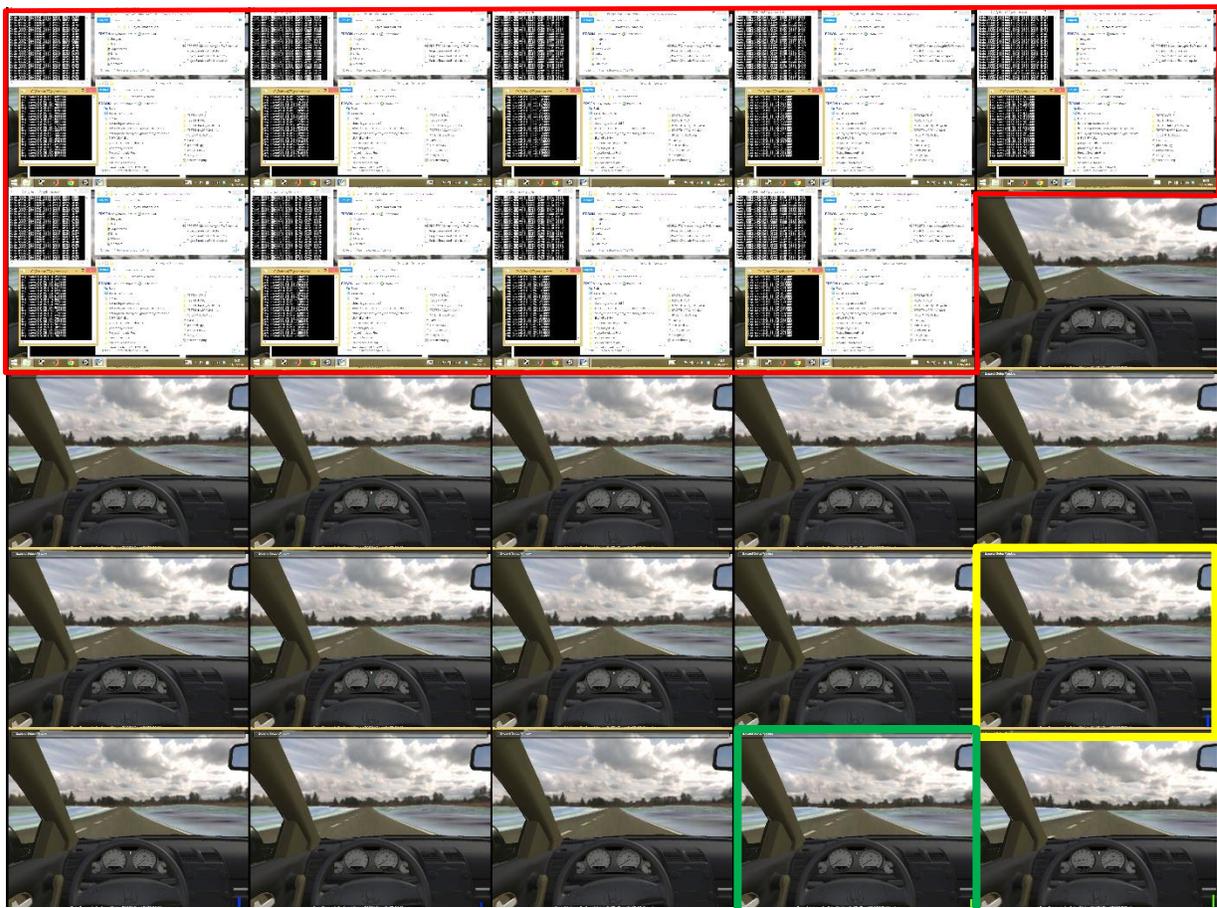


Figura 101- Imagens captadas no momento do evento início (repouso e começo da movimentação do veículo).



Figura 102 - Imagens ampliadas em amarelo – pressionamento do pedal de embreagem.



Figura 103 - Imagens ampliadas em verde – pressionamento do pedal do acelerador.



Figura 104 - Imagens captadas no momento do evento OBT1 – primeiro conjunto de obstrução na pista.



Figura 105 – Imagem em vermelho ampliada do evento OBT1.



Figura 106- Imagens captadas no momento do evento OBT2 – segundo conjunto de obstrução na pista.



Figura 107 - Imagem em vermelho ampliada do evento OBT2.



Figura 108 - Imagens captadas no momento do evento Final – o veículo cai no abismo com o fim da pista.



Figura 109 - Imagem em vermelho ampliada do evento Final.

Um outro exemplo ilustrativo, foi a única batida ocorrida entre os voluntários. Esse evento ocorreu com o voluntário 7 durante a passagem pelo OBT2. O voluntário estava com a marcha 5, em alta velocidade e não conseguiu frear (barra em vermelho) a tempo, batendo no obstáculo a 40 km/h. Ele só conseguiu passar pelos obstáculos 45 s depois, vide Figura 110.

Visualizando os dados gravados para o voluntário 7 através das Figura 111 à Figura 119, para o evento da colisão em OBT2, percebe-se que todos os indicadores de frequência média e RMS para os sinais de respiração, pressão e principalmente GSR indicaram uma forte variação nesse evento, validando a qualidade do simulador em medir eventos relacionados durante um trajeto. As imagens abaixo marcam o período em que ocorreu a batida.

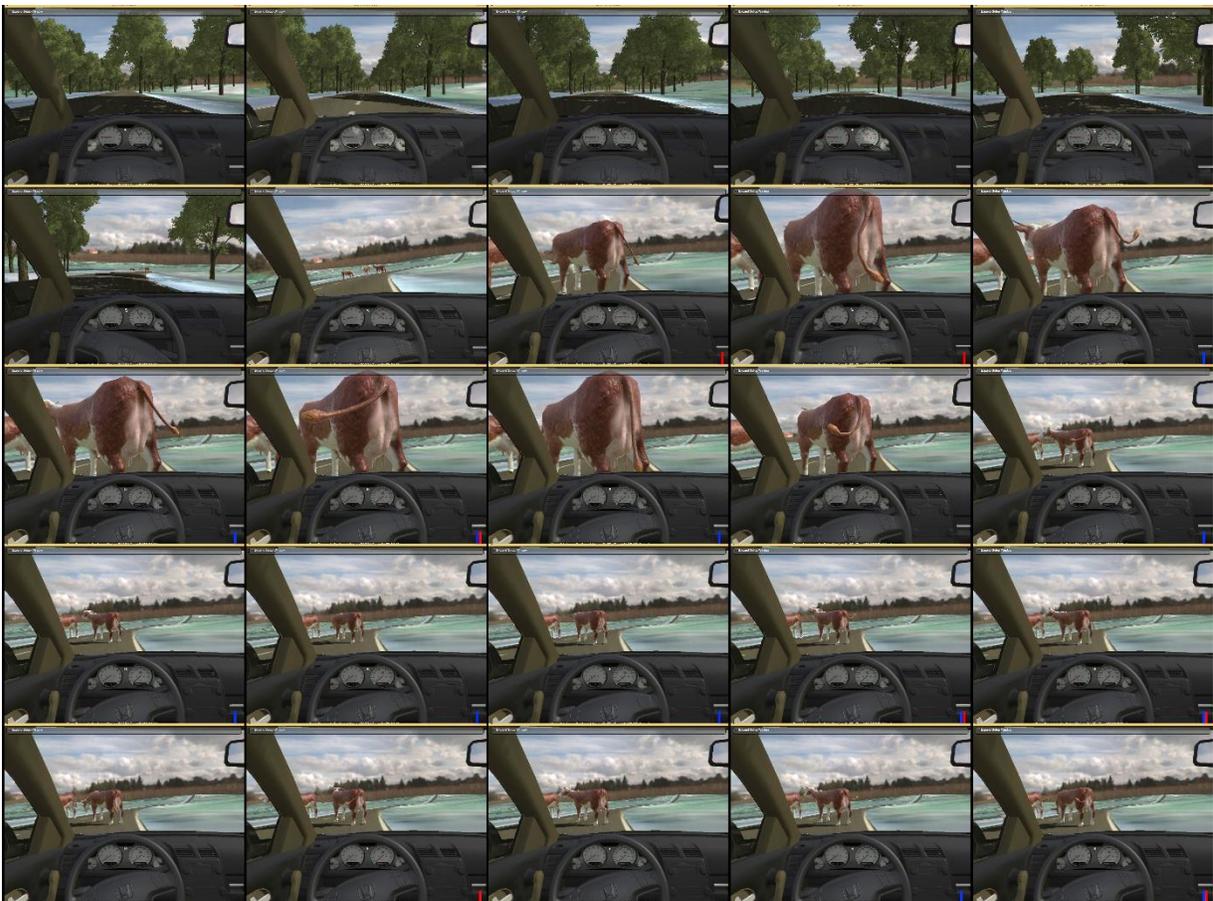


Figura 110 – Imagens do voluntário 7 para o OBT2.

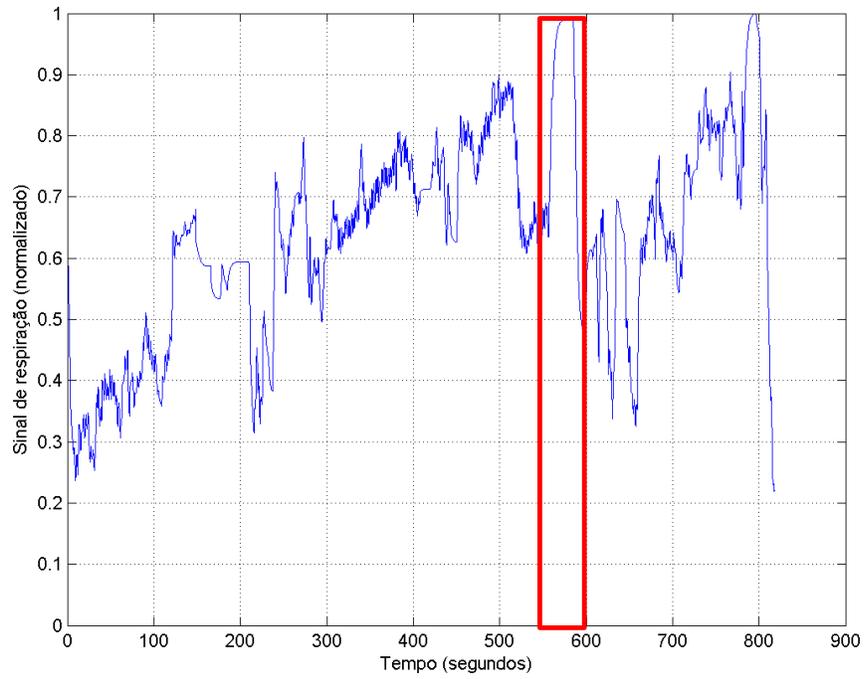


Figura 111 – Dados fisiológicos de respiração com marcação em OBT2 – Voluntário 7.

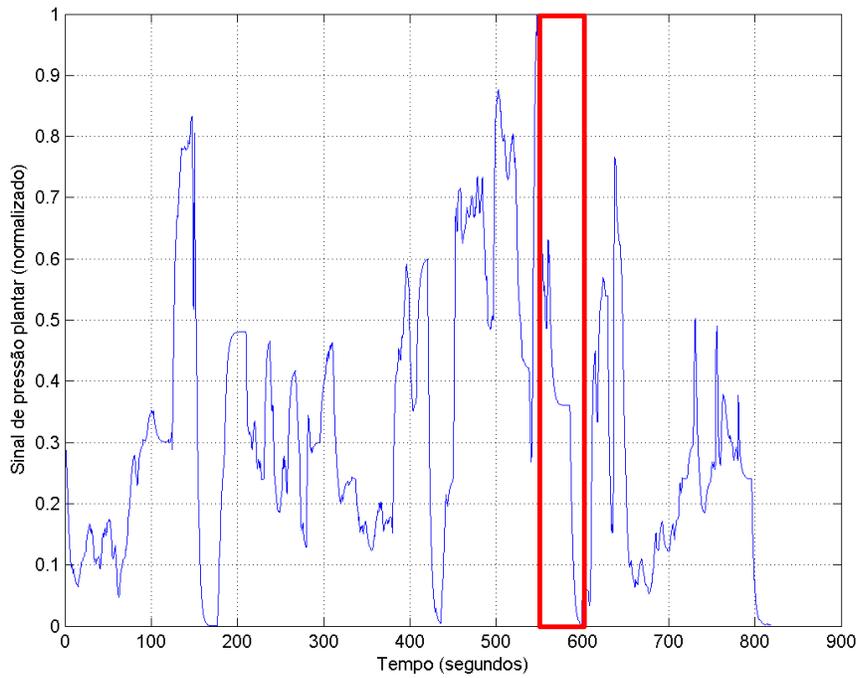


Figura 112 - Dados fisiológicos de pressão com marcação em OBT2– Voluntário 7.

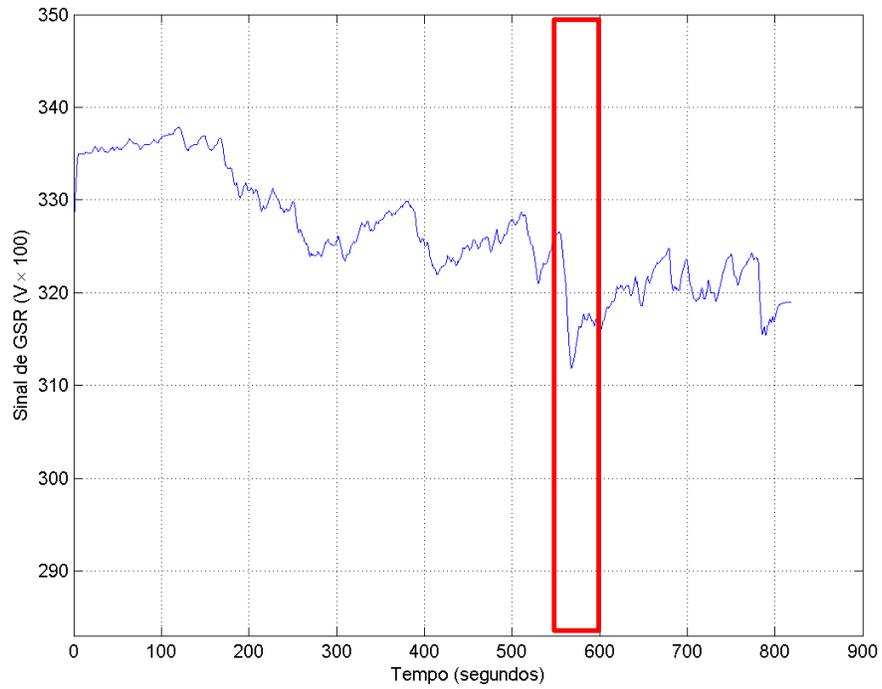


Figura 113 - Dados fisiológicos de GSR com marcação em OBT2– Voluntário 7.

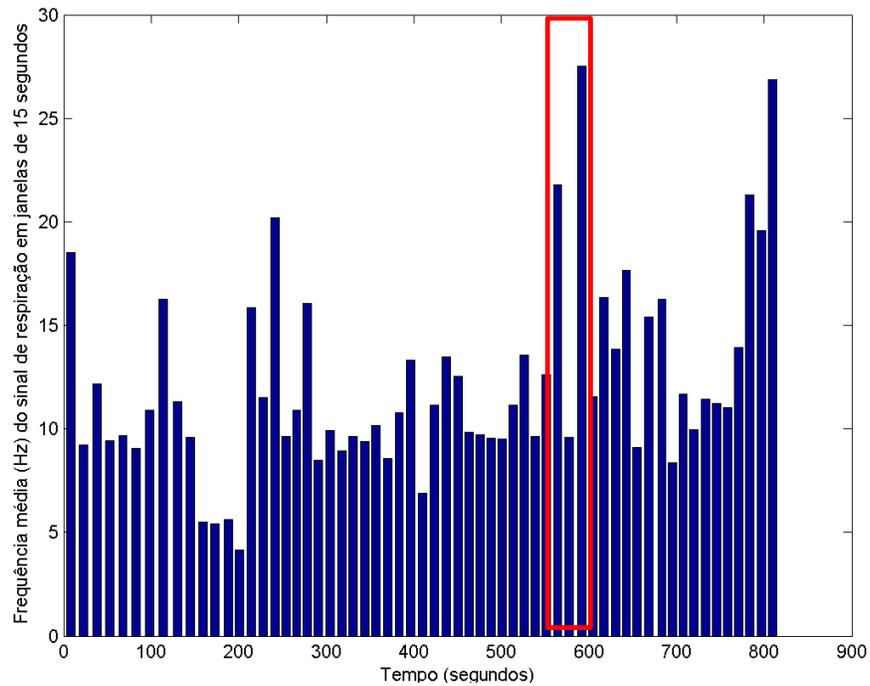


Figura 114 - Dados Frequência Média de respiração com marcação em OBT2 – Voluntário 7.

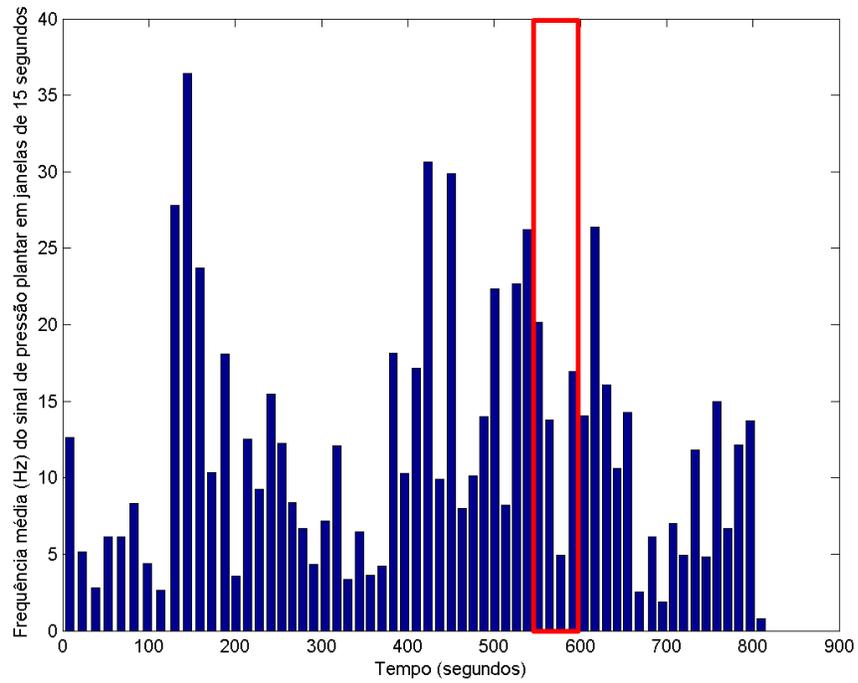


Figura 115 - Dados Frequência Média de pressão com marcação em OB2 – Voluntário 7.

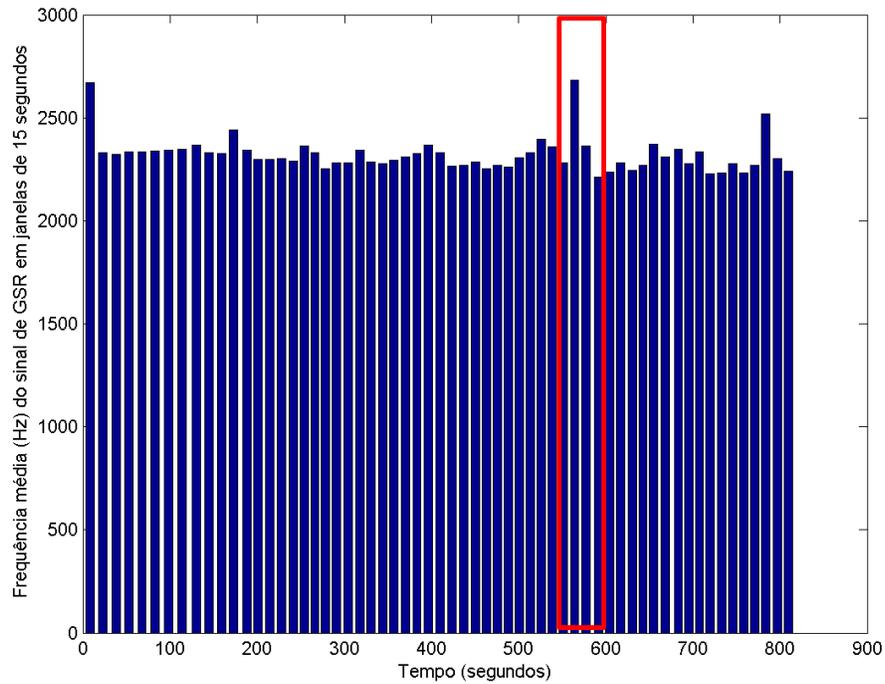


Figura 116 - Dados de Frequência Média de GSR com marcação em OB2 – Voluntário 7.

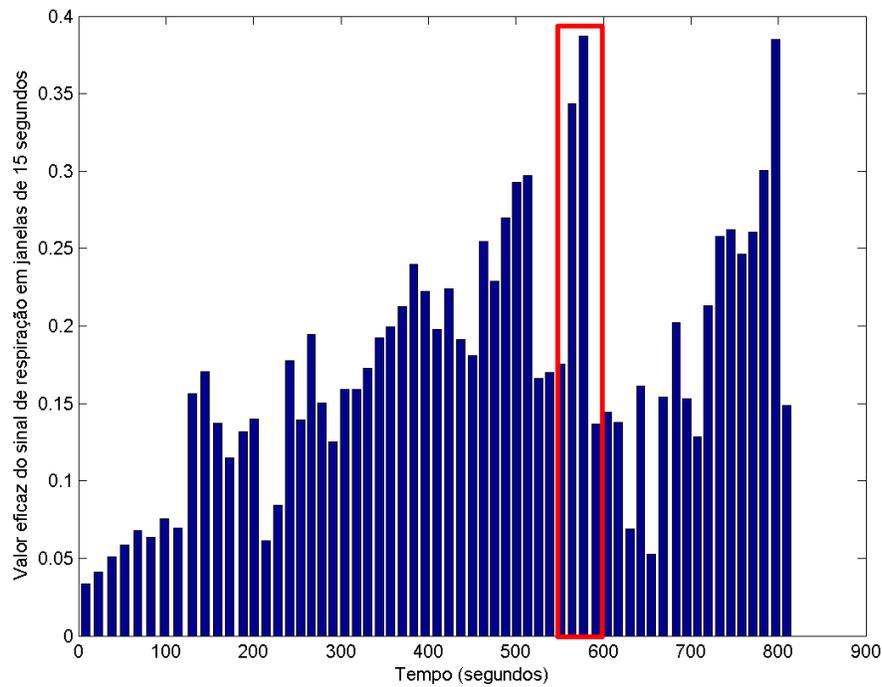


Figura 117 - Dados de RMS de respiração com marcação em OBT2 – Voluntário 7

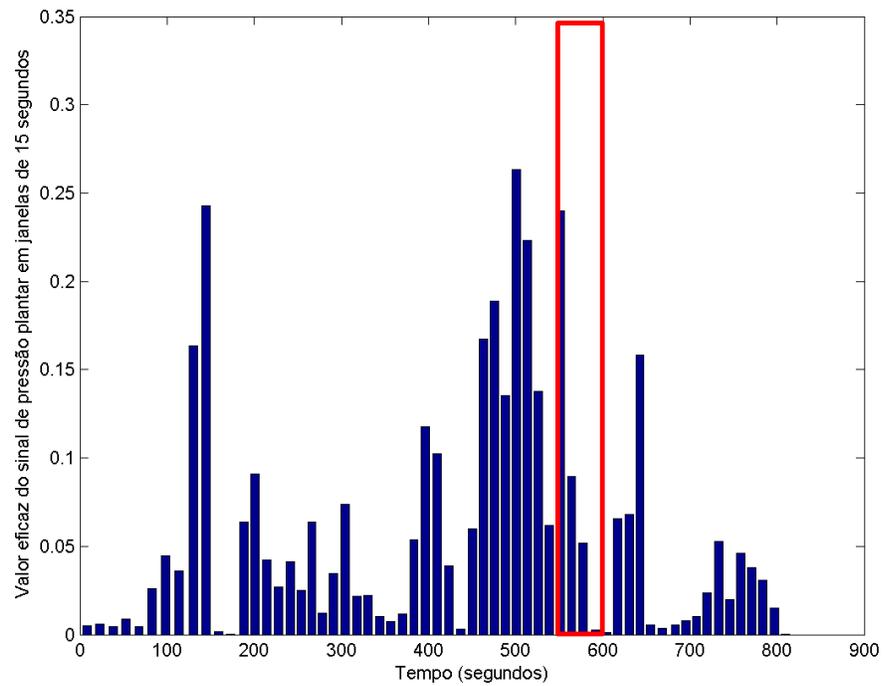


Figura 118 - Dados de RMS de pressão com marcação em OBT2 – Voluntário 7

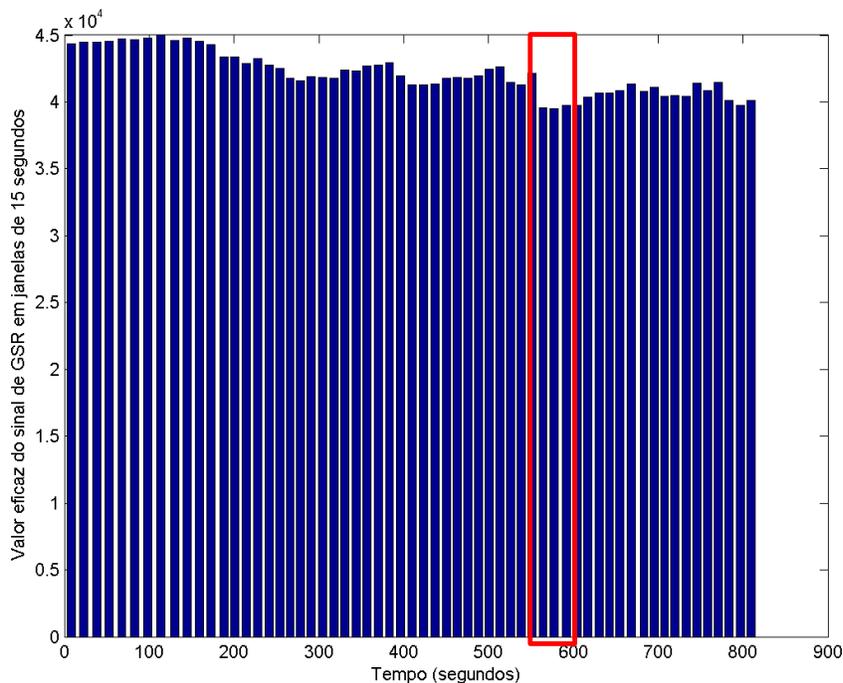


Figura 119 - Dados de RMS de GSR com marcação em OBT2 – Voluntário 7

Vale lembrar que esse tipo de análise foi realizado em todos os voluntários, onde foram visualizadas as imagens no momento exato em que aconteciam os eventos, comparando com os dados fisiológicos de cada evento e de cada voluntário e as relações com as ações de cada um deles.

5.7 - ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES SUBJETIVAS EM RELAÇÃO AO SIMULADOR VEICULAR

A avaliação da qualidade do simulador foi realizada também em conjunto com o questionário subjetivo. Sendo que uma das partes do questionário subjetivo focava na caracterização do simulador em si, de acordo com sua proximidade com o ato de direção em um veículo real. Perguntas sobre os elementos gráficos, imersão, resposta aos comandos, etc foram apresentadas aos voluntários.

Com referência aos resultados das avaliações subjetivas em relação ao simulador veicular, os voluntários responderam que o simulador possui uma certa proximidade com um

veículo real, variando numa escala de não realista para muito realista, de 1 a 10. A média das notas para a pergunta 1, que é de carácter mais geral ficou em 5,0 para os ensaios com o simulador sem movimentos.

Contudo, vários voluntários fizeram ressalvas pertinentes em relação à sensibilidade do volante, ao som ambiente/motor e ao excesso de profundidade de campo aplicada à imagem da estrada. Tais sugestões foram usadas para uma melhoria do sistema de simulação com movimentos como um todo. Foram feitos alguns testes com dez voluntários usando o simulador com os movimentos integrados e o jogo de corridas rFactor 2.0. O resultado foi uma melhoria na sensação de realismo vivido pelos voluntários. Isso foi refletido nas notas para o simulador com movimentos através das melhorias das notas. Os resultados podem ser vistos na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados subjetivos da qualidade funcional do simulador veicular.

Questão	Média sem movimento	Média com movimento
1 - Como foi a sensação de envolvimento (sensação de interação e imersão no ambiente) dentro do simulador comparado com um veículo real?	5,0	5,7
2 - Como foram as respostas do veículo às suas ações de controle do veículo?	5,1	5,2
3 - A direção (volante) foi similar à de um veículo real?	3,9	5,1
4 - O uso do pedal do acelerador foi similar à de um veículo real?	6,3	7,7
5 - Quando estava dirigindo em estrada reta, qual a sensação de resposta do veículo do simulador?	5,9	5,8
6 - Quando estava dirigindo em uma curva, qual a sensação de resposta do veículo do simulador?	5,0	6,1
8 - O uso do pedal do freio foi similar à de um veículo real?	5,6	6,7
9 - A impressão visual (imagens do ambiente externo e interno) no simulador foi realista?	4,0	4,4
10 - A impressão de som no simulador foi realista?	5,2	7,4
12 - O force feedback no volante (tensão no volante quando esterçado) foi realista?	5,3	6,2
13 - O force feedback nos pedais (tensão nos pedais quando acionados) foi realista?	5,5	6,0
14 - As vibrações no carro foram realistas?	N/A	7,5

5.8 - ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS

A análise geral dos resultados, de acordo com os dados fisiológicos e juntamente com os questionários subjetivos foi que:

- O simulador consegue identificar mudanças de comportamento/ações dos voluntários através dos sinais fisiológicos de respiração, pressão e GSR e pelas suas análises usando as frequências médias e valor eficaz ao longo do período de simulação. A Tabela 16 mostra os resultados gerais da avaliação subjetiva com as ações e as variações dos dados para cada um dos voluntários;

- Os sinais de respiração mostraram-se bons indicadores para caracterização de variação de estresse durante uma simulação de veículo, quando este é avaliado pelos valores de frequência média e valor eficaz;

- Os sinais de GSR mostraram-se bem evidentes para a caracterização do estresse do condutor, indicando claramente uma variação entre o estado de repouso e o estado de condução/simulação e com picos de variação altos nos eventos de estresse. Essa evidência foi percebida em todos os voluntários analisados e ao longo dos quatro eventos usados como referência. Para as frequências médias, todos os voluntários indicaram uma mudança clara de sensação entre o período de repouso e o início da simulação, como também durante os eventos de estresse. Os resultados para o valor eficaz também caracterizaram essa transição do período de repouso para o início da simulação e indicaram também quais situações foram as mais estressantes para os voluntários de acordo com as suas ações durante a simulação.

- Os sinais de pressão da mão no volante também foram evidentes, mas não se mostraram um bom indicador de variação fisiológica e sim do modo de direção particular para cada usuário. Foi constatada uma grande variação na pressão no volante entre os participantes, variando entre valores de 0,02 a 0,3, uma diferença de 1500%. Contudo, essa variação de valores pode ser um indicador do jeito de condução de cada participante. Já no caso das frequências médias, tais valores indicaram que durante manobras bruscas, essa pressão pode variar com a retirada da mão do condutor para o retorno mais rápido do volante devido ao grande valor de inflexões (73%) e na taxa de mudanças significativas, 77%.

Tabela 16 – Dados gerais para avaliação dos gráficos para todos os voluntários, suas características subjetivas e ações.

		Vol1	Vol2	Vol3	Vol4	Vol5	Vol6	Vol7	Vol9	Vol10	Vol12	Vol13
Característica Subjetiva	Tempo de direção	1-5 anos	1 ano	1-5 anos	1-5 anos	1-5 anos	1 ano	15 anos	1 ano	1-5 anos	5-15 anos	5-15 anos
	Experiencia	Média	Média	Experiente	Experiente	Experiente	Esperiente	Experiente	Inexperiente	Médio	Experiente	Experiente
	Atenção	Atento	Atento	Muito atento	Atento	Atento	Muito atento	Atento	Atento	Atento	Atento	Muito atento
	Experiencia em Simulação	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não
	Ações nos eventos da simulação	Passagem em OBT1:80 km/h - 2" e OBT2:95 km/h - 2"	Passagem em OBT1: 90 km/h - 2" e OBT2: 120 km/h - 2"	Passagem em OBT1: 30" devagar e OBT2: 5"	Passagem em OBT1: 170 km/h - 1" e OBT2: 200 p 180km/h - 1"	Passagem em OBT1: 120 km/h - 1" e OBT2: 200 p 100km/h - 1"	Passagem em OBT1: 130 km/h - 1" e OBT2: 180 km/h - 1"	Passagem em OBT1: 21" - parou e OBT2: 45" - bateu	Passagem em OBT1: 35" a 100 km/h e OBT2: 9", 130 p 40 km/h	Passagem em OBT1: 5" de 70 p 50 km/h OBT2: 120 p 80 km/h	Passagem em OBT11: 2" 100 p 40 km/h freiou forte e OBT2: 10 seg 140 p 80 km/h	Passagem em OBT1: 2" 90 km/h e OBT2: 180 p 70 km/h Fez três ensaios
FM Respiração	1 - Início	Inflexão	Inflexão	Crescente	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Decrescente	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão
	2 - OBT1	Decrescente	Decrescente	Inflexão	Crescente	Inflexão	Crescente	Inflexão	Inflexão	Crescente	Crescente	Inflexão
	3 - OBT2	Inflexão	Decrescente	Inflexão	Inflexão	Crescente	Inflexão	Crescente	Crescente	Inflexão	Crescente	Inflexão
	4 - Final	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Crescente	Crescente	Inflexão	Crescente	Crescente	Inflexão	Inflexão
	Geral	Crescente	Alta em 1, 3	Decrescente	Alta em 1, 4	Alta em 1, 2	Crescente	Crescente	Baixa em 3	Baixa em 2	Decrescente	Crescente
FM Pressão	Início	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Crescente	Inflexão	Decrescente	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão
	OBT1	Inflexão	Crescente	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Crescente	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão
	OBT2	Inflexão	Inflexão	Decrescente	Crescente	Crescente	Inflexão	Decrescente	Decrescente	Inflexão	Crescente	-
	Final	Inflexão	Crescente	Constante	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Crescente	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão
	Geral	Alta em 1	Alta em 1	Alta em 1	Alta em 1	Alta em 1	Alta em 1, Baixa em 2 e Alta em 3, 4	Baixa em 2 e 4	Alta em 1	Alta em 1 e Baixa em 2	Alta em 1 e Baixa em 2 e 4	Alta em 1, Baixa em 2, 3 e Alta em 4
FM GSR	Início	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Crescente	Inflexão	Inflexão	Crescente	Inflexão	Inflexão	Inflexão
	OBT1	Inflexão	Inflexão	Crescente	Inflexão	Inflexão	Decrescente	Decrescente	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão
	OBT2	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Crescente	Decrescente	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Crescente	Crescente
	Final	Inflexão	Crescente	Crescente	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão	-

	Geral	Alta em 1, Baixa em 2,4	Alta em 1, Baixa em 2,4	Alta em 1, Baixa em 4	Alta em 1, Baixa em 4	Alta em 1 e Baixa em 2	Alta em 2, Baixa em 4	Baixa em 2, 4 e Alta em 3	Alta em 1 e Baixa em 2	Alta em 1, Baixa em 2	Baixa em 2	Alta em 1, 4 e Baixa em 3
RMS Respiração	Início	Inflexão	Decrescente	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Decrescente	Decrescente	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão
	OBT1	Decrescente	Decrescente	Crescente	Constante	Inflexão	Crescente	Inflexão	Crescente	Inflexão	Inflexão	Inflexão
	OBT2	Inflexão	Decrescente	Crescente	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Crescente	Inflexão	Crescente	Crescente	Crescente
	Final	Decrescente	Crescente	Decrescente	Crescente	Crescente	Decrescente	Crescente	Inflexão	Crescente	Inflexão	Inflexão
	Geral	Crescente	Alta em 1 e Baixa em 2, 3, 4	Crescente	Alta em 1	Baixa em 1, Alta em 2	Baixa em 2, Alta em 3, Média em 1 e 4	Baixa em 1,3, Alta em 4	Baixa em 1, Alta em 3, Média em 1 e 4	Alta em 1, Baixa em 2	Alta em 1, Baixa em 3	Baixa em 1, 4 e Alta em 3
RMS Pressão	Início	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Crescente	Decrescente	Inflexão	Inflexão	Decrescente	Crescente
	OBT1	Decrescente	Constante	Inflexão	Crescente	Crescente	Inflexão	Decrescente	Constante	Inflexão	Decrescente	Inflexão
	OBT2	Constante	Inflexão	Constante	Decrescente	Crescente	Inflexão	Inflexão	Constante	Inflexão	Crescente	Crescente
	Final	Contante	Decrescente	Constante	Constante	Constante	Inflexão	Decrescente	Constante	Decrescente	Inflexão	Crescente
	Geral	Alta em 1	Alta em 1 e pequena alta em 3	Alta em 1	Alta em 1 e pequena alta em 3	Alta em 1 e pequena alta em 3	Alta em 1,2, Baixa em 3, 4	Baixa em 1, 4 e alta em 3	Alta em 1	Alta em 1, Baixa em 2	Alta em 1	Alta em 3, baixa em 1
RMS GSR	Início	Decrescente	Decrescente	Decrescente	Decrescente	Decrescente	Decrescente	Inflexão	Inflexão	Decrescente	Decrescente	Decrescente
	OBT1	Crescente	Inflexão	Decrescente	Decrescente	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Decrescente	Inflexão	Inflexão
	OBT2	Inflexão	Decrescente	Inflexão	Inflexão	Inflexão	Decrescente	Inflexão	Crescente	Decrescente	Inflexão	Decrescente
	Final	Inflexão	Decrescente	Crescente	Inflexão	Inflexão	Decrescente	Inflexão	Inflexão	Decrescente	Inflexão	Decrescente
	Geral	Baixa em 1, alta em 3	Decrescente	Baixa em 1,2 e alta em 3	Decrescente	Alta em 1, Baixa em 2	Baixa em 2, Alta em 3, Média em 1 e 4	Baixa em 3, alta em 1 e 4	Baixa em 1, Alta em 1 e 4	Decrescente	Alta em 1, 3, Baixa em 2	Alta em 1, Baixa em 2, 3 e Alta em 4

6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo teve como base teórica os fundamentos e diretrizes do desenvolvimento do produto com foco no fator humano. Foram abordadas questões da Ergonomia do Produto, especificamente no desenvolvimento de um produto automotivo focado na usabilidade e segurança para o usuário. Como também, as tecnologias e métodos usados em simulação e pesquisas com dados fisiológicos. Apresentando, por fim, aspectos metodológicos para testes com usuários de um protótipo de simulador universal veicular.

Este trabalho visou o projeto e a construção de um simulador veicular em um ambiente de Realidade Virtual imersivo (CAVE), juntamente com a análise de dados fisiológicos de um condutor. Os dados fisiológicos analisados foram: respiração, pressão na palma da mão e GSR; tendo a capacidade de testar, em diversos ambientes, qualquer plataforma de interior/estrutura de um veículo.

Para caracterização dessa infraestrutura foi realizado um conjunto de ensaios usando três tipos diferentes de sinais fisiológicos, baseados no método apresentado por HEALEY e PICARD (2009). A análise desses dados mostrou que o simulador em si possibilita obter informações do nível de estresse do usuário e de como seu corpo reage em relação a determinados estímulos. Alguns dos sinais fisiológicos medidos mostraram-se mais evidentes que outros para se detectar variações de estresse. No caso do sinal de pressão da mão no volante, o aspecto de condução peculiar de cada voluntário contribuiu para as diferenças entre os condutores, contudo esses sinais não deixaram de ser evidentes. As variações do sinal de respiração mostraram-se claras em momentos de estresse, variando a sua frequência e intensidade. E o sinal de GSR foi o sinal fisiológico mais evidente dos três, mostrando sempre uma resposta direta entre o sinal medido e os eventos de controle durante a simulação.

Esta proposta de simulador em condição biocíbrida amplia as questões da Ergonomia para o campo mais vasto dos sistemas enativos afetivos pois soma as sensações no espaço físico com as sensações em espaços de simulação estereoscópica em imersão, segundo os estudos de DOMINGUES (2014). Foram consideradas as questões comportamentais da fisiologia e cognição homem/ambiente/computador, que são pensadas em relação com o design de produto,

para efeito de aplicações em treinamentos, em ações que envolvem segurança, reabilitação e, por fim, projeto do produto, com ênfase em Ergonomia.

Os resultados deste trabalho podem ser aplicados no aprimoramento do processo de desenvolvimento de um produto, inserindo em suas fases iniciais, o uso de parâmetros sensitivos humanos que poderiam apenas ser observados em fases posteriores com mock-ups físicos.

Em decorrência, prevê-se a expansão de dados do projeto, mediante dispositivos a serem testados, de forma controlada e em um ambiente preestabelecido, ainda na fase de modelagem do produto. O resultado dessa ampliação sensorial no pré-projeto tem como premissa a melhora do produto final em si, pré-validando o produto ainda na fase de modelagem e diminuindo a chance de reprojeto, além de otimizar o tempo na fase de testes em mock-ups físicos.

A contribuição científica deste trabalho deu-se pelo fato de que foi demonstrada a possibilidade de criar um protocolo de análise de estresse durante a condução de um veículo, usando dados fisiológicos, como o GSR e respiração. Futuramente, esses dados, passíveis de serem lidos via *wifi* para um computador central dentro do veículo, poderão ser usados em um dispositivo de segurança desse mesmo veículo. Isso será de grande utilidade, principalmente em momentos de alto estresse, quando o motorista pode vir a perder o controle do carro.

A partir da literatura, com VINCENZI (2009), vê-se que a simulação consegue potencializar os treinamentos de pilotos e condutores de veículos devido à proximidade da complexidade das ações feitas entre o ato real e o ato simulado, auxiliada por elementos que tornam a simulação mais próxima do real, como simuladores com movimentos, imersão audiovisual, entre outros. E PARKER (2013) já insere a preocupação da eficácia do custo do simulador com a própria eficácia do treinamento.

Isso leva a uma outra aplicação direta para este trabalho, no caso, para situações de treinamento. Neste caso, pode-se aprofundar ainda mais as questões fisiológicas dos envolvidos, obtendo parâmetros que podem ser úteis para observar a evolução do treinamento.

Em trabalhos futuros, prevê-se o uso de mais sinais fisiológicos, como, por exemplo o ECG (Eletrocardiograma) e EEG (Eletroencefalograma), como também ampliar as interfaces de Realidade Virtual, inserindo a Realidade Aumentada na infraestrutura do simulador.

Outras plataformas também poderão ser avaliadas, aproveitando o método e os sensores usados, já que a plataforma foi projetada para não só simular veículos automotores, mas qualquer elemento, claro que limitado pelas dimensões da CAVE e do peso suportado pelos atuadores. Alguns trabalhos, também com o foco em simulação, já estão sendo previstos para utilizar a infraestrutura montada para este experimento já que o simulador é modular e pode ser facilmente transformado em uma plataforma vibratória ou colocar um outro elemento sobre os atuadores diferentemente de um assento/volante/pedal. Nesse caso, serão usados também a metodologia aplicada com a utilização dos sensores fisiológicos e o método apropriado para a análise dos dados.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ABRAS, C., MALONEY-KRICHMAR, D. PREECE, J. User-Centered *Design*. In Bainbridge, W. Encyclopedia of Human-Computer Interaction. Thousand Oaks: Sage Publications, 2004.
- AZUMA, R. A Survey of Augmented Reality, artigo publicado no ACM SIGGRAPH, 1-38, 1997.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J.C., Projeto Integrado de Produtos, Planejamento, Concepção e Modelagem, 1^o Edição, Ed. Manole, 2008;
- BAKKER, J., PECHENIZKIY, M., SIDOROVA, N., What's Your Current Stress Level? Detection of Stress Patterns from GSR Sensor Data, Artigo publicado em ICDMW '11 Proceedings of the 2011 IEEE 11th International Conference on Data Mining Workshops, IEEE, 2011;
- BALASUBRAMANIAN, V., ADALARASU, K., EMG-based analysis of change in muscle activity during simulated driving, artigo publicado no Journal of Bodywork and Movement Therapies, Volume 11, Issue 2, April 2007;
- BALBINOT, A., ZARO, M.A., TRIMM, M.I., Funções psicológicas e cognitivas presentes no ato de dirigir e sua importância para os motoristas no trânsito, artigo submetido no Ciência & Cognição 2011: vol. 16(2): 013-029, 2011;
- BALDWIN, T. & FORD, J. Transfer of Training: a review and direction for the future research. Personnel Psychology. Vol. 41. 2006.
- BANNAT, A., GAST, J., RIGOLL, G., WALLHOFF, F., Event Analysis and Interpretation of Human Activity for Augmented Reality-based Assistant Systems, artigo publicado no IEEE, 2008;
- BERTHOZ, A. Le sens du Mouvement. Paris: Editions Odile Jacob, Février 1997, ISBN: 2738104576.
- CARDOSO, A., LAMOUNIER, E., Realidade Virtual: Uma abordagem prática. Livro dos Minicursos do VII Symposium on Virtual Reality, São Paulo, 20-22 de outubro de 2004;

- CASAROTTO, N.; FARERO, J.S., CASTRO, J.E.E, Gerencia de Projetos/Engenharia Simultânea – Organização, Planejamento, Programação, PERT/CPM, PERT/Custo, Controle, Direção, 1^o Edição, Ed. Atlas, 2006;
- CASOLO, F., CINQUEMANI, S., COCETTA, M., Functional Mechanical Design of a Low Cost Driving, Proceeding: 5th International Symposium on Mechatronics and its Applications (ISMA08), Amman, Jordânia, Maio, 2008;
- CHEN, C.; YU, C.; HUNG, Y.; New Calibration-free Approach for Augmented Reality Based on Parameterized Cuboid Structure, artigo publicado no IEEE 1999, Institute of Information Science, Academia Sinica, Taiwan, 1999;
- CYBIS, W. BETIOL, A. FAUST, R. Ergonomia e Usabilidade: Conhecimentos, Métodos e Aplicações. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo (SP): Novatec, 2010;
- DOMINGUES, D., Relatório Projeto Arte e Tecnociência, Pesquisador Visitante Nacional Senior, Capes, Março 2014, Projeto CNPq PQ 1A: ARTE E TECNOCIÊNCIA e REENGENHARIA DA VIDA: Sistemas Enativos Afetivos em Bioarte e Softwares Sociais como Inovação Tecnológica., Julho,2013;
- DOMINGUES, Diana ; MIOSSO, Cristiano. ; ROSA, S. S. R. F. ; AGUIAR, Carla ; LUCENA, Tiago ; MIRANDA, M. ; ROCHA, Adson ; RASKAR, Ramesh . Embodiments, visualizations, and immersion with enactive affective systems. In: The Engineering Reality of Virtual Reality. Proceedings of SPIE - International Society for Optical Engineering, v. 1, p.9012-18 9780819-18, 2014;
- FENABRAVE, Resumo Mensal Dezembro 2011, Brasil, 2012;
- FUHRMANN, A., SCHMALSTIEG, D.; PURGATHOFER, W.; Fast Calibration for Augmented Reality, artigo publicado no VRST 99, Londres, Reino Unido;
- GIBSON, J. The Ecological Approach to Visual Perception. New York: Houghton Mifflin, 1979;
- GKIKAS, N., Automotive Ergonomics, Driver-Vehicle Interaction, CRC Press-Taylor & Francis Group, EUA, 2013;

- HEALEY J., Affect Detection in the Real World: Recording and Processing Physiological Signals, IEEE, 2009;
- IIDA, I. Ergonomia: projeto e produção. São Paulo: Edgard Blucher, 2005;
- ISO 9241:210. Projeto centrado no ser humano para sistemas interativos. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011;
- KIRNER, C., Evolução da Realidade Virtual no Brasil. In: X Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2008, João Pessoa. Proceedings of the X Symposium on Virtual and Augmented Reality. Porto Alegre: SBC, 2008. v. 1. p. 1-11;
- KIRNER, C., SISCOOTTO, R., Realidade Virtual e Aumentada: conceitos, projetos e aplicações, Livro do Pré-Simpósio IX Symposium on Virtual and Augmented Reality Petrópolis – RJ, 28 de Maio de 2007;
- LAL, S., CRAIG, A., A critical review of the psychophysiology of driver fatigue, ELSEVIER, Biological Psychology, 2001;
- LOSCHIAVO, C., PERRONE, R. e ALEXANDRE, C., Os principais atributos de produtos industriais. São Paulo: FAU/USP, 2000;
- MIRANDA, M., COSTA, H., OLIVEIRA, L., BERNARDES, T., AGUIAR, C., MIOSSO, C., OLIVEIRA, A., DOMINGUES, D., Metodologia para Usar Dados Fisiológicos e Realidade Virtual em Ergonomia do Produto Aplicados a um Simulador Veicular. Artigo publicado na ABERGO 2014, São Carlos, SP, 2014;
- MOGGRIDGE, B. Design Interaction. Cambridge, MA: The MIT Press, 2007;
- MORAES, A. e PEQUINI, S.M. Ergonomia e Usabilidade. Bahia: UNEB/Pósdesign, apostila do curso de pós-graduação em Design de Produto, 2003;
- MORAES, A. e FRISONI, B.C., Ergodesign: produtos e processos. Rio de Janeiro: 2AB, 2001;
- MORAES, A. e MONT´ALVÃO, C. Ergonomia: conceitos e aplicações. Rio de Janeiro: 2AB, 1998;
- MORAES, A. e SOARES, M. Ergonomia e Usabilidade. Bahia: UNEB/Pósdesign, apostila do curso de pós-graduação em Design de Produto, 2003;

- NIELSEN, J. Usability engineering. Morgan Kaufmann Publishers, San Diego, 1993;
- ONUKI, M. et al, A Photo-Realistic Driving Simulation System for Mixed-Reality Traffic Experiment Space, artigo publicado no IEEE, 2005;
- PICARD R.W., HEALEY J., Detecting Stress During Real-World Driving Tasks Using Physiological Sensors, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 6, no. 2, pp. 156–166, Junho 2005;
- PICARD R.W., HEALEY J., Effective Wearables, in Wearable Computers, 1997. Digest of Papers, First International Symposium on, Oct 1997, pp. 90–97;
- PREECE, J. ROGERS, Y. SHARP, Helen. Design de interação: Além da interação homem-computador. *Porto Alegre: Bookman, 2005;*
- REBELO, I.. Interação e avaliação. Apostila. Brasília, DF. Última atualização novembro de 2009. Disponível em: <<http://irlabr.wordpress.com/apostila-de-ihc>>. Acesso em: 20 de jun. 2013;
- REDA, F.M. et al, Manual de Ergonomia, São José dos Campos: EMBRAER, 2000;
- SAE Surface Vehicle Recommended Practice - J1100. Motor Vehicle Dimension, Maio de 1995;
- SAE Surface Vehicle Recommended Practice - J941. Motor Vehicle Drivers's Eye Locations, Junho de 1992;
- SAE Surface Vehicle Recommended Practice - J1050. Describing and Measuring the Driver's Field of View, Agosto de 1994;
- SCHUTZER, K.; SOUZA, N.L., Tendência do Desenvolvimento de Produto na Indústria Automobilística, Artigo publicado no ENEGEP 1998. UNIMEP, SP;
- SIMTECH PRO S.L., Especificação Técnica FRAME D-BOX – SIMTECPRO, 2013;
- SINGER, G. Methods of Validating *Cockpit* Designs, Suécia: SAAB, 2004;
- SOUSA, L., RIBEIRO, P., Tempo de Percepção e Reação dos Motoristas em Interseções Semáforizadas, COPPE/UFRJ, artigo publicado no XXVII ANPET, Belém, 2013;
- TILLEY, A., Henry Dreyfuss Associates, As Medidas do Homem e da Mulher: Fatores Humanos em Design, Bookman, 2005, ISBN: 9788577801022;

- TORY, M. MOLLER, T., 2004. Human Factors in visualization researcher: IEEE Transactions on visualization and computer graphics, Vol. 10, no1, January/February;
- VARELA, F., THOMPSON, E., ROSCH, E. A mente incorporada – Ciências Cognitivas e Experiência Humana. Artmed. Porto Alegre, 2003;
- VERDUSSEN, R., Ergonomia: A racionalização humanizada do trabalho. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978;
- VIANA, M. et al. *Design Thinking*. MJV Press, Rio de Janeiro, 2012;
- VIEIRA, A.R., SILVA, R.S., Prototipação em Design Centrado no Usuário no Desenvolvimento de Simuladores de Direção: Um Estudo de Caso, paper do 4º Congresso Sul Americano de Design de Interação – Interaction South America, nov 2012;
- WEI, L., QI-CHANGA, H., XIU-MINA, F., Evaluation of driver fatigue on two channels of EEG data, ELSEVIER, Neuroscience Letters, 2012;
- YAN W., WEIJIAN X.; Design of Virtual Vision for a Driving Simulator, Proceeding of the 2003 IEEE – International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing, Changsha, China – Outubro, 2003;

Sites da Internet

- BestCars. <http://bestcars.uol.com.br/comp4/honda-crv-toyota-rav4-8.htm>
- JACK.Simulation Solutions. http://www.simsol.co.uk/ergonomic_analysis_jack.php, Data da consulta, 26/10/12
- Jbcarpages. <http://www.jbcarpages.com/honda/crv/>
- Jbcarpages. <http://www.jbcarpages.com/honda/crv/2011/specs/>
- RAMSIS. <http://www.appliedgroup.com/ramsis/>, Data da consulta, 26/10/12.
- Revista Quatro Rodas. <http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/honda-cr-v-682196.shtml>
- rFactor 2.0. <http://rfactor.net/web/rf2/>, Data da consulta, 20/05/14.

- SIMTECH PRO S.L. <http://www.simtechpro.com/simuladores/>, Data da consulta, 16/03/13.
- Pesquisa FapESp 194/19: http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/04/018-023_1941.pdf, Data da consulta, 15/10/13;

Apêndices

Apêndice A – Script do programa para criar um servidor para os sensores - Python

Programação em Python desenvolvido no LART - UnB

```
#!/usr/bin/python
```

```
# -*- coding:utf-8 -*-
```

```
""" Elabora um servidor AF_INET com suporte para broadcast. """
```

```
__author__ = "Luiz Fernando Gomes de Oliveira"
```

```
__version__ = '0.9'
```

```
import socket
```

```
import select
```

```
import signal
```

```
import sys
```

```
#import subprocess
```

```
#import shlex
```

```
import logging
```

```
import datetime
```

```
FILE_NAME = './teste.txt'
```

```
class Server(object):
```

```
    """docstring for Server"""
```

```
    def __init__(self, broad, ip='127.0.0.1', port=8080, verbose=False):
```

```
        super(Server, self).__init__()
```

```
        self.port = port
```

```
        # self.ip=socket.gethostname()
```

```
        self.ip = ip
```

```
        self.server_socket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
```

```
        self.CONNECTION_LIST = []
```

```
        self.verbose = verbose
```

```
        self.broad = broad
```

```
        self.ret = self.Setup()
```

```
        signal.signal(signal.SIGINT, self.signal_handler)
```

```
        self.live = False
```

```
        self.output = "
```

```
        self.logger = logging.getLogger(__name__)
```

```
        self.logger.setLevel(logging.INFO)
```

```
        if not broad:
```

```
            self.file = open(FILE_NAME, 'w')
```

```
            self.file.close()
```

```
        # create a file handler based on date
```

```

name = datetime.datetime.now().time().isoformat()
handler = logging.FileHandler(name.replace(':', '_')+'.log')

# define a logging format
formatter = logging.Formatter('%(asctime)s - %(message)s')
handler.setFormatter(formatter)
# add the handlers to the logger
self.logger.addHandler(handler)

def Setup(self):
    """ Setup server status and let it ready to be used"""
    self.server_socket.setsockopt(
        socket.SOL_SOCKET,
        socket.SO_REUSEADDR,
        1)
    try:
        self.server_socket.bind((self.ip, self.port))
        self.server_socket.listen(10)
        self.CONNECTION_LIST.append(self.server_socket)
        return (
            "Server seted Up on %s (%s:%s)" % (
                socket.gethostname(),
                self.ip,
                self.port)
        )
    except socket.error as error:
        if str(error) == '[Errno 13] Permission denied':
            self.ret = ""

    -----
    ( You need Super Cow Powers here.%s
    -----
    \ ^_^
    \ (oo)\_____
    (____)\       )\/\
    ||----w |
    ||     ||

    "" % ' )'.rjust(14)
    else:
        self.ret = ""

    -----
    %s
    -----
    \ ^_^
    \ (oo)\_____
    (____)\       )\/\
    ||----w |
    ||     ||

```

```

""" % (' ' + str(error) + ' ').rjust(14))

        raise Exception(self.ret)

def broadcast(self, sock, message):
    """
    Do not send the message to master socket and the client who has send
    us the message
    """
    # remove any \n on mesage
    message = message.replace('\n', " ")
    # save message on logging
    self.logger.info(str(message))
    for mysocket in self.CONNECTION_LIST:
        if mysocket != self.server_socket and mysocket != sock:
            try:
                # broadcast message
                mysocket.send(message)

            except:
                # broken socket connection may be, chat client pressed
                # ctrl+c for example
                mysocket.close()
                if mysocket in self.CONNECTION_LIST:
                    self.CONNECTION_LIST.remove(mysocket)

def Clients(self):
    """ Returns the list of clients """
    return len(self.CONNECTION_LIST)

def shutdown(self):
    """ Shutdown the server """
    self.live = False
    for sock in self.CONNECTION_LIST:
        try:
            sock.send('Shutting Down server')
        except:
            pass
        sock.close()
        self.CONNECTION_LIST.remove(sock)
    self.server_socket.close()

def run(self):
    """ Active routine when server is alive """
    self.live = True
    if self.broad:
        # sys.stdout.write("Socket ready\n")
        self.ret = "Socket ready\n"
        sys.stdout.write(self.ret)

```

```

else:
    sys.stdout.write(
        "File " +
        FILE_NAME +
        " cleaned and ready to be written\n")
while self.live:
    # Get the list sockets which are ready to be read through select
    try:
        read_sockets, write_sockets, error_sockets = select.select(
            self.CONNECTION_LIST, [], [], 0.5)
    except socket.error:
        self.signal_handler(0, 0)
        exit(0)
    except select.error:
        self.signal_handler(0, 0)
        exit(0)
    for sock in read_sockets:
        # New connection
        if sock == self.server_socket:
            # Handle the case in which there is a new connection
            # recieved through server_socket
            sockfd, addr = self.server_socket.accept()
            self.CONNECTION_LIST.append(sockfd)
            self.ret = "Client (%s, %s) connected" % addr
            self.ret += " [%d clients]\n" % (
                len(self.CONNECTION_LIST) - 1)
            sys.stdout.write(self.ret)
            # print "Client %s connected" % sockfd
            # self.broadcast(sockfd, "\n[%s:%s] entered room\n" % addr)

        # Some incoming message from a client
        else:
            # Data recieved from client, process it
            try:
                # In Windows, sometimes when a TCP program closes
                # abruptly, a "Connection reset by peer" exception will
                # be thrown
                data = sock.recv(1024)

                if data:
                    # self.broadcast(sock, '<' + str(sock.getpeername())
                    # + '> [' + data + ']')
                    self.output = data
                    if self.broad:
                        self.broadcast(sock, data)
                    else:
                        try:
                            # Somehow, it need a time here
                            sys.stdout.write(" ")

```

```

        self.file = open(FILE_NAME, 'a')
        self.file.write(data)
        self.file.close()
    except Exception as e:
        Exception(
            "Fail in open the file: %s" %
            str(e))
    if self.verbose:
        sys.stdout.write(data)

except:
    # self.broadcast(sock, "Client (%s, %s) is offline"
    # % addr)
    self.ret = "Client (%s, %s) is offline" % addr
    self.ret += " [%d clients]\n" % (
        len(self.CONNECTION_LIST) - 1)
    sys.stdout.write(self.ret)
    sock.close()
    if sock in self.CONNECTION_LIST:
        self.CONNECTION_LIST.remove(sock)
    continue

def signal_handler(self, my_signal, frame):
    """ handle the signal interruption """
    print '\rCtrl+C hited!'
    for sock in self.CONNECTION_LIST:
        try:
            sock.send('Shutting Down server')
        except:
            sys.stdout.write('Recived %s from %s' % (my_signal, frame))
            sock.close()
            self.CONNECTION_LIST.remove(sock)
    self.server_socket.close()
    sys.exit()

def main():
    """ Main routine

    Start up a UDP server and broadcast it as default """
    import optparse
    parser = optparse.OptionParser(
        usage="%prog [options] [port [baudrate]]",
        description="Server - A simple terminal program for Broadcasting data."
    )

    parser.add_option("-q", "--quiet",
        dest="quiet",
        action="store_false",

```

```

        help="suppress non error messages",
        default=True
    )
    parser.add_option("-p",
        dest="port",
        type='int',
        help="port, a number or a device name",
        default=88
    )

    parser.add_option("-b",
        dest="broadcast",
        action="store_true",
        help="Enable the broadcast, disabling file write",
        default=True
    )

    parser.add_option("-f",
        dest="file_write",
        action="store_false",
        help="Enable the file write, disabling the broadcast",
        default=True
    )

    (options, args) = parser.parse_args()
    if len(args) == 0:
        sys.stdout.write("Default mode\n")
    if options.quiet is False:
        sys.stdout.write("Quiet mode\n")

    k = Server(
        ip='127.0.0.1',
        port=options.port,
        verbose=options.quiet,
        broadcast=options.broadcast)
    print k.ret
    k.run()

if __name__ == '__main__':
    main()

```

Apêndice B - Script do programa para leitura dos dados dos sensores – Python

Programação em Python desenvolvido no LART - UnB

```
#!/usr/bin/python
#-*- coding:utf-8 -*-

""" Cliente para uma rede AF_INET.

O Objetivo principal deste cliente é de apenas informar dados na rede, sem em momento algum coletar informações da rede. """

__author__ = "Luiz Fernando Gomes de Oliveira"
__version__ = '0.9'

import time
import serial
import signal
import sys
import io
try:
    from serial.tools.miniterm import
    Miniterm, CONVERT_CR, CONVERT_CRLF, CONVERT_LF, EXITCHARACTER, MENUCHARACTER
    from serial.tools.list_ports import comports
except Exception, e:
    if float(serial.VERSION) < 2.6 :
        print 'Upgrade Pyserial'
    raise e

from client import Client

#Rewrite for some methods
class MyTerm(Miniterm):
    """Terminal projetado com base no terminal padrão da linguagem.
    Herda as propriedades da classe Miniterm, tendo apenas alguns metodos alterados."""

    def signal_handler(self, signal, frame):
        """ Espera por uma interrupção para derrubar o cliente"""
        sys.stdout.write("\rCtrl+C hited!\nSerial %s closed\n"%self.serial.portstr)
        self.stop()
        time.sleep(0.01)
        self.serial.close()
        sys.exit(0)

    def start(self, port=88):
        """ Coloca o cliente no estado ativo """
        self.live = True
        self.client = Client(port=port, verbose=False)
        try:
            signal.signal(signal.SIGINT, self.signal_handler)
        except Exception, e:
            pass
        self.reader()

    def reader(self):
        """ Loop infinito em qual o cliente fara a leitura de dados da serial e os enviará
        para o servidor.
        A função permanecerá ativa enquanto a variavel self.alive for True."""
        try:
            line=""
            sys.stdout.write("Writing data on %s at port %s\n"%(self.client.ip, self.client.port))
            while self.live:
                try:
                    data = self.serial.read(1)
                except serial.SerialException, e:
                    raise e

                output=""
                if (self.live == False):
                    sys.stdout.write("\nStoped!\n")
```

```

        if self.repr_mode == 0:
            # direct output, just have to care about newline setting
            if data == '\r' and self.convert_outgoing == CONVERT_CR:
                output = '\n'
            else:
                #sys.stdout.write(data)
                output = data
        elif self.repr_mode == 1:
            # escape non-printable, let pass newlines
            if self.convert_outgoing == CONVERT_CRLF and data in '\r\n':
                if data == '\n':
                    output = '\n'
                elif data == '\r':
                    pass
            elif data == '\n' and self.convert_outgoing == CONVERT_LF:
                output = '\n'
            elif data == '\r' and self.convert_outgoing == CONVERT_CR:
                output = '\n'
            else:
                output = repr(data)[1:-1]
        elif self.repr_mode == 2:
            # escape all non-printable, including newline
            output = repr(data)[1:-1]
        elif self.repr_mode == 3:
            # escape everything (hexdump)
            for character in data:
                output = "%s " % character.encode('hex')

        sys.stdout.flush()
        if(output=='\n'):
            self.client.write(line)
            line = '\n'
        else:
            line+=output

    except serial.SerialException:
        self.live = False
        self.serial.close()
        # would be nice if the console reader could be interrupted at this
        # point...
        raise
    except serial.serialutil.SerialException, e:
        self.live = False
        self.serial.close()
        # would be nice if the console reader could be interrupted at this
        # point...
        raise

def key_description(character):
    """ Gera uma descrição legível para uma tecla/combinção de teclas """
    ascii_code = ord(character)
    if ascii_code < 32:
        return 'Ctrl+%c' % (ord('@') + ascii_code)
    else:
        return repr(character)

def scan():
    """Procura por portas disponíveis
    Retorna lista contendo as portas disponíveis"""
    available = []
    for i in range(256):
        try:
            s = serial.Serial(i)
            available.append(s.portstr)
            s.close() # explicit close 'cause of delayed GC in java
        except serial.SerialException:
            pass
        except OSError:
            pass
    try:
        import glob
        available += glob.glob('/dev/ttyUSB*') + glob.glob('/dev/ttyACM*')

```

```

except:
    pass

try:
    for port, desc, hwid in sorted(comports()):
        if port not in port:
            available.append( port)

except Exception, e:
    raise e

return available

def main():

    DEFAULT_PORT = 'COM3'
    DEFAULT_BAUDRATE = 9600
    SOCKET_PORT = 88

    import optparse

    parser = optparse.OptionParser(
        usage = "%prog [options] [port [baudrate]]",
        description = "Terminal - A simple terminal program for the serial port and send data by a socket."
    )

    parser.add_option("-q", "--quiet",
        dest = "quiet",
        action = "store_false",
        help = "suppress non error messages",
        default = True
    )

    parser.add_option("-l", "--list",
        dest = "list",
        action = "store_true",
        help = "list available ports",
        default = False
    )

    parser.add_option("-p",
        dest = "port",
        help = "port, a number or a device name",
        default = ""
    )

    parser.add_option("-s",
        dest = "socket",
        type = 'int',
        help = "socket port, a number (default %default)",
        default = 88
    )

    parser.add_option("-b",
        dest = "baudrate",
        action = "store",
        type = 'int',
        help = "set baud rate, default %default",
        default = 9600
    )

    (options, args) = parser.parse_args()

    try:
        if(options.port == ""):
            ports = scan()
            sys.stdout.write("Avalable ports:\n")
            #for i in ports:
            #    sys.stdout.write("\t" + i + '\n')
            for port, desc, hwid in sorted(comports()):
                sys.stdout.write("--- %-20s %s\n" % (port, desc))

            DEFAULT_PORT = ""
            DEFAULT_PORT = raw_input("Choose one port: ")

```

```

        while DEFAULT_PORT not in ports:
            sys.stdout.write('Choose a VALID port\n')
            DEFAULT_PORT = raw_input("Choose one port: ")

except KeyboardInterrupt:
    sys.stdout.write("\nBye\n")
    exit(0)
except EOFError:
    sys.stdout.write("\nBye\n")
    exit(0)

if(options.list):
    ports = scan()
    sys.stdout.write(" Available ports:\n")
    for i in ports:
        sys.stdout.write("\t' + i + '\n')
    exit(0)

if((options.port != DEFAULT_PORT) and (options.port != "")):
    DEFAULT_PORT = options.port
if(options.baudrate != DEFAULT_BAUDRATE):
    DEFAULT_BAUDRATE = options.baudrate
if(options.socket != 88):
    SOCKET_PORT = options.socket

try:
    miniterm = MyTerm(
        DEFAULT_PORT,
        DEFAULT_BAUDRATE,
        'N',
        rtscts=False,
        xonxoff=False
    )
except serial.SerialException, e:
    sys.stderr.write("could not open port %r: \n%s\n" % (DEFAULT_PORT, e))
    sys.exit(1)
except OSError, e:
    sys.stderr.write("could not open port %r: \n%s\n" % (DEFAULT_PORT, e))
    sys.exit(1)

if not options.quiet:
    sys.stderr.write('--- Terminal on %s: %d,%s,%s,%s --- Under port %s\n' % (
        miniterm.serial.portstr,
        miniterm.serial.baudrate,
        miniterm.serial.bytesize,
        miniterm.serial.parity,
        miniterm.serial.stopbits,
        SOCKET_PORT
    ))

if not options.quiet:
    sys.stderr.write('--- Quit: %s ---\n' % (
        key_description('\x03'),      #Ctrl+C
    ))

miniterm.start(SOCKET_PORT)
if not options.quiet:
    sys.stderr.write("\n--- Bye ---\n")
miniterm.join()
if __name__ == '__main__':
    main()

```

Apêndice C - Script do programa para gerar printscreens em sincronia com os dados dos sensores. – Python

Programação em Python desenvolvido no LART - UnB

```
#!/usr/bin/python
# -*- coding:utf-8 -*-

from CAVEsocket.client import Client
import logging
import datetime
import os
try:
    from PIL import ImageGrab
except ImportError:
    #To avoid problems on Linux/MAC
    import pyscreenshot as ImageGrab

data_dict = {}
logger = logging.getLogger(__name__)
logger.setLevel(logging.INFO)
name = datetime.datetime.now().time().isoformat()
handler = logging.FileHandler(name.replace(':', '_') + '.log')

# define a logging format
formatter = logging.Formatter('%(asctime)s - %(message)s')
handler.setFormatter(formatter)
# add the handlers to the logger
logger.addHandler(handler)

# the max number of reads between each Unity ID
MAX = 500
i=0
if __name__ == '__main__':
    key = 0
    data_dict[key] = []
```

```

#client = Client(ip='127.0.0.1', port=9876, verbose=False)
client = Client(ip='127.0.0.1', port=88, verbose=False)
print "Connected!"
if not os.path.exists('./screens/'):
    os.makedirs('./screens/')
print "Graber ready"
while True:
    data = client.read()
    im = ImageGrab.grab()
    if data[0] != 'N':
        key = data
        if not key in data_dict:
            data_dict[key] = []
    else:
        data_dict[key].append(data)
        if len(data_dict[key]) > MAX:
            data_dict[key] = data_dict[key][1:]
    logger.info(data_dict)
    name = datetime.datetime.now().time().isoformat()
    print "img saved" + name
    im.save('./screens/' + 'Img_' + name.replace(':', '_') + '.jpg')

```

Apêndice D – Script Matlab – Visualiza Sinais e Imagens

```
function [tempos_nohs_segundos, medidas, dia, hora, tempos_segundos] =
visualiza_sinais_e_imagens_sem_outliers_escalas_uniformes(pasta_com_log_e_imagens,
numero_de_imagens_em_cada_storyboard);

linhas_story_board = 5;
colunas_story_board = 5;

if (nargin < 2)
    numero_de_imagens_em_cada_storyboard = linhas_story_board * colunas_story_board;
end

global a_

a_ = {};

close all

cd(pasta_com_log_e_imagens);
warning('off');
mkdir('eps');
mkdir('png');
warning('on');
cd ..

D = dir([pasta_com_log_e_imagens '/*.log']);
arquivo_log = [pasta_com_log_e_imagens '/' D(1).name];

[tempos_nohs_segundos, medidas, dia, hora, tempos_segundos] =
leitura_logsensores(arquivo_log);
hora_inicial = hora{1};

numero_figura = 0;

%%
% Filtro de medidas
m = length(medidas);

Ts = 0.0001;
a = 2*pi*40;

for kk = 1:m
    out = medidas{kk};
    n = length(out(:,1));

    med_fil = zeros(size(out));
    med_fil(1,:) = mean(out);

    for k = 2:n
        med_fil(k,:) = (1-Ts*a)*med_fil(k-1,:) + Ts*a*out(k-1,:);
    end
    medidas{kk} = med_fil;
end

%%
a = [];
for noh = 1 : length(tempos_nohs_segundos);
    for sensor = 1 : size(medidas{noh}, 2)
        a = [];
```

```

[x, t] = extrai_um_sinal_das_medidas(medidas, tempos_nohs_segundos, noh, sensor);
titulo = [];
titulo_resumido = [];
a3 = 0;
a4 = 1;
if (sensor == 1) & (noh == 2) % sinal de GSR
    % Remover outliers
    k = find(x <= 250);
    for(n = 1 : length(k))
        i = k(n);
        while(ismember(i, k))
            i = i - 1;
        end
        x(k(n)) = x(i);
    end
    % Determinar faixas dos eixos horizontal e vertical
    a3 = 283;
    a4 = 350;
    titulo = 'Sinal de GSR (V \times 100)';
    titulo_resumido = 'sinal de GSR';
end
if ((sensor == 1) | (sensor == 2)) & (noh == 1) % sinal de respiração
    x = x/max(x);
    titulo = 'Sinal de respiração (normalizado)';
    titulo_resumido = 'sinal de respiração';
end
if ((sensor == 3) | (sensor == 4)) & (noh == 1) % sinal de pressão
    x = x/max(x);
    titulo = 'Sinal de pressão plantar (normalizado)';
    titulo_resumido = 'sinal de pressão plantar';
end
figure;
numero_figura = numero_figura + 1;
plot(t, x);
limite_inferior = min(x) - 0.1 * (max(x) - min(x));
limite_superior = max(x) + 0.1 * (max(x) - min(x));
if(length(a) == 0)
    a = axis();
    %if(limite_superior > limite_inferior)
    % a(3) = limite_inferior;
    % a(4) = limite_superior;
    %end
end
a = [a(1) a(2) a3 a4];
axis(a);
grid on;
xlabel('Tempo (segundos)');
if(length(titulo) == 0)
    ylabel(['Sinal do sensor ' num2str(sensor) ' do nó ' num2str(noh) ' (\times 100 V)']);
else
    ylabel(titulo);
end
disp(numero_figura)
maximize(numero_figura);
arquivo_imagem_grafico_png = [pasta_com_log_e_imagens '/png/sinal_sensor' num2str(sensor)
'_noh' num2str(noh)];
comando_geracao_arquivo_png = ['print -dpng ' arquivo_imagem_grafico_png];
eval(comando_geracao_arquivo_png);
arquivo_imagem_grafico_eps = [pasta_com_log_e_imagens '/eps/sinal_sensor' num2str(sensor)
'_noh' num2str(noh)];
comando_geracao_arquivo_eps = ['print -depnc ' arquivo_imagem_grafico_eps];
eval(comando_geracao_arquivo_eps);
arquivo_imagem_grafico_png_rms = [pasta_com_log_e_imagens '/png/rms_sinal_sensor'
num2str(sensor) '_noh' num2str(noh)];
arquivo_imagem_grafico_png_freq_media = [pasta_com_log_e_imagens
'/png/freq_media_sinal_sensor' num2str(sensor) '_noh' num2str(noh)];
rms_data(x, t, 15, arquivo_imagem_grafico_png_rms, titulo_resumido);
mean_frequency_data(x, t, 15, arquivo_imagem_grafico_png_freq_media, titulo_resumido);

```

```

end
lista_nohs = {noh};
lista_sensores_ = 1 : size(medidas{noh}, 2);
lista_sensores_cada_noh{noh} = lista_sensores_(:);
numero_figura = graficos_varios_sensores(lista_nohs, lista_sensores_cada_noh, medidas,
tempos_nohs_segundos, 1, 1, numero_figura);
arquivo_imagem_grafico_png = [pasta_com_log_e_imagens '/png/sinais_noh' num2str(noh)];
comando_geracao_arquivo_png = ['print -dpng ' arquivo_imagem_grafico_png];
eval(comando_geracao_arquivo_png);
arquivo_imagem_grafico_eps = [pasta_com_log_e_imagens '/eps/sinais_noh' num2str(noh)];
comando_geracao_arquivo_eps = ['print -depnc ' arquivo_imagem_grafico_eps];
eval(comando_geracao_arquivo_eps);
n_regioes = input(['Entre o número de regiões a serem destacadas nos sinais do nó '
num2str(noh) ': ']);
figure(numero_figura);
inicio_fim_de_cada_regiao = ginput(2 * n_regioes);

for(k = 1 : n_regioes)
    inicio = inicio_fim_de_cada_regiao(2 * k - 1, 1);
    fim = inicio_fim_de_cada_regiao(2 * k, 1);
    for(numero_grafico = 1 : size(medidas{noh}, 2))
        subplot(size(medidas{noh}, 2), 1, numero_grafico);
        if(length(a_) < numero_grafico)
            a_{numero_grafico} = axis;
        end
        hold on;
        switch mod(k, 2)
        case 0
            tipo_linha = 'm--';
            margem = 0.10;
        case 1
            tipo_linha = 'r';
            margem = 0.15;
        end
        Margem = 0.18;
        a = a_{numero_grafico};
        minimo = a(3) - margem * (a(4) - a(3));
        maximo = a(4) + margem * (a(4) - a(3));
        plot([inicio inicio], [minimo maximo], tipo_linha);
        plot([inicio fim], [minimo minimo], tipo_linha);
        plot([fim fim], [minimo maximo], tipo_linha);
        plot([inicio fim], [maximo maximo], tipo_linha);
        axis([a(1) a(2) a(3)-Margem*(a(4)-a(3)) a(4)+Margem*(a(4)-a(3))]);
    end
    I = montagem_story_board(pasta_com_log_e_imagens, inicio, fim, hora_inicial,
linhas_story_board, colunas_story_board);
    imwrite(I, [pasta_com_log_e_imagens '/story_board_regiao_' num2str(k) '_noh'
num2str(noh) '.png'], 'png');
end

arquivo_imagem_grafico_png = [pasta_com_log_e_imagens '/png/sinais_noh' num2str(noh)
'_com_marcacao'];
comando_geracao_arquivo_png = ['print -dpng ' arquivo_imagem_grafico_png];
eval(comando_geracao_arquivo_png);
arquivo_imagem_grafico_eps = [pasta_com_log_e_imagens '/eps/sinais_noh' num2str(noh)
'_com_marcacao'];
comando_geracao_arquivo_eps = ['print -depnc ' arquivo_imagem_grafico_eps];
eval(comando_geracao_arquivo_eps);
end

function I = montagem_story_board(pasta_com_log_e_imagens, inicio, fim, hora_inicial,
numero_linhas, numero_colunas);
numero_de_imagens_em_cada_storyboard = numero_linhas * numero_colunas;
lista_arquivos = {};
D = dir([pasta_com_log_e_imagens '/*.jpg']);
% hora_inicial: 11:06:50,105

```

```

t_inicial = str2num(hora_inicial(1:2)) * 3600 + str2num(hora_inicial(4:5)) * 60 +
str2num(hora_inicial(7:8)) + str2num(hora_inicial(10:end)) * 10^(-
length(hora_inicial(10:end)));
for(k = 1 : length(D))
    arquivo = D(k).name;
    hora = arquivo(5 : end - 4); % 11_06_50.105000
    t = str2num(hora(1:2)) * 3600 + str2num(hora(4:5)) * 60 + str2num(hora(7:8)) +
str2num(hora(10:end)) * 10^(-length(hora(10:end)));
    if(t >= t_inicial + inicio & t <= t_inicial + fim)
        lista_arquivos(length(lista_arquivos) + 1) = arquivo;
    end
end
if(length(lista_arquivos) > numero_de_imagens_em_cada_storyboard)
    k = round(linspace(1, length(lista_arquivos), numero_de_imagens_em_cada_storyboard));
    for n = 1 : length(k);
        l_{n} = lista_arquivos{k(n)};
    end
    lista_arquivos = l_;
end
for(k = 1 : numero_linhas)
    Ir{k} = [];
    Ig{k} = [];
    Ib{k} = [];
end
coluna = 1;
linha = 1;
for(k = 1 : length(lista_arquivos))
    I_ = imread([pasta_com_log_e_imagens '/' lista_arquivos{k}]);
    Ir{linha} = [Ir{linha} zeros(size(I_, 1), 10) I_(:, :, 1)];
    Ig{linha} = [Ig{linha} zeros(size(I_, 1), 10) I_(:, :, 2)];
    Ib{linha} = [Ib{linha} zeros(size(I_, 1), 10) I_(:, :, 3)];
    if(coluna < numero_colunas)
        coluna = coluna + 1;
    else
        coluna = 1;
        linha = linha + 1;
    end
end
end

Ir_ = [];
Ig_ = [];
Ib_ = [];

for(k = 1 : length(Ir))
    k1 = max([size(Ir_, 2) size(Ir{k}, 2)]);
    Ir_ = [[Ir_ zeros(size(Ir_, 1), k1 - size(Ir_, 2))]; [Ir{k} zeros(size(Ir{k}, 1), k1 -
size(Ir{k}, 2))]];
    k1 = max([size(Ig_, 2) size(Ig{k}, 2)]);
    Ig_ = [[Ig_ zeros(size(Ig_, 1), k1 - size(Ig_, 2))]; [Ig{k} zeros(size(Ig{k}, 1), k1 -
size(Ig{k}, 2))]];
    k1 = max([size(Ib_, 2) size(Ib{k}, 2)]);
    Ib_ = [[Ib_ zeros(size(Ib_, 1), k1 - size(Ib_, 2))]; [Ib{k} zeros(size(Ib{k}, 1), k1 -
size(Ib{k}, 2))]];
    %Ig_ = [Ig_; Ig{k}];
    %Ib_ = [Ib_; Ib{k}];
end

I(1 : size(Ir_,1), 1 : size(Ir_,2), 1) = Ir_;
I(1 : size(Ig_,1), 1 : size(Ig_,2), 2) = Ig_;
I(1 : size(Ib_,1), 1 : size(Ib_,2), 3) = Ib_;

```

Apêndice E – Script Matlab – Leitura Log Sensores

```
function [tempos_nohs_segundos, medidas, dia, hora, tempos_segundos] =
leitura_logsensores(arquivo_log);

fid = fopen(arquivo_log, 'r');
k = 1;

linha = fgetl(fid);
t = linha(1:23);
h = t(12:23);
hora_inicial = str2num(h(1:2));
minuto_inicial = str2num(h(4:5));
segundo_inicial = h(7:12);
segundo_inicial(3) = '.';
segundo_inicial = str2num(segundo_inicial);
while(length(linha) > 0 & length(linha) >= 23)
    t = linha(1:23);
    dia{k} = t(1:10);
    hora{k} = t(12:23);
    h = hora{k};
    hora_ = str2num(h(1:2));
    minuto = str2num(h(4:5));
    segundo = h(7:12);
    segundo(3) = '.';
    segundo = str2num(segundo);
    tempos_segundos(k) = (hora_ - hora_inicial) * 3600 + (minuto - minuto_inicial) * 60 +
(segundo - segundo_inicial) ;
    k = k + 1;
    linha = fgetl(fid);
end

fclose(fid);

fid = fopen(arquivo_log, 'r');
k = 1;
linha = fgetl(fid);
medidas = {};
tempos_nohs_segundos = {};
while(length(linha) > 0 & length(linha) >= 23)
    noh = 1;
    noh_encontrado = 1;
    while(noh_encontrado)
        inicio = ['Node:' num2str(noh, '%04d') ',MEDIDAS:'];
        fim = '\x00\r';
        posicao_inicio = strfind(linha, inicio);
        posicao_fim = strfind(linha, fim);

        if(length(posicao_inicio) > 0 & length(posicao_fim) > 0)
            posicao_inicio = posicao_inicio(end);
            posicao_fim = posicao_fim(end);
            medidas_na_linha = min([length(posicao_inicio) length(posicao_fim)]);
            if(length(tempos_nohs_segundos) < noh)
                tempos_nohs_segundos{noh} = [];
            end
            tempo_inicio = tempos_segundos(k);
            if(length(tempos_segundos) >= k + 1)
                tempo_fim = tempos_segundos(k + 1);
            else
                tempo_fim = tempos_segundos(k) + tempos_segundos(k) - tempos_segundos(k - 1);
            end
            novos_tempos = linspace(tempo_inicio, tempo_fim - (tempo_fim-
tempo_inicio)/medidas_na_linha, medidas_na_linha);
            tempos_nohs_segundos{noh} = [tempos_nohs_segundos{noh}; novos_tempos(:)];
            for n = 1:medidas_na_linha
                s = linha(posicao_inicio(n)+19 : posicao_fim(n)-1);
                if(round(k/100)*100 == k)
```


Apêndice F - Script Matlab – Frequência Média Data

```
function [mean_freqs_x, centersBars_mean_freqs_x] = mean_frequency_data(x, t, interval,
arquivo, titulo_resumido);

Ts = mean(t(2 : end) - t(1 : end - 1));
n_samples = round(interval/Ts);
overlap = round(0.1 * n_samples);

mean_freqs_x = [];
centersBars_mean_freqs_x = [];
begin_interval = 1;
end_interval = n_samples;
while((begin_interval < length(x)) & (begin_interval < end_interval))
    x_ = x(begin_interval : end_interval);
    x_ = x_(:) .* window(@hamming, length(x_));
    X = fft(x_);
    X = X(1 : round(length(X) / 2));
    X = abs(X);
    mean_freqs_x = [mean_freqs_x sum((X.') .* (0 : length(X) - 1))/length(X) * 1/Ts];
    centersBars_mean_freqs_x = [centersBars_mean_freqs_x...
        mean(t(begin_interval : end_interval))];
    begin_interval = begin_interval + n_samples - overlap;
    end_interval = end_interval + n_samples - overlap;
    if(end_interval > length(x))
        end_interval = length(x);
    end
end

save([arquivo '.mat'], 'mean_freqs_x', 'centersBars_mean_freqs_x');

bar(centersBars_mean_freqs_x, mean_freqs_x);
xlabel('Tempo (segundos)');
ylabel(['Frequência média (Hz) do ' titulo_resumido ' em janelas de ' num2str(interval) '
segundos']);
comando_geracao_arquivo_png = ['print -dpng ' arquivo];
eval(comando_geracao_arquivo_png);
```

Apêndice G - Script Matlab – RMS Data

```
function [rms_x, center_bars_rms_x] = rms_data(x, t, interval, arquivo, titulo_resumido);

Ts = mean(t(2 : end) - t(1 : end - 1));
n_samples = round(interval/Ts);
overlap = round(0.1 * n_samples);

rms_x = [];
centers_bars_rms_x = [];
begin_interval = 1;
end_interval = n_samples;
while((begin_interval < length(x)) & (begin_interval < end_interval))
    x_ = x(begin_interval : end_interval);
    x_ = x_(:) .* window(@hamming, length(x_));
    rms_x = [rms_x sum(x_.^2)/length(x_)];
    centers_bars_rms_x = [centers_bars_rms_x...
        mean(t(begin_interval : end_interval))];
    begin_interval = begin_interval + n_samples - overlap;
    end_interval = end_interval + n_samples - overlap;
    if(end_interval > length(x))
        end_interval = length(x);
    end
end

save([arquivo '.mat'], 'rms_x', 'centers_bars_rms_x');

bar(centers_bars_rms_x, rms_x);
xlabel('Tempo (segundos)');
ylabel(['Valor eficaz do ' titulo_resumido ' em janelas de ' num2str(interval) ' segundos']);
comando_geracao_arquivo_png = ['print -dpng ' arquivo];
eval(comando_geracao_arquivo_png);
```

Apêndice H – TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE

O (a) senhor (a) está sendo convidado (a) a participar do projeto “SIMULAÇÃO VEICULAR COM O USO DE DADOS FISIOLÓGICOS E INTERFACES DE REALIDADE VIRTUAL”.

O nosso objetivo é o projeto, construção e validação de um simulador veicular universal em que se possa testar em qualquer ambiente, qualquer veículo com o uso da Realidade Virtual com a tomada de dados fisiológicos do condutor. O conforto do condutor dentro do *cockpit* será analisado por meio das análises fisiológicas e mostrando de acordo com sua correlação se existiria modificações e soluções possíveis na busca da otimização do próprio projeto do *cockpit* e no ato de direção.

O (a) senhor (a) receberá todos os esclarecimentos necessários antes e no decorrer da pesquisa.

A sua participação será através de:

- a) avaliação antropométrica simplificada (peso e altura);
- b) avaliação usando um questionário subjetivo com o intuito de obter informações sobre o seu estado emocional no momento anterior e posterior ao experimento e a sua percepção sobre o experimento em si.
- c) Instrumentação dos sensores fisiológicos ao longo do corpo do voluntário;
- d) Realização dos experimentos no simulador veicular com duração média de 10 minutos.

Vale ressaltar que não haverá nenhum tipo de pagamento ou gratificação financeira pela sua participação na pesquisa. Você também não receberá nenhuma cobrança pela participação neste estudo. A qualquer momento, caso se sinta

desconfortável, você poderá desistir de participar da pesquisa, sem nenhum prejuízo para o (a) senhor (a).

Todos os dados coletados serão usados para fins acadêmicos e você será informado (a) sobre o andamento do estudo. Os resultados da pesquisa serão divulgados na Universidade de Brasília – Faculdade Gama, podendo ser publicados posteriormente. Os dados e materiais utilizados na pesquisa ficarão sobre a guarda do pesquisador. Ao final da pesquisa, se for do seu interesse, você terá livre acesso ao conteúdo da mesma, podendo discutir os dados com os pesquisadores.

A equipe não possui seguro para este projeto, mas, ficam resguardados todos os direitos dos voluntários, sendo que o (a) senhor (a) poderá pleitear indenização caso ocorra algum dano ou se sinta lesado decorrente de sua participação nesta pesquisa. A sua participação neste estudo não acarreta nenhum dano físico, psicológico ou material.

O voluntário poderá sentir algum desconforto ou sensação de tontura durante o experimento por conta da proximidade do simulador à tela de projeção, mas este cessará tão logo o experimento termine. Ressaltando que o aparato experimental foi projetado para permitir toda a segurança ao voluntário, com o assento dotado de cinto de segurança e o campus do Gama detém de uma ambulância para eventuais emergências.

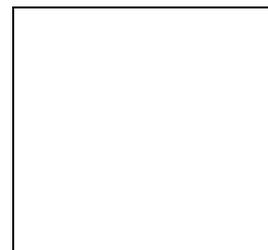
Os pesquisadores envolvidos são responsáveis pelo desenvolvimento da pesquisa de forma confidencial, garantindo a manutenção do sigilo e da privacidade dos participantes da pesquisa durante todas as fases da pesquisa e revelando os resultados aos voluntários, cumprindo as exigências da Resolução CNS 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde/Ministério da Saúde.

Para perguntas, dúvidas ou problemas referentes à pesquisa, por favor ligue para (61) 9160-2100, chamando por Mateus Rodrigues Miranda.

Este documento foi elaborado em duas vias, uma ficará com o pesquisador responsável e a outra com o voluntário da pesquisa.

Tendo lido, compreendido e aceitado tais esclarecimentos e, por estar de pleno acordo com o teor deste documento, eu, _____ aprovo a minha participação na pesquisa “SIMULAÇÃO VEICULAR COM O USO DE DADOS FISIOLÓGICOS E INTERFACES DE REALIDADE VIRTUAL”, assinando e datando este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Assinatura do Voluntário



Gama - DF, ____ de _____ de 2014.

Mateus Rodrigues Miranda

Pesquisador Responsável

Orientador da Pesquisa

Apêndice I - Termo_de_autorizacao_para_utilizacao_de_imagem_e_som_de_voz

Termo de Autorização para Utilização de Imagem e Som de Voz para fins de pesquisa

Eu, _____, autorizo a utilização da minha imagem e som de voz, na qualidade de participante/entrevistado(a) no projeto de pesquisa intitulado SIMULAÇÃO VEICULAR COM O USO DE DADOS FISIOLÓGICOS E INTERFACES DE REALIDADE VIRTUAL, sob responsabilidade de Mateus Rodrigues Miranda vinculado(a) ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Mecânicas.

Minha imagem e som de voz podem ser utilizados apenas para análise por parte da equipe de pesquisa e apresentações em conferências profissionais e/ou acadêmicas.

Tenho ciência de que não haverá divulgação da minha imagem nem som de voz por qualquer meio de comunicação, sejam elas televisão, rádio ou internet, exceto nas atividades vinculadas ao ensino e a pesquisa explicitadas acima. Tenho ciência também de que a guarda e demais procedimentos de segurança com relação às imagens e sons de voz são de responsabilidade do(a) pesquisador(a) responsável.

Deste modo, declaro que autorizo, livre e espontaneamente, o uso para fins de pesquisa, nos termos acima descritos, da minha imagem e som de voz.

Este documento foi elaborado em duas vias, uma ficará com o(a) pesquisador(a) responsável pela pesquisa e a outra com o(a) participante.

Assinatura do (a) participante

Assinatura do (a) pesquisador (a)

Brasília, ____ de _____ de _____

Apêndice J - Instrumento de Pesquisa – Questionário Subjetivo

Questionário Subjetivo – Simulação Veicular - LART

Prezado participante:

Favor preencher os campos abaixo como complemento do questionário para a avaliação subjetiva deste experimento.

Data: ___/___/___

Horário de início do ensaio: _____ Horário início da simulação: _____

Dados Individuais

Nome: _____

Sexo: Masculino Feminino

Idade: _____ Peso(kg): _____ Altura(m): _____

Você é: Destro Canhoto

Grau de Instrução: Ensino Médio Ensino Superior Pós-graduação

Se graduado/graduando, qual o curso: _____

Questionário de Pré-Condução

1 - Você ingeriu bebida alcoólica durante as últimas 24 horas?

Sim Não

2- Quantas horas você dormiu na última noite, aproximadamente?

Até 4 horas 5 horas 6 horas 7 horas 8 horas Mais de 8 horas

3 - Você se sente cansado hoje?

Sim Não

4 - Com qual frequência você dirige em:

Nunca/ Quase nunca/ Às vezes/ Quase sempre/ Sempre

Trecho urbano:

Rodovia:

Calçamento:

Estrada de terra:

5 - Quanto tempo, em média, você dirige por dia, aproximadamente?

_____ (minutos)

6 – Em quantos dias por semana você dirige?

_____ (dias)

7 - Por quanto tempo você está dirigindo?

- Menos de 1 ano Entre 1-5 anos Entre 5-15 anos Mais de 15 anos

8 - Qual hora do dia que você costuma dirigir? (Marcar todos os aplicáveis)

- Amanhecer Durante o dia Anoitecer Noite

9 - Qual o tipo de veículo que você dirige na maioria das vezes (marque um)?

- Motocicleta
 Carro de Passeio Motor 1.0 1.4 1.6 1.8 2.0 >2.0
 SUV 1.4 1.6 1.8 2.0 >2.0
 Van ou Minivan 1.4 1.6 1.8 2.0 >2.0
 Pick-Up

Outros: _____

10 - Como você descreveria a si mesmo em termos de experiência de condução?

- Muito inexperiente
 Inexperiente
 Nem inexperiente, nem experiente.
 Experiente
 Muito experiente

11 - Como você descreveria o seu estilo de condução em geral?

- Muito atento Atento Distraído Muito Distraído

12 - Você tem alguma experiência com simuladores de veículos?

- Sim Não

13 - Por favor, se for positiva a resposta, qual a estimativa de tempo de condução em simulador:

_____ horas

14 - Quais tipos de simulador você já usou? (marcar todos os aplicáveis)

- Baixo nível, (ex.: vídeo game com controle de mão/joystick)
 Estático / semi dinâmico, (ex.: vídeo game com volante/pedal/cambio)
 Dinâmico (ex.: simuladores com movimento de assento e volante/pedal/cambio)
 Realidade virtual (ex.: simuladores 3D, 4D, com movimentação)

15 - Alguma vez você experimentou desconforto/enjoo devido a movimentos realizados (trepidação, giro, etc) ou enquanto usando simuladores?

- Sim Não

16 – Em caso positivo, quando foi a última vez que que você experimentou tal desconforto devido a movimentos?

- Recentemente
 Nos últimos 5 anos
 Mais de 5 anos

Questionário para realismo do simulador – Pós Teste

Este é um questionário com o objetivo de captar a percepção subjetiva de realismo em simuladores de veículo. Ao responder a estas questões, o respondente deve pensar em termos de o que influencia o comportamento de condução real.

1 Como foi a sensação de envolvimento (sensação de interação e imersão no ambiente) dentro do simulador comparado com um veículo real?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Pouco realista Realista Muito realista

2 - Como foram as respostas do veículo às suas ações de controle do veículo?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Pouco realista Realista Muito realista

Se sua resposta for pouco realista, por favor, explique por que não era realista:

3 - A direção (volante) foi similar à de um veículo real?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Pouco realista Realista Muito realista

Se sua resposta for pouco realista, por favor, explique por que não era realista:

4 – O uso do pedal do acelerador foi similar à de um veículo real?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Pouco realista Realista Muito realista

Se sua resposta for pouco realista, por favor, explique por que não era realista:

5 - Quando estava dirigindo em estrada reta, qual a sensação de resposta do veículo do simulador?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Pouco realista Realista Muito realista

Se sua resposta for pouco realista, por favor, explique por que não era realista:

6 - Quando estava dirigindo em uma curva, qual a sensação de resposta do veículo do simulador?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Pouco realista Realista Muito realista

Se sua resposta for pouco realista, por favor, explique por que não era realista:

7 - Você usou o freio durante a simulação?

- Sim
- Não

8 - O uso do pedal do freio foi similar à de um veículo real?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Pouco realista Realista Muito realista

Se sua resposta for pouco realista, por favor, explique por que não era realista:

9 - A impressão visual (imagens do ambiente externo e interno) no simulador foi realista?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Pouco realista Realista Muito realista

Se sua resposta for pouco realista, por favor, explique por que não era realista:

10 - A impressão de som no simulador foi realista?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Pouco realista Realista Muito realista

Se sua resposta for pouco realista, por favor, explique por que não era realista:

11 - O force feedback no volante (tensão no volante quando esterçado) foi realista?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Pouco realista Realista Muito realista

Se sua resposta for pouco realista, por favor, explique por que não era realista:

12 - O force feedback nos pedais (tensão nos pedais quando acionados) foi realista?

Pouco realista			Realista				Muito realista		

Se sua resposta for pouco realista, por favor, explique por que não era realista:

13 - As vibrações no carro foram realistas?

Pouco realista			Realista				Muito realista		

Se sua resposta for pouco realista, por favor, explique por que não era realista:

14 - Você tem alguma sugestão de como a simulação pode ser feita mais realista?

SIMULADOR DE SENSAÇÕES

Por favor, marque abaixo se algum dos seguintes sintomas se aplica a você neste momento.

- | | | | | |
|----------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Fadiga | <input type="checkbox"/> Nenhum | <input type="checkbox"/> Leve | <input type="checkbox"/> Moderada | <input type="checkbox"/> Grave |
| Tédio | <input type="checkbox"/> Nenhum | <input type="checkbox"/> Leve | <input type="checkbox"/> Moderada | <input type="checkbox"/> Grave |
| Sonolência | <input type="checkbox"/> Nenhum | <input type="checkbox"/> Leve | <input type="checkbox"/> Moderada | <input type="checkbox"/> Grave |
| Náuseas | <input type="checkbox"/> Nenhum | <input type="checkbox"/> Leve | <input type="checkbox"/> Moderada | <input type="checkbox"/> Grave |
| Vertigem | <input type="checkbox"/> Nenhum | <input type="checkbox"/> Leve | <input type="checkbox"/> Moderada | <input type="checkbox"/> Grave |
| Dor de Cabeça | <input type="checkbox"/> Nenhum | <input type="checkbox"/> Leve | <input type="checkbox"/> Moderada | <input type="checkbox"/> Grave |
| Dificuldade com foco | <input type="checkbox"/> Nenhum | <input type="checkbox"/> Leve | <input type="checkbox"/> Moderada | <input type="checkbox"/> Grave |
| Salivação aumentou | <input type="checkbox"/> Nenhum | <input type="checkbox"/> Leve | <input type="checkbox"/> Moderada | <input type="checkbox"/> Grave |
| Salivação diminuiu | <input type="checkbox"/> Nenhum | <input type="checkbox"/> Leve | <input type="checkbox"/> Moderada | <input type="checkbox"/> Grave |

- Suando Nenhum Leve Moderada Grave
- Dificuldade de concentração Nenhum Leve Moderada Grave
- Visão turva Nenhum Leve Moderada Grave
- Tonturas olhos abertos Nenhum Leve Moderada Grave
- Tonturas olhos fechados Nenhum Leve Moderada Grave
- Flashbacks Visuais Nenhum Leve Moderada Grave
- Respiração ofegante Nenhum Leve Moderada Grave
- Incômodo no estômago Nenhum Leve Moderada Grave
- Perda de apetite Nenhum Leve Moderada Grave
- Aumento de apetite Nenhum Leve Moderada Grave
- Confusão Nenhum Leve Moderada Grave
- Vômitos Nenhum Leve Moderada Grave
- Outros sintomas Nenhum Leve Moderada Grave

Quais: _____

Apêndice K – Resultados do questionário subjetivo

Questionário Subjetivo - Avaliação do Simulador Veicular FGA													
Unity													
	Vol1	Vol2	Vol3	Vol4	Vol5	Vol6	Vol7	Vol8	Vol9	Vol10	Vol11	Vol12	Vol13
Data	11/07/2014	11/07/2014	11/07/2014	11/07/2014	11/07/2014	11/07/2014	11/07/2014	11/07/2014	11/07/2014	11/07/2014	11/07/2014	11/07/2014	11/07/2014
Horário	10:05	10:32	11:13	11:33	11:51	12:33	14:18		15:16	15:38		16:34	16:58
Nome	BFFT	BCP	RDSF	JPTL	FCS	HMDE	EF		FSS	NJMS		JPBS	TB
Sexo	F	F	M	M	M	M	M		M	M		M	M
Idade	19	18	20	22	22	19	38		21	26		28	31
Peso	53	56	76	70	101	84	88		76	60		81	83,5
Altura	1,56	1,65	1,8	1,8	1,8	1,77	1,7		1,7	1,7		1,88	1,68
Mão	Canhoto	Destro	Destro	Destro	Destro	Destro	Destro		Destro	Destro		Destro	Canhoto
Instrução	Superior	Superior	Superior	Superior	Superior	Superior	Médio		Superior	Médio		Superior	Pós
Curso	E.Eletrônica	Engenharias	E.Automotiva	E.Automotiva	E.Automotiva	E.Automotiva	NR		E.Automotiva	NR		E.Eletrônica	
Q Pré condução													
1	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não		Não	Não		Não	Não
2	E	E	E	F	E	E	D		C	C		C	E
3	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim		Não	Não		Não	Não
4.1	Sempre	Q sempre	Sempre	Sempre	Sempre	Sempre	NR		Q sempre	às vezes		Sempre	Sempre
4.2	Sempre	Q nunca	Sempre	Q sempre	Às vezes	Q sempre	NR		Q nunca	Q nunca		às vezes	q sempre
4.3	Às vezes	Às vezes	Q sempre	Sempre	Às vezes	às vezes	NR		Q sempre	às vezes		q nunca	q nunca
4.4	Às vezes	Às vezes	Às vezes	Às vezes	Às vezes	Q nunca	NR		Q sempre	nunca		às vezes	q nunca
5	180	240	30	20	140	90	15		120	15		30	200
6	7	6	7	6	7	6	7		3	2		5	7
7	B	A	B	B	B	A	D		a	B		c	C

8.1	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim		sim	não		sim	não
8.2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim		não	sim		sim	sim
8.3	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim		sim	não		sim	Não
8.4	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim		não	não		sim	Não
9.1	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não		não	não		não	não
9.2	Sim 1.4	Sim 1.5	Sim 1.6	Sim 1.0	Sim 1.8	Não	Sim		sim 2.0	sim 1.0		sim 1.6	sim 1.0
9.3	Não	Não	Não	Não	Não	Sim 1,6	Não		não	não		não	não
9.4	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não		não	não		não	não
9.5	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não		não	não		não	Não
9.6	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não		não	não		não	Não
10	C	C	D	D	D	D	D		B	C		D	D
11	B	B	A	B	B	A	B		B	B		B	A
12	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim		Sim	Sim		Não	não
13	NR	NR	NR	NR	30	NR	1		50	5		NR	NR
14.1	NR	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não		Não	Sim		Sim	sim
14.2	NR	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não		Sim	não		sim	não
14.3	NR	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não		Não	não		não	não
14.4	NR	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim		Não	não		não	não
15	NR	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim		Não	não		não	não
16	NR	NR	NR	A	NR	NR	A		NR	NR		NR	não
Questionário Pós Condução													
1	8	6	5	2	6	8	5		4	5		4	6
2	10	7	5	2	1	7	5		4	7		3	8
3	4	4	5	2	3	8	1		5	5		4	3
4	7	7	5	8	9	9	5		5	6		1	10
5	7	9	5	6	3	8	5		5	7		4	7
6	6	7	5	2	2	8	5		5	6		3	5

	7	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	sim	Sim		sim	sim		sim	sim
	8	6	8	6	5	6	7	5		5	6		2	6
	9	7	5	4	2	1	7	1		5	6		1	5
	10	5	7	6	2	2	9	5		5	6		4	6
	12	3	8	5	5	3	10	1		4	7		6	6
	13	7	8	5	5	2	8	5		4	7		3	6
	14	1	NA	NA	1	2	8	5		5	8		2	NR
	16													
Questionário de Sensações														
	1	1	1	1	1	1	1	2		NR	1		NR	1
	2	2	1	1	1	1	3	1		NR	1		NR	1
	3	1	1	1	1	2	1	1	2	NR	2		NR	1
	4	1	1	1	1	1	1	1		NR	1		NR	1
	5	1	1	1	1	1	1	1		NR	1		NR	1
	6	1	1	1	1	1	1	1		NR	1		NR	1
	7	2	1	1	1	2	1	3		NR	1		NR	1
	8	1	2	1	1	4	1			NR	1		3	1
	9	1	1	1	1	1	1	1		NR	1		NR	1
	10	1	1	1	1	2	1	2		NR	2		NR	1
	11	1	1	1	1	2	1	2		NR	1		NR	1
	12	1	1	1	2	1	1	2		NR	1		NR	1
	13	1	1	1	1	4	1	2		NR	1		NR	1
	14	1	2	1	1	1	1			NR	1		NR	1
	15	1	1	1	2	1	2	1		NR	1		NR	1
	16	1	1	1	2	1	2	1		NR	1		3	1
	17	1	1	1	1	2	1	1		NR	2		3	1
	18	1	1	1	1	3	1	1		NR	1		NR	1
	19	1	1	1	1	1	1	1		NR	1		NR	1
	20	1	1	1	2	1	1	4		NR	2		NR	1
	21	1	1	1	1	1	1	1		NR	1		NR	1
	22	1	1	1	1	1	1	2		NR	1		NR	1

Questionário Subjetivo - Avaliação do Simulador Veicular										
Unity e rFACTOR										
	Vol7	Vol10	Vol13	Vol1	Vol2	Vol3	Vol4	Vol5	Vol6	Vol7
Data	17/07/14	17/07/14	17/07/14	17/07/14	17/07/14	17/07/14	17/07/14	18/07/14	18/07/14	18/07/14
Horário	15:05	15:26	16:11	14:14	16:20	16:49	17:26	09:53	10:48	11:45
Nome	EF	NJMS	TB	GVSL	RSPJ	RCR	PHON	VHS	EFS	IOG
Sexo	M	M	M	F	M	F	M	M	M	M
Idade	38	26	31	34	23	21	23	25	39	19
Peso	88	60	83,5	59	73	74	68	76	68	65
Altura	1,7	1,7	1,68	1,65	1,71	1,63	1,79	1,73	1,78	1,67
Mão	Destro	Destro	Canhoto	Destro	Destro	Destro	Destro	Destro	Destro	Destro
Instrução	Médio	Médio	Pós	Pós	Superior	Superior	Superior	Superior	Médio	Médio
Curso	NR	NR	Eletronica	Química	Energia	Energia	energia	automotiva	NA	NA
Q. Pré condução										
1	Não	Não	Não	Não	Não	não	não	não	não	não
2	D	C	E	D	D	E	F	E	E	F
3	Sim	Não	Não	Sim	Não	não	sim	não	não	não
4.1	NR	às vezes	Sempre	Sempre	Sempre	sempre	sempre	q sempre	sempre	às vezes
4.2	NR	Q nunca	q sempre	às vezes	às vezes	sempre	sempre	às vezes	sempre	NR
4.3	NR	às vezes	q nunca	Q nunca	às vezes	nunca	q nunca	q sempre	sempre	NR
4.4	NR	nunca	q nunca	às vezes	às vezes	q nunca	às vezes	às vezes	q sempre	NR
5	15	15	200	70	120	60	30	320	30	30
6	7	2	7	6	5	6	2	3	7	3
7	D	B	C	C	B	B	B	C	C	A
8.1	Sim	não	não	não	não	não	não	não	não	não
8.2	Sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	sim	não	sim
8.3	Sim	não	Não	sim	não	sim	sim	não	não	não
8.4	Sim	não	Não	sim	Não	sim	sim	não	sim	não

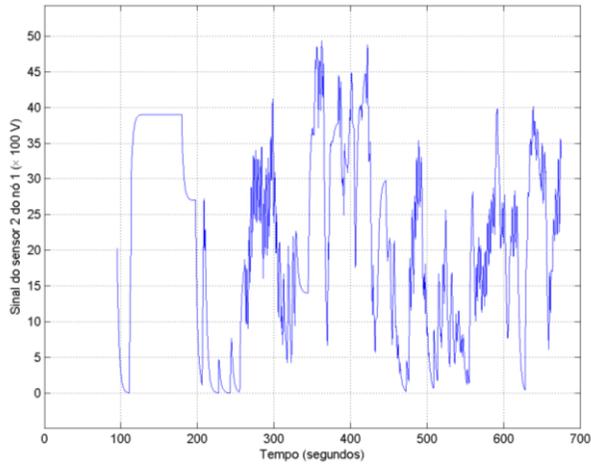
9.1	Não	não	não	não	não	não	não	não	não	não
9.2	Sim	sim1.0	sim1.0	sim1.0	sim1.6	sim1.4	não	sim1.0	sim1.6	sim
9.3	Não	não	não	não	não	não	sim1.6	não	não	não
9.4	Não	não	não	não	não	não	não	não	não	não
9.5	Não	não	Não	não	não	não	não	não	não	não
9.6	Não	não	Não	não	não	não	não	não	não	não
10	D	C	D	D	D	C	C	C	D	B
11	B	B	A	A	B	B	C	B	B	B
12	Sim	Sim	não	NR	sim	não	não	não	não	não
13	1	5	NR	NR	50	NR	NR	NR	NR	1
14.1	Não	Sim	sim	não	sim	não	sim	não	não	sim
14.2	Não	não	não	não	não	sim	não	não	não	não
14.3	Não	não	não	não	não	não	não	sim	não	não
14.4	Sim	não	não							
15	Sim	não	não	NR	não	não	não	não	Nr	sim
16	A	NR	não	NR	NR	NR	NR	NR	Nr	sim
Questionário Pós Condução										
1	5	9	6	6	6	6	6	6	6	1
2	5	9	8	6	6	4	4	4	4	1
3	1	10	3	6	9	4	3	5	5	5
4	5	10	10	8	9	8	6	8	8	5
5	5	10	7	5	5	3	5	7	7	5
6	5	6	5	7	9	7	5	6	6	5
7	Sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
8	5	6	6	7	10	8	5	8	8	5
9	1	6	5	7	7	5	3	5	5	1
10	5	10	6	9	10	6	7	9	9	5

12	1	7	6	8	9	7	6	7	5	
13	5	10	6	9	3	4	5	7	5	
14	5	10	NR	9	10	8	6	7	5	
16										
Questionário de Sensações										
1	2	1	1	2	1	3	1	1	2	NR
2		1	1	1	1	1	1	2	1	NR
3	2	2	1	2	1	1	1	1	1	NR
4		1	1	1	1	1	2	1	1	NR
5		1	1	1	1	1	3	2	1	NR
6		1	1	1	1	2	1	1	1	NR
7	3	1	1	1	1	1	3	3	2	NR
8		1	1	1	1	1	1	2	1	NR
9		1	1	1	1	1	2	1	1	NR
10		2	1	1	2	2	1	1	1	NR
11	2	1	1	1	2	1	2	1	1	NR
12	2	1	1	1	1	1	2	3	2	NR
13	2	1	1	1	1	1	3	1	2	NR
14		1	1	1	1	1	3	1	1	NR
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	NR
16	1	1	1	1	1	2	1	2	1	NR
17	1	2	1	1	1	1	1	1	1	NR
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	NR
19	1	1	1	1	3	1	1	1	1	NR
20	4	2	1	1	1	1	1	3	1	NR
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	NR
22	2	1	1	1	1	1	1	1	1	NR

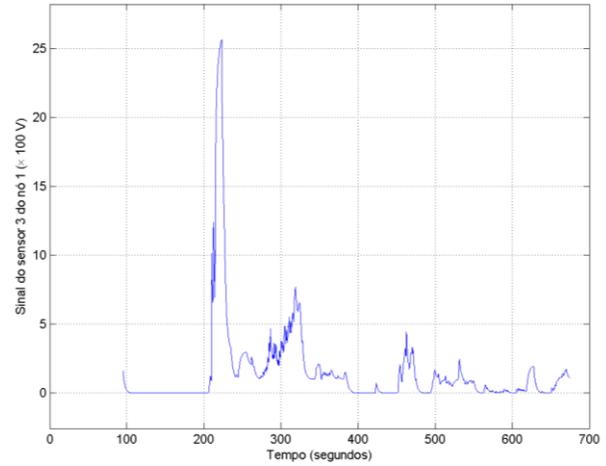
Apêndice L – Gráficos dos dados fisiológicos dos voluntários.

Voluntário 1

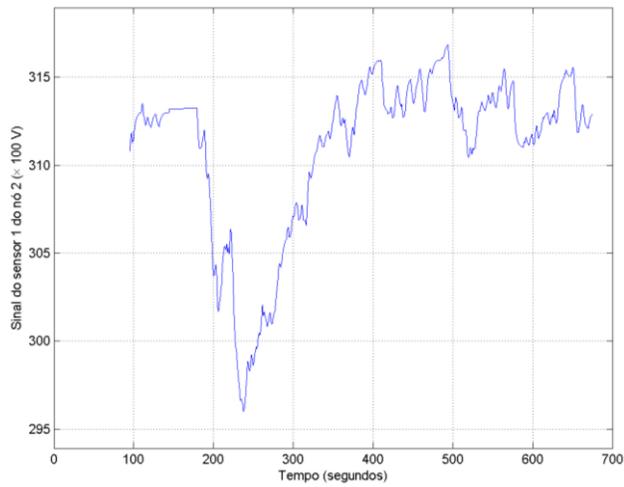
Respiração



Pressão

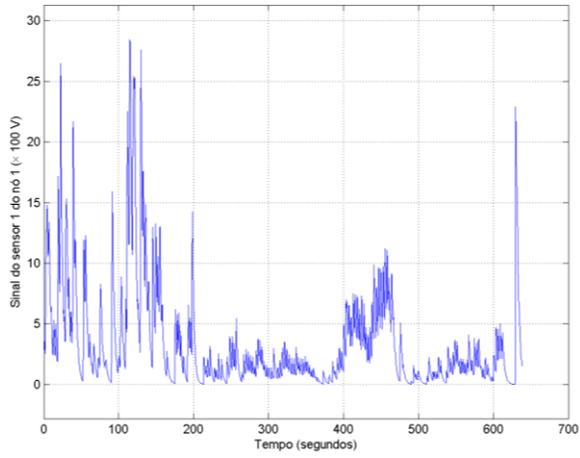


GSR

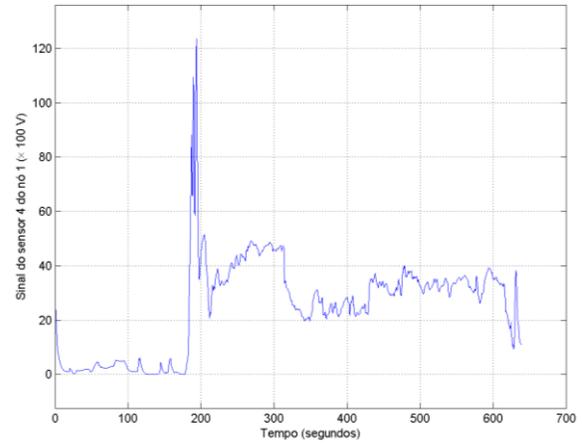


Voluntário 2

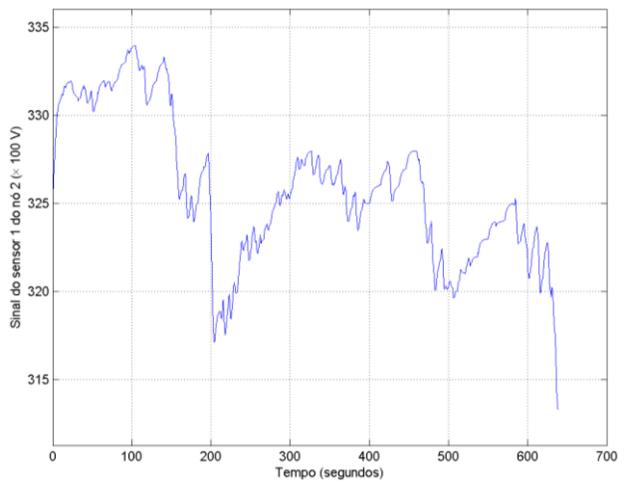
Respiração



Pressão

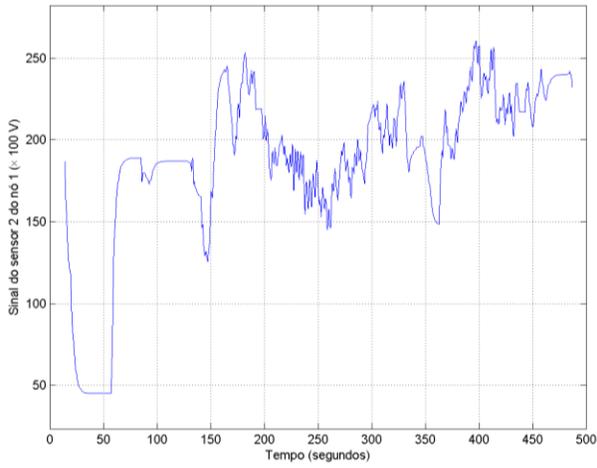


GSR

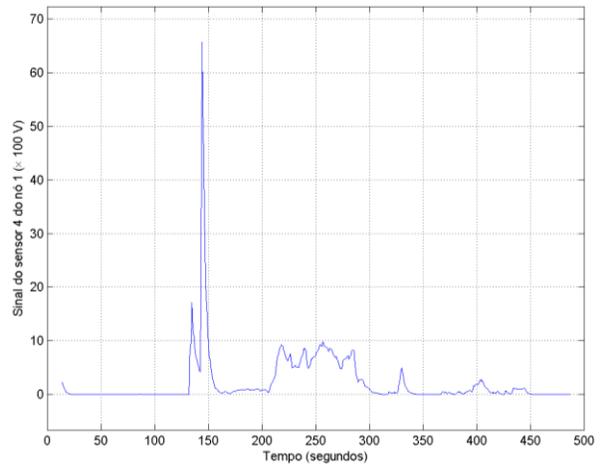


Voluntário 3

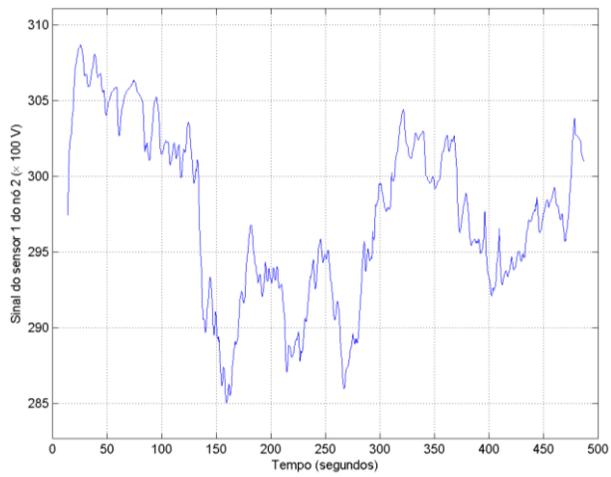
Respiração



Pressão

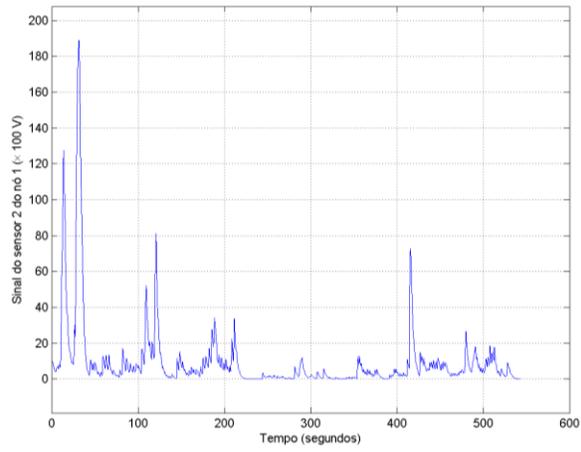


GSR

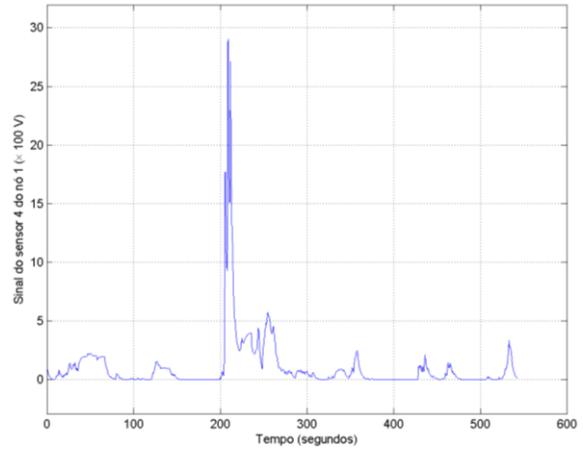


Voluntário 4

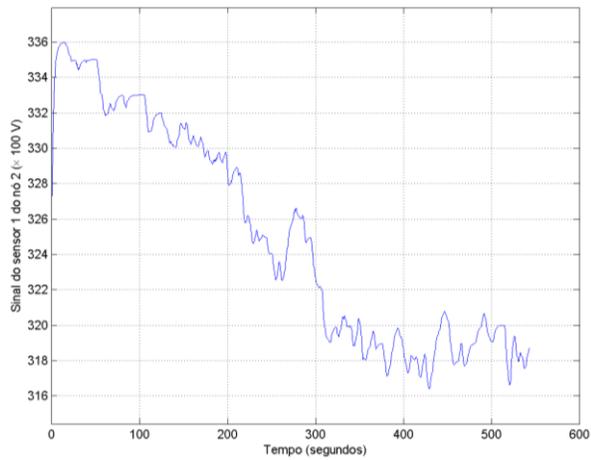
Respiração



Pressão

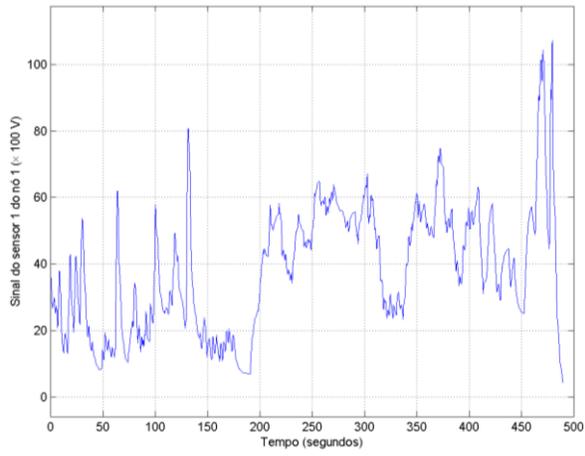


GSR

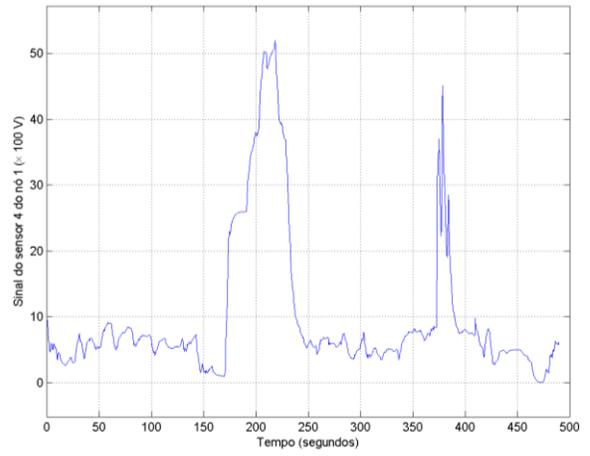


Voluntário 5

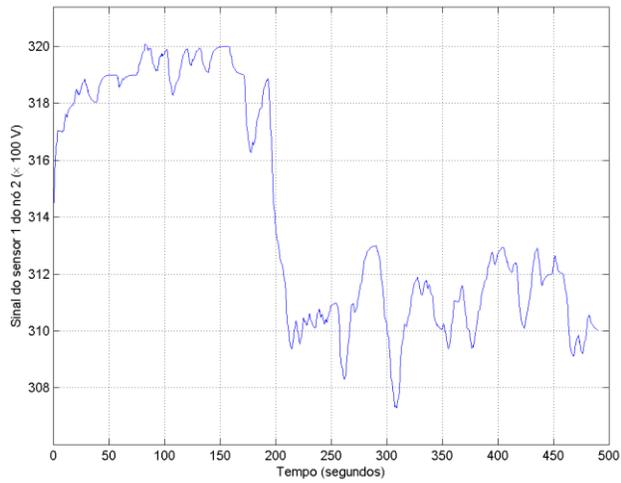
Respiração



Pressão

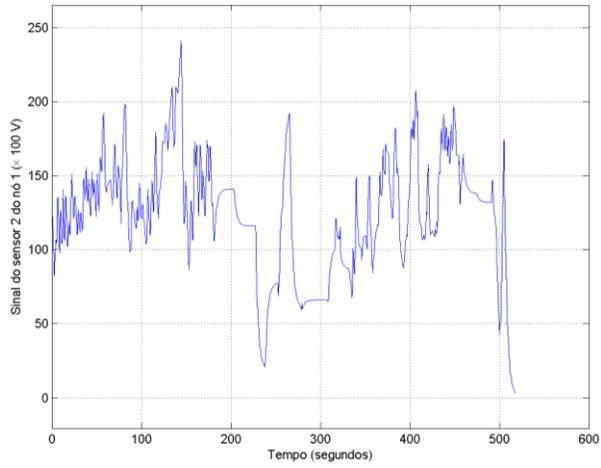


GSR

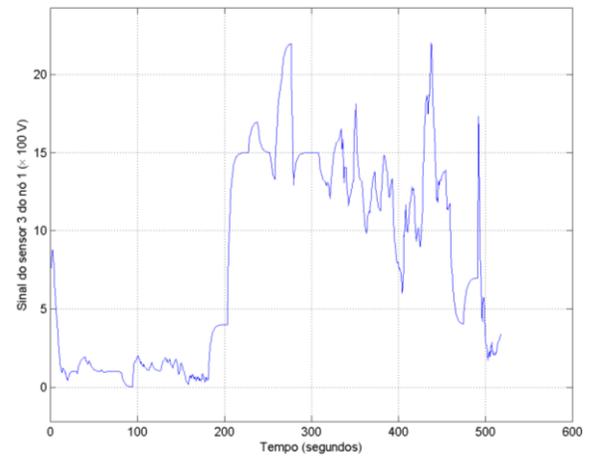


Voluntário 6

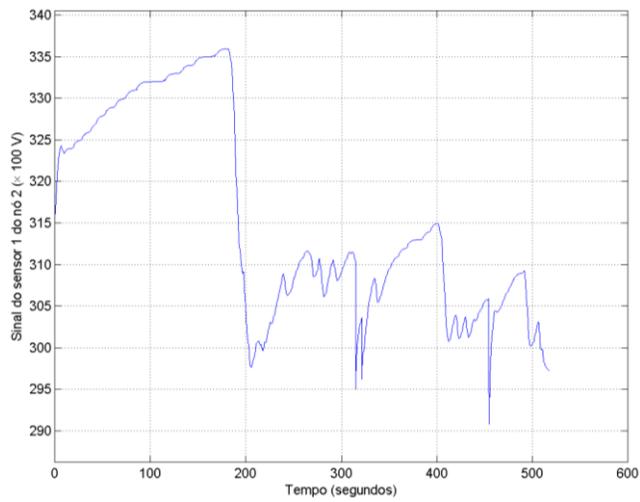
Respiração



Pressão

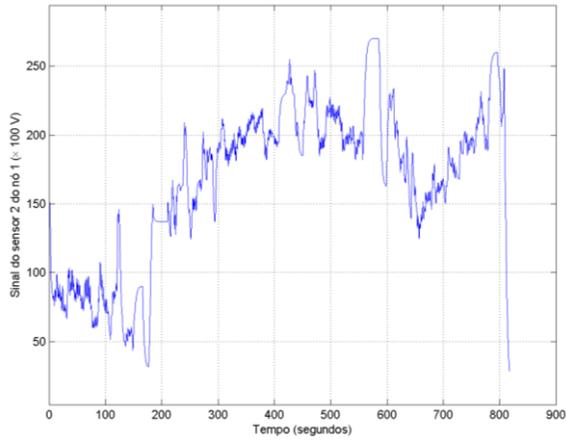


GSR

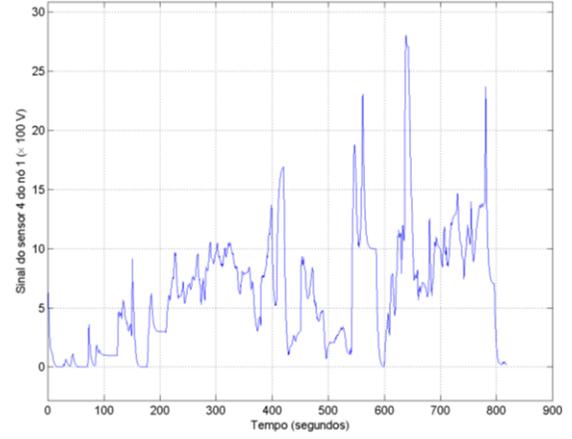


Voluntário 7

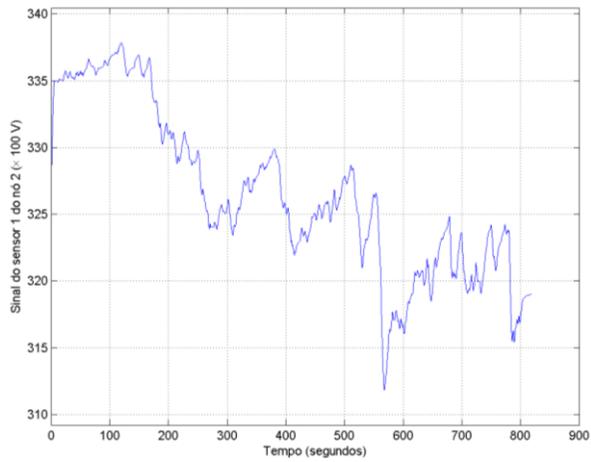
Respiração



Pressão

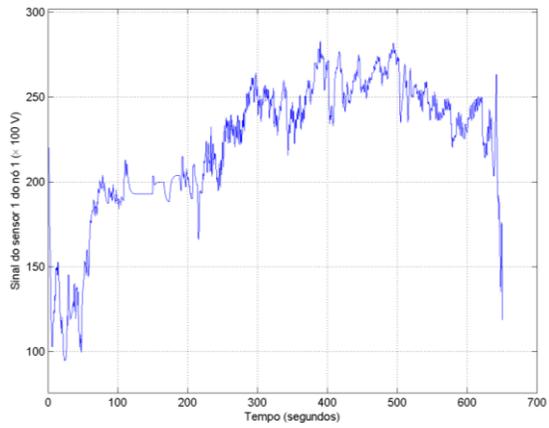


GSR

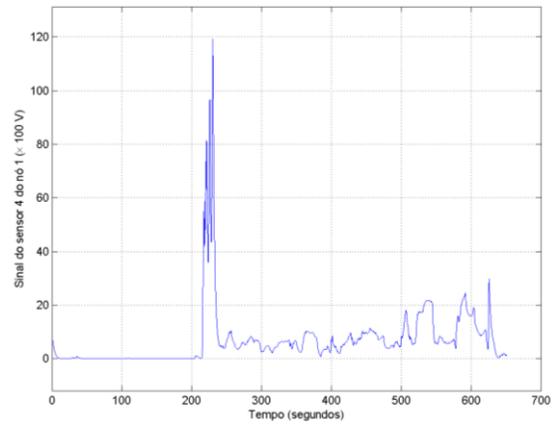


Voluntário 9

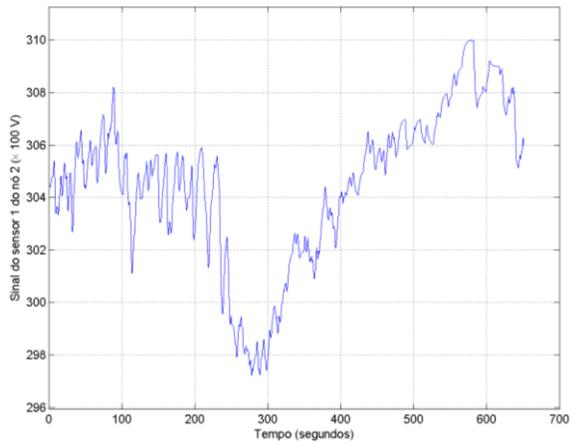
Respiração



Pressão

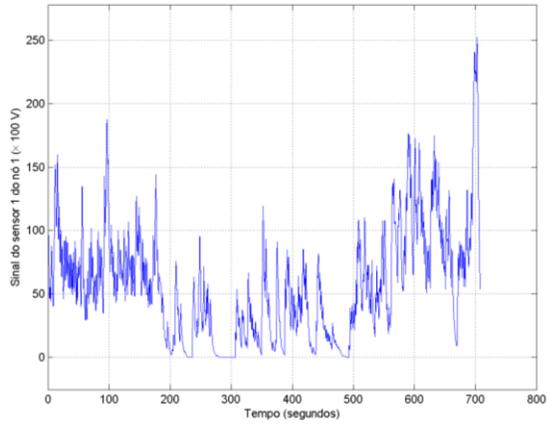


GSR

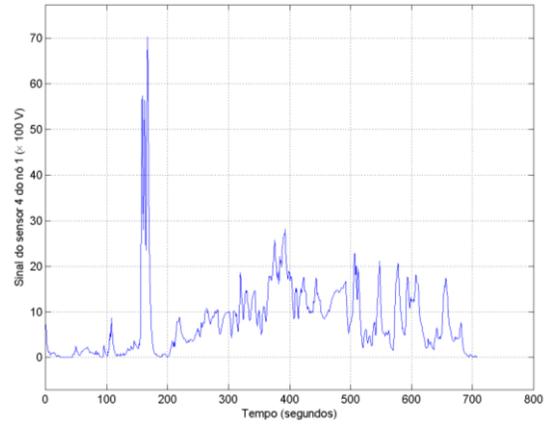


Voluntário 10

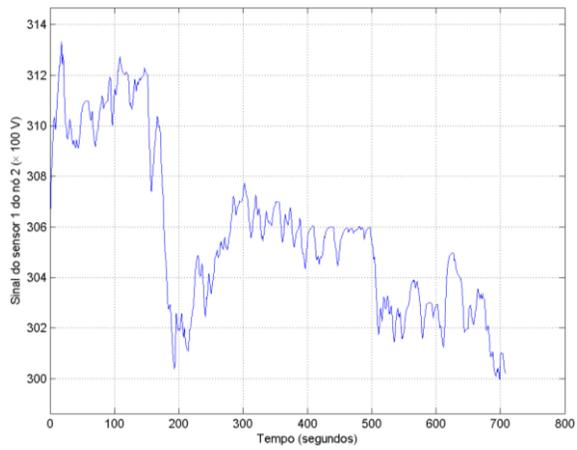
Respiração



Pressão

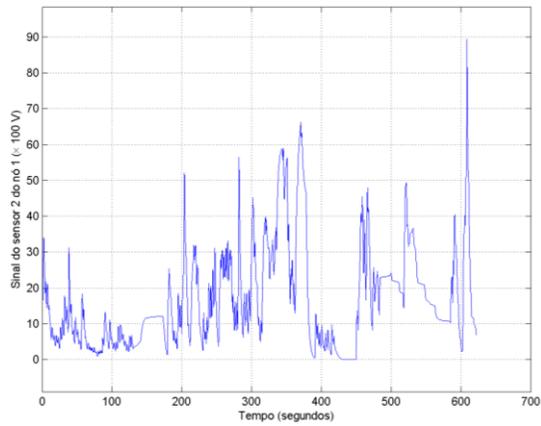


GSR

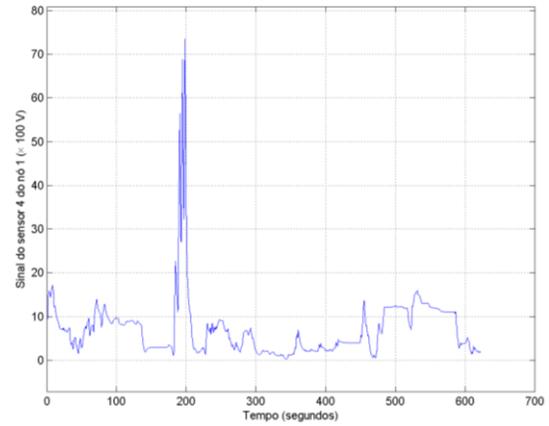


Voluntário 12

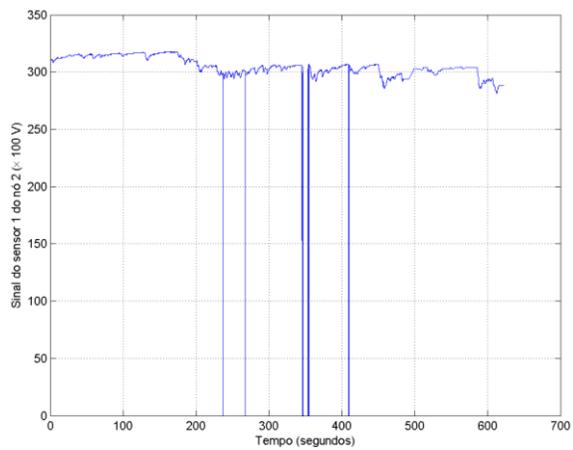
Respiração



Pressão

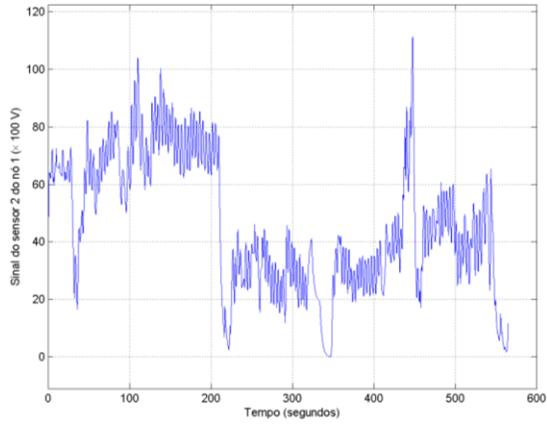


GSR (Teste com cinco eventos de mal contato na placa do sensor)

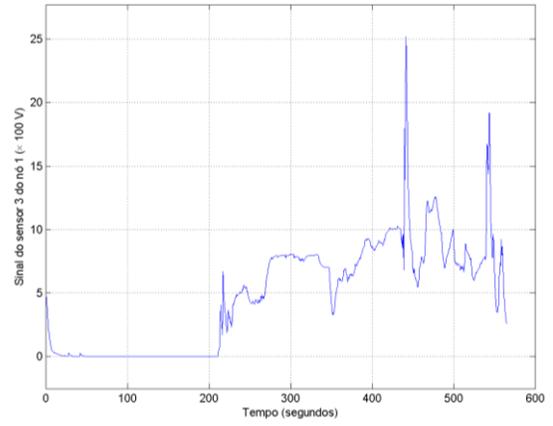


Voluntário 13

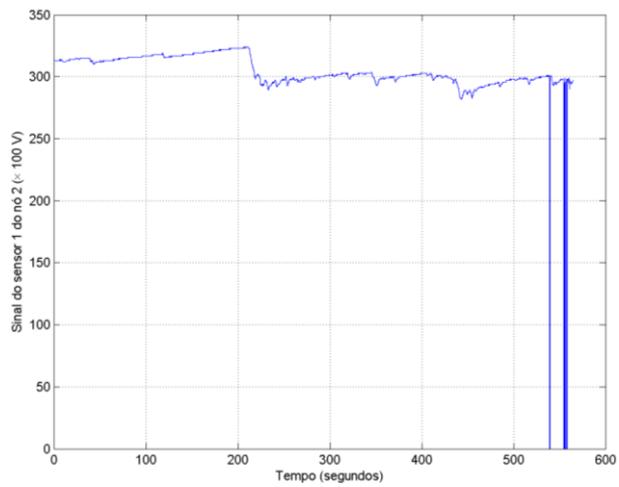
Respiração



Pressão



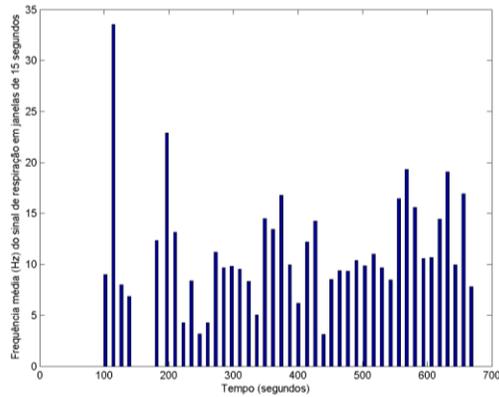
GSR



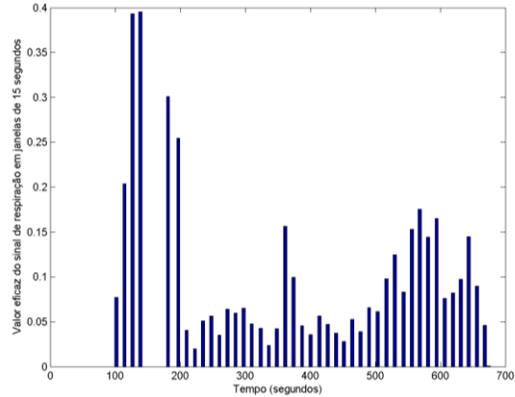
Apêndice M – Gráficos dos valores de Frequência Média e RMS dados fisiológicos dos voluntários.

Voluntário 1

Respiração

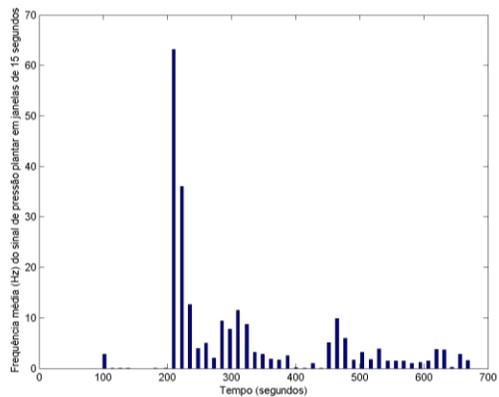


Frequência Média

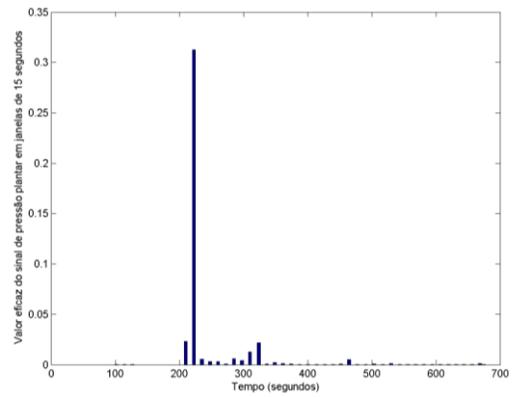


RMS

Pressão

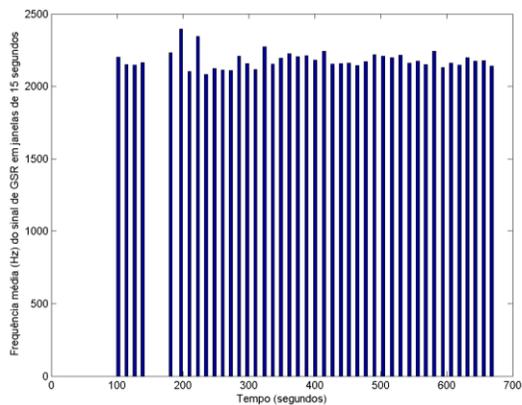


Frequência Média

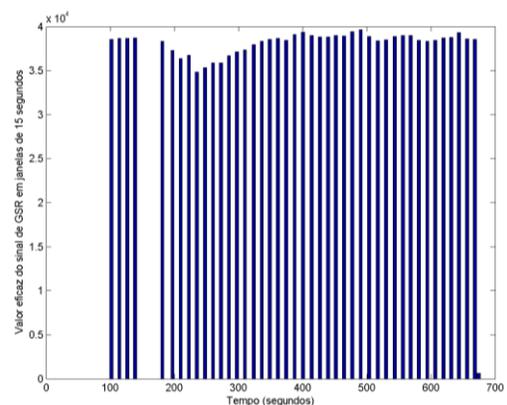


RMS

GSR



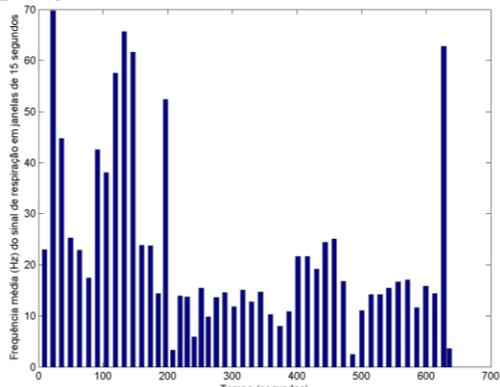
Frequência Média



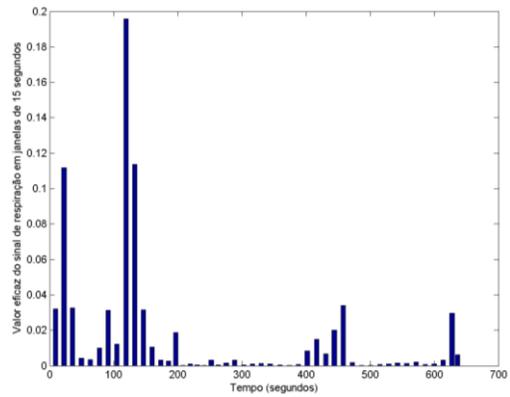
RMS

Voluntário 2

Respiração

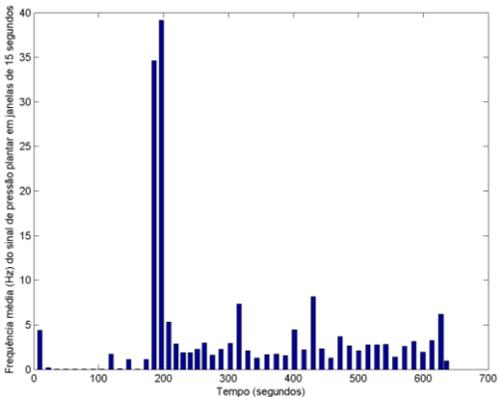


Frequência Média

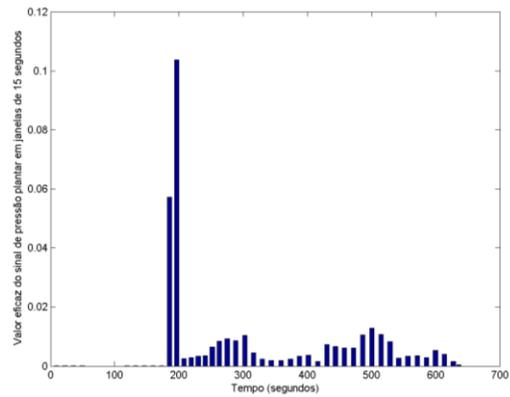


RMS

Pressão

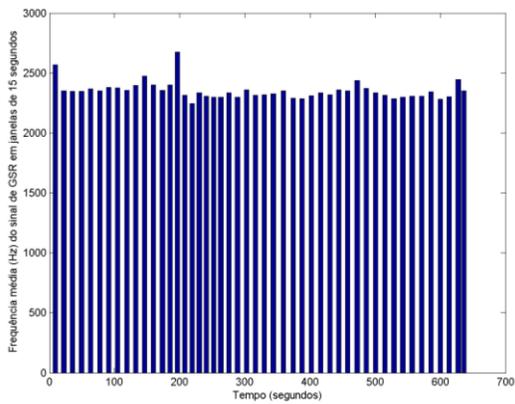


Frequência Média

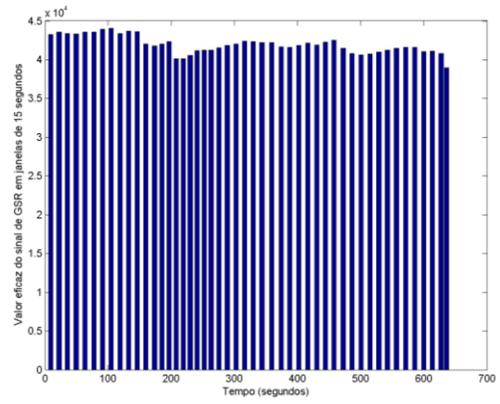


RMS

GSR



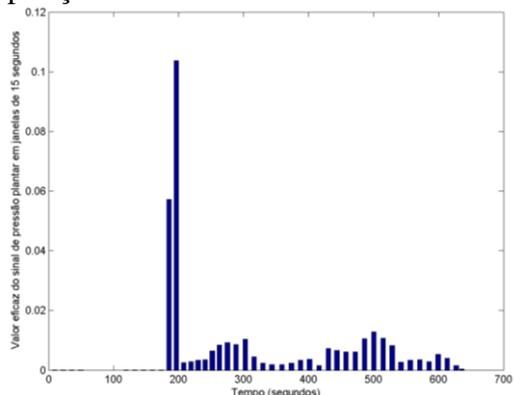
Frequência Média



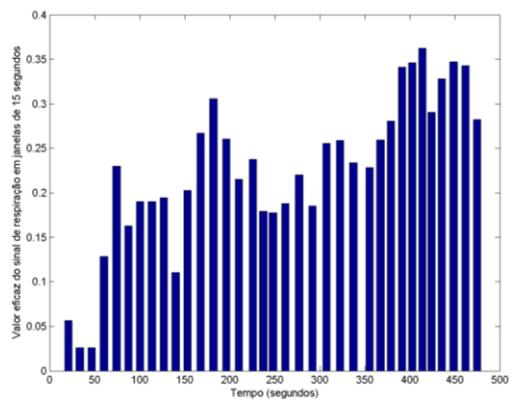
RMS

Voluntário 3

Respiração

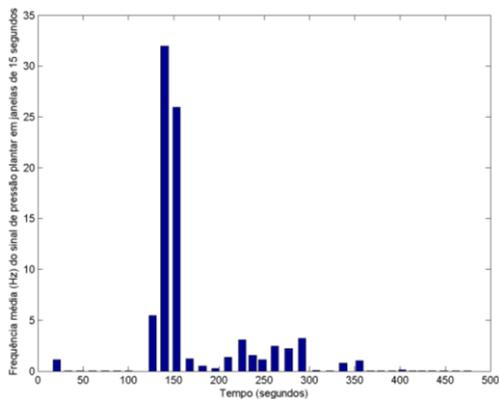


Frequência Média

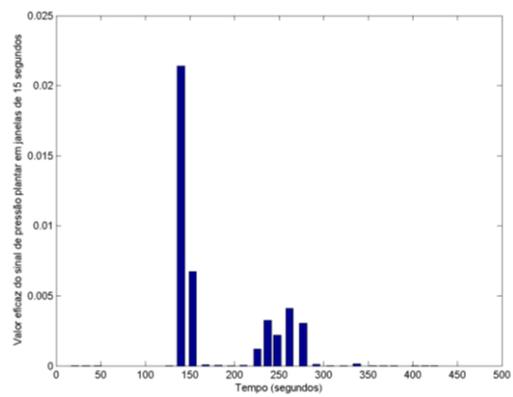


RMS

Pressão

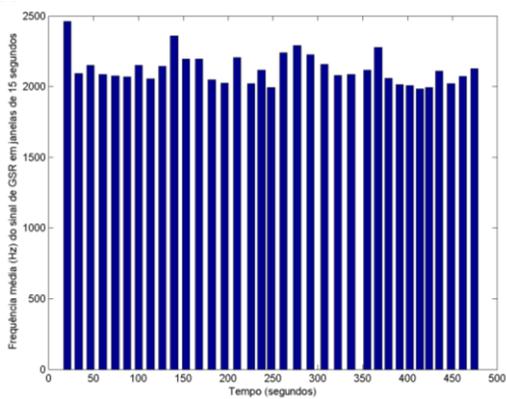


Frequência Média

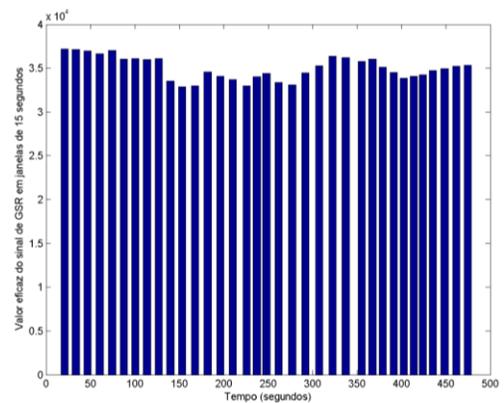


RMS

GSR



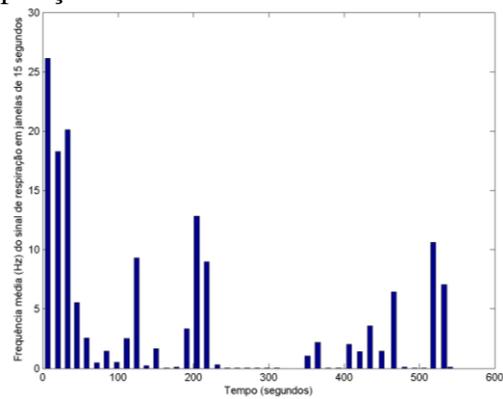
Frequência Média



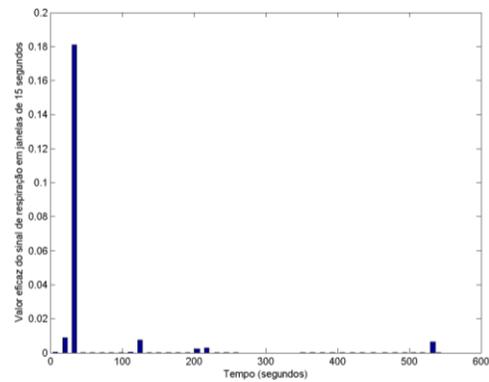
RMS

Voluntário 4

Respiração

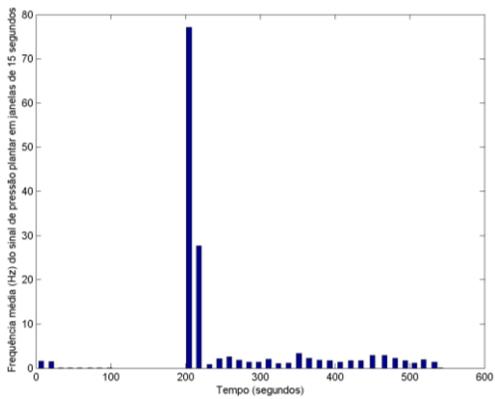


Frequência Média

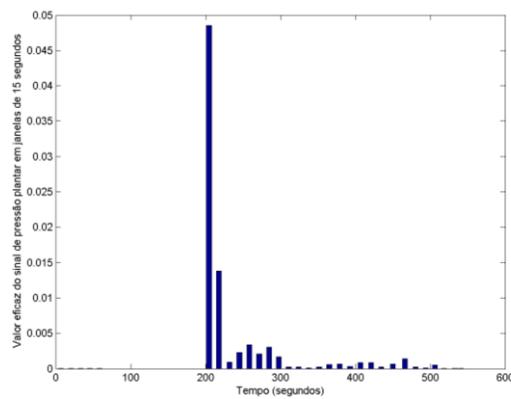


RMS

Pressão

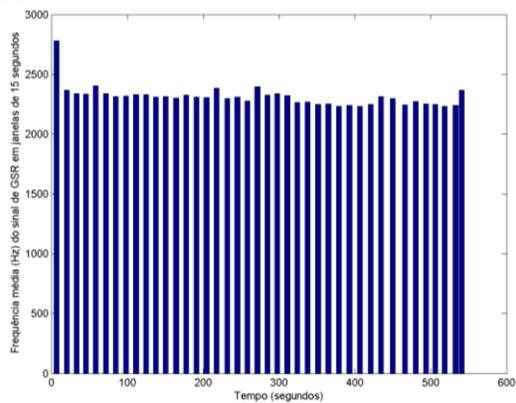


Frequência Média

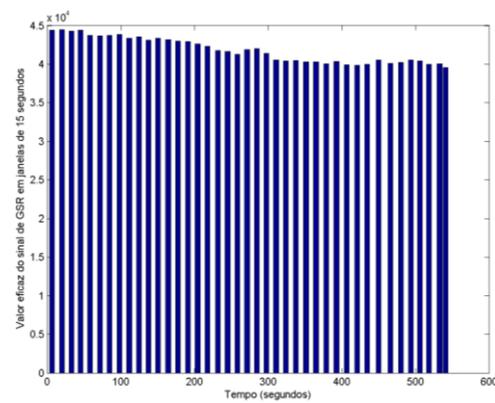


RMS

GSR



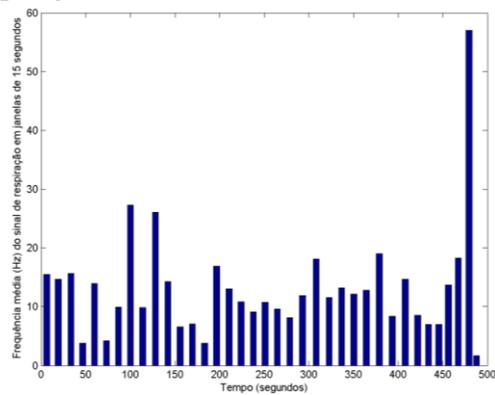
Frequência Média



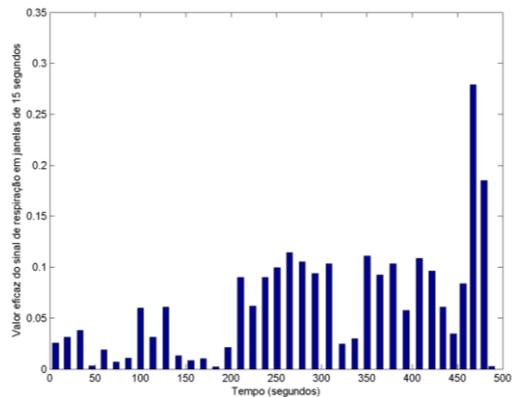
RMS

Voluntário 5

Respiração

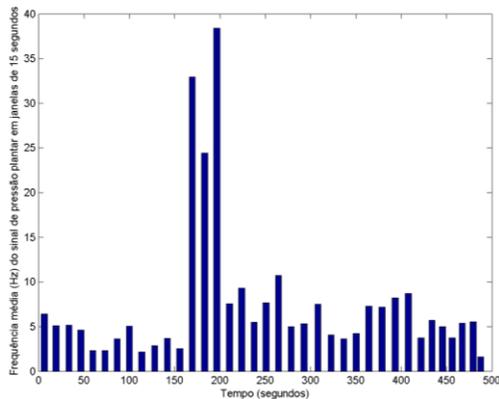


Frequência Média

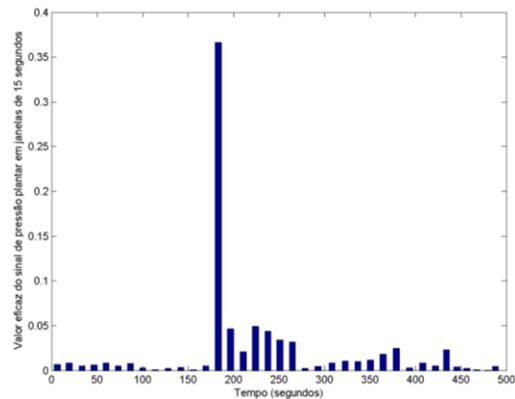


RMS

Pressão

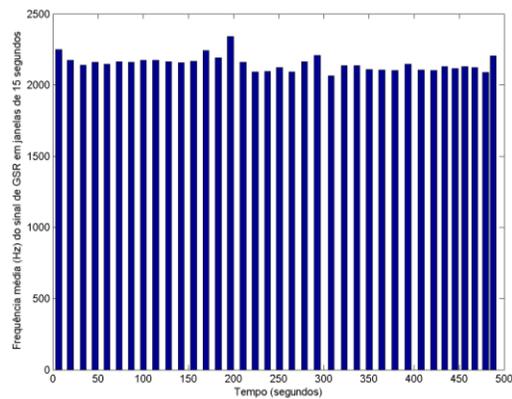


Frequência Média

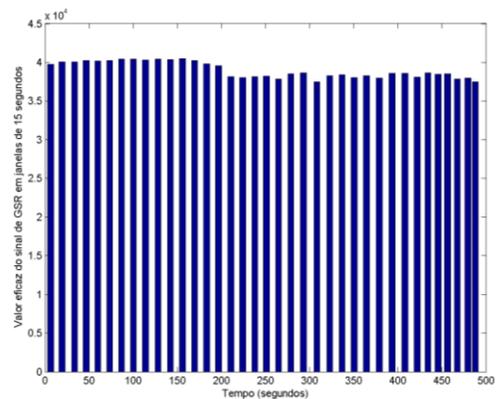


RMS

GSR



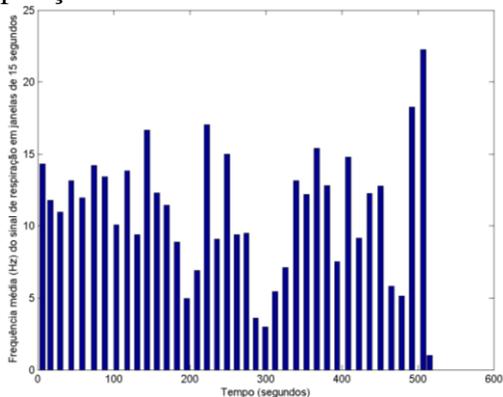
Frequência Média



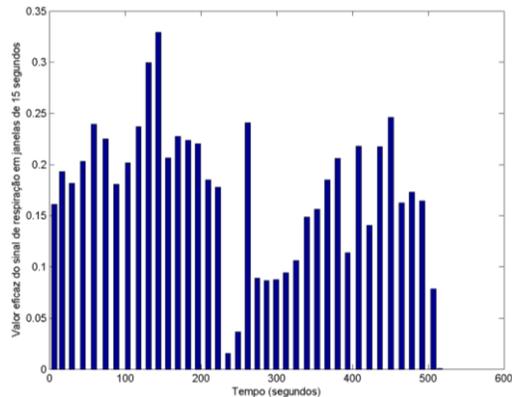
RMS

Voluntário 6

Respiração

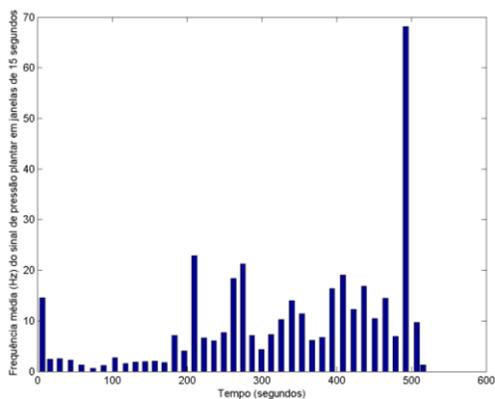


Frequência Média

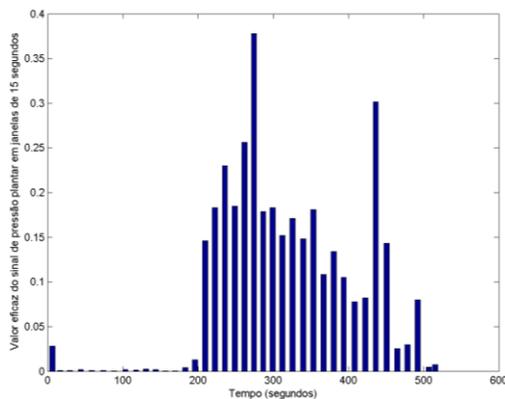


RMS

Pressão

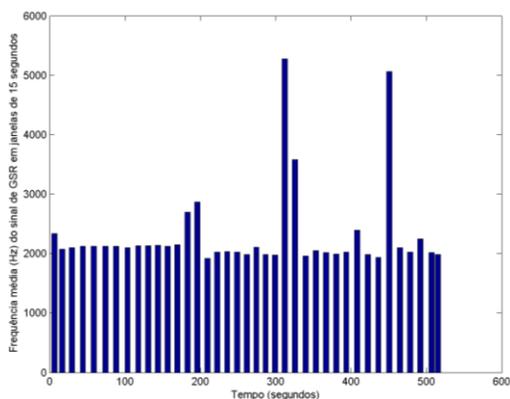


Frequência Média

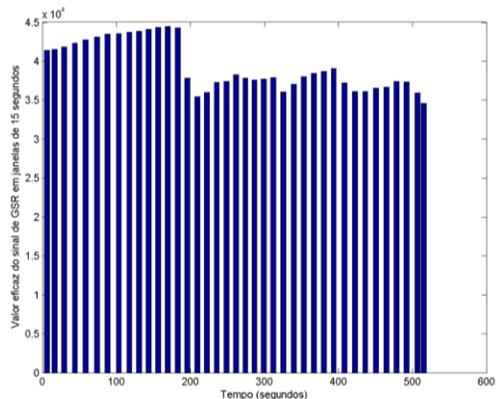


RMS

GSR



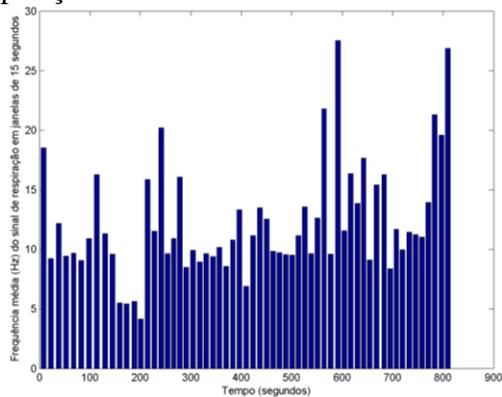
Frequência Média



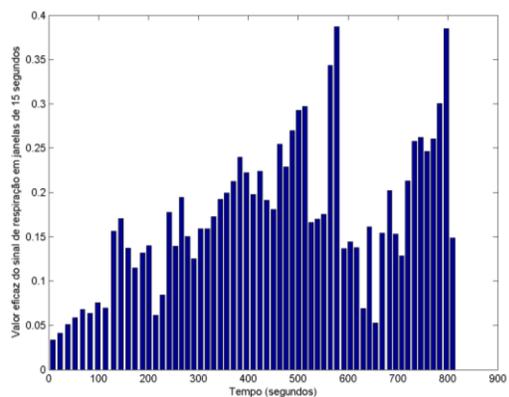
RMS

Voluntário 7

Respiração

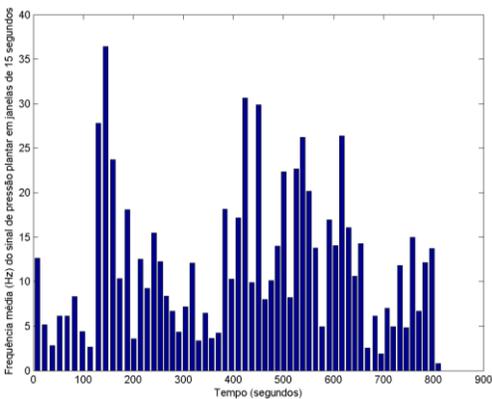


Frequência Média

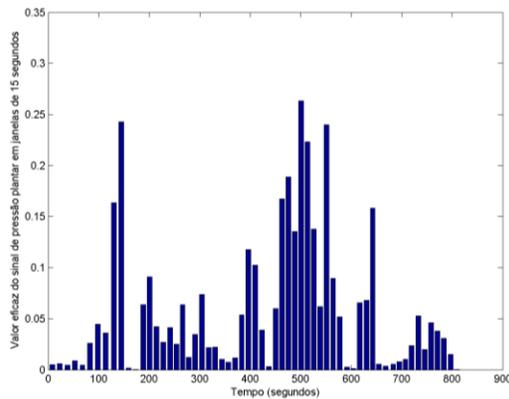


RMS

Pressão

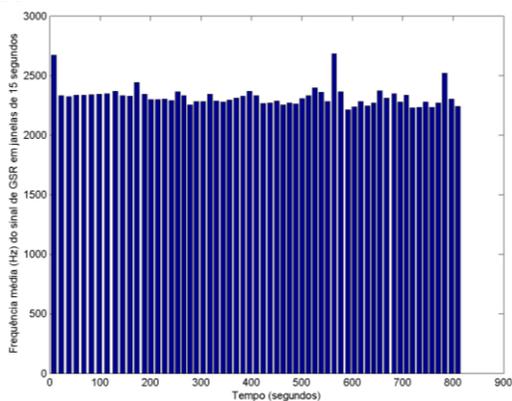


Frequência Média

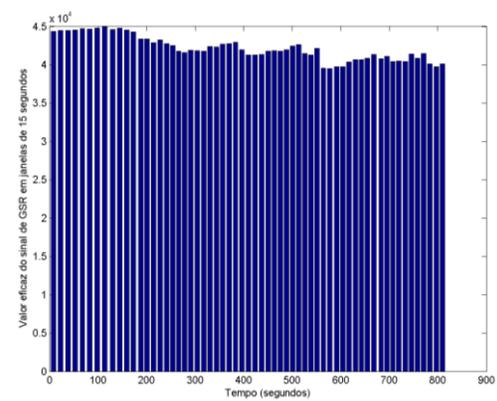


RMS

GSR



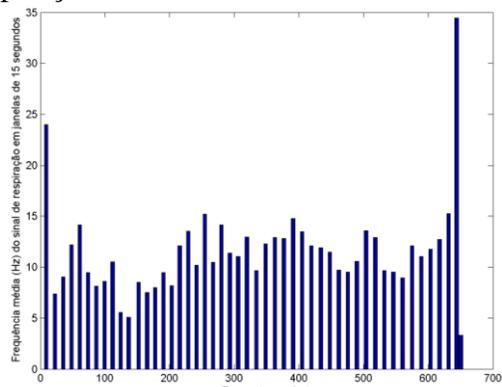
Frequência Média



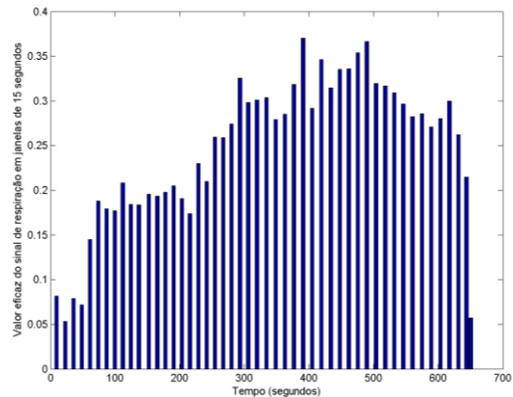
RMS

Voluntário 9

Respiração

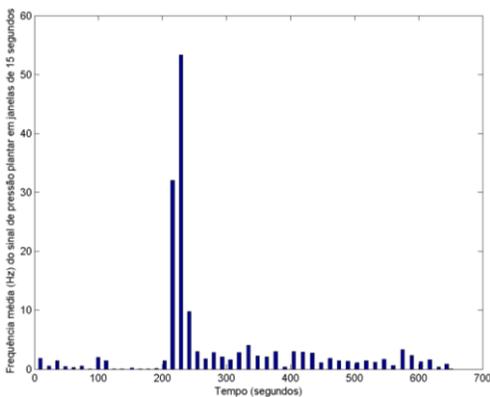


Frequência Média

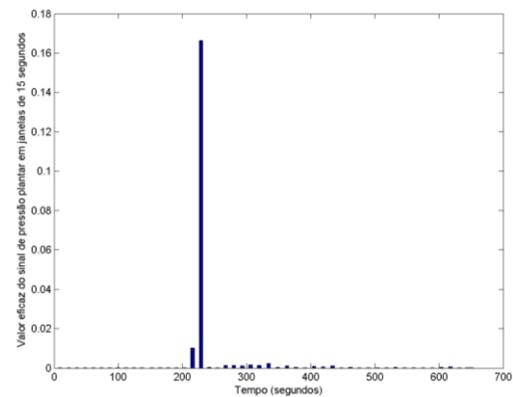


RMS

Pressão

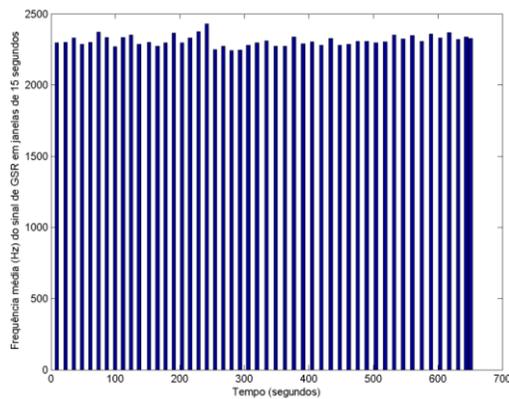


Frequência Média

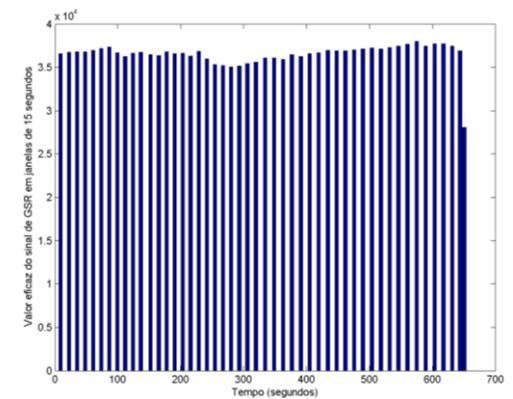


RMS

GSR



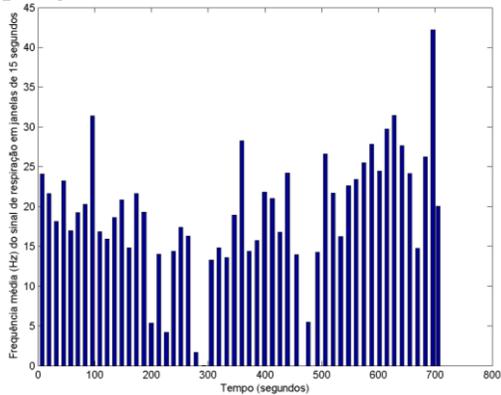
Frequência Média



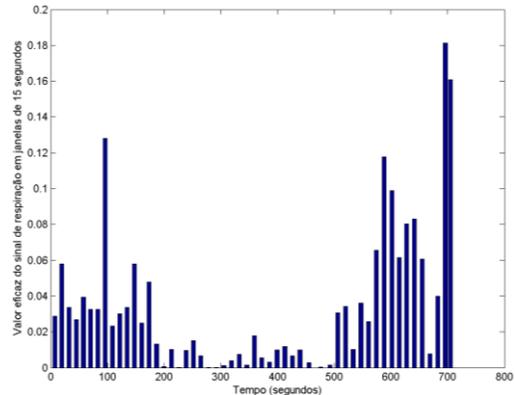
RMS

Voluntário 10

Respiração

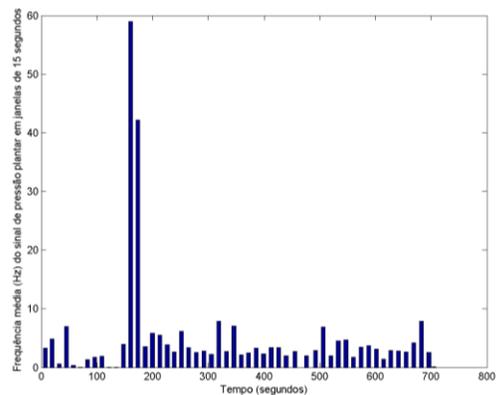


Frequência Média

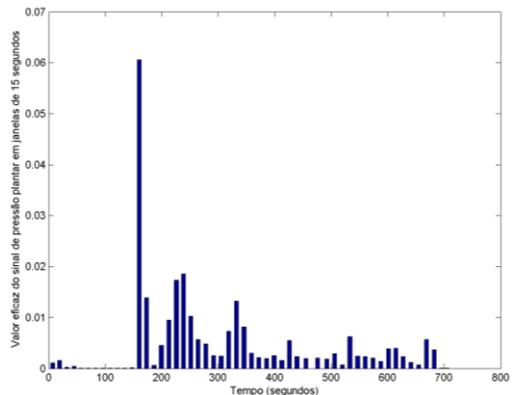


RMS

Pressão

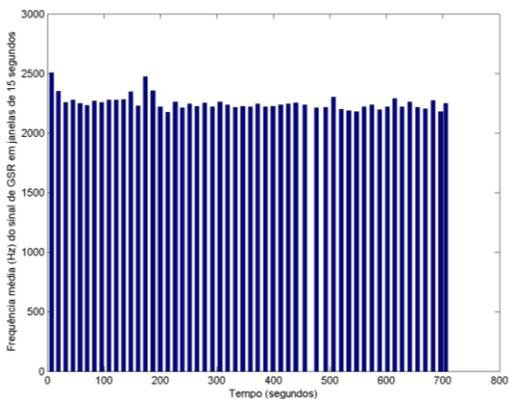


Frequência Média

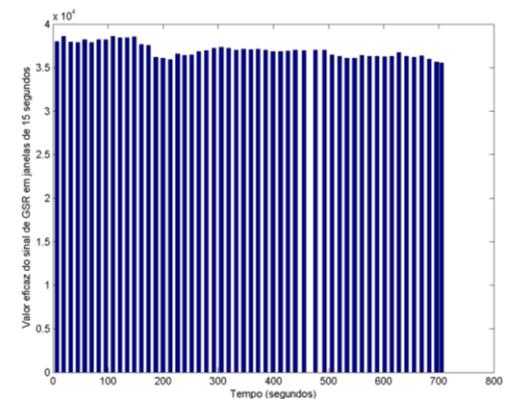


RMS

GSR



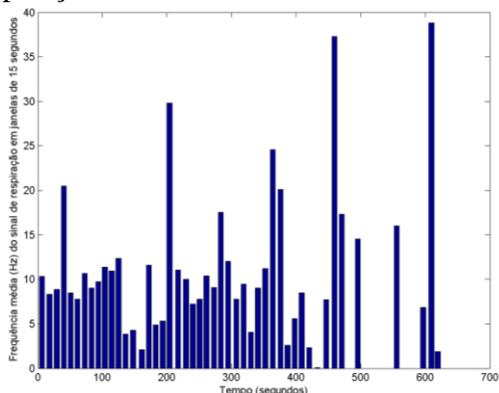
Frequência Média



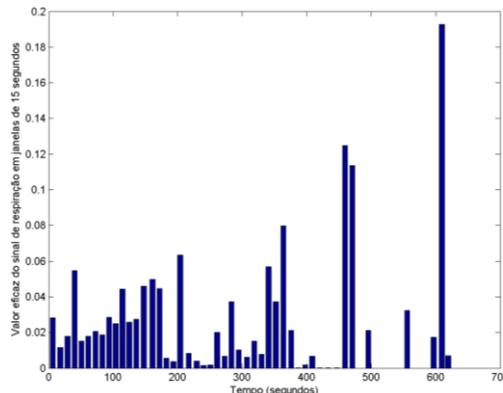
RMS

Voluntário 12

Respiração

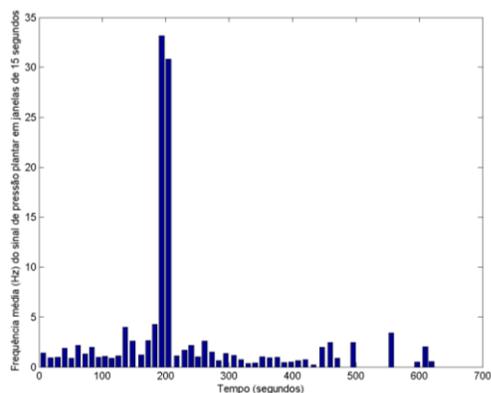


Frequência Média

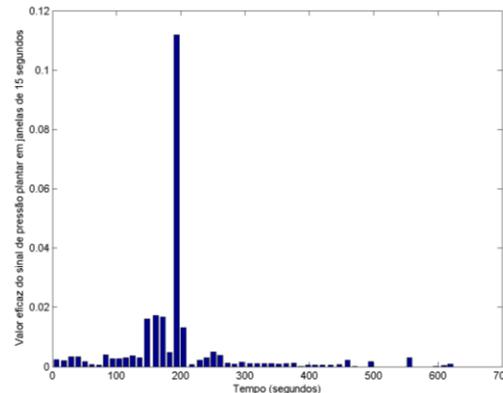


RMS

Pressão

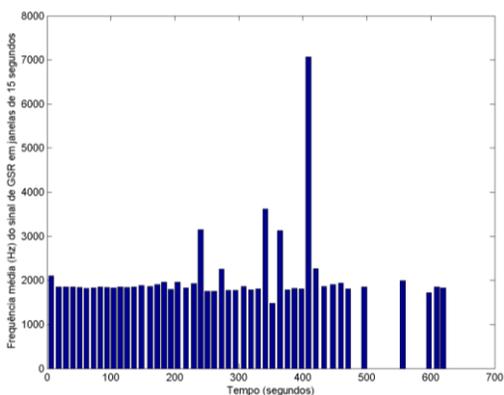


Frequência Média

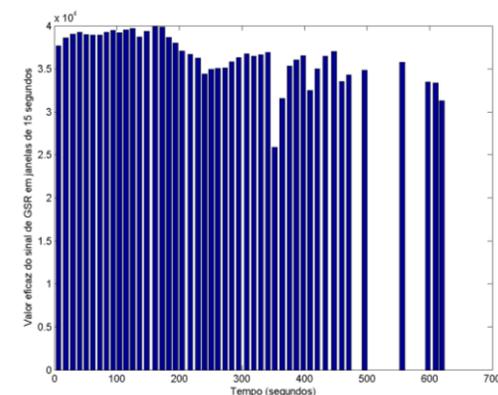


RMS

GSR



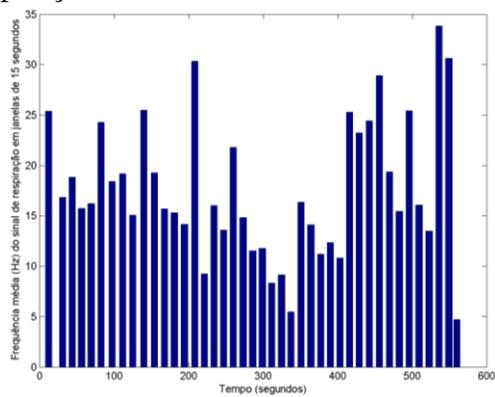
Frequência Média



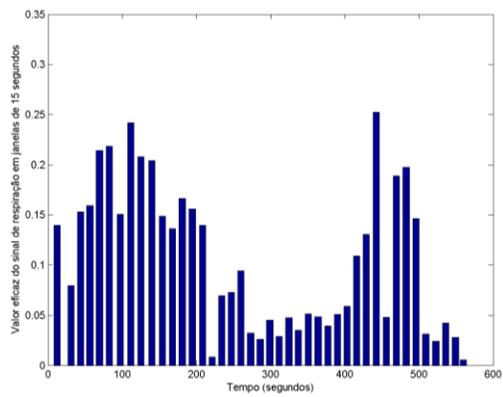
RMS

Voluntário 13

Respiração

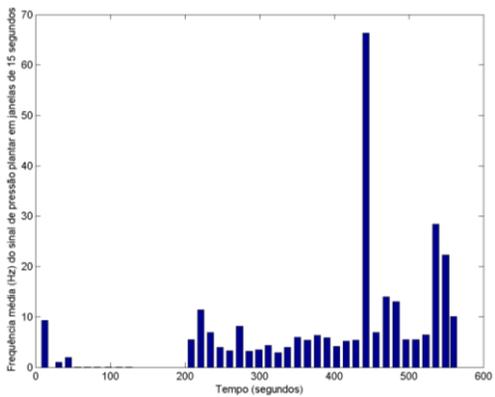


Frequência Média

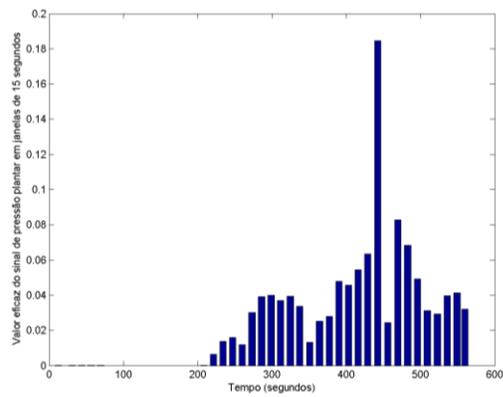


RMS

Pressão

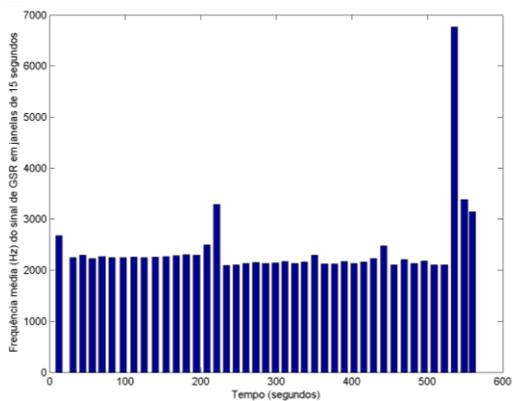


Frequência Média

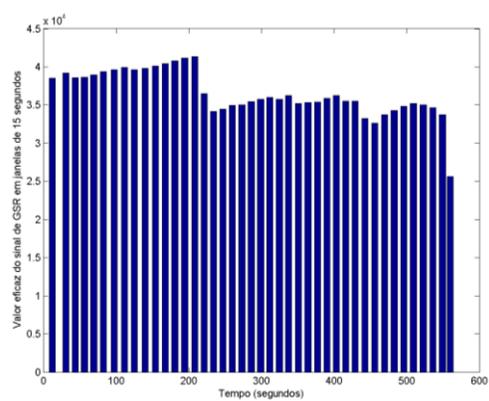


RMS

GSR



Frequência Média



RMS