

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA - PMR

Gabriel Gustavo de Góes Silva  
Sérgio Luis Miragaia Lopes Junior

SIMULADOR PARA MEDIÇÃO DE TEMPO DE RESPOSTA EM MOTORISTAS DE AUTOMÓVEIS

São Paulo

2012

Gabriel Gustavo de Góes Silva  
Sérgio Luis Miragaia Lopes Junior

SIMULADOR PARA MEDIÇÃO DE TEMPO DE RESPOSTA EM MOTORISTAS DE AUTOMÓVEIS

Monografia apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo como requisito  
parcial de obtenção do título de Graduado  
em Engenharia Mecatrônica.

Orientador: Prof. Dr. Nicola Getschko

São Paulo

2012

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Silva, Gabriel Gustavo de Góes**

**Simulador para medição de tempo de resposta em motoris -  
tas de automóvel / G.G.G. Silva, S.L.M. Lopes Júnior. -- São  
Paulo, 2012.**

**110 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de  
Sistemas Mecânicos.**

**1. Tempo de reação 2. Simulação (Aprendizagem) 3. Veículos  
(Protótipo) I. Lopes Júnior, Sérgio Luís Miragaia II. Universidade  
de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia  
Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos III. t.**

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Prof. Dr. Eduardo Aoun Tannuri, do departamento de Mecatrônica, por emprestar o *notebook* e o monitor usados no simulador.

Agradecemos Raphael David François, graduando do curso de Mecânica da Escola Politécnica, por colaborar no desenvolvimento do programa.

Agradecemos à equipe de Robótica da Escola Politécnica, ThundeRatz, por abrigar o simulador durante a fase de construção e armazenamento, e pelo empréstimo de ferramentas e materiais para a construção do mesmo.

Agradecemos ao Sr. Carlos e Sr. Alceu, responsáveis pela oficina de máquinas do departamento de Mecatrônica, por ajudar com empréstimos de ferramentas e materiais para a construção do simulador.

Agradecemos ao Rafael, técnico de solda da oficina de máquinas do departamento de Mecatrônica, por ajudar na soldagem de peças para o simulador.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um protótipo de um simulador de baixo custo para medição de Tempo de Resposta em condutores de automóveis. Fornecer resultados representativos aos tempos de resposta de uma situação real, e verificar qual a influência de certas variáveis, como nível alcoólico sanguíneo, cansaço e distração causada pelo uso de celular. Para isso, o protótipo assemelhou-se a uma situação de trânsito, onde o usuário ficou ambientado à parte interior de um veículo. O monitor mostrava os vídeos de trânsito e as situações de acidentes, que causaram a reação do usuário. O programa do simulador funcionou a partir de um *notebook* embarcado, controlou a exibição dos vídeos, interpretou os sinais do volante, acelerador e freio e contou o Tempo de Resposta. Após a coleta dos dados, os mesmos foram comparados com outros trabalhos e tratados estatisticamente, correlacionando o Tempo de Resposta com as variáveis já citadas.

**Palavras-chave:** Tempo de Resposta, Motorista, Simulador, Protótipo, Veículo.

## **ABSTRACT**

The objective of this work was the development of a low cost simulator to measure Response Time in car drivers. It provides reliable results and comparable to the real response times and verify the influence of certain variables as alcoholic level in blood, fatigue and distraction from the use of cellular phone. It was the most likely a traffic situation, and provided to the driver a situation very similar to the inside of a car. The monitor was showing traffic videos and accident situations, which caused the reaction to the user. The program of the simulator was working from a notebook that controlled the videos exhibitions, interpreted the signals from steering wheel, accelerator and brake, and counted the Response Time. The data collected was compared with others similar works and a statistical treatment studied the correlation of the Response Time with the variables aforementioned.

**Keywords:** Response time, Driver, Simulator, Prototype, Vehicle.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1	FROTA DE VEÍCULOS NO BRASIL E PREJUÍZOS .....	8
1.2	FATORES CONTRIBUINTES DO ACIDENTE .....	11
1.3	TEMPO DE RESPOSTA E SUA DINÂMICA .....	13
<b>2</b>	<b>MOTIVAÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>PROJETO BÁSICO .....</b>	<b>19</b>
4.1	VARIÁVEIS QUE FORAM ANALISADAS.....	20
4.2	AMBIENTE SIMULADO.....	21
4.3	O TESTE .....	22
4.3.1	<i>O Vídeo .....</i>	<i>22</i>
4.3.2	<i>Durante o teste .....</i>	<i>24</i>
4.3.3	<i>Coleta de informações .....</i>	<i>25</i>
4.3.4	<i>Procedimento de teste.....</i>	<i>26</i>
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	27
<b>5</b>	<b>PROJETO EXECUTIVO .....</b>	<b>29</b>
5.1	EXTERIOR (CHASSIS).....	29
5.2	MATRIZ DE DECISÃO.....	30
5.3	PROJETO DO CHASSI.....	34
5.4	INTERIOR .....	36
5.4.1	<i>Integração dos componentes internos .....</i>	<i>45</i>
5.5	ERGONOMIA .....	49
5.6	CÁLCULO ESTRUTURAL.....	53
5.7	CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO .....	57
5.8	CUSTOS.....	62
<b>6</b>	<b>O PROGRAMA .....</b>	<b>65</b>
6.1	FLUXOGRAMA.....	66

6.2	JANELAS .....	67
6.2.1	<i>Janela Inicial</i> .....	67
6.2.2	<i>Janela do formulário para o usuário</i> .....	68
6.2.3	<i>Janela do formulário para o aplicador:</i> .....	69
6.2.4	<i>Tutorial</i> .....	71
6.2.5	<i>O vídeo</i> .....	74
<b>7</b>	<b>DESEMPENHO .....</b>	<b>77</b>
7.1	ANÁLISE DO DESEMPENHO .....	77
7.2	IMPLEMENTAÇÃO DA MELHORIA.....	79
<b>8</b>	<b>EXTENSÕES DO TRABALHO .....</b>	<b>82</b>
8.1	ANÁLISE DE OUTROS FATORES .....	82
8.2	REALISMO.....	84
8.3	ALGORITMOS DE SENSORIAMENTO.....	87
<b>9</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>88</b>
9.1	GÊNERO .....	89
9.2	CANSAÇO.....	90
9.3	DISTRAÇÃO .....	92
9.4	REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA DOS RESULTADOS.....	93
<b>10</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>96</b>
<b>A.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>97</b>
<b>B.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>100</b>
B.1	DESENHOS DE FABRICAÇÃO .....	100
B.2	DESENHOS DE MONTAGEM.....	105
B.3	CARTAZ EXPLICATIVO.....	105
B.4	DADOS COLETADOS DE USUÁRIOS .....	105
<b>C.</b>	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>100</b>
C.1	QUESTIONÁRIO PARA MEDIÇÃO DE CANSAÇO .....	100



## **1 Introdução**

Em meados de 2006 ocorreram mais de 320 000 acidentes de trânsito por ano no Brasil (DENATRAN / IPEA, 2006). Para estudar as circunstâncias que levam a um acidente de trânsito, ou que podem evitá-lo, o Tempo de Resposta é um fator que simplifica as variáveis envolvidas e fornece resultados razoáveis. Segundo Vaghetti, Roesler e Andrade (2009) ele mede o tempo total desde a percepção de um estímulo, seja visual ou sonoro (como o som de uma buzina ou batida), até o início da ação muscular (acionamento do freio ou a esterção do volante).

De acordo com Kosinski (2010), o Tempo de Resposta de motoristas depende de diversos fatores, sendo que os principais citados em referências [VER cap 4.1] são idade, gênero, distração, cansaço e nível alcoólico sanguíneo.

Para que a medição do Tempo de Resposta de um motorista forneça resultados confiáveis, este teste deve ser o mais fidedigno possível à condução de um veículo, de acordo com Jurecki e Stanczyk (2011).

Um Teste de Reação Simples (TRS) como um alarme sonoro ou uma lâmpada que acende instantaneamente, por exemplo, não pode ser comparado com os Tempos de Resposta no trânsito. O TRS não considera o tipo de reação que ocorre (explicado no Capítulo 4.3.1) e não promove um ambiente semelhante (Mantoni (2008)).

Além disso, os músculos envolvidos que entrarão em ação perante o estímulo são diferentes para o TRS e para o trânsito. Se o indivíduo aguarda uma situação, como no TRS, o Tempo de Resposta do teste será minimizado (Kosinski (2010)).

### **1.1 Frota de veículos no Brasil e prejuízos**

Segundo o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), tabela 1.1, a frota de veículos no Brasil tem aumentado continuamente durante mais de 10 anos. Seu número mais que dobrou entre 1998 e 2008. Junto a essa crescente frota de veículos no Brasil, o

número de vítimas de acidentes de trânsito também tem crescido constantemente, em proporções equiparáveis.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua NBR 10697, define acidente de trânsito como:

*“Acidente de trânsito é todo evento não premeditado de que resulte dano em veículo ou na sua carga e/ou lesões em pessoas e/ou animais, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou áreas abertas ao público. Pode originar-se, terminar ou envolver veículo parcialmente na via pública.”*

Tabela 1.1 Evolução da frota de veículos, das vítimas e das taxas de vítimas (por 100 mil veículos) em acidentes de trânsito. População Total. Brasil. 1998/2008. Fonte DENATRAN - SIM/SVS/MS.

ANO	Frota Total		Automóveis						Motocicletas					
			Frota			Vítimas			Frota			Vítimas		
	n (mi-lhão)	Δ% aa	n (mi-lhão)	% do total	Δ% aa	n	Taxa frota*	Taxa popul **	n (mi-lhão)	% do total	Δ% aa	n	Taxa frota*	Taxa popul **
1998	24,4		17,1	70,0		6.628	38,9	4,1	2,8	11,5		1.894	67,8	1,2
1999	27,2	11,5	18,8	69,2	10,3	7.799	41,5	4,8	3,4	12,4	20,8	2.689	79,7	1,6
2000	29,7	9,4	20,0	67,2	6,2	8.262	41,4	4,9	4,0	13,6	19,5	3.910	96,9	2,3
2001	31,9	7,4	21,2	66,5	6,3	8.483	39,9	4,9	4,6	14,5	14,3	4.541	98,5	2,6
2002	34,3	7,4	22,5	65,6	5,9	9.069	40,3	5,2	5,4	15,7	16,6	5.440	101,1	3,1
2003	36,7	6,9	23,7	64,6	5,3	9.018	38,1	5,1	6,2	17,0	15,7	6.046	97,1	3,4
2004	39,2	7,0	24,9	63,5	5,4	9.875	39,6	5,5	7,1	18,2	14,5	6.961	97,7	3,9
2005	42,1	7,2	26,3	62,5	5,5	9.492	36,1	5,2	8,2	19,4	14,5	8.089	99,1	4,4
2006	45,4	7,8	27,9	61,4	5,9	9.754	35,0	5,2	9,5	20,8	15,8	9.191	97,2	4,9
2007	49,6	9,4	29,9	60,1	7,1	10.218	34,2	5,4	11,2	22,5	18,1	10.392	93,1	5,5
2008	54,5	9,8	32,1	58,8	7,4	10.420	32,5	5,5	13,1	24,0	17,3	11.471	87,6	6,0
Δ%	123,7		87,9	-16,0		57,2	-16,3	34,1	368,8	109,5		505,5	29,2	416,6
Média	37,7	8,4	24,0	64,5	6,5	9002	38,0	5,1	6,9	17,2	16,7	6420	92,3	3,5

Essas lesões podem ser pequenas para as partes envolvidas, tanto para os veículos e motorista, ou podem causar graves consequências, que podem resultar até em óbito ou restrição total de alguma via.

Em números absolutos no Brasil, os prejuízos anuais destes acidentes para o governo são muito grandes: somente em aglomerações urbanas, estes gastos somaram mais de 3,5 bilhões de reais em 2003 (tabela 1.2). Em 2005, este prejuízo anual ultrapassou os 22 bilhões de reais, equivalente a 1,2% do PIB no mesmo ano (DENATRAN / IPEA, 2006).

Além disso, o acidente de trânsito é o segundo maior problema de saúde pública do Brasil (Vieira, 2008).

Tabela 1.2 Custos Anuais dos Acidentes de Trânsito nas aglomerações urbanas. Fonte IPEA, 2003: Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito em aglomerações urbanas.

Componentes de Custo	Custos	
	R\$ mil (abril de 2003)	%
Perda de produção	1.537.300	42,8
Danos a veículos	1.035.046	28,8
Atendimento médico-hospitalar	476.020	13,3
Processos judiciais	131.083	3,7
Congestionamentos	113.062	3,1
Previdenciários	87.642	2,4
Resgate de vítimas	52.695	1,5
Reabilitação de vítimas	42.214	1,2
Remoção de Veículos	32.586	0,9
Danos a mobiliário urbano	22.026	0,6
Outro meio de transporte	20.467	0,6
Danos à sinalização de trânsito	16.363	0,5
Atendimento policial	12.961	0,4
Agentes de trânsito	6.125	0,2
Danos à propriedade de terceiros	3.029	0,1
Impacto familiar	2.105	0,1
Total	3.590.723	100,0

Considerando os prejuízos financeiros causados por acidentes de trânsito anualmente no Brasil, e a tendência ao aumento contínuo deste número (sem considerar as perdas incalculáveis, como mortes, deficiência física das vítimas, entre outras), é fundamental entender o processo que antecede o acidente.

Uma situação que pode originar um acidente, por exemplo, é um acontecimento não esperado e repentino: um motorista frear bruscamente ao visualizar um animal na pista. Este acontecimento pode causar um acidente, como atropelamento do animal ou colisão traseira com outro veículo.

É possível criar um ambiente que propicie o cenário de trânsito realista que forneça resultados consistentes e correlacionar os fatores que influenciam a probabilidade do acidente, junto as informações coletadas dos usuários (idade, gênero, estado físico). O

projeto conceitual do simulador de Tempo de Resposta atendeu aos seus requisitos, porque toda as condições anteriores ao acidente foram colhidas ou controladas.

## 1.2 Fatores que podem causar um acidente

O Boletim Técnico da Companhia de Engenharia e Tráfego (CET), de De Paula e Régio (2008), classifica os fatores contribuintes do acidente em três grupos: humanos, da via e/ou meio ambiente e veiculares.

Fatores humanos:

*“(...) ações arriscadas do indivíduo no trânsito, quer na condição de condutor de veículo que pode se envolver em um acidente, quer na de pedestre arriscando-se a ser atropelado. (...) Desrespeitar o sinal vermelho, dirigir com excesso de velocidade, não sinalizar intenção de manobra e dirigir alcoolizado são exemplos de fatores humanos que contribuem para que o acidente aconteça. Normalmente, são erros cometidos pelos usuários da via e, em sua maioria, constituem infrações de trânsito.*

Fatores da via e/ou meio ambiente:

*“(...) características inseguras da via e/ou do ambiente no momento do acidente, que podem ter contribuído para a sua ocorrência. Os aspectos inseguros podem estar ligados às características geométricas da via (deficiências de projeto), à incorreção da sinalização implantada (idem), ao estado dessa sinalização (problemas de manutenção), ao estado do pavimento, às condições climáticas etc.*

*Assim, placa mal posicionada, faixa de pedestres inexistente, semáforo com defeito, buraco na pista, curva acentuada, obra na pista, chuva intensa etc. são exemplos de fatores relacionados com a via / meio ambiente, que contribuem para a ocorrência dos acidentes de trânsito.”*

Fatores veiculares:

*“(...) aqueles decorrentes de falhas no desempenho dos veículos envolvidos no acidente, normalmente provocadas pelo seu mal estado de conservação. Farol desregulado provocando ofuscamento, estouro de pneu e deficiência no freio são exemplos de fatores contribuintes para o acidente, de ordem veicular.”*

Neste trabalho foram investigados apenas os fatores humanos que contribuem para o acidente porque, de acordo com De Paula e Régio (2008), eles estiveram presentes na quase totalidade (98,6%) dos acidentes fatais investigados (com mortes no local e na hora do acidente), sozinhos ou combinados com os fatores da via e/ou veiculares.

Em comparação aos fatores humanos, os fatores via/meio ambiente atuaram, sozinhos ou combinados com fatores de outro tipo, em 18,7% dos acidentes fatais no local investigados, e os fatores veiculares apareceram em apenas 7,8%, sozinhos ou combinados. Isso significa que o fator de maior importância na determinação de um acidente é o fator humano.

Mas isto não é o suficiente, porque o fator humano ainda abrange muitas condições ou comportamento dos motoristas. Por isso é necessário saber também qual é a influência que o cansaço, nível alcoólico, ou distração tem sobre o motorista, e que pode ser um perigo potencial, como cita De Paula e Régio, no mesmo Boletim:

*“(...) existem fatores humanos de outra ordem, mais subjetivos, aqui chamados de indiretos, que estão na raiz dos primeiros e que refletem aspectos ligados à formação insatisfatória do envolvido (imperícia, inabilitação, inexperiência etc.) ou às suas condições físicas / psicológicas desfavoráveis (cansaço, sonolência, estresse, agressividade, euforia, pressa, desatenção etc.) e que são mais difíceis de serem identificados, por necessitarem de entrevistas com os envolvidos. No entanto, seu conhecimento pode ser desejável, já que eles potencializam o cometimento de erros no trânsito por parte dos seus usuários.”*

### 1.3 Tempo de Resposta e sua dinâmica

Pode-se medir a influência dos fatores humanos subjetivos, citados acima, através de uma medição simples de Tempo de Resposta, tendo-se conhecidas e controladas as condições do motorista (ou, a condição de cada fator). O Tempo de Reação é definido (Magill, 2000) como o intervalo de tempo decorrido desde um estímulo até o início de uma resposta, e o Tempo de Resposta é o intervalo de tempo desde o início de um estímulo até a ação de resposta.

Este Tempo de Resposta é dividido em duas partes (Christina e Rose, 1985): A primeira etapa que se chama pré-motora, a qual se inicia o estímulo (que pode ser visual, tátil ou sonoro), passa por sua decodificação no cérebro e finaliza no momento dos primeiros impulsos elétricos musculares. A segunda etapa, chamada motora, inicia-se no final da primeira etapa e finaliza quando o músculo começa a iniciar o movimento a partir do estímulo nervoso.

Como, em mais de 98,6% dos acidentes de trânsito (citado em 1.2) estão relacionados aos fatores humanos, o Tempo de Resposta é um indicador da possível evasão ou não de um acidente.

Isto está diretamente ligado com a performance humana em uma situação inesperada, e que consiste de fenômenos físico-químicos e motores dentro do corpo. Ou seja, acontecimentos que ocorrem dentro do corpo e que são influenciados pelo estado físico e mental no qual a pessoa se encontra.

Kosinski (2010) provou isso. Ele reuniu uma coletânea de fatores que influenciam no Tempo de Resposta, dos quais podemos citar idade, gênero, *stress*, nível alcoólico no sangue, influência de drogas, saúde mental, saúde física (indivíduo doente ou não), fadiga, distração, personalidade.

Sendo assim, podem-se retirar certas relações entre alguns fatores (humanos) do condutor e seu Tempo de Resposta. Por exemplo, se o motorista estiver alcoolizado ou muito cansado, ele terá um Tempo de Resposta mais lento, aumentando suas chances de causar um acidente ou não conseguir evadir de um. Logo, o conhecimento dos fatores humanos subjetivos, que é de difícil análise direta, também é importante.

## 2 Motivação

O estudo de acidentes de trânsito é importante porque as velocidades dos veículos são perigosas o suficiente para causar danos. Porém, é complicada a medição do Tempo de Resposta em situações críticas e reais, porque é difícil saber o instante exato do estímulo e da reação.

Outro fator que dificulta este tipo de teste é o risco envolvido em realizá-los. Supondo-se uma simulação deste teste em condições reais; mesmo com acompanhamento profissional e utilização de *mockups* de veículos, o motorista dirige um automóvel em condições de causar acidente. Jurecki e Stanczyk (2011) já elaboraram testes para medição de Tempo de Resposta em situações reais.

Uma solução alternativa é a construção de simuladores de direção, onde o motorista permanece dentro de uma cabine isolada do ambiente externo, e um programa de computador controla os estímulos enviados ao usuário e monitora suas reações.

Alguns exemplo são o National Advanced Driving Simulator, ou NADS-1 (figuras 2.1 e 2.2), situado na universidade de Iowa; e o Toyota Higashi-Fuji Technical Center Driving Simulator (figura 2.3), localizado no Japão.



Figura 2.1 - Simulador de direção NADS-1. Online. Disponível em <[http://www.nads-sc.uiowa.edu/sim\\_nads1.php](http://www.nads-sc.uiowa.edu/sim_nads1.php)> Acessado em abril de 2012





Figura 2.2 – Interior do simulador de direção NADS-1. Online. Disponível em <[http://www.nads-sc.uiowa.edu/sim\\_nads1.php](http://www.nads-sc.uiowa.edu/sim_nads1.php)> Acessado em abril de 2012.



Figura 2.3 – Simulador de direção da Toyota. Online. Disponível em <<http://www.telegraph.co.uk/motoring/road-safety/6598418/Toyotas-30-million-driving-simulator-review.html>> Acessado em abril de 2012.

Estes simuladores, que custam de 7 a 30 milhões de dólares, propiciam aos motoristas situações convencionais de tráfego. Seus níveis de realismo superam 97%, segundo os próprios fabricantes. Eles contam com sistemas de atuadores que lhes conferem



mais de 13 graus de liberdade. Eles tem visão em 360 graus, vibrações e áudio. Todas essas funções ambientam os usuários, fazendo-os se sentir como se estivessem dentro de um veículo.

Estes protótipos são usados principalmente para treinar pilotos inexperientes, testar aptidão de motoristas sem o risco de acidentes ou para estudar comportamentos humanos no trânsito. Eles também podem simular situações críticas, onde a reação do motorista é decisiva para evitar um acidente.

Resultados sobre a influência de fatores humanos no Tempo de Resposta de condutores obtidos com este tipo de simulador, em testes de evasão de acidentes, foram extensivamente pesquisados, mas nenhuma publicação foi encontrada.

Além disso, a coleta de dados e preparação dos usuários para os testes são muito complicadas. Este tipo de coleta envolve medição do nível de atenção diário, onde deve-se conhecer o dia-a-dia do usuário, medir os batimentos cardíacos e pressão sanguínea, que também são fatores que influenciam no Tempo de Resposta. Essa complicação restringe a participação de usuários que não possuam disponibilidade para fazer o teste, ou impossibilita a participação se o protótipo tiver uma localização física fixa, porque os usuários precisariam reservar um tempo para fazer o teste, e até se submeterem a longos questionários ou acompanhamentos.

Alguns testes podem ter duração superior a uma hora, onde também as frequências de atenção ao longo tempo de direção é analisada, o que também pode prejudicar grandes coletas de dados. Pode-se citar o teste de Nascimento (2001), que exige testes de longa duração. Estes tipos de testes monitoram as oscilações no nível de atenção diário de motoristas com diferentes históricos de acidentes, que percorrem grandes distâncias.

Existem outros tipos simuladores de alto custo, mais baratos que o NADS-1 ou o simulador da Toyota, e que conferem alto nível de realismo. Um exemplo que pode ser citado é o *PatrolSim™* (figura 2.4). Este simulador já foi utilizado estudos de Tempo de Reação, como os realizados por Strayer & Drew (2004, 2006).



Figura 2.4 – Simulador de direção *PatrolSim™*. Online. Disponível em < <http://www.l-3training.com/applications/land/public-safety-training/police-car-simulator> > Acessado em abril de 2012.

A principal função deste simulador é a prática ou aprimoramento (treinamento) de habilidades no volante que envolvam alto risco. Este simulador também utiliza realidade virtual. Ele não possui atuadores que possam fornecer graus de liberdade.

Este simulador também tem custo elevado: cerca de 100 mil dólares.

Um simulador de baixo custo, comparado com os grandes simuladores (NADS-1 ou *PatrolSim™*), não tem o alto nível de realismo. O motorista não tem controle sobre o ambiente virtual. No entanto, terá preço muito inferior, comparativamente, e sem grandes limitações de construção (possibilidade de construir em oficinas mecânicas).

Além disso, um simulador móvel pode ser levado aos usuários, e não o contrário.

### **3 Objetivo**

Desenvolvimento e construção de um protótipo de simulador de baixo custo que quantifica o quanto as variáveis fadiga, nível alcóolico e distração, causada por celular, afetam o Tempo de Resposta dos motoristas. Será feito um modelo estatístico para calcular o Tempo de Resposta e analisar quais as variáveis de maior influência no Tempo de Resposta. O Protótipo deverá ser uma plataforma reprodutível e flexível, para permitir novas implementações. Deverá fornecer resultados confiáveis e comparáveis aos tempos de uma situação real. .

## 4 Projeto Básico

Para atender aos objetivos, o simulador promoveu uma situação de trânsito realista. A cabine do motorista tinha proporções reais, e foi equipada tal como (banco, pedais, volante, monitor (para-brisa) e caixas de som), para que o motorista ficasse próximo do ambiente interno de um veículo.

O usuário prendeu sua atenção durante o teste, (Dukette e Cornish (2009)) através de tarefas que foram executadas, como esterção do volante proporcional às curvas exibidas pelo simulador. O monitor exibiu os vídeos gravados, e ao final do teste o programa retornou o desempenho ao usuário. Essa iteração do protótipo com o usuário forneceu a carga mental (viável de ser implementada) para gerar a ergonomia cognitiva de uma situação de tráfego (Bitencourt (2010)).

Para que o Simulador tivesse baixo custo, como citado, ele conteve somente o necessário para um teste de Tempo de Resposta válido<sup>1</sup>. Ele também foi móvel, para que os testes pudessem ser feitos com pessoas de diversos lugares.

Foi necessário primeiramente estudar quais foram os fatores humanos que se desejaram correlacionar com o Tempo de Resposta que foi medido, antes de se iniciar o projeto executivo do simulador. O simulador também garantiu que estes fatores analisados estivessem sendo correlacionados e pudessem ser medidos no teste. Por exemplo, para correlacionar o cansaço do motorista, foi preenchido um questionário (explicado em 4.3.3) no programa que o mediu.

Não foi possível a medição de influência de todos os fenômenos que alterariam o Tempo de Resposta, pois eles são muitos (alguns estão citados em 1.3), e tornariam o teste muito extenso.

---

<sup>1</sup> A validade do teste para Tempo de Resposta é explicado no Capítulo 4.3.4

#### 4.1 Variáveis que foram analisadas

As variáveis escolhidas para análise por este protótipo foram nível alcoólico sanguíneo, distração causada pelo uso do celular e cansaço. Estes fatores foram escolhidos porque são os principais fatores citados em referências [COLOCAR ALGUMAS REFERENCIAS].

-Uso do celular: O uso do celular compromete a atenção do motorista no trânsito. Manter atenção durante a digitação de uma mensagem no celular, ou simplesmente conversar nele durante a condução do veículo são exemplos dessa distração. A utilização do celular ao volante, além de ser uma infração do artigo 252 do Código de Trânsito Brasileiro (CONTRAN (2008)), também causa impacto negativo no Tempo de Resposta, e aumenta em 400% o risco de se causar uma acidente, segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS);

-Cansaço: Kosinski (2010) em sua coletânea explicou que o nível de cansaço físico ou mental do usuário tende a diminuir os reflexos e atenção, e que causa aumento no Tempo de Resposta. A insônia também causa aumento no Tempo de Resposta. O inverso também é verdadeiro: se o indivíduo está descansado, o Tempo de Resposta tende a diminuir;

-Tempo de Resposta médio: Os fatores que influenciam no Tempo de Resposta serão medidos com base em comparações de tempos de resposta entre usuários, sendo assim, este tempo absoluto, por consequência, também foi medido;

-Gênero: Vários estudos (Noble *et al.*, 1964; Welford, 1980; Adam *et al.*, 1999; Dane and Erzurumluoglu, 2003; Der and Deary, 2006) apontaram uma leve diferença no Tempo de Resposta entre homens e mulheres, sendo os primeiros ligeiramente mais rápidos que as mulheres (cerca de 5% mais rápidos) em TRS<sup>2</sup>. Essa diferença foi estudada dentro do protótipo, para estudar se essa diferença entre homens e mulheres no trânsito permanece, ou se ocorre somente em TRS;

-Nível alcoólico: Estudos comprovaram a influência negativa do álcool no sangue de um condutor no Tempo de Resposta. Hernandez *et al.* (2007) atestaram o acréscimo no tempo de reação devido ao atraso de ativação nos músculos. A diminuição de reflexos e da capacidade de tomada de decisão (Exum, 2002) também é causada.

---

<sup>2</sup> TRS são explicados no Capítulo 1.

## 4.2 Ambiente simulado

Conforme conclui-se em 4.1, o Simulador se assemelhou com o interior de um veículo. Para isso ele foi equipado com um banco, volante, pedais, monitor e caixas de som. Estes elementos são detalhados no Capítulo 5.4. Houve um computador embarcado no protótipo, que gerenciava o andamento do teste e armazenava os resultados em um banco de dados.

A vista periférica foi isolada, de forma que só fossem visíveis os elementos internos do protótipo (volante, pedais, banco e monitor).

Vale ressaltar que estes componentes foram fixados conforme o posicionamento em um veículo comercial, explicado no Capítulo 5.5.



Figura 4.1 - Interior de um automóvel (Bentley Azure) com os meios de interação com o motorista: 1-Visão; 2-Volante; 3-Pedais; 4-Banco. Online. Disponível em <4car.net> Acessado em abril de 2012

### 4.3 O Teste

#### 4.3.1 O Vídeo

A realidade virtual não foi desenvolvida para os testes. Ela consiste no desenvolvimento de cenário virtual com computação gráfica, onde o usuário interage com o cenário através dos controles (neste caso, volante e pedais).

Seriam necessárias as criações dos modelos tridimensionais dos veículos, ruas, elementos de trânsito (faróis, placas, etc.), ambiente (árvores, muros, etc.) e aplicação de texturas, além dos fenômenos físicos dinâmicos envolvidos durante curva, freio, aceleração, suspensão. A interação dos volantes e pedais com a resposta no cenário virtual seriam configuradas, e por fim, a organização de eventos para constituir uma cena de trânsito comum. Ou seja, seria um trabalho muito laborioso, além de que este desenvolvimento não faz parte do escopo do trabalho. Por estes motivos foram usados vídeos gravados em vez de ambiente virtual.

Além disto, segundo Jurecki e Stanczyk (2011), os testes de resposta em trânsito efetuados em simuladores são menores em comparação a testes efetuados em situações reais simuladas (automóveis que são dirigidos em percursos preparados onde, subitamente, um modelo de veículo de papelão, por exemplo, invade a pista).

Isto ocorre porque, nos testes efetuados em simuladores com realidade virtual, fica evidente aos motoristas de que estão em um ambiente virtual, e por isso manobras muito violenta são seguras, e ele pode as fazer "impunemente", sem quaisquer consequências.

Os vídeos que foram exibidos no simulador foram gravados através de uma câmera digital de alta definição, Sony *Cyber-Shot*® DSC-H70. A câmera foi fixada à frente do motorista através de um suporte de plástico fabricado, que a posicionou para gravar um vídeo com vista semelhante à visão que o motorista possui ao conduzir um veículo (figura 4.2).



Figura 4.2 – Câmera utilizada para gravação dos vídeos.

Os vídeos foram gravados durante a condução do veículo, normalmente (velocidade aproximada de 60Km/h, acionando a luz indicadora de mudança de faixa (pisca-alerta) durante as curvas, sem acelerações ou frenagens bruscas).

Durante o vídeo, o outro veículo, que está em sua frente, efetua uma manobra perigosa: entra subitamente na frente do veículo de trás, forçando-o a frear ou desviar para não causar um acidente. Esta cena é responsável em causar o estímulo para reação no usuário (figura 4.3).



Figura 4.3 – Manobra exibida no vídeo.



Vale ressaltar que há 3 tipos de reações diferentes (Kosinski, 2010) que podem ocorrer no trânsito. O tipo de reação simples refere a um teste onde há somente um tipo de estímulo, e apenas uma resposta possível. O tipo de reação por reconhecimento consiste de dois tipos diferentes de estímulos que são causados, e somente um deve ser respondido. No tipo de reação por escolha, são dados mais de um tipo de estímulo, e a resposta deve ser dada conforme o estímulo que é apresentado.

Para este trabalho, a reação que era mostrada no vídeo tinha resposta obrigatória (reação por acionamento do freio ou esterção do volante). Este fato exclui o tipo de reação por reconhecimento. Como o usuário teve duas opções para reagir, o estímulo causava o tipo de reação por escolha.

#### **4.3.2 Durante o teste**

O motorista em teste teve que se manter focado em dirigir o veículo, como se não estivesse sendo testado (explicado no Capítulo 4.1). Para que ele estivesse focado no teste (Dukette e Cornish (2009)), o simulador indicava ações, conforme o vídeo do trânsito era exibido, da seguinte forma:

- O pedal do acelerador teve que ficar pressionado até alguns segundos antes da cena do estímulo. Antes do momento de estímulo do vídeo, o pedal do acelerador pode não ser pressionado, por exemplo, nas partes do vídeo onde o veículo passa por cima das lombadas;

- O volante teve que ser esterçado com mesmo sentido, e ângulo proporcional ao movimento do veículo no vídeo. Houve um *display* na parte inferior central do monitor, que indicava o movimento do volante para o usuário (figura 6.9 no item 6.2.5). Se o usuário não esterçasse o volante o suficiente em uma curva acentuada, errasse o sentido da curva, ou esterçasse o volante mais do que o necessário, por exemplo, o vídeo alertava ao usuário da correção que devia ser feita.

### 4.3.3 Coleta de informações

Com o protótipo de coleta de dados em exposição<sup>3</sup>, foram realizadas propagandas através de e-mails para grupos internos da faculdade, convidando voluntários para participar do teste. O protótipo foi levado a localidades onde houvesse grandes concentrações de pessoas (entrada de departamentos da Escola Politécnica), para que assim fosse possível coletar grande número de dados.

O público alvo almejado para a coleta de dados foram motoristas universitários entre 18 e 25 anos. Esse público foi escolhido porque o projeto foi desenvolvido dentro do *Campus* universitário, onde se encontrou grande número de pessoas nesta faixa etária. Além disso, neste trabalho não foi desejado medir a influência da idade no Tempo de Resposta, por isso a faixa de idade foi limitada (minimizar o efeito da idade no Tempo de Resposta).

Considerando as variáveis em questão, foram feitos testes para medir diretamente a influência de distração e gênero no Tempo de Resposta de motoristas, e indiretamente para o cansaço. Estes foram presentes em todos os testes, e sua influência foi calculada no Capítulo 9.

#### - Distração (uso de celular):

Houve dois tipos de distúrbio diferentes usando celular. O primeiro tipo de distúrbio foi o uso do celular com conversação.

Para estes testes foram utilizados os celulares dos próprios usuários, porque é o celular que estavam habituados a usar.

Os aplicadores do teste ligaram para os celulares dos usuários no início do teste. Foram feitas perguntas que envolvem raciocínio, como por exemplo, “O que você comeu de café da manhã?”, “Qual a data do aniversário da sua mãe?”. A intenção foi forçar uma conversação onde o usuário tivesse que dividir sua atenção entre a condução do automóvel e a conversa do celular.

O segundo tipo de distúrbio com o celular foi o envio de mensagens escritas. Foi pedido para que o usuário digitasse a seguinte mensagem no próprio celular: “A rápida raposa marrom pula sobre o cachorro preguiçoso.”, enquanto fazia o teste.

---

<sup>3</sup> O cartaz explicativo sobre o trabalho, exibido durante os testes junto com o protótipo, consta no Anexo B.3

- Cansaço:

Sua medição foi complicada, porque é muito difícil obter dados precisos sobre o nível de cansaço. Existem alguns métodos válidos para quantificar cansaço no usuário, dos quais se podem citar medição de temperatura muscular, exames de eletromiograma (Madigan e Pidcoe, 2002) ou questionários preenchidos pelos usuários, sobre o qual é feita uma pontuação.

Este último método foi utilizado porque foi mais conveniente para o tipo de teste feito: coleta de dados em grande volume e corriqueiramente dos voluntários. Para este teste, existem artigos que validam o uso do questionário para medição de cansaço, e para este teste foi usado o questionário *Checklist Individual Strength (CIS)* para medição de cansaço entre trabalhadores. Este questionário foi validado e consta no artigo de Beurskens *et. al* (2000), descrito no Anexo A.

- Tempo de Resposta médio:

Este foi medido desde o início do quadro do estímulo, definido no programa, para cada vídeo, e o tempo até o usuário pressionar completamente o pedal do freio ou esterção do volante. Para este tempo, foram consideradas também as outras variáveis (cansaço e distração).

#### **4.3.4 Procedimento de teste**

Segue abaixo a ordem para entrada de dados e realização do teste:

- a. Voluntário se propõe a fazer o teste;
- b. Na janela do aplicador do teste:
  - i. Escolhe-se se haverá distração (celular);
  - ii. Escolhe-se o vídeo que será passado;
- c. Na janela do usuário:
  - i. Usuário preenche o formulário restante (nome, idade e gênero);
  - ii. Usuário preenche o formulário de cansaço;
- d. Após o preenchimento dos formulários, o programa prepara o vídeo escolhido e o usuário é orientado pelos aplicadores do teste de como ele deve ser feito (dizendo para

o usuário “imitar” o vídeo esterçando o volante, manter o pedal acelerado e para frear se sentir necessidade, conforme detalhado em 4.1);

- e. O usuário faz o teste;
- f. Enquanto o usuário faz o teste, o aplicador analisa o desempenho de seu teste, através da tela do *notebook* e tem a opção de não validar o teste\*;
- g. Ao término do teste, o programa volta ao estado inicial;

\*O teste não será validado nas seguintes situações:

- Se o usuário não seguir (ignorar) as curvas efetuadas pelo vídeo, ou se a esterção do volante for feita sem zelo (a julgar pelos aplicadores do teste);
- Se o usuário soltar o pedal do acelerador por um período de tempo longo (superior a 4 segundos) ou se o pedal for liberado muitas vezes durante o teste (superior a 4 vezes);
- Se o usuário pressionar o pedal do freio muito tardiamente (superior a 2 segundos) ou se não pressionar o pedal do freio ao término do vídeo;
- Se o usuário não fizer o teste com zelo por qualquer outro motivo: olhando muito para outra direção que não a do monitor, “dirigir” o simulador com apenas uma mão entre outros comportamentos incoerentes ao teste.

Além disso, foram restringidos de fazer os testes:

- Portadores de diabetes mellitus do tipo II, porque estes têm o Tempo de Resposta inferior ao de pessoas não portadoras. Em alguns casos, este tempo pode até duplicar (Richerson, Robinson e Shum, 2005);

#### 4.4 Análise Estatística

Com o objetivo de quantificar a influência de cada variável (gênero, cansaço, distração e nível alcoólico) no Tempo de Resposta, foi feita uma análise dos dados coletados nos testes. Como se trata de um problema multi-variável, foi utilizada a ferramenta estatística de Regressão Linear Múltipla.

A suposição de que o Tempo de Resposta é uma combinação linear das variáveis do teste somada a uma constante foi utilizada para este método.

Sendo  $x_1$  o gênero (1 para masculino, 2 para feminino),  $x_2$  o cansaço (valor de 0 a 120),  $x_3$  o tipo de distúrbio (0 para nenhum, 1 para falar ao celular e 2 para digitar SMS) e  $x_4$  o nível alcoólico (medido com um etilômetro digital), e sendo  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  os seus respectivos fatores lineares e  $\beta_0$  uma constante, obtemos a seguinte equação:

$$Y = \beta_0 + x_1\beta_1 + x_2\beta_2 + x_3\beta_3 + x_4\beta_4 + \epsilon$$

onde  $\epsilon$  é o erro da aproximação e que deve ser mínimo.

Para a solução deste problema foi utilizada uma abordagem matricial, onde temos  $\mathbf{X}$  como a matriz das variáveis,  $\mathbf{Y}$  como o vetor dos tempos de resposta e  $\boldsymbol{\beta}$  como vetor dos parâmetros de ajuste linear que minimiza o erro.

Assim,  $\boldsymbol{\beta}$  é calculado pela seguinte equação de regressão linear múltipla (Montgomery e Douglas, 2010):

$$\boldsymbol{\beta} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} (\mathbf{X}^T \mathbf{Y})$$

Para verificar a qualidade dos parâmetros lineares calculamos o coeficiente de determinação  $R^2$  que indica o quanto da variação total é comum aos elementos que constituem os pares analisados. Este é calculado pela razão

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} = 1 - \frac{SQE}{SQT}$$

onde SQR é a soma dos quadrados da regressão, SQE a soma dos quadrados dos erros e SQT a soma dos quadrados total ( $SQR = SQT - SQE$ ), e são definidas pelas equações matriciais a seguir (Portal Action, 2012):

$$SQE = \mathbf{Y}^T \mathbf{Y} - \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T \mathbf{Y}$$

$$SQT = \mathbf{Y}^T \mathbf{Y} - \mathbf{Y}^T \frac{\mathbf{J}}{n} \mathbf{Y}$$

onde  $n$  é o número de dados e  $\mathbf{J}$  é a matriz  $n \times n$  composta:

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n}$$

## 5 Projeto Executivo

O protótipo foi construído, tanto a parte interna quanto a parte externa. Aspectos ergonômicos, como posição relativa de volante, pedal e banco, e aspectos sensoriais, como som, imagem, iluminação e cenário também foram considerados.

Segue abaixo a análise sobre escolha dos materiais que foram usados no protótipo. A oficina e ferramentaria disponível para sua construção também foi considerada<sup>4</sup>.

### 5.1 Exterior (chassis)

Abaixo foram explicadas as opções de materiais consideradas para constituírem o chassis do protótipo:

Alumínio:

Tubos ou perfis tubulares de alumínio unidos por cantoneiras ou chapas parafusadas de aço. A parte interna fabricada com chapas de alumínio dobradas e furadas que posicionam volantes, banco, monitor e caixas de som. Pretende-se aqui usar uma liga barata e comumente usada de alumínio, visto que a estrutura será dimensionada para resistir aos esforços, como por exemplo, uma liga da série 3000 (ABAL, 2012). Existe a possibilidade de solda dos perfis de alumínio, porque as dimensões internas e externas do protótipo não são passíveis de alteração. No entanto, a união dos componentes seria feita através de parafusos, porque a oficina não possui uma máquina para soldar alumínio.

Aço opção I (construído):

Constituído de perfis tubulares de aço soldados para a parte externa. A parte interna construída com chapas e perfis de aço soldado. A solda usada seria solda à arco revestido (máquina disponível). Liga como 1010 ou 1020 seria usada, porque seu preço é reduzido, tem alta soldabilidade e é facilmente encontrado comercialmente.

Aço opção II (comprado):

---

<sup>4</sup> Oficina de Fabricação e Usinagem do Departamento de Mecatrônica da Escola Politécnica da USP.

Esta opção consiste de adquirir uma parte de um veículo descartado em um ferro-velho, que constituiria a parte interna do veículo, e fixá-la em uma base móvel. Os componentes internos seriam adaptados a essa parte de automóvel. Partes do automóvel não desejáveis para o teste seriam retiradas com esmerilhadeira manual e serras.

Madeira:

A construção da parte externa do simulador seria construída por sarrafos de madeira, e união dos sarrafos seriam reforçadas com chapas de aço parafusadas. Seu preço também é reduzido. As partes internas seriam também constituídas de sarrafos de madeira ou chapas de compensado, unidas por chapas de aço parafusadas. Também seriam usados pregos e adesivo para madeira onde necessitasse união entre grandes áreas de madeira.

## **5.2 Matriz de decisão**

Para que a escolha dos materiais fosse a mais conveniente, elaborou-se uma matriz de decisão. Os critérios relevantes para seleção do material e sua ponderação estão listados e explicados abaixo:

### Preço:

O protótipo aqui proposto é de baixo custo. Por isso este critério é muito importante, sendo atribuído grande peso para ele.

### Fabricação:

A oficina deve permitir sua fabricação. Ou seja, na seleção do material, a disponibilidade de ferramentas e processos de fabricação foram considerados. Sendo assim, sua construção deve ser viável dentro dela. Além disso, o foco não é a construção ou fabricação do protótipo, e sim, a análise de dados bem coletados.

### Visual e acabamento:

Este critério refere-se à aparência exterior do protótipo, à facilidade de se dar acabamento ao material que se está utilizando, e ao visual interno do protótipo, e que deve se assemelhar ao visual interno de um veículo comercial.

### Relação resistência/massa específica:

O protótipo é móvel (explicado em 4.1), por isso seu peso deve ser reduzido, para que seu transporte em diferentes localidades, onde serão feitos os testes, seja fácil e ágil. Quanto maior for a razão resistência/massa específica, a estrutura terá maior capacidade de resistir aos esforços com menor quantidade de material e peso.

Após a explicação dos critérios, foram atribuídos pesos a cada um deles. O peso de cada um será de 1 a 5, onde 1 significa muito insatisfatório (por exemplo, muito caro ou com visual muito pobre/irreal) e 5 significa plenamente satisfatório (por exemplo, barato ou exatidão na aparência entre protótipo e veículo real).

Comparando-se os critérios 2 a 2 iterativamente, chegou-se à seguinte distribuição de pesos:

Preço: 4

Fabricação: 5

Visual e acabamento: 2

Razão resistência/massa específica: 3

Agora serão dadas as notas de cada critério para cada uma das soluções, também dentro da margem de 1 a 5:

Alumínio:

Preço: O alumínio é vendido por peso. Seu peso é relativamente baixo em comparação ao do aço ( $2700\text{Kg/m}^3$  contra  $7860\text{Kg/m}^3$ ), mas a razão preço/peso dele é superior ao do aço (em média R\$16/Kg contra R\$4,50/Kg). Isso o torna pouco favorável, porque o alumínio tem rigidez inferior ao aço, ou seja, o volume de alumínio a ser comprado seria grande, para que garantisse mesma rigidez de uma estrutura de aço. Portanto, seu preço é desfavorável. NOTA 2.

Fabricação: A usinabilidade<sup>5</sup> do alumínio é baixa (cerca de 30% para ligas 6000 (Matweb, 2012)). Mas, como sua dureza e resistência são menores que o aço, há agilidade durante a fabricação de peças composta por esse material em processos como furação com brocas de aço rápido ou serras. NOTA 4.

---

<sup>5</sup> Usinabilidade pode ser definida como sendo a capacidade dos materiais de peça em se deixarem usar. Stoeterau, R. L. *Usinabilidade de materiais e vida da ferramenta*. 2009. Online. Disponível em <[http://www.lmp.ufsc.br/disciplinas/emc5240/Aula-07-08-U-2007-1-Usinabilidade\\_e\\_vida.pdf](http://www.lmp.ufsc.br/disciplinas/emc5240/Aula-07-08-U-2007-1-Usinabilidade_e_vida.pdf)> Acessado em maio de 2012.



Visual e acabamento: O alumínio já tem proteção natural contra a corrosão natural, que é o óxido de alumina que se forma em sua superfície, e que mantém aspecto visual “limpo”, não precisando de nenhum tratamento para que perca suas características visuais. Dá-se o nome de passivação a esse fenômeno (Thomas e Sherwood, 1992). Ou seja, esse critério é bem favorecido para alumínio. NOTA 4.

Relação resistência/massa: A resistência ao escoamento de uma liga comumente encontrada (por exemplo da família 6000) é de 50MPa (Matweb, 2012). Portanto, a razão resistência/massa específica do alumínio é de  $50\text{MPa} / [2700\text{Kg/m}^3] = 18\ 518$ . Aqui desprezou-se a unidade, porque é interessante fazer comparação do valor da razão entre os materiais. NOTA 2.

#### Aço opção I (fabricado):

Preço: Como já explicado anteriormente, o uso de aço resulta em uma solução menos dispendiosa que a utilização de alumínio. NOTA 4.

Fabricação: Diferente do alumínio, sua usinabilidade é maior (cerca de 65% para ligas de baixo carbono (Matweb, 2012)), mas, por ter elevada resistência e dureza, os processos de furação manual e corte com serra são mais demorados. Além disso, o processo de solda é mais complexo que a fabricação e dobra de componentes que fixem perfis de alumínio, porque a máquina de solda é necessária, a corrente deve estar calibrada conforme a espessura do perfil utilizado e experiência para que a solda fique bem-feita. NOTA 2.

Visual e acabamento: As ligas de baixo carbono (série 1000, que são menos dispendiosas) corroem quando expostos ao meio ambiente, sendo necessário algum tratamento superficial que impeça o surgimento de corrosão, como aplicação de tinta ou esmalte. NOTA 3.

Relação resistência/massa: A resistência ao escoamento de uma liga comumente encontrada (por exemplo da família 1000, de baixo carbono) é de 200MPa. Portanto, a razão resistência/massa específica do aço é de  $200\text{MPa} / [7860\text{Kg/m}^3] = 25\ 445$ . NOTA 3.

#### Aço opção II (comprado):

Preço: A aquisição de um veículo do ferro-velho (ou apenas da parte correspondente à cabine do motorista) é muito dispendiosa, tal como sua locomoção até a oficina onde ele será tratado. NOTA 1.

Fabricação: A adaptação do pedaço usado de veículo para uma plataforma móvel e aos elementos internos como monitor, volante e pedais pode ser bem laboriosa, visto que são necessários muitos cortes e estudos de quais partes estruturais serão relevantes para que resulte em uma estrutura mecânica confiável para sua utilização. NOTA 2.

Visual e acabamento: Por se tratar de uma parte real de veículo, se for feito algum tratamento superficial, o modelo interno, tal como a vista periférica do motorista, podem se comparar quase que perfeitamente à vista de uma situação real de trânsito. NOTA 5.

Relação resistência/massa: Idem Aço Opção I. NOTA 3.

#### Madeira:

Preço: Dentre todos os materiais citados, a madeira (tanto as chapas de compensado quanto os sarrafos) são bem menos custosos do que todas as opções anteriores. NOTA 5.

Fabricação: Operações de corte e furação podem ser efetuadas facilmente em madeiras. Mas ainda não será excluída a necessidade de cantoneiras de aço para ligação dos sarrafos do protótipo. Além disso, aplicação de adesivo e fixação por pregos não requerem retrabalho dos materiais que serão fixados. NOTA 5.

Visual e acabamento: Para que a utilização de madeiras apresente um bom aspecto visual, seria necessário algum pós-tratamento superficial como aplicação de tinta. Mas mesmo assim, sua aparência externa e interna seriam pobres se comparado com um veículo comercial, até porque não é possível fazer curvas ou dobras em madeira. Perfis curvos só seriam possíveis com cortes curvilíneos. NOTA 1.

Relação resistência/massa: A resistência ao escoamento de um compensado de madeira encontra-se na faixa de 31MPa, à flexão, (Matweb, 2012). Portanto, a razão resistência/massa específica de chapas de compensado é de  $31\text{MPa} / [500\text{Kg/m}^3] = 62\ 000$ . NOTA 5.

Apartir dos critérios citados, peso atribuídos a cada critério e nota para cada critério de cada solução, criou-se uma tabela onde se multiplicou o peso de cada critério pela nota de cada solução. Somou-se a nota total de todos os critérios e normalizou-se para 1.

Tabela 5.1 - Matriz de decisão dos materiais para o chassi do Simulador

<i>Critério - peso do critério</i>				
<i>Solução</i>	<i>Preço - 4</i>	<i>Fabricação - 5</i>	<i>Aparência - 2</i>	<i>Razão Resistência/Massa - 3</i>
<b>Alumínio</b>	2	4	4	2
<b>Aço opção I</b>	4	2	3	3
<b>Aço opção II</b>	1	2	5	3
<b>Madeira</b>	5	5	1	5

<i>Somatória do peso dos critérios multiplicados pela nota</i>	<i>Nota final normalizada</i>
42	0,236
41	0,230
33	0,185
62	0,349

Como visto na tabela 5.1, a solução mais indicada para a construção do protótipo foi a constituída por madeiras.

### 5.3 Projeto do chassis

Algumas pré-definições foram adotadas inicialmente para facilitar a construção e aquisição de materiais (uso de materiais de dimensões comerciais padrões). Através de cálculos estruturais a resistência da estrutura e seus elementos foram conferidos, para garantir que os componentes usados estivessem conforme a resistência necessária, subdimensionadas ou superdimensionadas.

Estas pré-definições foram:

-Utilização de sarrafos de madeira de 2x1" com acabamento (sarrafo aparelhada de Pinus, e seção transversal retangular constante de 45x20mm<sup>6</sup>) como chassi estrutural, onde desempenhassem função de treliças;

<sup>6</sup> A seção transversal do material é de 45x20mm, que é menor que 2x1" (50,4x25,4mm). Essa redução acontece por causa da operação de acabamento do sarrafo.

-Utilização de uma chapa de compensado naval por trás do monitor para impedir a visão do usuário para o lado exterior dele. Mantendo a atenção apenas no vídeo passado, e na parte interna do simulador;

-A base do protótipo constituída de uma chapa contínua de compensado naval, reforçada com sarrafos de 3x1” para que a flexão dela não seja significativa à ponto de comprometer a própria base;

-Para que não houvesse deformação dos sarrafos laterais e superiores (que, a princípio, seriam compostos por uma quadrilátero com 4 nós nos vértices), foi introduzido um reforço estrutural, através de um sarrafo diagonal;

-Para a lateral, onde o usuário entrará e sairá do protótipo, o quadrilátero formado foi reforçado com sarrafos próximos aos nós;

-A união das barras (nós) foi feita com reforços de aço furados e dobrados. O material escolhido para este reforço foram chapas de aço de baixo teor de carbono, SAE 1020, por ser comercialmente fácil de encontrar e um dos menos dispendiosos;

-Os parafusos são do tipo cabeça francesa de ¼” de diâmetro. Estes parafusos são utilizados onde há interface com madeira apenas de um lado, e que será o caso: de um lado madeira, e do outro lado uma porca contra a chapa de metal de reforço.

-A movimentação do protótipo é feita através de 4 rodízios de 4” com freio fixados à base da estrutura. Assim sendo, durante a movimentação, os freios são liberados, e vice-versa.

-Seu comprimento, largura e altura são os menores possíveis para que caibam todos os componentes internos e seja possível a entrada e saída do usuário sem dificuldade (ou, pelo menos, com dificuldade menor do que entrar em algum veículo real). Se o modelo for compacto, o espaço ocupado por ele e seu peso serão menores.

Seguindo estas pré-definições, o primeiro modelo em CAD proposto foi o ilustrado abaixo na figura 5.1:

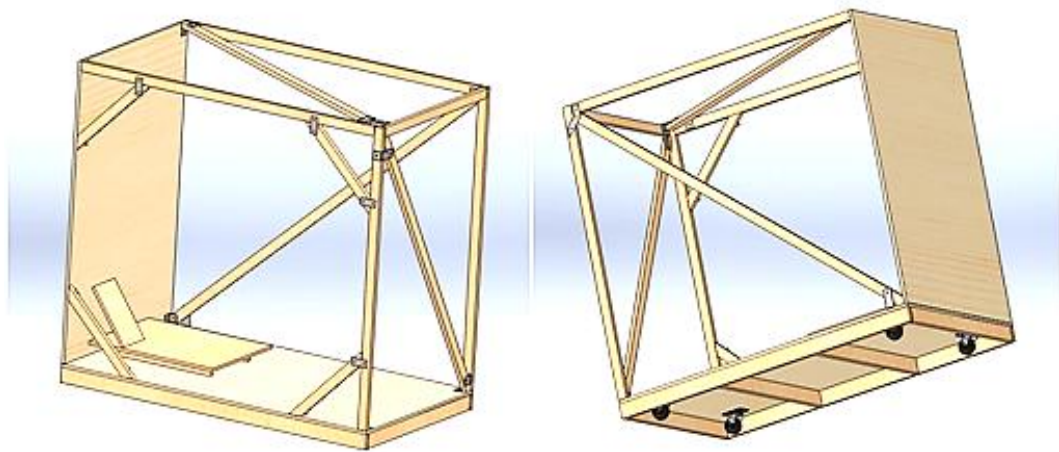


Figura 5.1 - Vistas em perspectiva do chassi do protótipo, projetado em CAD.

Vale ressaltar que a parede inteira à frente serve para tampar a visão do usuário para que sua atenção não seja desviada para fora do teste dentro do protótipo. E que os sarrafos abaixo da base foram colocados para aumentar a rigidez à flexão devido ao peso do protótipo com usuário.

#### 5.4 Interior

Dados fixados os parâmetros dos quais se desejaram analisar no protótipo, e segundo explicado no Capítulo 4.1, a lista de componentes principais interiores dos quais o usuário interage está definida abaixo:

##### I. Volante

Duas opções foram cogitadas: fabricação de um volante com proporções e cursos equiparáveis à um volante veicular, ou utilização de um volante comercial, comumente usados para jogos de vídeo-game ou computador.

A primeira opção foi desprezada, porque se trataria de um projeto fora do escopo deste trabalho elaborar o projeto de um volante. Além da parte mecânica, seria necessária toda a comunicação com o *Notebook* embarcado e troca de sinais. Por isso foi escolhido usar

um volante comercial. Este é facilmente configurável, e a troca de sinais de sua posição angular, necessários para acompanhar o teste, é implementada.

O volante comprado para o simulador é da marca *Leadership*®, para jogos de computador (figura 5.2). Este é um modelo amador, seu uso convencional é para jogos de corrida. Ele é conectado à porta USB do computador. Este volante foi modelado em CAD para que fosse incluído no desenho completo.



Figura 5.2 - Volante *Leadership* para computador.

## II. Pedaleira

Uma pedaleira comumente usada em jogos de corrida foi adquirida juntamente ao pacote do volante comprado, como extensão dele. Ela possui um *hardware* próprio e se comunica com o volante por um cabo RJ11. Os dados são lidos pelo *notebook* através do cabo do volante. Seu uso convencional também é para jogos de computador.

Esta pedaleira não foi usada no protótipo, porque seu tamanho, posição, curso e resistência mecânica não são compatíveis com os pedais de freio e aceleração de um automóvel. Deseja-se obter maior semelhança possível com um automóvel.

Como uma das maneiras de definir o fim do Tempo de Resposta foi pressionar totalmente o pedal de freio (até o contato mecânico do *switch* enviar o sinal para o programa), a pequena resistência mecânica e pequeno curso da pedaleira comprada em comparação aos pedais de um automóvel, levariam a um Tempo de Resposta inferior ao tempo real, causando distorção nos dados coletados.

Por isso a pedaleira do protótipo foi projetada e construída. Para facilitar, o *hardware* da pedaleira e a troca de comunicação com o volante foram conservados. Sendo assim, a estrutura mecânica e acionamento dos pedais foram trocados.

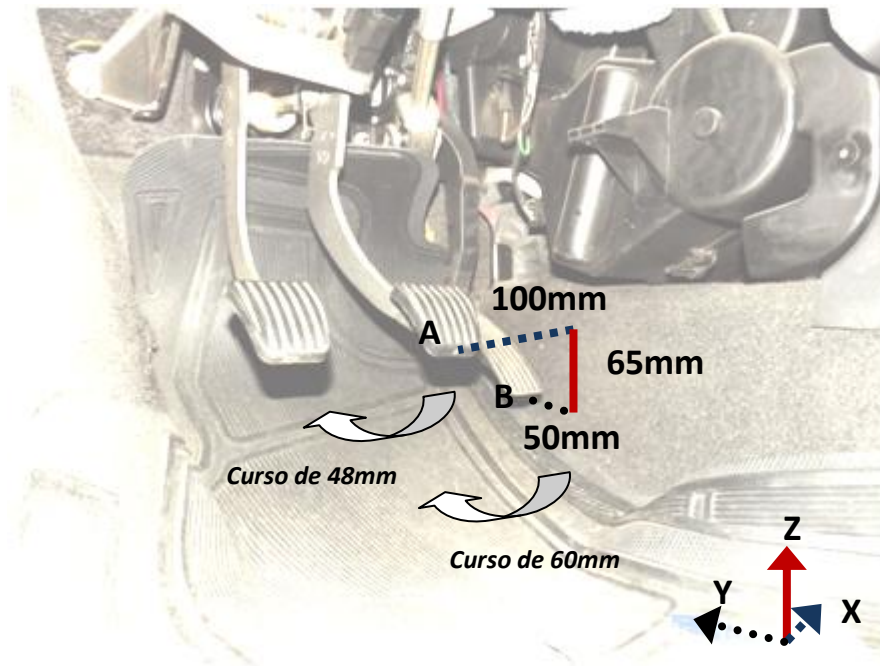


Figura 5.3 - Ilustração da posição relativa dos e cursos dos pedais de freio e aceleração de um Chevrolet Celta Spirit 1.0 2009

Os pedais foram montados ao protótipo como em um veículo de passeio, com um sistema de alavanca para acionar os *switches*. Foram também empregadas molas aos pedais a fim de aumentar a força necessária para acioná-los e mantê-los na posição original. Cada pedal com sua respectiva resistência, equivalente aos pedais do mesmo veículo comercial de onde as medidas relativas foram retiradas (Celta Spirit 1.0 2009).

Para projetar a pedaleira, primeiramente, as forças necessárias para iniciar o movimento do curso do pedal e a força final foram medidas através de uma pequena balança (até 5,5Kg) que era pressionada contra o pedal. Os valores medidos e o curso máximo, foram:

Tabela 5.2 - Valores reais medidos no veículo referência.

	Acelerador	Freio
Pré-tensão (Kgf)	1,0	2,0
Força no curso máximo (Kgf)	2,2	5,0
Curso máximo (cm)	6,0	4,8

A construção proposta para simular os pedais de um veículo está esboçada abaixo:

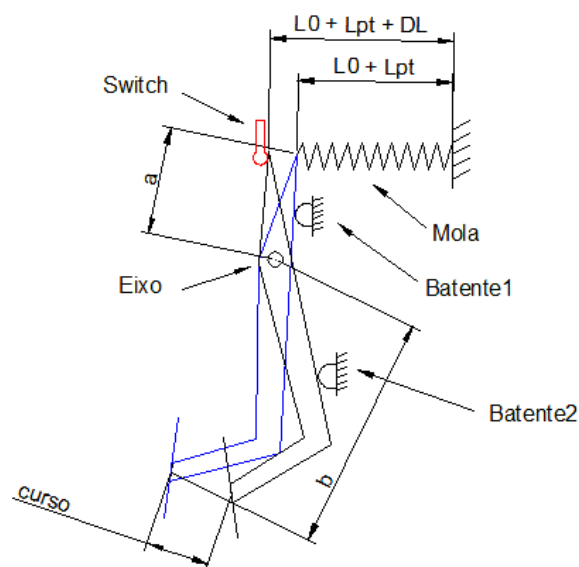


Figura 5.4 - Esboço 2D para construção do pedal.

O pedal azul está na situação “repouso”, e o pedal na cor preta está sendo pressionado até seu curso máximo. Neste modelo, vale ressaltar que os ângulos de rotação do pedal são pequenos, e por isso o movimento de tração da mola e do pedal foram considerados lineares.

Não foi possível obter a curva de força do pedal em função de seu curso devido à falta de instrumentação para medição. Para viabilizar a construção e projeto, esta foi considerada linear também.

O Batente1 mantém o pedal na pré-tensão desejada, e o Batente2 limita o curso final do pedal e a possibilidade da haste quebrar o *switch* de acionamento do pedal, mostrado na Figura 5.5.



Partindo destas predefinições, o CAD foi feito e as molas dimensionadas:

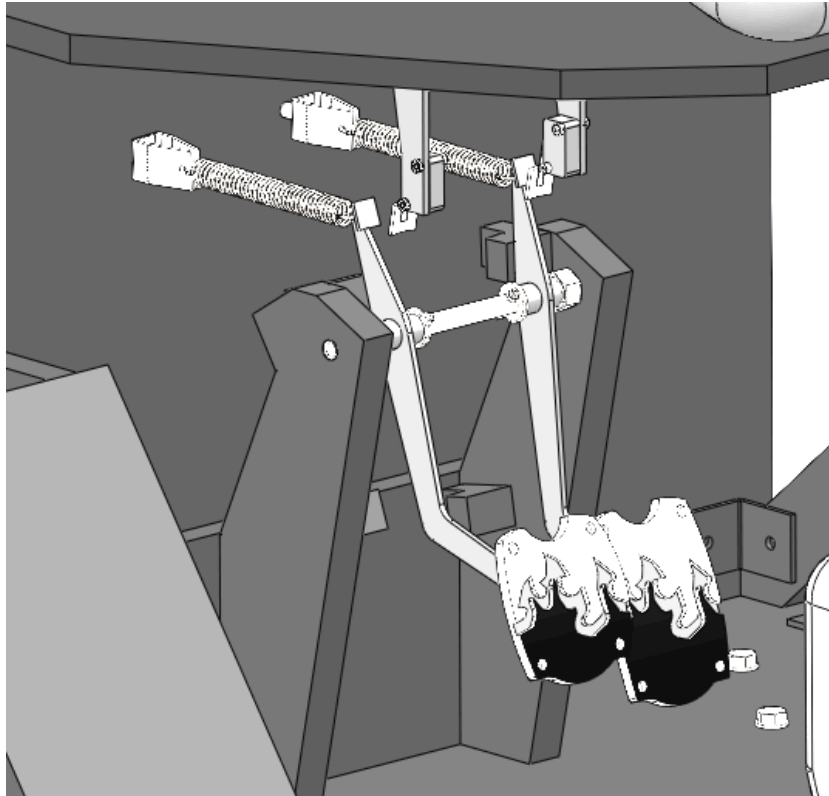


Figura 5.5 - Projeto 3D no CAD da pedaleira.

Considerando a rotação fixa no eixo, foi feita a equação de equilíbrio para o pedal,

$$F_m * a = F_p * b \quad \implies \quad F_m = F_p * \frac{b}{a}$$

A Força na mola ( $F_m$ ) é  $b/a$  vezes maior que a força no pedal.

A deformação da mola, por sua vez, é  $b/a$  menor que o curso do pedal.

Segue a seguir a nova tabela ajustada com os valores de força referentes às molas.

Tabela 5.3 - Valores calculados para a mola, através do mecanismo projetado.

	<b>Acelerador</b>	<b>Freio</b>
<b>Pré-tensão (Kgf)</b>	3,0	5,8
<b>Força no curso máximo da mola (Kgf)</b>	6,6	14,5
<b>Curso máximo da mola, DL (cm)</b>	2,0	1,7

Para molas de tração, a constante elástica foi calculada como  $K = \Delta F / \Delta L$

A partir desta fórmula calculou-se o valor da deformação de pré-tensão da mola ( $L_{pt}$ ), o valor da deformação total ( $\Delta L_{total}$ ), e o comprimento mínimo da mola ( $L_0$ ), dado que a deformação máxima deve ser de no máximo 50% do comprimento total, segundo fabricantes de molas.

Tabela 5.4 - Dados da mola necessária.

	Acelerador	Freio
<b><math>K = \Delta F / \Delta L</math> (Kgf/cm)</b>	<b><u>1,8</u></b>	<b><u>5,2</u></b>
<b><math>L_{pt} = F_{pt} / K</math> (cm)</b>	<b>1,7</b>	<b>1,1</b>
<b><math>\Delta L_{total} = L_{pt} + DL</math> (cm)</b>	<b>3,7</b>	<b>2,8</b>
<b><math>L_{min} = 1,5 * \Delta L_{total}</math> (cm)</b>	<b><u>5,5</u></b>	<b><u>4,2</u></b>

Assim, as molas ficaram definidas, e o projeto da pedaleira se concluiu.

Optou-se por não incluir o pedal da embreagem ou troca de marcha, porque requeria uma atitude a mais dos usuários durante os testes, e que poderia gerar confusão na simulação.

### III. Banco

O banco do protótipo é usado e original de um *Chevrolet Kadett 2.0 ano 96* (figura 5.6). Ainda que usado, ele se apresentava em estado satisfatório para o simulador, incluindo ajuste manual de inclinação e posição, o mínimo de ajuste possível em bancos presentes em automóveis populares. Ele também foi modelado em CAD.

Ele foi comprado porque são encontrados facilmente em lojas automotivas, e seu preço não é elevado.

Outra vantagem é que o protótipo conta com um banco idêntico aos usados em veículos.



Figura 5.6 - Banco do simulador.

#### IV. Monitor

O monitor do protótipo foi um LG® 32" de LCD. Ele serviu como tela para o usuário. Foi conectado ao computador por meio de um cabo VGA.

Este tipo de monitor foi escolhido porque é mais fino que um monitor de tubo (cerca de 50mm, em vez de 400mm de comprimento de um monitor de tubo) e também mais leve (pesa 14Kg, em vez de 37Kg). Dimensões e peso são critérios importantes para este simulador, que deve ser compacto e leve.



Figura 5.8 – Monitor LG 32". Online. Disponível em <[www.lg.com.br](http://www.lg.com.br)> Acessado em abril de 2012.

Monitores de LED são mais caros, e por isso não foram escolhidos. O monitor de LCD já satisfaz quesitos de dimensões, peso e qualidade de imagem, porque os vídeos que foram reproduzidos nele, foram gravados com uma câmera de resolução inferior à resolução do monitor.

Sua grande tela e seu posicionamento promovem a sensação do para-brisa do veículo. Tal ergonomia é justificada no Capítulo 4. Ela precisa de uma alimentação externa, e isso restringe a localização dos experimentos (testes somente em locais próximos à rede elétrica).

#### V. Caixas de som

Um par de caixas de som foi comprado para reproduzir o som ambiente dos vídeos filmados. Sua função foi aumentar a realidade do teste e prender a atenção do usuário (já explicado em 4.3.2).

A marca Bright© foi escolhida porque é uma caixa de som de baixo custo e possui um *subwoofer*.



Figura 5.8 – Caixas de som *Bright*, 5W RMS, com *SubWoofer*.

#### VI. Notebook

O *notebook* embarcado foi o *Dell Inspiron 14R* (figura 4.11). Ele recebia todos os sinais do teste: posição angular do volante, acionamento do pedal do acelerador e freio. E é

a plataforma na qual continha o programa (será explicado no Capítulo 6) que interagiu com o usuário.

Ele também armazenava os dados de entrada de cada usuário e contava o Tempo de Resposta total. Nele também estavam armazenados os vídeos que foram exibidos através do monitor.

Seu processador *Intel® Core™ i3-2350M*, 6Mb de memória *RAM* e 320Gb de espaço físico foram mais que suficientes para rodar o programa, pois foi o único processamento que foi executado nele durante os testes.



Figura 5.9 *Notebook* embarcado. Online. Disponível em <[www.dell.com.br](http://www.dell.com.br)> Acessado em abril de 2012.

O *Notebook* ficou fora da cabine do protótipo para não interferir no teste. Segue um diagrama ilustrativo dos componentes presentes no simulador e a interação entre si, na figura 5.10.

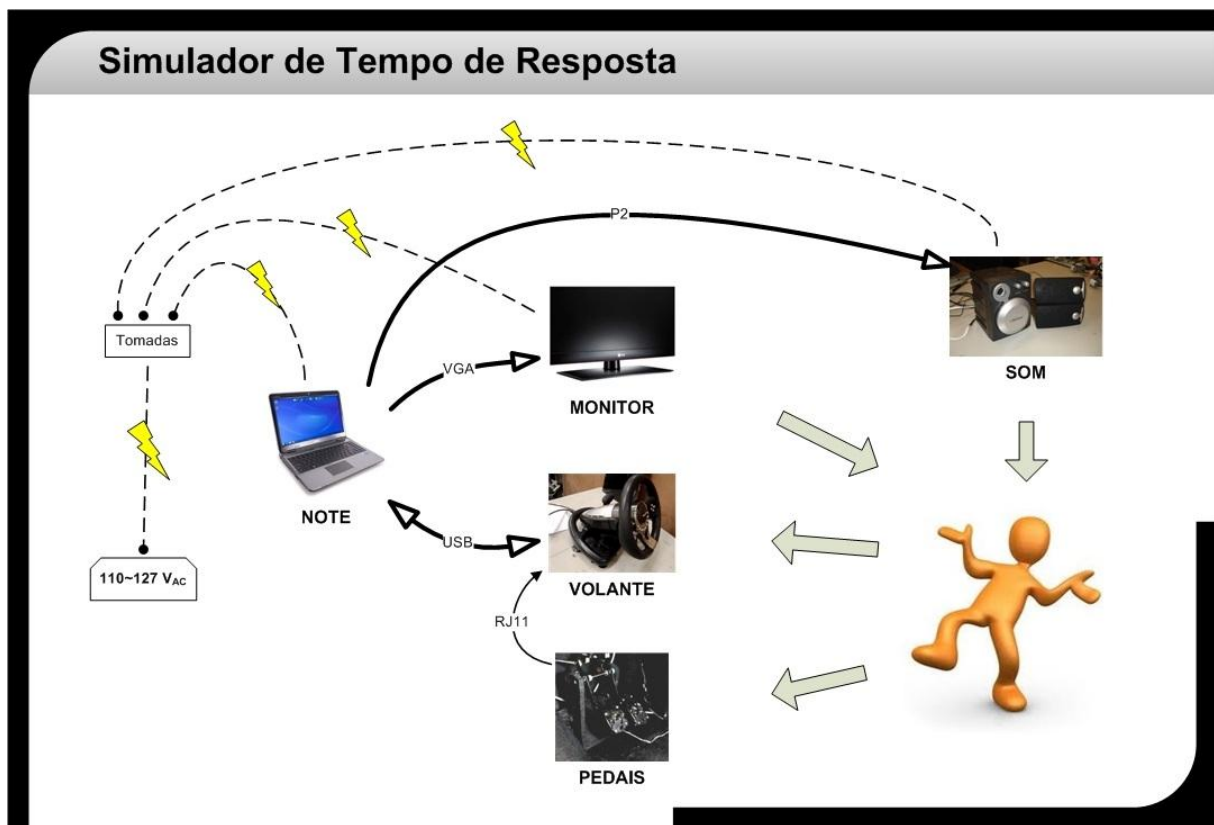


Figura 5.10 – Diagrama ilustrativo dos elementos do Protótipo e suas interações.

#### 5.4.1 Integração dos componentes internos

Após definidos os componentes internos do projeto, prosseguiu-se para o detalhamento de seu projeto e fabricação.

Foram colhidas as medidas principais de posicionamento dos componentes internos de um veículo, os quais foram utilizados no protótipo. O veículo foi um *Chevrolet Celta Spirit 1.0 2009*. As figuras 5.11 e 5.12 ilustram as medidas relevantes que foram reproduzidas nos componentes internos do protótipo.



Figura 5.11 - Veículo *Chevrolet Celta Spirit* 1.0 2009, utilizado como base para posicionamento dos componentes internos.

Para posicionamento relativo entre banco, volante e conjunto dos pedais, tomaram-se os pontos A, B e C (figura 5.12) como referência (centro do volante, centro da extremidade do banco e centro inferior do pedal do freio, respectivamente). Estes estão praticamente alinhados, então suas medidas se localizam apenas no plano YZ, indicado na figura 5.12. Vale ressaltar que o banco estava em uma posição média entre seus extremos (ajuste na direção Y). As medidas foram feitas usando uma trena.

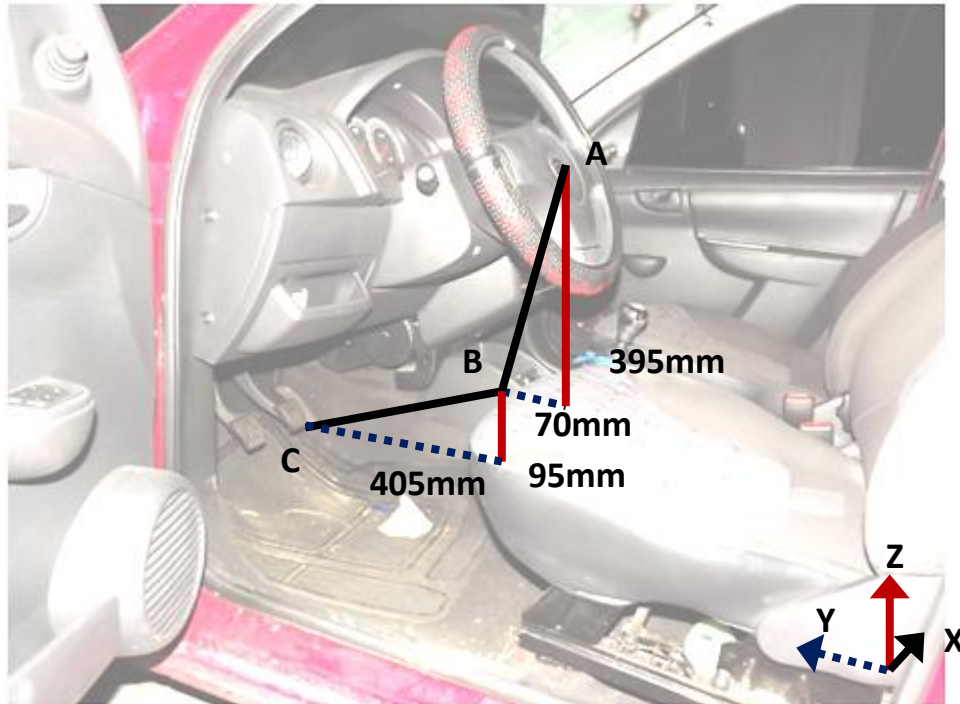


Figura 5.12 - Posicionamento relativo interno do veículo.

Segue abaixo o posicionamento interno dos componentes, em CAD, do protótipo em função do posicionamento dos componentes no modelo do Celta citado.

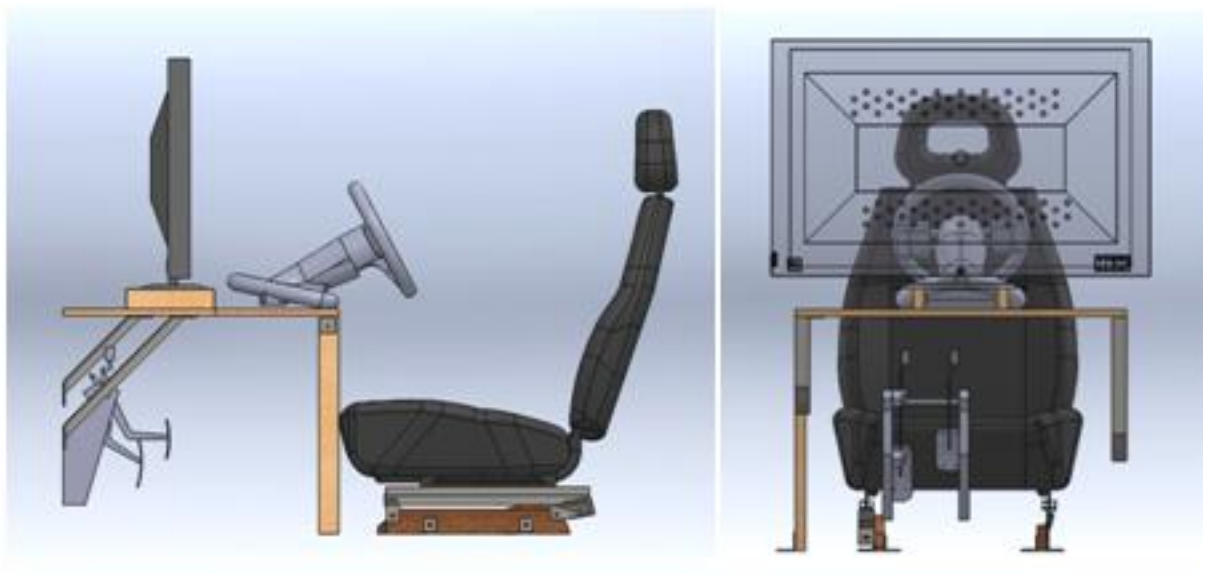


Figura 5.16 - Vista lateral (à esquerda) e frontal (direita) do interior do protótipo em CAD.





Figura 5.17 - Vista em perspectiva do interior do Simulador em CAD.

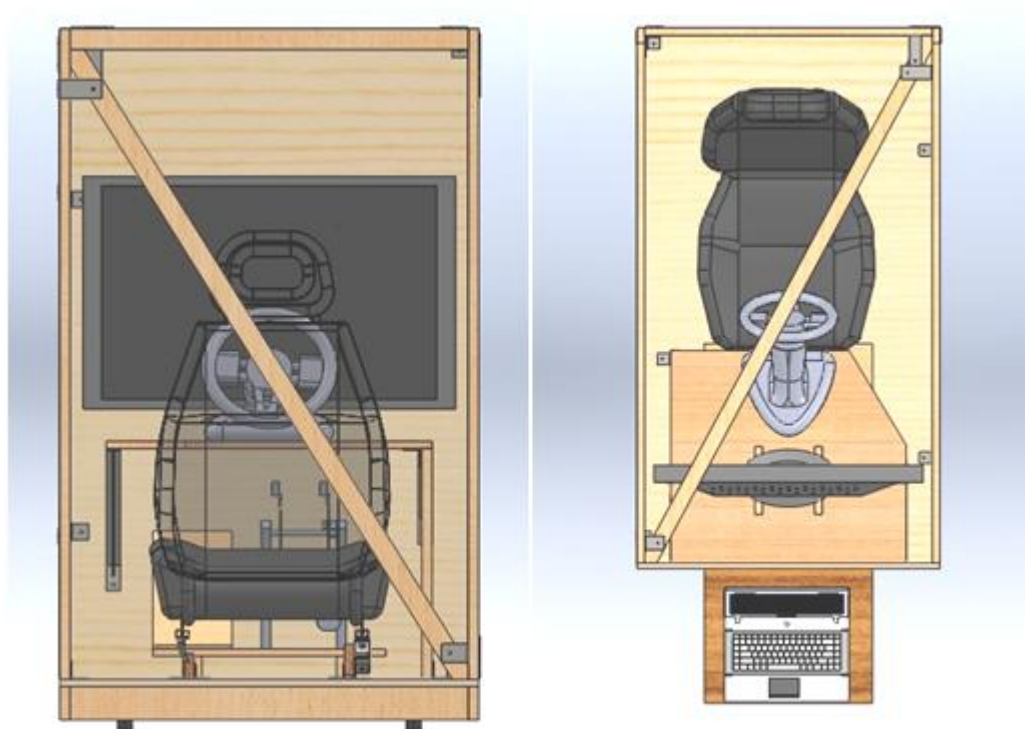


Figura 5.15 - Vistas traseira (à esquerda) e superior (à direita) do primeiro projeto mecânico completo em CAD.

Unindo-se a estrutura externa com os elementos internos, teve-se o primeiro modelo em CAD do protótipo:

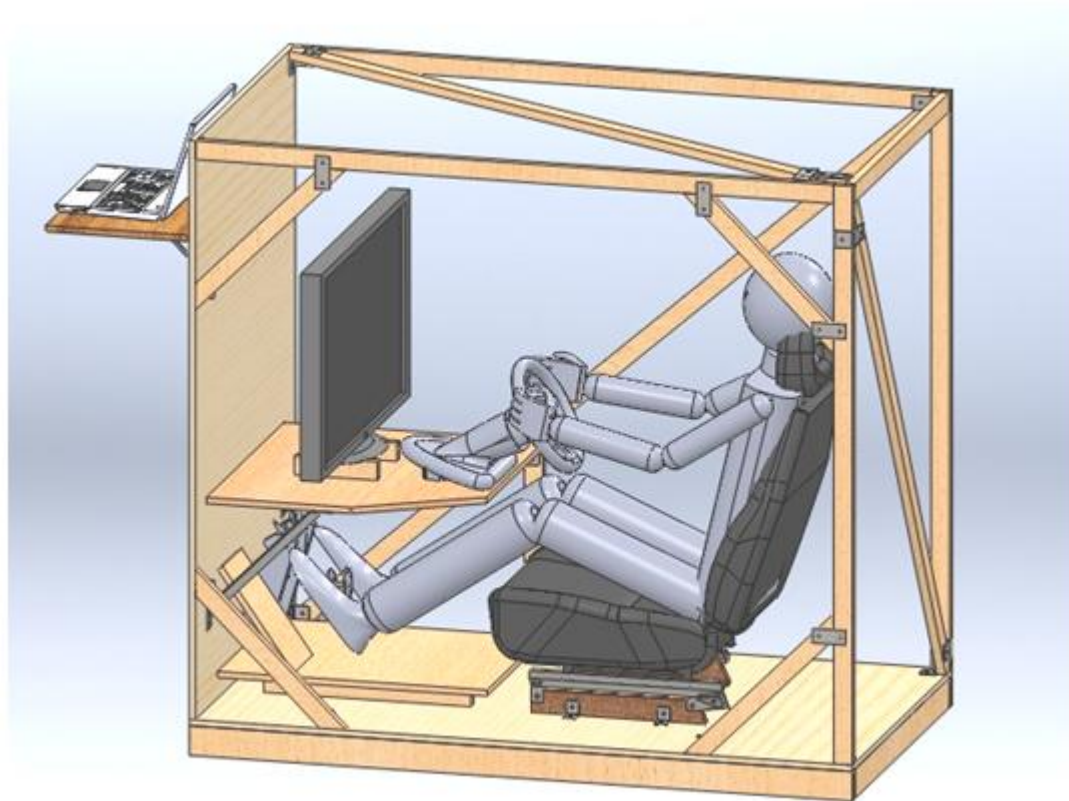


Figura 5.16 - Vista em perspectiva do primeiro projeto mecânico completo em CAD.

Vale ressaltar que, com exceção do Monitor LCD, o boneco de 1,80m com proporções humanas e o *notebook*, todos os outros componentes foram modelados em CAD com as medidas do componente real.

Optou-se por fazer uniões rígidas, com chapas de metal e parafusos, entre os sarrafos da estrutura, para manter rigidez na estrutura.

## 5.5 Ergonomia

Dado que as distâncias relativas entre os componentes internos estavam conforme o modelo de veículo real, a ergonomia do simulador se equiparou a de um veículo real. Apenas

o posicionamento do monitor merece atenção especial, pois este não está presente no veículo, e sim o pára-brisa, o qual deve ser simulado por ele.

Os componentes internos já apresentaram suas posições definidas, por isso os ângulos relativos do boneco virtual de 1,80m de altura foram comparados aos ângulos relativos de um integrante do grupo de 1,77m de altura no veículo referência. Ambos com o banco ajustado em seu curso médio (em seu ajuste de distância), mãos segurando a metade superior do volante, coluna ereta, e pés tocando os pedais de acelerador e freio.

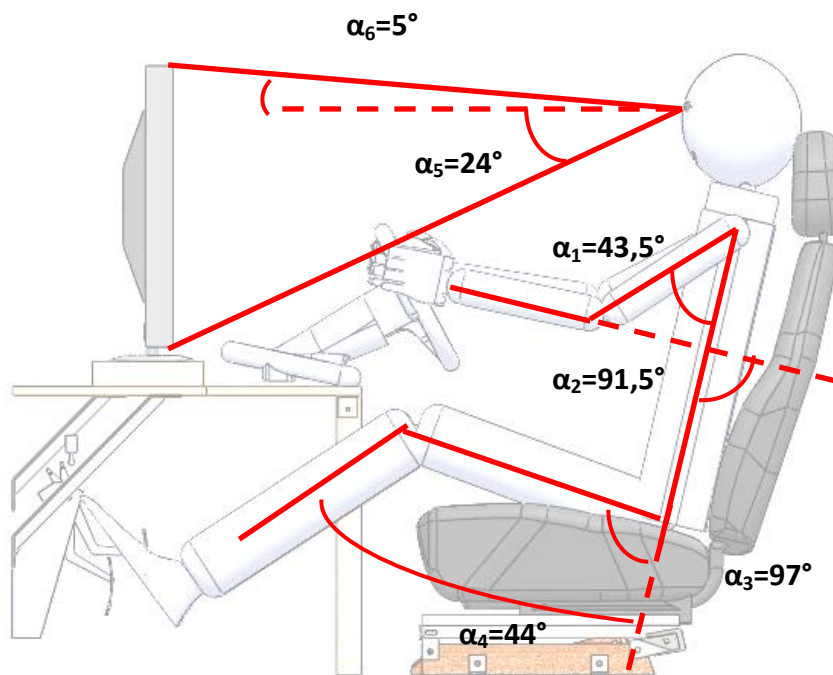


Figura 5.17 - Ângulos relativos de um boneco de 1,80m retirados do CAD.

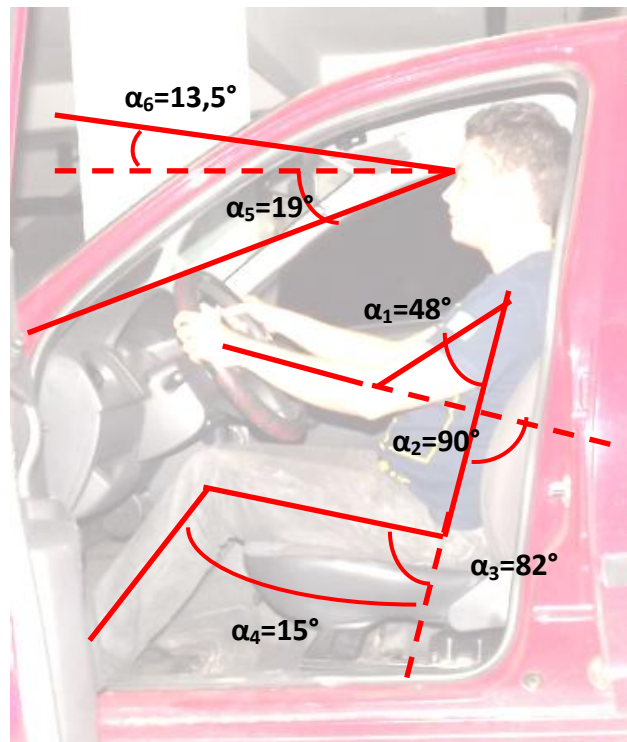


Figura 5.18 - ângulos relativos do integrante de 1,77m retirados de uma fotografia, nas mesmas condições do CAD.

Pode-se notar que alguns ângulos relativos tiveram diferença significativa ( $\alpha_5$  e  $\alpha_6$  referentes a posição do monitor,  $\alpha_3$  com pouca diferença e  $\alpha_4$  muito diferente. Estes dois últimos referentes às pernas. Estas diferenças podem ter sido originadas pela diferença de proporções de membros entre o boneco e o participante do trabalho.

Portanto, para corrigir essa diferença procedeu-se pelo método contrário: os ângulos aproximados retirados do participante no veículo foram repassados para o CAD, e a partir desta posição fixa da figura 5.18, a posição dos pedais e do monitor (das quais havia diferença) foram alteradas.

A altura do Monitor foi acrescida de 65mm, e os pedais aproximaram-se de 100mm do condutor e tiveram sua altura decrescida de 65mm (eliminando a necessidade da base para os pedais).

O modelo final do CAD segundo a ergonomia do veículo referência está ilustrado na figura 5.19.

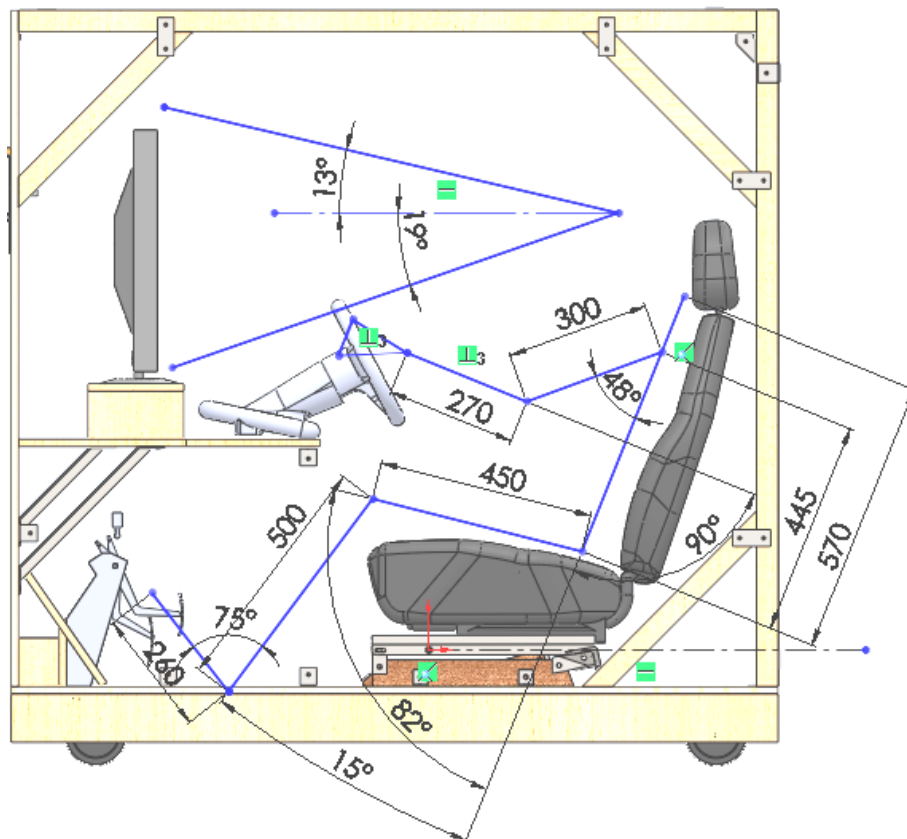


Figura 5.19 - Ângulos relativos esboçados no protótipo do CAD.

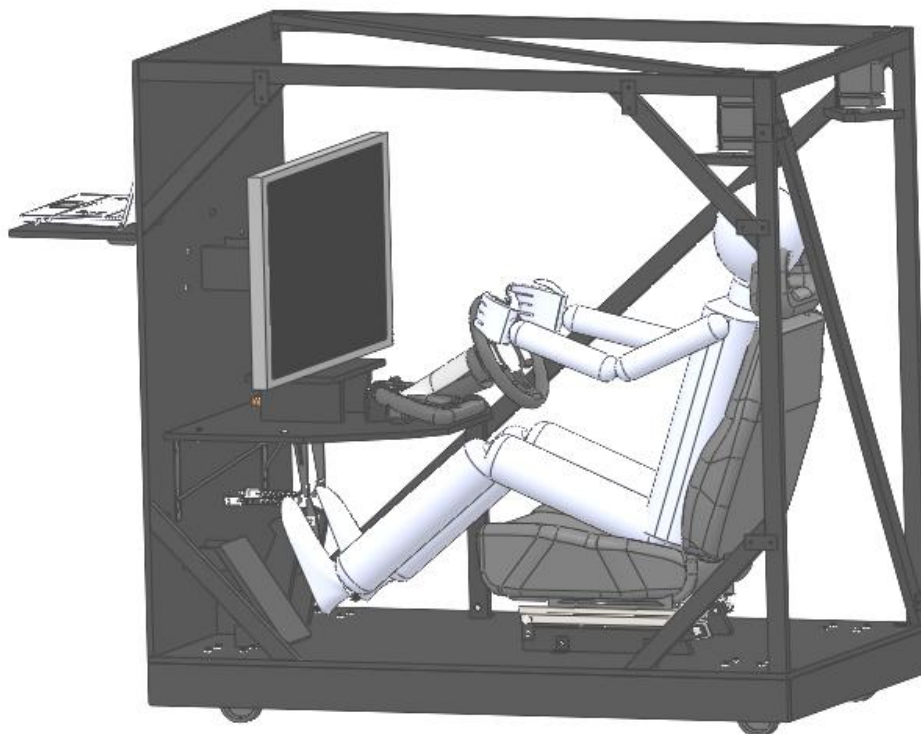


Figura 5.20 – CAD completo do protótipo.

## 5.6 Cálculo estrutural

Dado o primeiro projeto mecânico concluído, prosseguiu-se para os cálculos estruturais. Estes foram de extrema importância, porque se os elementos não fossem corretamente calculados, as barras ou chapas do simulador poderiam se romper e cair sobre o usuário que estaria utilizando o protótipo. Além disso, o monitor tem peso considerável, e também poderia ferir gravemente se ocorrer falha da estrutura.

Primeiramente foi calculada a carga necessária para os rodízios.

Através do CAD, atribuindo-se a densidade correta para cada material na montagem, obteve-se o peso total do protótipo (exceto os rodízios) somado um usuário de 150Kg (caso extremo, o qual se tornará restrição de uso) tem a seguinte distribuição.

Tabela 5.5 - Distribuição de massa no protótipo (retirado do CAD)

Material	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	Massa total (Kg)	% de massa total
Sarrafos de pinus	370	13,88	6,33
Compensado naval	400	16,21	7,39
Cantoneiras e reforços de aço 1020	7860	2,80	1,28
Parafusos	7860	0,40	0,18
Monitor	*630	14,00	6,38
Notebook	*900	2,50	1,14
Banco	*255	15,00	6,84
Usuário	*1500	150,00	68,40
Volante e Pedais	*660	4,50	2,05
<b>Massa total (sem rodízios)</b>		<b>219,29</b>	<b>100,00</b>

\*A massa específica foi atribuída da seguinte maneira: foi obtido o volume no CAD e com a massa conhecida seja por peso informado por fabricante ou medição direta na balança, faz-se  $d = \text{massa} / \text{volume}$

\*\* O limite de peso para usuários foi adotado como 150Kg. Apartir deste valor foram feitos os cálculos estruturais.

Sendo assim, os rodízios devem aguentar uma carga de 220Kg pelo menos.

Para todo o projeto, adotaremos um coeficiente de segurança 2, pois ele será testado com pessoas, e assim tornando-o seguro contra acidentes.



Como se vê no desenho, o centro de massa não está no centro do protótipo: a maior parte da carga concentra-se nas rodas traseiras (devido à presença do usuário). O modelo foi simplificado, e supondo regime estático e protótipo rígido, a carga nas rodas foi calculada<sup>7</sup>:

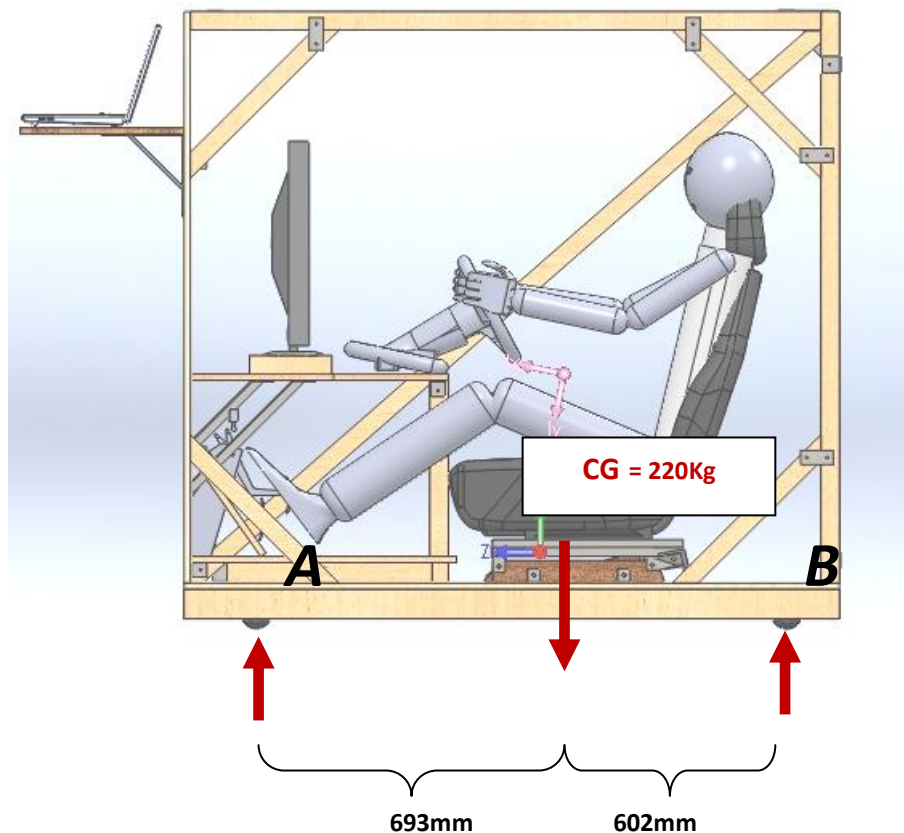


Figura 5.21 - Centro de massa do simulador retirado no CAD e posição dos rodízios.

$$\sum M_A = 0 = -mg * 693 + R_B * 1295 = -220 * 9,8 * 693 + R_B * 1295$$

$$1295 * R_B = 220 * 9,8 * 693 \implies R_B = 1150 \text{ N} = 117 \text{ Kg}$$

Sendo assim, aproximadamente, cada roda traseira suporta  $117/2 = 58,5\text{Kg}$ , e as rodas fronteiras aproximadamente  $(220-117)/2 = 51,5\text{Kg}$  (considerando o modelo simétrico).

Todas as rodas do protótipo são iguais, por isso a carga de cada roda deverá ser de, no mínimo,  $58,5\text{Kg} * F_s = 58,5 * 2 = 117\text{Kg}$ .

<sup>7</sup> Todos os cálculos de estruturas rígidas (reações, momento fletor, tensão, momento de inércia) foram feitos com base na apostila de Fundamentos de Mecânica dos Sólidos e Estruturas, Edgard Sant'anna de Almeida Neto, 2010.

Para calcular a base, foi considerada a carga máxima do protótipo (incluindo a própria base) incidindo sobre o centro da base. Foi feito um cálculo na direção y da base, para simplificação de contas (maior comprimento, e por isso, situação mais crítica).

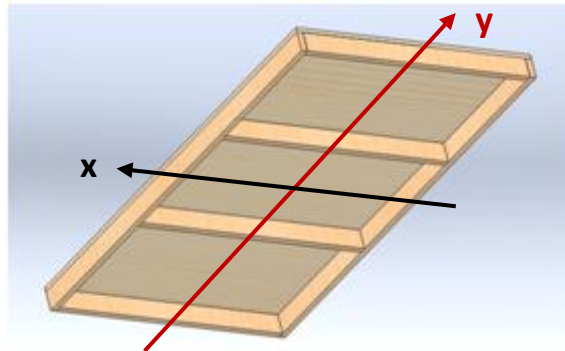


Figura 5.22 Vista inferior da base e eixos de inércia.

A figura 5.23 ilustra a vista de corte perpendicular ao eixo y (figura 5.22) da seção da base e medidas principais para o cálculo da inércia à flexão. Esta figura encontra-se fora de escala. A=Chapa de compensado naval e B=Sarrafo de Pinus.

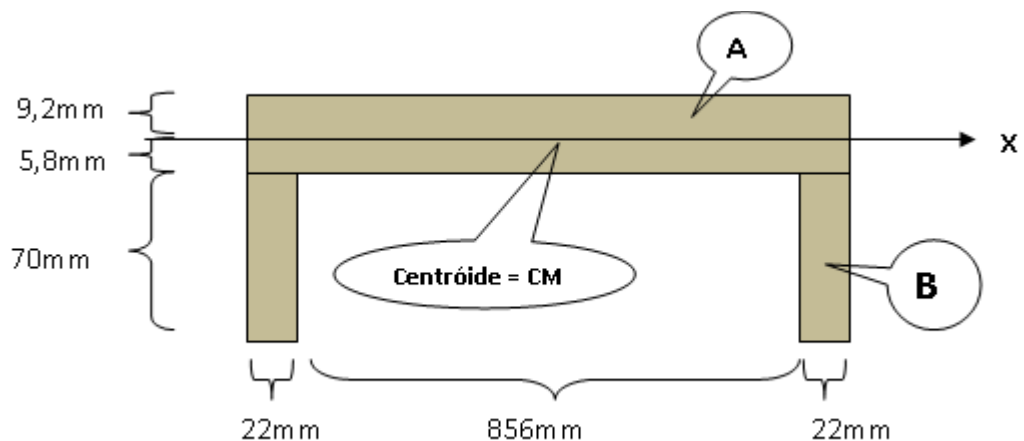


Figura 5.23 Vista de corte perpendicular ao eixo y (figura 5.22) da seção da base..

Momento de inércia à flexão na direção y:

$$I_{xx} = b_A * h_A^3 + b_A * h_A * d_A^2 + 2 * (b_B * h_B^3 + b_B * h_B * d_B^2)$$

$$I_{xx} = 900 * 15^3 + 900 * 15 * 1,7^2 + 2 * (22 * 70^3 + 22 * 70 * 40,8^2)$$

$$I_{xx} = 3037500 + 39015 + 2 * (7546000 + 2563546)$$



$$I_{xx} = 23\,295\,607\,mm^4 = 2,33 * 10^{-5}m^4$$

A união dos materiais A e B foi considerada perfeita nesta conta. (feita com adesivo para madeira e pregos, como consta em 5.3).

As rodas foram consideradas como apoio simples, e carregamento alinhado ao centro de massa da estrutura:

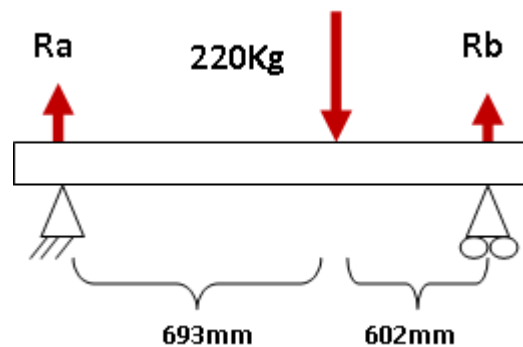


Figura 5.24 - Simplificação do carregamento na base da estrutura.

Como calculado anteriormente,  $R_b = 1150N$ , e o maior momento fletor na estrutura acontece no ponto de aplicação de força, e tem valor de:

$$M_x = 1150 * 0,602 = 692Nm$$

Dado que:

$$\sigma = \frac{M_x}{I_x} z$$

A maior tensão de tração no material é:

$$\sigma = \frac{692}{2,33 * 10^{-5}} * 0,0758 = 2,25MPa$$

Toda a porção da estrutura abaixo do eixo X do centróide (figura 4.28) está sob tração, inclusive os sarrafos. A tensão de resistência à tração limite para os sarrafos de Pinus<sup>8</sup> é de 5,27MPa. Ou seja, o fator de segurança para a base (sarrafos) é de  $5,27/2,25 = 2,34$ , e está de acordo com as condições de segurança do simulador.

A maior tensão de compressão no material foi:

$$\sigma = \frac{692}{2,33 * 10^{-5}} * 0,0092 = 0,27MPa$$

<sup>8</sup> Bortoletto Junior, 2008. Avaliação da qualidade da madeira de Pinus. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 95-103, jun. 2008.

Essa compressão ocorreu apenas na porção do compensado acima da linha do centróide (figura 5.23). A tensão de ruptura limite para o compensado é de 31MPa<sup>9</sup>. Ou seja, o fator de segurança para a base (compensado) é de  $31/0,27 = 115$ , e que também está de acordo com as condições de segurança do simulador.

Vale ressaltar que foram utilizadas algumas simplificações para os cálculos, mas na base há também os sarrafos perpendiculares à y (na direção x), e que garantem maior rigidez (e garante menor tensão) do que a calculada. Sendo assim os cálculos foram aceitos, e o protótipo considerado seguro.

## 5.7 Construção do protótipo

O protótipo foi construído segundo o projeto e especificações já explicados. Primeiro construiu-se a parte estrutural externa do protótipo.



Figura 5.25 – Estrutura externa do protótipo.

---

<sup>9</sup>Matweb. Online. Disponível em <<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=bd6620450973496ea2578c283e9fb807&ckck=1>> Acessado em junho de 2012.

Antes da aplicação de tinta e acabamento visual final, as trocas de sinais entre notebook e pedais, volante, monitor e caixas de som foram testadas e configuradas.



Figura 5.26 – Configuração dos sinais.



Figura 5.27 – Testes dos sinais.



Após a configuração e testes dos sinais, o protótipo foi pintado.



Figura 5.28 – Protótipo após aplicação de tinta.

Por último, foi incluído no protótipo tecido automotivo preto, chamado acoplado liso, para isolar o som e o usuário dentro da cabine de teste. Ele também teve por função acrescentar mais realismo no protótipo, e é comumente usado em veículo.

Para o revestimento do teto do simulador, foi usado tecido automotivo para teto de veículos.

O revestimento também protege o interior do simulador do acúmulo de sujeira durante seu armazenamento.

As figuras a seguir ilustram a versão final construída do protótipo.



Figura 5.29 – Vista frontal e lateral do protótipo.





Figura 5.30 – Vista lateral do protótipo.



Figura 5.31 – Vista interna do protótipo.



Figura 5.32 – Vista interna do protótipo.

## 5.8 Custos

Todos os custos referentes a compra de material foram registrados. O protótipo foi construído pelos autores deste trabalho, mas o preço referente a mão de obra especializada para construção dele, também foi contabilizada.

Segue abaixo a planilha de gastos para construção completa do protótipo de simulador:

Tabela 5.6 - Planilha de gastos para construção do protótipo.

PRODUTO / SERVIÇO	DESCRIÇÃO	PREÇO UNIT (R\$)	QTD	VALOR TOTAL (R\$)	% DO TOTAL
MÃO-DE-OBRA	TÉCNICO ELETRO / MECÂNICA (HORA) *	35,00	24	840,00	15,30
ELÉTRICA	EXTENSÃO CONECTOR P2	10,00	1	10,00	0,18
ELÉTRICA	CABO PARA TOMADA PARALELO (METRO)	2,30	12	27,60	0,51
ELÉTRICA	EXTENSÃO "T" PARA TOMADAS	6,00	1	6,00	0,11
ELÉTRICA	SWITCHES PARA OS PEDAIS	1,90	3	5,70	0,11
ELÉTRICA	CABO FLEXÍVEL PRETO (METRO)	0,50	3	1,50	0,03
ELÉTRICA	ESPIRAL PARA CABOS 1/4" (METRO)	1,50	4	6,00	0,11
MECÂNICA	CHAPA 1020 400MM X 800MM X 3"	40,00	1	40,00	0,74
MECÂNICA	COLA CASCOREZ P/ MADEIRA 1KG	14,00	1	14,00	0,26
MECÂNICA	ARALDITE EPOXI	16,50	1	16,50	0,30
MECÂNICA	COMPENSADO NAVAL 2,20X1,60 15 MM	132,03	1	132,03	2,44
MECÂNICA	RESINADO COLA BRANCA (COMPENSADO) 2,20X1,10 16 MM	60,59	1	60,59	1,12
MECÂNICA	SARRAFO PINUS 05 CM 3,0 MT AP.	3,85	6	23,10	0,43
MECÂNICA	SARRAFO PINUS 05 CM 3,0 MT BRUTO	3,07	1	3,07	0,06
MECÂNICA	SARRAFO PINUS 10 CM 3,0 MT AP.	6,26	4	25,04	0,46
MECÂNICA	SARRAFO PINUS 10 CM 3,0 MT BRUTO	4,50	1	4,50	0,08
MECÂNICA	MÃO FRANCESA 20 X 15 CM PRETA	11,00	1	11,00	0,20
MECÂNICA	MÃO FRANCESA 30 X 20 CM PRETA	14,80	1	14,80	0,27
MECÂNICA	MÃO FRANCESA 20 X 15 CM ETRUSCO	5,95	2	11,90	0,22
MECÂNICA	MASSA CASCOLA PARA FENDAS E TRINCAS	12,90	1	12,90	0,24
MECÂNICA	MOLA DO ACELERADOR	9,00	1	9,00	0,17
MECÂNICA	MOLA DO FREIO	12,00	1	12,00	0,22
MECÂNICA	PARAFUSOS SEXTAVADO 1/4" X 55MM C/ PORCA E ARRUELA	1,00	20	20,00	0,37
MECÂNICA	PARAFUSO CABEÇA FRANCESA 1/4" X 1" C/ PORCA	0,25	30	7,50	0,14
MECÂNICA	PARAFUSO CABEÇA FRANCESA 1/4" X 1 1/4" C/ PORCA	0,30	40	12,00	0,22
MECÂNICA	PARAFUSO SEXT. INT. M6 X 40 COM PORCA E ARRUELA	1,00	15	15,00	0,28
MECÂNICA	PARAFUSO SEXT. INT. M8 X 12 COM PORCA	1,00	8	8,00	0,15
MECÂNICA	PACOTE DE PREGO POLIDO	1,80	6	10,80	0,20
MECÂNICA	RODÍZIOS 4" COM FREIO	32,50	4	130,00	2,40
MECÂNICA	TETO DE CARRO CINZA 1X1,4M	10,80	2	21,60	0,40
MECÂNICA	ACOPLADO LISO PRETO 1X1,6M	14,58	7	102,06	1,88
MECÂNICA	PERCEVEJO COR PRETA CX 100	1,50	2	3,00	0,06
MECÂNICA	ESMALTE SUVINIL PRETO FOSCO 0,9L	17,70	1	17,70	0,33
MECÂNICA	ROLO TIGRE 9CM	3,15	1	3,15	0,06
MECÂNICA	PINCEL TIGRE 2"	2,49	1	2,49	0,05
MECÂNICA	LIXA 3M PARA MADEIRA GR120	0,65	6	3,90	0,07
MECÂNICA	LIXA 3M PARA MADEIRA GR220	0,65	1	0,65	0,01
MECÂNICA	AGUARRAS SUVINIL	11,99	1	11,99	0,22
MECÂNICA	BANDEJA PLASTICA PARA MISTURAR TINTA	7,89	1	7,89	0,15



MECÂNICA	CARTAZ EXPLICATIVO	70,00	1	70,00	1,29
PRODUTO	BANCO USADO DE KADETT	69,90	1	69,90	1,29
PRODUTO	MONITOR LG LCD 32" **	1299,00	1	1299,00	23,96
PRODUTO	VOLANTE LEADERSHIP PARA JOGOS	109,00	1	109,00	2,01
PRODUTO	NOTEBOOK DELL INSPIRON 14R **	2199,00	1	2199,00	40,56
PRODUTO	PEDAIS	37,30	1	37,30	0,69
PRODUTO	CAIXA DE SOM BRIGHT 5WRMS PRETA	41,80	1	41,80	0,77
<b>TOTAL</b>				<b>5490,96</b>	<b>100,00</b>

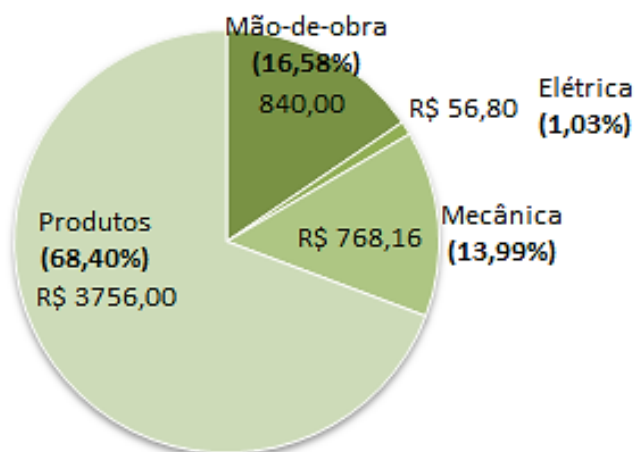
\* Os serviços de mão-de-obra foram executados pelos autores do trabalho.

\*\* Produtos emprestados para o protótipo.

Considerando-se somente o valor investido no trabalho (sem gastos com produto emprestado ou mão-de-obra), o custo total deste protótipo foi de R\$1 152,96.

Segue um gráfico que quantifica os custos por tipo de produto ou serviço:

Gráfico 5.1 - Custos divididos por produto.



## 6 O Programa

O programa utilizado no protótipo foi desenvolvido em *Visual Basic® 2010*. Este programa foi escolhido para o desenvolvimento do programa porque possui ferramentas para interação com vídeos, interface gráfica e bom suporte da *Microsoft®* para escrever códigos e reparar erros.

Este programa foi executado no *notebook* embarcado no protótipo, e atende aos seguintes requisitos:

- **Simples interface com usuário:** Os testes exigem o mínimo de conhecimento de informática do usuário.
- **Ambientar o motorista:** O programa exibe um vídeo em uma situação convencional de trânsito, para fornecer a sensação de condução veicular ao motorista.
- **Realizar evento de freada:** Após algum tempo de simulação, o vídeo exibe um evento que exige a reação do motorista. Por exemplo, o veículo da frente frear bruscamente.
- **Reconhecer reação do motorista:** Utilizando-se dos sinais do volante e pedais, o programa reconhece a reação do motorista com precisão de 1 milésimos de segundo.
- **Armazenar os dados:** Após o teste, o programa armazena os dados do formulário preenchido pelo usuário, e o seu Tempo de Resposta.

Também foi usado um volante, como visto no Capítulo 5.4, para a interface com o usuário durante o teste. O volante comunicou-se com o computador via cabo USB.

Utilizando-se das ferramentas da biblioteca *AForge.Controls*, o programa recebia o ângulo de esterção do volante e o estado dos pedais do acelerador e freio. A função responsável pela aquisição destes dados tinha período de um milissegundo.

Isto, em conjunto à análise dos dados coletados, permitiu afirmar que a precisão de coleta de dados do Tempo de Resposta deste programa foi de um milissegundo.

O instante de estímulo foi definido por quadro (do vídeo), não por tempo. Isso fez com que o menor valor para o Tempo de Resposta tenha sido de 21 milissegundos. Isso ocorreu nos casos onde o usuário manteve o freio acionado ou volante fora da posição indicada no momento do estímulo. Nestes casos, o teste não foi validado pelos aplicadores.

## 6.1 Fluxograma

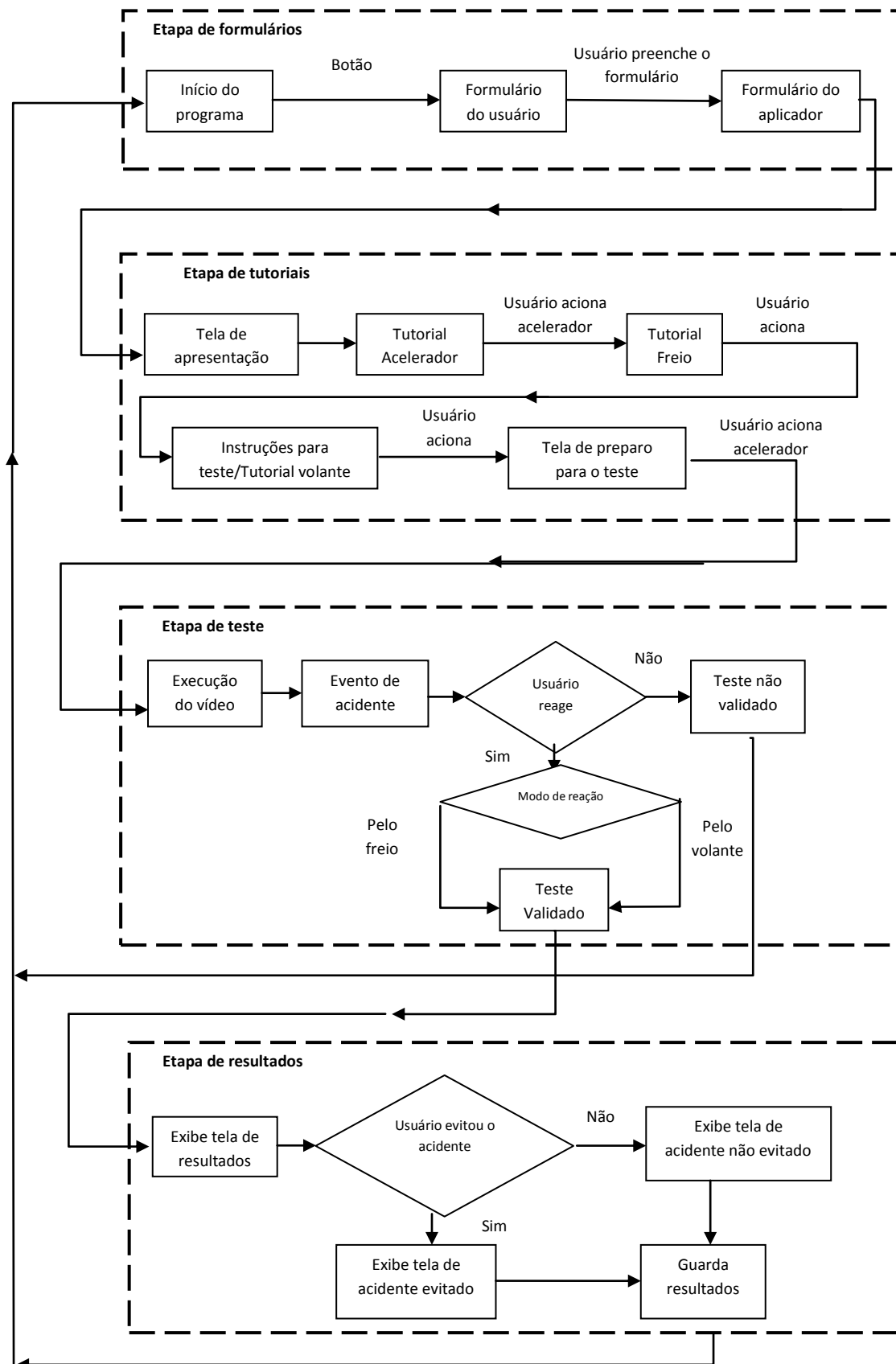


Figura 6.1 – Fluxograma do programa.

## 6.2 Janelas

O programa utiliza algumas janelas com interação e interface gráfica com o usuário, como exibir vídeos, tutoriais e resultados. O detalhamento delas segue abaixo:

### 6.2.1 Janela Inicial

Esta janela é exibida assim que o programa é iniciado. Ela é dividida em 3 áreas: barra de menus, registro de informações sobre os últimos testes e *status* dos *joysticks* (volante e pedal).

A barra de menus é típica de programas de plataforma *Windows*, porque conta com as opções:

- Fechar o programa;
- Exibir a janela de Dados;
- Definir configurações dos testes: volume, monitor em que será mostrado os vídeos, posição e tamanho do guia visual;
- Alterar a pasta onde estão armazenados os vídeos, áudio e base de dados;
- ‘Sobre’, um pequeno texto explicando o que é o programa e objetivo do trabalho;
- Iniciar o experimento.

A 2ª região desta janela é o registro, onde o programa mostra algumas informações do último teste:

- Instante do estímulo;
- Instante da reação;
- Tempo de Resposta.

Por último, temos o status do *joystick* com as seguintes informações:

- Conectado ou desconectado;
- Acionamento do freio;

- Posição angular do volante (esterção do volante);
- Acionamento do acelerador;

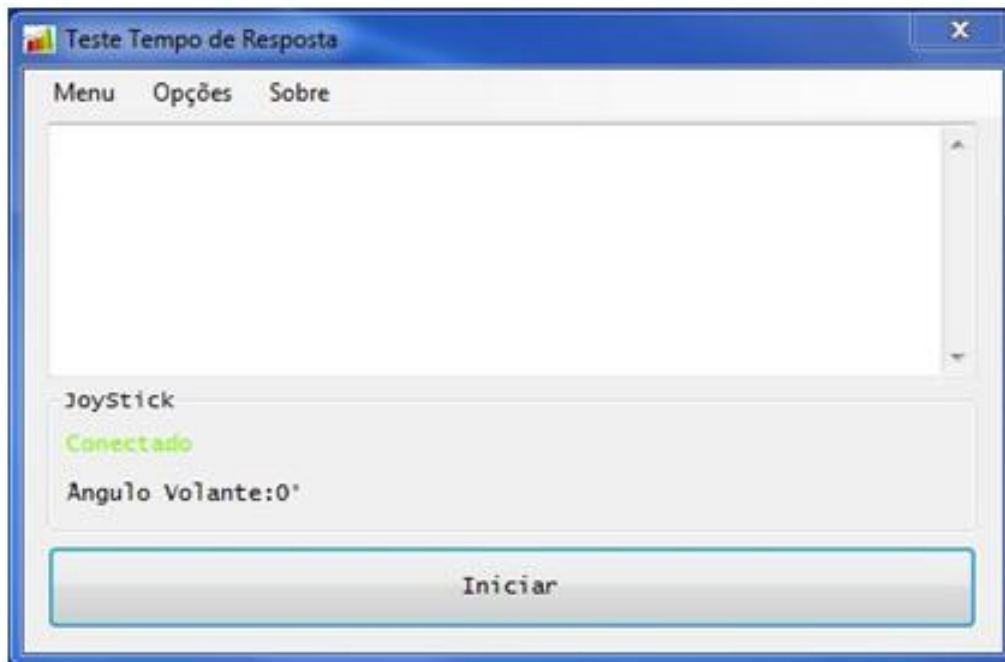


Figura 6.2 – Janela principal

### 6.2.2 Janela do formulário para o usuário

Esta janela foi preenchida pelo usuário com alguns de seus dados, antes do teste:

- Nome;
- Idade;
- Sexo;
- Formulário *CIS* (*Checklist Individual Strength*), para medir o cansaço (Beurskens *et al*, 2000).

Em média, os usuários demoraram cerca de 110 segundos para preencher o formulário.

**Formulário**

Nome: Sérgio Miragaia Idade: 23 Sexo: ☒ Masc ☐ Fem

Preencha o formulário a seguir baseando-se nas últimas semanas.  
Preencha com 7 caso concorde plenamente com a afirmação, 1 caso discorde.  
Seus dados serão mantidos em sigilo.

Sinto-me cansado <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7	Sinto-me muito ativo <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7
Pensar requer esforço <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7	Fisicamante, sinto-me exausto <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7
Sinto vontade de fazer coisas legais <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7	Sinto-me em forma <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7
Sinto-me ativo <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7	Durante uma tarefa consigo concentrar-me <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7
Sinto-me fraco <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7	Não faço muito durante o dia <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7
Consigo concentrar-me muito bem <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7	Sinto-me descansado <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7
Tenho dificuldades em concentrar-me <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7	Fisicamente, sinto-me em más condições <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7
Tenho muitos planos <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7	Canso-me rapidamente <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7
Sinto-me com pouco energia <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7	Não tenho vontade de fazer nada <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7
Meus pensamentos vagam-se com facilidade <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7	Fisicamente, sinto-me em boa forma <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7

Sair Avançar

Figura 6.3 - Janela do formulário

### 6.2.3 Janela do formulário para o aplicador:

Nesta janela, o aplicador do teste preenche os dados do teste:

- Tipo de distração;
- Guia de direção;

- Vídeo a ser mostrado no teste;
- Nível Alcoólico;

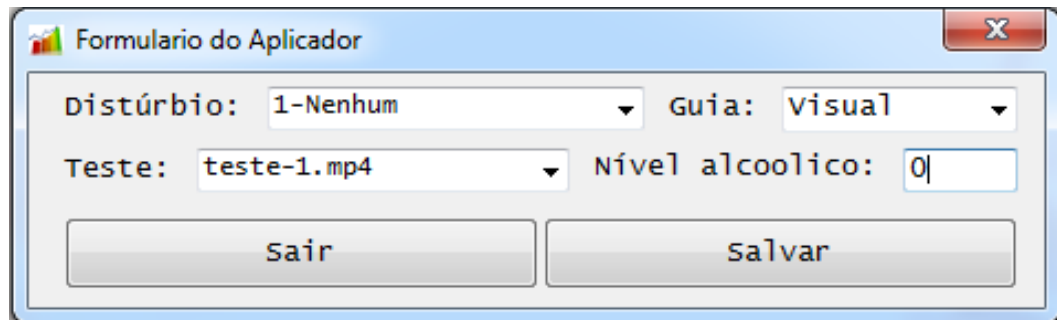
A imagem mostra uma janela de software intitulada "Formulário do Aplicador". Ela contém quatro campos de entrada: "Distúrbio:" com o valor "1-Nenhum", "Guia:" com o valor "visual", "Teste:" com o valor "teste-1.mp4" e "Nível alcoólico:" com o valor "0". Abaixo dos campos, há dois botões: "Sair" e "salvar".

Figura 6.4 - Janela do formulário para o aplicador.

O tipo distração foi escolhido em relação ao uso, ou não, do celular, seja para conversa ou para escrita de SMS.

O guia escolhido pode ser auditivo, visual, ou ambos. No caso do guia sonoro, se o usuário colocasse o volante no ângulo errado, o programa ativaria uma voz dizendo “Mais a direita.” ou “Mais a esquerda.”, dependendo da situação.

Para o guia visual, uma linha vermelha foi mostrada ao usuário, indicando o ângulo desejado para o volante, e uma linha verde que indica o ângulo do volante naquele instante. Para os testes, foi utilizado apenas o guia visual.

Para obtenção dos ângulos da guia, foi desenvolvido um programa para gravar os movimentos do volante durante o vídeo. A posição do volante foi salva a cada 200 milissegundos. Com isso, foram coletados dados para todos os vídeos.

Porém, devido os problemas apresentados pelo volante, foi necessário um tratamento dos dados para que o movimento da guia visual fosse gradual e realista. Estes dados foram salvados em um arquivo *.curv*, único para cada vídeo.

Para a aplicação dos testes foram feitos 5 vídeos, mas para evitar variações no Tempo de Resposta em função do vídeo mostrado, apenas o primeiro foi utilizado.

## 6.2.4 Tutorial

### a. Tela de apresentação:



Figura 6.5 – Tela de apresentação do projeto.

Após o aplicador preencher seu formulário e o usuário se posicionar para o teste dentro do simulador, o tutorial era iniciado. Ele tinha como objetivo explicar o funcionamento do procedimento do teste e simulador: como utilizar o volante e pedais durante o experimento, e como se comportar nele.

A janela de apresentação exibia ao usuário os nomes dos envolvidos neste projeto, o orientador e o objetivo.



b. Tutorial dos pedais:



Figura 6.6a – Tutorial de pedais, acelerador



Figura 6.6b – Tutorial de pedais, freio

Para mostrar o funcionamento dos pedais ao usuário, é exibido um pequeno vídeo onde o pedais são acionados em sequência. Para prosseguir, o usuário deve acompanhar o vídeo e pressionar o acelerador e freio, um após o outro, assim como mostra o tutorial.

c. Tutorial do volante e teste:

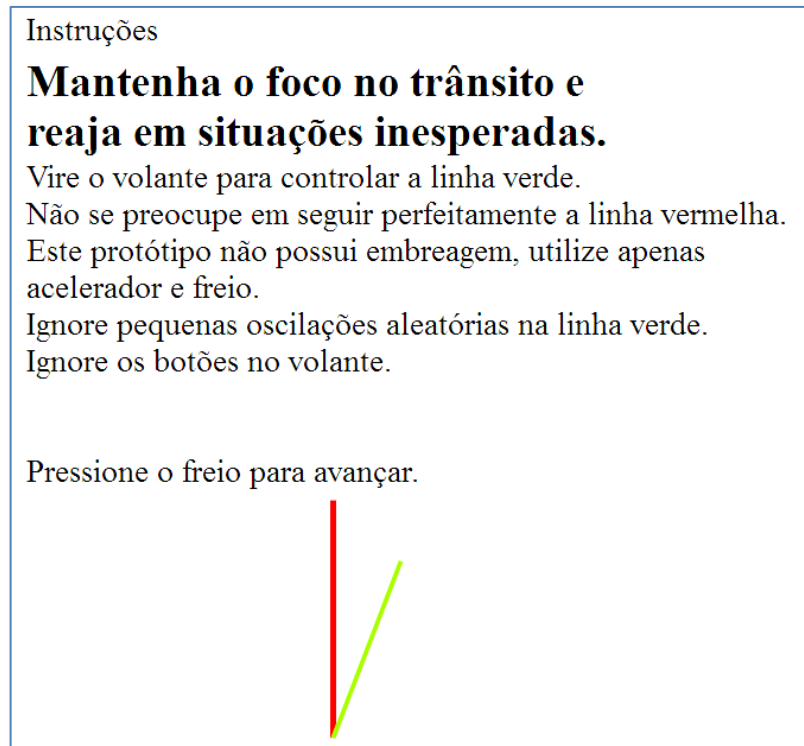


Figura 6.7 – Tela de instruções

A seguir, uma tela com algumas diretrizes que o usuário deve seguir durante o teste é exibida:

- **Mantenha o foco no trânsito e reaja em situações inesperadas;**
- Vire o volante para controlar a linha verde;
- Não se preocupe em seguir perfeitamente a linha vermelha;
- Este protótipo não possui embreagem, utilize apenas acelerador e freio;
- Ignore pequenas oscilações aleatórias na linha verde;<sup>10</sup>
- Ignore os botões no volante.

<sup>10</sup> Durante os testes, ocorreram pequenas oscilações na linha verde (que corresponde à esterção do volante). Estas oscilações acontecem por causa de um problema do *hardware* do volante. Mesmo após sua configuração, ele ainda apresentou pequenas oscilações. Não foi necessário comprar outro volante porque as oscilações foram pequenas, e não atrapalharam o andamento dos testes.

Ainda nesta janela, são exibidos os ponteiros do volante (verde) e da direção indicada (vermelho).

Como citado no Capítulo 7.2, estas diretrizes foram adicionadas para que os usuários entendessem melhor o objetivo do simulador e como devem realizar os testes.

Após ler todas as instruções, o usuário deve pressionar o freio para avançar.

#### 6.2.5 O vídeo

Tela de preparação:



Figura 6.8 – Tela de preparação.

A tela da figura 6.8 exibe o primeiro quadro do vídeo, que era exibido durante o teste, e pedia para o usuário acionar o acelerador para iniciar. Isso fazia com que o usuário iniciasse o teste com o pedal pressionado.

Vídeo:

Figura 6.9 – Exemplo de curva durante o vídeo.

Neste instante (ainda figura 6.8), inicia-se o teste propriamente dito. O motorista deveria conduzir o veículo normalmente, acelerando, freando e esterçando o volante. Isto deixava de ser válido apartir do instante de estímulo, onde o programa aguardava a reação do usuário. Caso ocorresse a reação, pelo freio ou pelo volante, o teste se encerrava.

O instante de estímulo foi definido pelo primeiro quadro do vídeo onde o veículo a frente acionava as luzes de freio, e foi salvo no arquivo *.curv* relacionado à este vídeo, junto com os quadros inicial e final.

Para que a reação fosse identificada pelo programa, o usuário deveria acionar totalmente o pedal do freio ou esterçar o volante em mais de 60° para qualquer um dos lados. Este valor de ângulo limite para a reação foi escolhido para evitar que erros de leitura prejudicassem o resultado do teste, porque o volante utilizado gera erros de leitura na faixa de -30° a 50°.

Tela de resultados:

Ao final do teste, era exibido ao usuário o tempo de sua resposta e se ele evitou o acidente ou não.

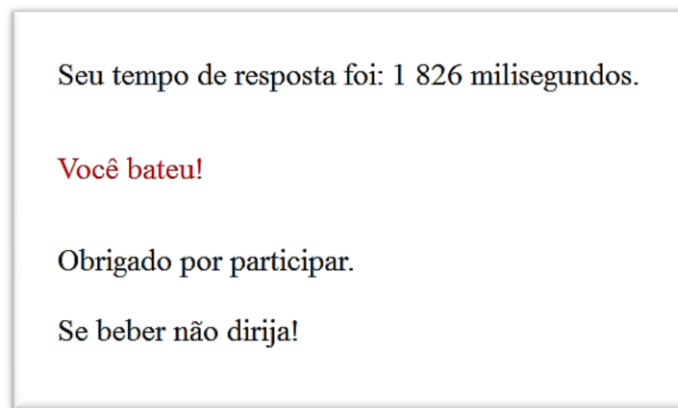


Figura 6.10a – Exemplo de resultado com acidente

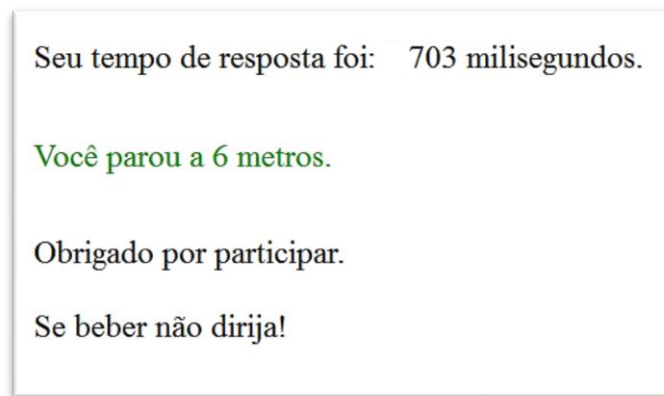


Figura 6.10b – Exemplo de resultado sem acidente

Caso ele não tenha reagido a tempo de evitar o choque na simulação, um som de colisão de automóveis era reproduzido, acentuando a dramaticidade do evento. Caso o usuário tenha evitado o acidente, era exibida a distância, em metros, entre o motorista e o veículo que o fechou.

A tela de encerramento do teste é ilustrada na figura 6.10.

Caso o teste fosse validado, os dados coletados pelos formulários eram salvos em um arquivo *.database*, para análise posterior. Também são salvos data e hora, Tempo de Resposta e tipo de reação (volante ou freio).

Em média, os usuários levaram em torno de 120 segundos dentro do simulador, realizando os tutoriais e o teste propriamente dito. Isto totaliza tempo total aproximado de 230 segundos entre abordagem dos voluntários que fizeram os testes até seu término.

## 7 Desempenho

A estratégia usada para que o simulador atendesse às necessidades de projeto foi o planejamento e projeto iterativo, ilustrado na figura 7.1. Este método consiste de sucessivos ciclos de planejamento e requisitos → projeto e construção (ou alteração/melhoria) → Teste → Validação e análise → planejamento novamente, e assim sequencialmente até que o projeto esteja atendendo aos requisitos.

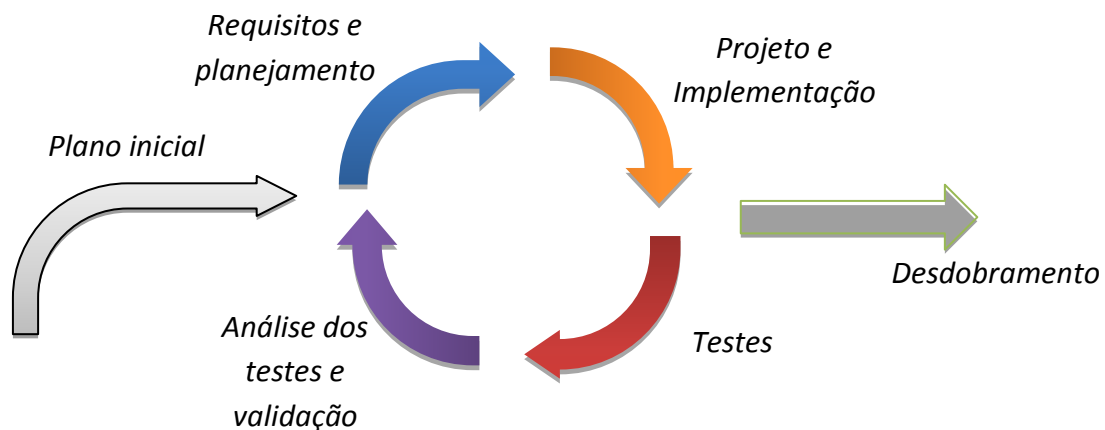


Figura 7.1 – Ilustração da estratégia adotada para projeto e fabricação do protótipo

Por isso, após a primeira construção do simulador, o mesmo foi colocado para coletar dados em condições de desenvolvimento final do trabalho, para que os dados adquiridos e andamento dos testes fossem analisados para posterior melhoria ou reparo.

### 7.1 Análise do desempenho

Dois tipos de análises foram feitas para a melhoria e alteração do projeto para que este se comportasse conforme os requerimentos:



a. Problemas identificados pelos usuários: Depois que os primeiros testes foram feitos, os usuários foram livres para sugerir otimizações no processo de teste ou simulador, e indicar dificuldades sentidas por eles ou defeitos no simulador. Todas os comentários foram anotados pelos aplicadores do teste. As colocações citadas frequentemente, ou comuns entre os usuários, foram analisadas para que fossem tomadas as devidas ações corretivas ou de melhoria. Estas indicações foram potenciais fontes de erro na coleta dos dados. Comentários individuais foram desprezados, por se tratar de opinião particular, não comum à maioria dos usuários;

b. Problemas identificados pelos aplicadores do teste: Durante o teste, os aplicadores do teste observaram o comportamento dos usuários, o decorrer de seus testes e analisaram os dados coletados. Caso fosse observada alguma dificuldade frequente ou possível melhoria ainda não citada pelos usuários, estas seriam devidamente corrigidas também.

#### Resultados dos problemas levantados do tipo a:

a.1. Os pedais deveriam ser pressionados até o final para que o sinal fosse identificado pelo programa, mas mesmo depois de orientados para isso, a maioria dos usuários não o fazia durante o teste. Tal acontecimento paralisava o vídeo até que o usuário acionasse novamente até o fim do curso do pedal. Isso mostra que os usuários se sentiram a vontade em conduzir no simulador tal como faziam em em veículo, sem pressionar totalmente no acelerador, e que o protótipo forneceu uma boa condição de realidade aos usuários. Por isso este problema foi corrigido, desprezando a condição de pedal totalmente pressionado, deixando os usuários livres para “conduzir” o simulador naturalmente;

a.2. Muitos recalmaram do longo e repetitivo questionário para medição de cansaço, mas este foi mantido pelos motivos já descritos em 4.3.3, e por ter número de perguntas inferior a outras questionários para mesma finalidade;

a.3. Alguns usuários reagiram à cena do estímulo esterçando o volante em vez de acionar o pedal do freio. Isso também caracterizou realismo no teste, porque estes alegaram que seria a atitude que teriam nesta situação, mesmo depois de serem instruídos a pisar no freio caso fosse necessário. Esse problema foi corrigido alterando o programa para que identificasse também o outro tipo de reação, pela esterção do volante;

a.4. Mesmo depois de orientados, houveram confusões sobre a guia visual de esterção do volante: qual das guias era pra ser seguida, qual a finalidade dela, atenção excessiva na mesma (e desatenção no tráfego). Para solucionar este problema, foi incluída uma tela inicial de instruções sobre o volante e guia visual, e teste dos pedais e volante, para ambientar melhor o usuário no protótipo antes do teste.

#### Resultados dos problemas levantados do tipo b:

b.1. Muitos usuários portavam mochilas, bolsas, guarda-chuvas, pastas, entre outros pertences, e não havia local para abrigá-los enquanto o mesmo fazia o teste dentro do simulador. Por isso foram adicionados suportes e tapetes para guardar estes itens;

b.2. As instruções eram dadas verbalmente pelos aplicadores do testes. Este processo era repetitivo e cansativo, além de não ser muito efetivo, pois muitas das instruções não eram respeitadas. Para solucionar este problema, foi acrescentada uma introdução didática antes do teste, dentro do simulador, para que o usuário se ambientasse aos elementos do protótipo e focasse nas instruções (solução conjunta com o problema a.4.);

b.3. Os usuários perguntavam qual o desempenho deles ao final do teste. Por isso foi acrescentada uma tela final exibindo o Tempo de Resposta medido, e se aconteceria a colisão em uma situação real.

## **7.2 Implementação da melhoria**

Depois que a correção dos problemas foi efetuada, como descrito no item anterior, o protótipo foi colocado novamente para coleta de dados em condição de desenvolvimento final, anotando-se novamente as colocações dos usuários.

As melhorias foram efetivas, porque foram dadas poucas críticas, particulares, que não caracterizaram problemas gerais ou potenciais fontes de erros. A única colocação que persistiu foi o preenchimento do longo questionário, processo que não foi alterado (explicado em 4.3.3). Além disso, a invalidação dos testes realizados foi reduzida de aproximadamente 50% para 16,8% após a implantação das melhorias.



Sendo assim, o protótipo e o processo de realização do teste se concluíram como definitivos, atendendo aos requisitos de projeto. O novo procedimento para testes e avaliação de resultados segue descrito abaixo:

- i. Voluntário é convidado a fazer o teste e aceita convite;
- ii. Na janela do usuário;
  - a. Usuário preenche o questionário para medição de cansaço;
  - b. Usuário preenche o formulário de dados pessoais (nome, idade e gênero);
- iii. Na janela do aplicador do aplicador do teste:
  - a. Escolhe-se se haverá distúrbio (celular);
  - b. Escolhe-se o vídeo que será exibido;
- iv. Após o preenchimento dos formulários, o programa passa as instruções iterativas para o usuário se ambientar com o protótipo e saiba como fazer o teste corretamente. Ele mostra para o usuário que se deve “imitar” o vídeo esterçando o volante, mantendo o pedal acelerado, e para frear se sentir necessidade, conforme detalhado no Capítulo 4).
- v. Após as instruções, o programa prepara o vídeo escolhido e inicia o teste;
- vi. O usuário faz o teste;
- vii. Enquanto o usuário faz o teste, o aplicador analisa seu desempenho através da tela do *notebook*, para julgar se o teste foi válido ou não\*;
- viii. Ao término do teste, o programa retorna ao estado inicial;

\*O teste não será validado nas seguintes situações:

- Se o usuário não seguir (ignorar) as curvas exibidas pelo vídeo, ou se a esterção do volante for feita sem zelo (a julgar pelos aplicadores do teste);
- Se o usuário reagir à cena do estímulo tardiamente (superior a 2 segundos) ou se o usuário não reagir ao término do vídeo;
- Se o usuário não fizer o teste com zelo por qualquer outro motivo: olhando muito para outra direção que não a do monitor, “conduzir” o simulador com apenas uma mão entre outros comportamentos incoerentes ao teste.

A restrição de testes permaneceu a mesma:

- Portadores de diabetes mellitus do tipo II, porque estes tem o Tempo de Resposta muito inferior ao de pessoas sem esta doença. Em alguns casos o Tempo de Resposta pode até duplicar (Richerson, Robinson e Shum, 2005);

## 8 Extensões do trabalho

Este protótipo de simulador aceita outras implementações, seja para extensão do trabalho que foi desenvolvido ou para novas pesquisas.

Os exemplos são explicados a seguir.

### 8.1 Análise de outros fatores

Os fatores humanos gênero, cansaço e desatenção (uso do celular) foram estudados neste trabalho. Os outros fatores que também afetam o Tempo de Resposta do motorista (citados no Capítulo 1), como tipo de reação, tipo do estímulo, personalidade ou identificação periférica/direta do estímulo (Kosinski, 2010).

#### Nível alcoólico:

Embora este trabalho esteja preparado para analisar a correlação entre o Tempo de Resposta do motorista e nível alcoólico do mesmo, estes testes não foram realizados.

Esta decisão foi tomada porque se deu preferência para analisar as variáveis facilmente controladas durante o teste (como cansaço e uso de celular), e validar a proposta inicial elaborada para o protótipo e projeto. Os testes envolvendo nível alcoólico são mais complexos em termos de procedimento, e por isso seriam possíveis apenas após a validação das principais hipóteses deste trabalho.

Para a medição de nível alcoólico seria utilizado um etilômetro digital. Os dados seriam colhidos próximos à entrada de festas, onde seria pedido a voluntários que fizessem o teste ao sair da festa, quando este já tivesse ingerido bebida alcoólica. Para evitar erros na leitura do etilômetro, o participante não pode ter ingerido bebidas alcoólicas nos últimos 20 minutos, pois o álcool bucal ou refluxo gastroesofágico (Kechagias *et al.*) poderiam distorcer os resultados (para valores maiores), levando a dados falsos e interpretações errôneas.

#### Tipo de reação:

Neste trabalho, existe apenas um estímulo, a manobra de “fechar”, e existem duas respostas possíveis, que são a esterção do volante ou acionamento do freio. Como explicado no Capítulo 4.3.1, esta situação caracteriza o tipo de reação por escolha.

No protótipo pode-se estudar a influência de outros tipos de estímulo. Isto é possível porque o programa permite inclusão de novos vídeos que são exibidos no teste, e é justamente o vídeo que promove o tipo do estímulo. O vídeo que é reproduzido no simulador pode ser gravado para gerar uma situação onde o estímulo será simples, de reconhecimento ou de escolha.

Além disto, também tem-se controle dos meios de interação usuário-simulador, o que possibilita identificar diferentes modos que o usuário responde ao estímulo. Por exemplo, nos casos onde o tipo de reação é por escolha, o programa identifica se a reação ocorreu por causa da esterção no volante, ou acionamento do freio. Se o tipo de reação é simples ou de reconhecimento, o programa identifica se houve resposta do usuário.

#### Tipo de estímulo:

Em TRS, há diferença entre o Tempo de Resposta entre estímulos sonoros, entre 140 e 160 milissegundos, e estímulos visuais, entre 180 e 200 milissegundos (Kosinski (2010)).

Neste trabalho, acontecem os dois tipos de estímulos simultaneamente, que se dão pela manobra perigosa que o veículo a frente executa e o som gerado por sua frenagem, reproduzido pelas caixas de som.

Podem-se gravar vídeos diferentes para serem executados no simulador, a fim de separar estes dois tipos de estímulos em vídeos distintos, para medir a diferença do Tempo de Resposta. Por exemplo, em um vídeo pode ocorrer apenas a frenagem de um veículo que transita a frente (onde o estímulo é apenas visual, e que se dá pelo acionamento da luz de freio do veículo), ou pode ocorrer o som da buzina de outro veículo (onde o estímulo é sonoro).

#### Personalidade:

A personalidade também é um fator que influencia no Tempo de Resposta (Kosinski (2010)). A correlação do tipo de personalidade dos usuários com o Tempo de Resposta também poderia ser analisada.

Estes tipos de testes seriam mais duradouros (durante a coleta de informações do usuário), porque seria necessário identificar a personalidade do usuário através de acompanhamento psicológico ou preenchimento de mais um questionário.

#### Visão periférica e visão direta:

Estímulos visuais, provenientes de diferentes porções da visão, promovem diferentes Tempos de Resposta. Quanto mais centrado for o estímulo (na direção da visão), menor será este tempo.

Para comparar esta diferença no Tempo de Resposta, pode-se gravar um vídeo que induza a atenção do usuário a algum evento, como por exemplo um único veículo que trafega em sua frente, e que será considerado o foco da atenção.

Conforme a atenção do usuário se mantém focada neste evento, um estímulo é causado, como a frenagem do veículo em questão ou uma pessoa que atravessa a rua correndo, e que surge no canto do monitor. A primeira situação abrange a reação causada na visão direta, e a segunda situação ilustra uma reação causada na visão periférica.

## **8.2 Realismo**

Conforme explicado no Capítulo 3, o simulador é realista e de baixo custo. Considerando sua flexibilidade, ele permite instalação de novos sistemas que promovem ainda mais realismo ao protótipo.

#### Sistema de vibração:

Motores desbalanceados podem ser instalados em alguns pontos do protótipo (como, por exemplo, banco, volante e piso).

Uma alimentação paralela, como uma bateria de chumbo-ácido, por exemplo, seria necessária para alimentar os motores. Eles seriam controlados pelo próprio programa do protótipo, e a comunicação serial entre o acionamento dos motores e o programa teria que ser configurado.



Figura 8.1 – Motor com carga desbalanceada que causa vibração presente em controle de vídeo-game. Online. Disponível em <[http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-436498181-motor-de-vibracao-do-controle-do-ps3-\\_JM?redirectedFromChild=MLB445779818](http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-436498181-motor-de-vibracao-do-controle-do-ps3-_JM?redirectedFromChild=MLB445779818)> Acessado em outubro de 2012.

O programa controlaria a intensidade de vibração nos motores, conforme o decorrer do vídeo que estaria sendo exibido.

#### Visão / Aparência:

É possível a inclusão dos espelhos laterais e retrovisores, também.

Esse aprimoramento, além de promover maior realismo visual ao usuário durante os teste, permite incluir estímulos na visão periférica (explicado em 8.1).

Pequenos monitores LCD seriam os responsáveis para exibir as cenas nos espelhos retrovisores e laterais do simulador. Eles são comumente usados em câmeras de ré de veículos mais sofisticados ou para monitoramento de dependências (sistema de segurança).



Figura 8.2 – Monitor LCD de 3,5". Online. Disponível em <[http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-447988048-monitor-lcd-35-para-cmera-de-re-video-game-seguranca-\\_JM](http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-447988048-monitor-lcd-35-para-cmera-de-re-video-game-seguranca-_JM)> Acessado em outubro de 2012

Isto iria requerer maior complexidade durante a gravação dos vídeos que seriam exibidos no monitor do protótipo, porque seriam necessárias várias câmeras. Durante a gravação, elas deveriam ser fixadas para filmar a visão que o usuário teria do espelho durante o teste. Esta fixação pode ser feita de plásticos, tal como o suporte que foi fabricado e usado na filmagem dos vídeos que são exibidos no monitor do protótipo, na figura 4.2.

#### Atuadores:

A estrutura do protótipo é sustentada pelas rodas fixadas ao piso dele. Por isso é possível projetar e construir um sistema de atuação para fornecer graus de liberdade e acelerações à cabine.

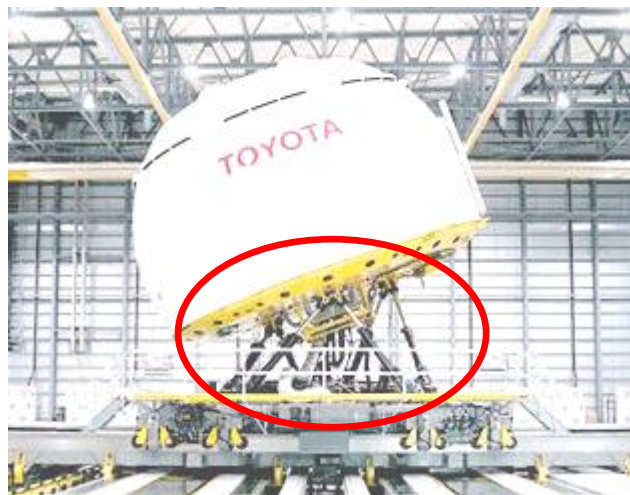


Figura 8.3 – Sistema de atuadores do simulador de direção da Toyota. Online. Disponível em <<http://www.telegraph.co.uk/motoring/road-safety/6598418/Toyotas-30-million-driving-simulator-review.html>> Acessado em abril de 2012.

Esse sistema pode ser composto por cilindros hidráulicos fixados na base do protótipo, como ilustrado na figura 8.3. Seu funcionamento dependeria também de um circuito hidráulico com armazenamento, bombas e válvulas, e que aumentaria muito o custo total de fabricação.

O acionamento eletrônico das válvulas hidráulicas teria de ser controlado pelo programa do protótipo, e a comunicação entre o acionamento delas e o programa teria que ser implementado também.

O uso de motores DC ou servomotores acoplados em guias lineares seria uma solução alternativa para os atuadores. Com esta opção, não seria necessário um sistema adicional (como o circuito hidráulico), apenas os motores, guias e fixações

### **8.3 Algoritmos de sensoriamento**

Este protótipo também pode ser utilizado para pesquisar, desenvolver ou testar algoritmos de evitamento de acidentes.

Estes algoritmos já estão embarcados em alguns modelos de veículos, em geral nos mais luxuosos. Estes sistemas consistem de sensores que monitoram o comportamento do motorista e alertam o mesmo de acidentes que podem ser causados.

Dentre os sensores há um sistema de visão que identifica o rosto do motorista e monitora a frequência da “piscada” de olho, e o quão abertos estão os olhos. Há sensores para medir distância frontal e lateral entre outros veículos ou obstáculos. E a própria eletrônica de controle do volante (presente em direções elétricas) e dos pedais monitora o comportamento do motorista.

Este sensoriamento é interpretado para identificar o estado de sonolência e comportamentos arriscados do motorista. O algoritmo, então, calcula se há risco potencial de ocorrer um acidente. Em caso positivo, o sistema alerta ao motorista com sinais sonoros ou visual, através do painel do veículo (Lee e Peng (2005)).



## 9 Resultados

Foram feitos 96 testes, dos quais 81 foram validados pelos aplicadores.

Destes 15 testes não validados, em 11 deles o usuário não reagiu ao evento; em 2 testes o usuário manteve o freio acionado ou o volante fora da posição no momento do estímulo, causando uma reação de 21 milissegundos (vide Capítulo 6); e nos outros 2 testes o Tempo de Resposta não foi compatível com o cansaço calculado pelo questionário *CIS*, e por isso foram considerados pontos fora da curva, invalidados para esta análise.

Foi estudada a influência de três variáveis no Tempo de Resposta dos usuários: gênero, cansaço e distração (uso do celular para conversação ou digitação de mensagem de texto).

Outra variável em questão é o tipo de reação apresentada pelo usuário, pelo freio ou pelo volante, apresentada na figura 9.1.

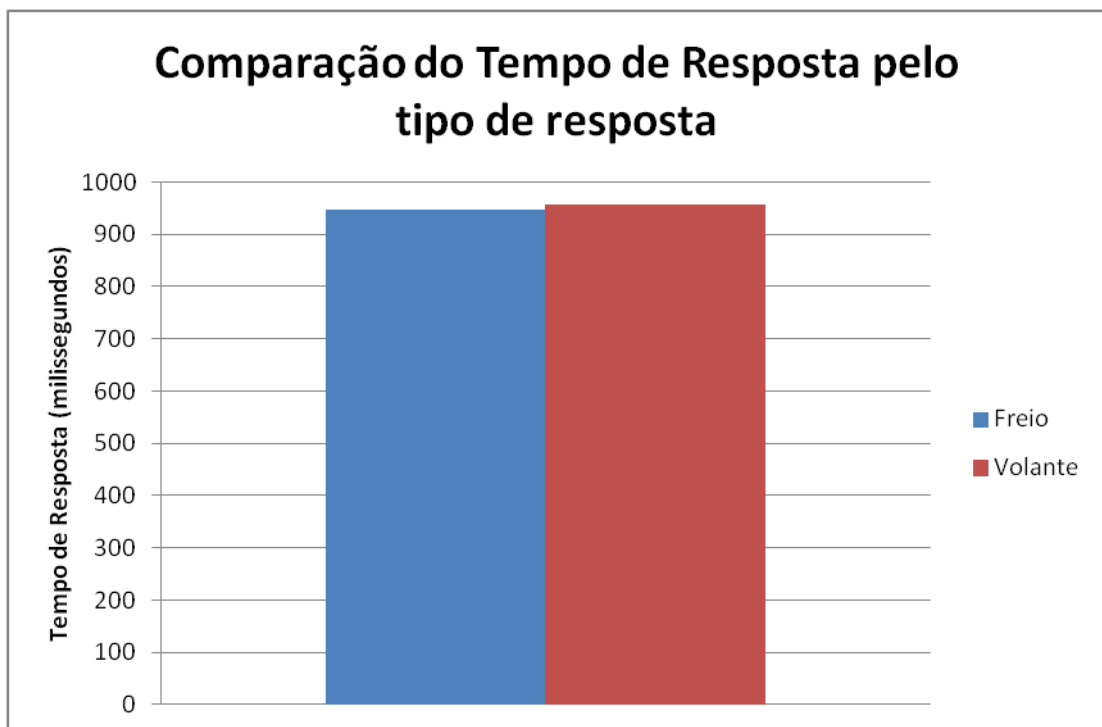


Gráfico 9.1 - Comparação do Tempo de Resposta pelo tipo de resposta

A diferença entre os dois tipos de resposta é de 1%, e será considerada como desprezível. Assim, esta variável será desconsiderada nas análises feitas a seguir.

### 9.1 Gênero

Segundo Kosinski (2010), em TRS, homens são mais rápidos que mulheres. A diferença pode variar de 18% (220ms para homens e 260ms para mulheres, com alerta visual) a 5% (190ms para homens e 200ms para mulheres, para alertas sonoros).

Os resultados mostrados a seguir, obtidos pelo protótipo, mostram que essa diferença percentual em TRS permanece no Tempo de Resposta no trânsito (entre 5% e 20%).

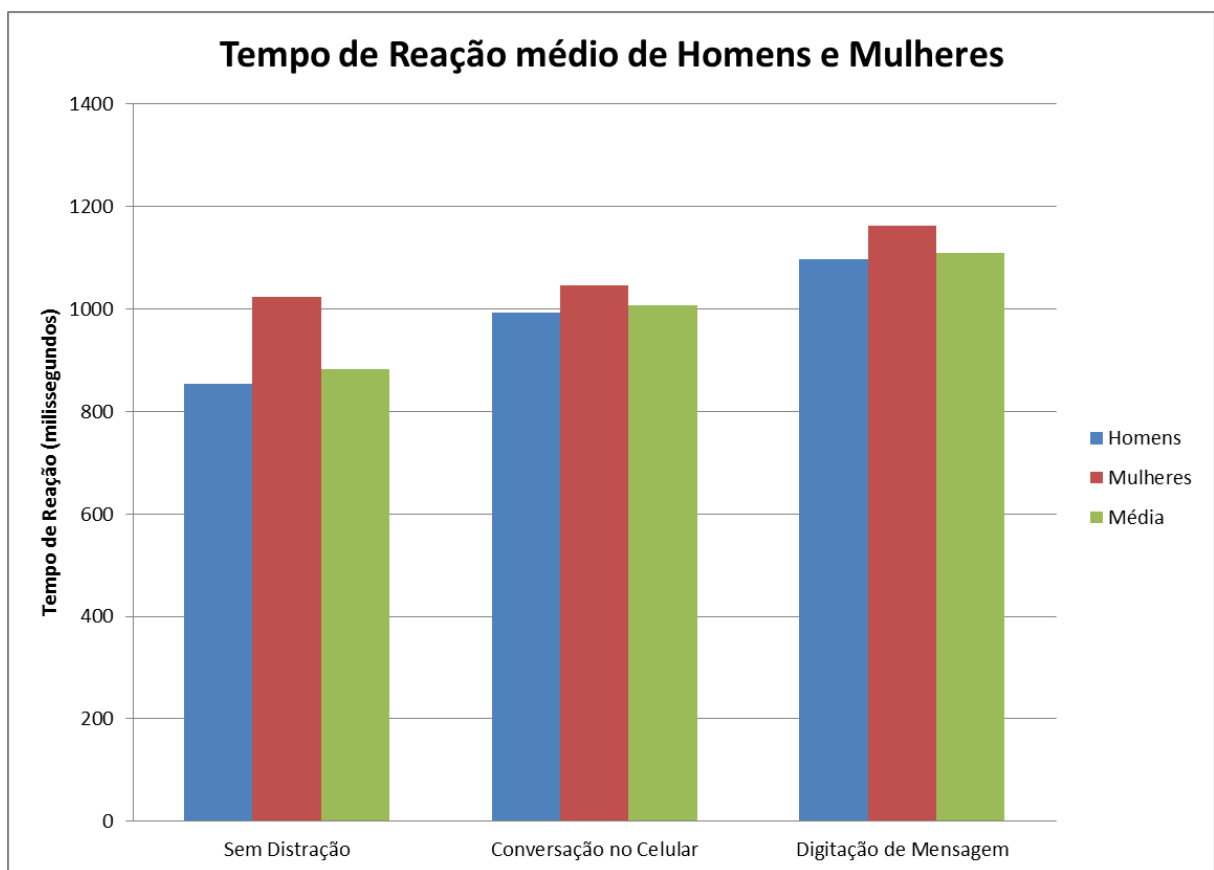


Gráfico 9.2 – Tempo de Resposta médio entre homens e mulheres, com e sem distração.

Tabela 9.1 – Comparação do Tempo de Resposta médio entre homens e mulheres, com e sem distração.

	Tempo de Resposta		
	Sem distração	Conversação no celular	Digitação de SMS
<b>Homens (ms)</b>	855	993	1096
<b>Mulheres (ms)</b>	1023	1046	1162
<b>Diferença</b>	20%	5%	6%

Do total de 81 testes válidos, 66 foram feitos por homens e 15 foram feitos por mulheres. Analisando a Tabela 9.1, pode-se ver que, em geral, pessoas do sexo feminino possuem Tempo de Resposta mais elevado. Porém, a influência de distrações é mais acentuada em pessoas do sexo masculino.

Essa análise ressalta algo interessante: as mulheres, por mais que tenham Tempo de Resposta superior ao dos homens, são menos distraídas quando submetidas a tarefas simultâneas (neste caso, usar o celular e conduzir o veículo). Ou seja, são mais aptas a realizar tarefas simultaneamente (Sayer (2007)).

## 9.2 Cansaço

Nos testes realizados para medição da influência do cansaço, foi utilizado o formulário *CIS* (Capítulo 4.3.3). As respostas dos usuários foram gravadas no programa, juntamente aos dados deles. Conforme o Apêndice C.1, o cansaço do usuário foi quantificado através das respostas fornecidas no *CIS*.

O gráfico a seguir mostra a relação entre este cansaço medido e o Tempo de Resposta dos usuários, nos testes onde não houve distração, e que somam 49 testes.

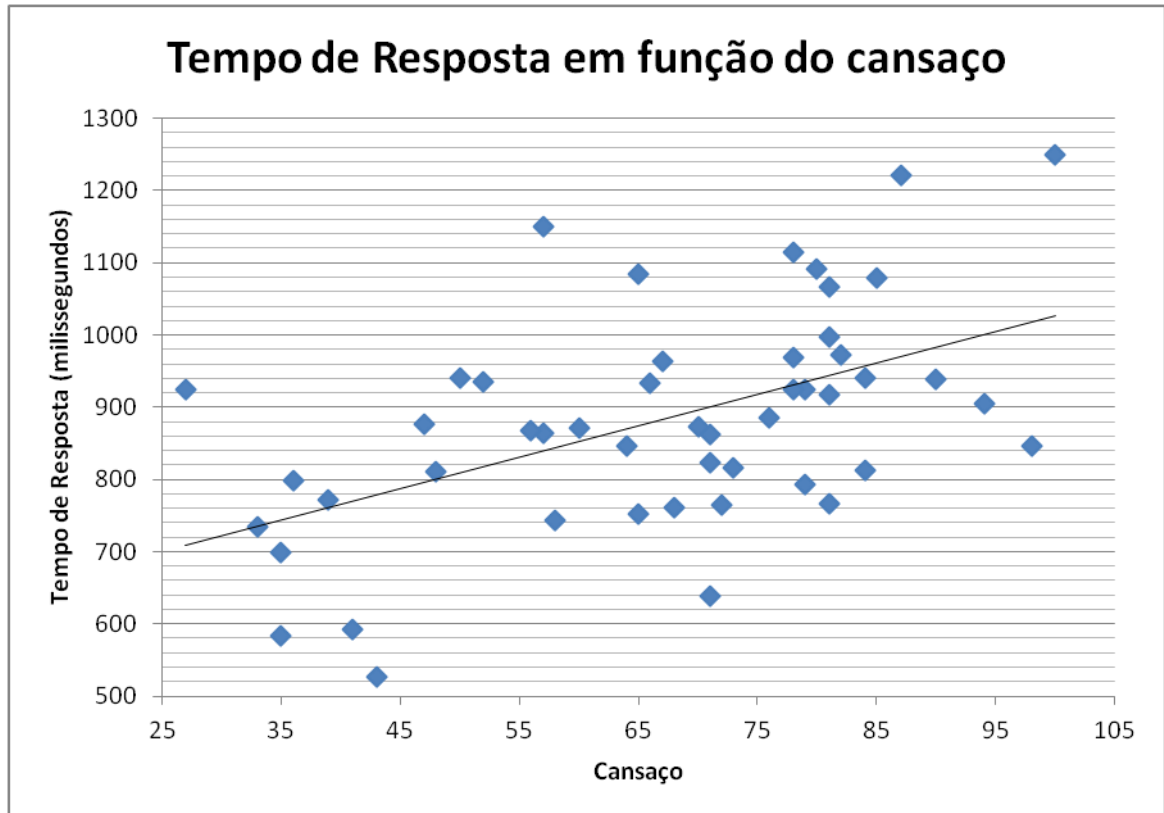


Gráfico 9.3 - Tempo de Reação em função do cansaço

Utilizando a ferramenta regressão linear (Montgomery e Douglas (2010)), foi traçada a reta que melhor aproxima a distribuição de pontos do gráfico 9.2. A equação da reta obtida foi:

$$y = 4,3457x + 591,89 \quad \{0 < x < 120\}^{11}$$

O coeficiente de determinação desta aproximação foi baixo, de apenas  $R^2 = 0,27$ . Assim sendo, não podemos afirmar que o Tempo de Resposta varia linearmente com o cansaço medido, mas observa-se a tendência crescente desta relação, como esperado, segundo Kosinski (2010).

Esse valor foi baixo porque o número de dados coletados foi pequeno (49 testes), e os dados foram muito dispersos. Além disto, os testes entre homens e mulheres não estão desacoplados.

<sup>11</sup> Este intervalo para o valor de cansaço (x) no CIS varia entre 20 e 140. Para esta análise, subtraiu-se 20 dos valores calculados no CIS para que o cansaço variasse entre 0 e 120, de forma que 0 signifique totalmente descansado, e 120 totalmente cansado.

Não foi encontrado nenhum trabalho prévio onde se mediu a influência do cansaço, medido através do formulário *CIS*, ou qualquer outro formulário, e o Tempo de Resposta em motoristas.

### 9.3 Distração

Foram feitos 32 testes com usuários sobre efeito de distração. Em 16 deles, o usuário conversava ao celular. Nos outros 16, o usuário digitava uma mensagem de texto no celular.

O aumento do Tempo de Resposta em 14% do usuário que conversou no celular durante a condução do automóvel é comparável com os resultados de Strayer e Drews (2004 e 2006). Eles mostraram aumento de 9% e 18%, respectivamente.

O aumento do Tempo de Resposta em 26% dos usuários que digitaram mensagem de texto durante os testes se aproxima ao trabalho de Drews *et al.* (2009). Nele, a diferença entre o Tempo médio de Resposta de usuários que apenas conduzem o automóvel e dos usuários que escrevem mensagem de texto durante a condução do veículo é de 22%.

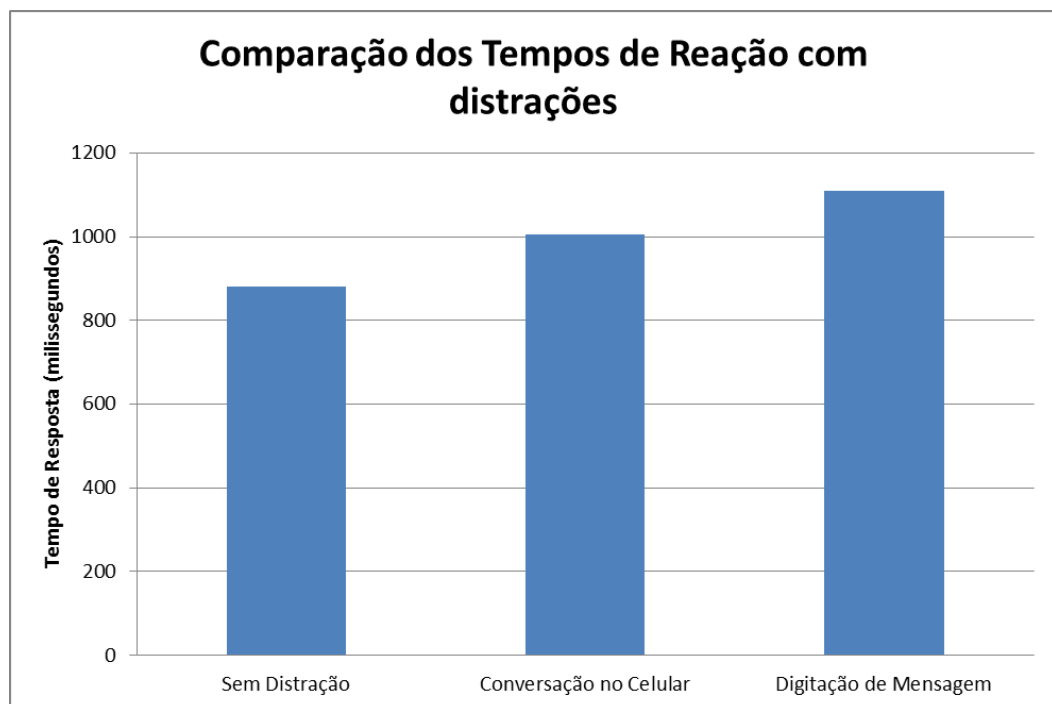


Gráfico 9.4 - Comparação dos Tempos de Reação com distrações.

Tabela 9.2 – Comparação dos Tempos de Resposta com distrações.

	Tempo de Resposta		
	Sem distração	Conversação no celular	Digitação de SMS
<b>Média do Tempo de Resposta (ms)</b>	882	1006	1109
<b>Diferença</b>	-	14%	26%

Os Tempos absolutos se aproximam muito também. Neste trabalho os Tempos de Resposta sem distração e com distração através da escrita de mensagem de texto no celular foram de 882 e 1109 milissegundos, respectivamente. Em Drew, estes Tempos foram de 881 e 1077 milissegundos, respectivamente (diferença de apenas 0,1% e 2,9%).

#### 9.4 Regressão Linear Múltipla dos Resultados

Como visto no item 4.4, a regressão linear múltipla tem como objetivo aproximar uma amostra de resultados com  $n$  variáveis por uma equação linear de  $n$  variáveis. Neste caso, desejou-se encontrar a equação que estima o Tempo de Resposta, dados o gênero, cansaço (quantificado pelo *CIS*) e o tipo de distração. Utilizando-se do método apresentado no capítulo 4.4, os valores de  $\beta$  são:

- $\beta_0 = 674.2$  milissegundos, que é constante;
- $\beta_{\text{Sexo}} = 99.6$  milissegundos, onde  $X_{\text{Gênero}}$  vale 0 para homens e 1 para mulheres;
- $\beta_{\text{Cansaço}} = 2.8$  milissegundos, onde  $X_{\text{Cansaço}}$  é o resultado do formulário *CIS*;
- $\beta_{\text{Distúrbio}} = 92.5$  milissegundos, onde  $X_{\text{Distúrbio}}$  vale 0 para testes sem distúrbio, 1 para testes falando ao celular e 2 para testes digitando SMS.

Assim sendo, a equação do Tempo de Resposta foi:

$$TR = 674.2 + 99.6X_{\text{Gênero}} + 2.8X_{\text{Cansaço}} + 92.5X_{\text{Distúrbio}}$$

O coeficiente de determinação neste caso foi de  $R^2=0,37$ . O valor de  $R^2$  também é baixo. O pequeno número de amostras (apenas 81) para a correlação de três variáveis, pode ter causado esse baixo coeficiente de determinação. O gráfico 9.4 e a tabela 9.3 comparam os valores dos Tempos de Resposta medidos e calculados e as médias dos erros absolutos e relativos em módulo.

Tabela 9.1 - Comparação entre os tempos medidos calculados e a média dos erros.

	Tempo de Resposta			
	Medido (ms)	Calculado (ms)	Erros absolutos (ms)	Erro relativo
<b>Média</b>	950	950	0	0,13
<b>Desvio Padrão</b>	33	12	20	0,01

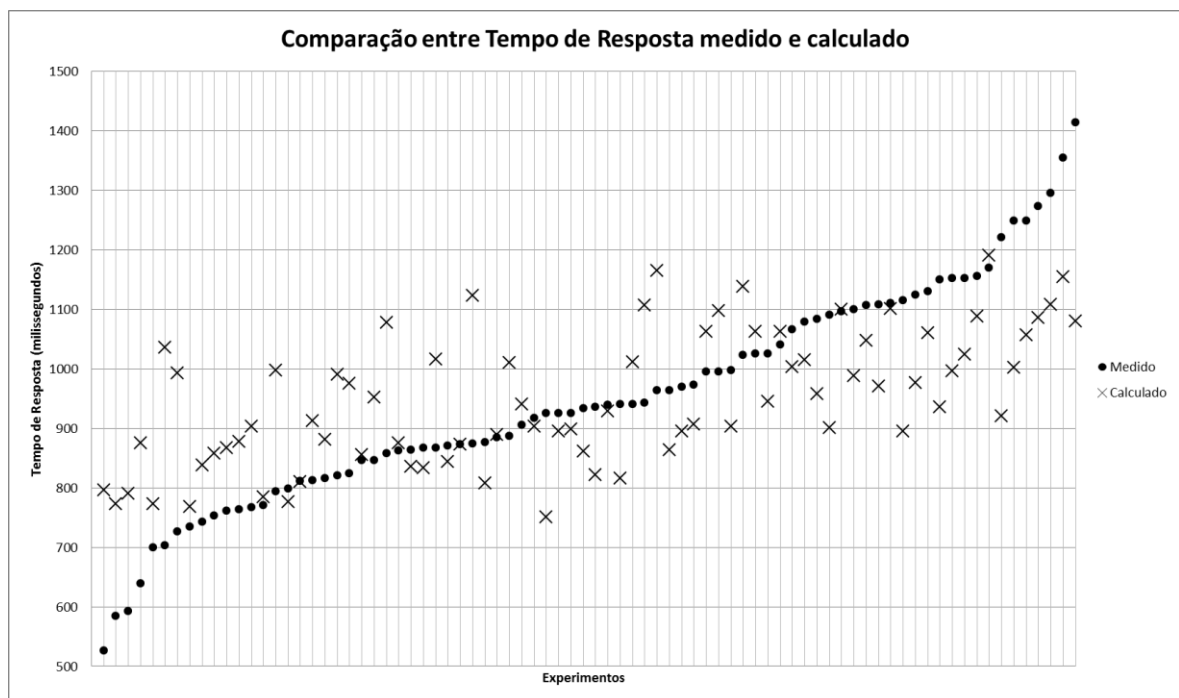


Gráfico 9.5 - Comparação dos Tempos de Reação medido e calculado

É possível observar que, na média, os valores calculados e medidos são iguais, com pequenas diferenças no desvio padrão. A média do módulo do erro relativo é de 13% com 1% de desvio padrão.

Analisando a influência de cada variável no Tempo de Resposta, observou-se que o cansaço é o fator de maior importância nesta equação. A parcela da fadiga em um usuário

cansado (resultado do *C/S* maior que 100) é 50% maior que a parcela da distração no pior caso, digitando uma mensagem.

Outro fator que pode ter influenciado os baixos valores dos coeficientes de determinação foi a não consideração da experiência de direção dos participantes (com qual frequência costumam dirigir). No estudo de Drews (2009), por exemplo, todos os participantes tinham entre 3 e 7 anos de experiência.



## 10 Conclusão

A partir da análise dos dados obtidos, e comparação com os resultados de estudos já realizados, pode-se afirmar que é possível construir um protótipo de simulador de baixo custo para medir o Tempo de Resposta de motoristas. A partir das medições e coleta de dados realizadas pelo programa, o método da regressão linear múltipla permite estimar o Tempo de Resposta em função de variáveis que interferem neste tempo.

Não se compararam os valores absolutos dos Tempos de Resposta obtidos com este protótipo e com os resultados de outros trabalhos, porque existem outras variáveis envolvidas como tempo de risco (Jurecki e Stańczyk (2011)), curso dos pedais e nível de realismo (realidade virtual ou vídeo gravado) que poderiam causar divergências na comparação de resultados. Portanto, verificaram-se apenas dados comparativos.

## A. Referências

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio, 2012. *Principais grupos de ligas trabalháveis*. Online. Disponível em <<http://www.abal.org.br/aluminio/ligas.asp>> Acessado em maio de 2012.

ALMEIDA N., E. S. 2010. Apostila de Fundamentos de Mecânica dos Sólidos e Estruturas.

BEURSKENS, A. J. H. M., BULTMANN, U., KANT, I., VERCOULEN, J. H. M. M., BLEIJENBERG, G., SWAEN, G. M. H. 2000. *Fatigue among working people: validity of a questionnaire measure*. Occupational Environment Medicine, vol.57, p.353-357.

BITENCOURT, R. S. 2010. *Ergonomia Cognitiva – Métodos e Ferramentas – parte II*. Online. Disponível em <[http://www.ergonomia.ufpr.br/Microsoft%20PowerPoint%20%20Ergonomia\\_Cognitiva\\_2010\\_Parte2ii.pdf](http://www.ergonomia.ufpr.br/Microsoft%20PowerPoint%20%20Ergonomia_Cognitiva_2010_Parte2ii.pdf)>. Visitado em 10/09/2012.

BORTOLETTO, J. 2008. *Avaliação da qualidade da madeira de Pinus*. Scientia Forestalis, vol.36, n. 78, p. 95-103.

CHRISTINA, R. W., ROSE, D. J. 1985. *Premotor and motor reaction time as a function of response complexity*. Res Q Exerc Sport, vol.56, p.306-315.

CONTRAN. 2008. *CTB - Código de Trânsito Brasileiro*. 710p.

CORNISH, D., DUKETTE, D. 2009. *The Essential 20: Twenty Components of an Excellent Health Care Team*. RoseDog Books, Pittsburgh, p.73

DE PAULA, M. E. B., RÉGIO, M. 2008. *Investigação de acidentes de trânsito fatais*. Boletim Técnico 42 da Companhia de Engenharia e Tráfego de SP. Online. Disponível em <<http://www.cetsp.com.br/media/56546/btcetsp42.pdf>> Acessado em abril de 2012

DREWS, F. A., YAZDANI, H., GODFREY, C. N., COOPER, J. M., STAYER, D. L.. 2009. *Text messaging during simulated driving*. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, vol.51, p.762-770.

EXUM, M. L. 2002. *The application and robustness of the choice perspective in the study of intoxicated and angry intentions aggress*. Criminology, vol.40, p.933-966

HERNANDEZ, O. H., M. VOGEL-SPROTT, KE-AZNAR, V. I.. 2007. *Alcohol impairs the cognitive component of reaction time to an omitted stimulus: a replication and an extension*. Journal of Studies on Alcohol and Drugs, vol.68, p.276-282.

IPEA/DENATRAN/ANTP, 2006. *Impactos Sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras*. Relatório executivo IPA DENATRAN. Brasília. Online. Disponível em <[http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/custos\\_acidentes\\_transito.pdf](http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/custos_acidentes_transito.pdf)> Acessado em maio de 2012.

JURECKI, R. S., STAŃCZYK, T. L. 2011. *The test methods and the reaction time of drivers*. Department of Mechanical Engineering, University of Michigan, USA.

KECHAGIAS S., JONSSON K. A., FRAZEN T., ANDERSSON L., JONES A. W. 1999. *Reliability of Breath-Alcohol Analysis in Individuals with Gastroesophageal Reflux Disease*. Journal of Forensic Sciences, vol.44, p.814.

KOSINSKI, R. J. 2010. *A Literature Review on Reaction Time*. Clemson University. Online. Disponível em <<http://biology.clemson.edu/bpc/bp/Lab/110/reaction.htm>> Acessado em março de 2012.

LEE, K., PENG, H. 2005. *Evaluation of automotive forward collision warning and collision avoidance algorithms*. Vehicle System Dynamics, vol. 43, p.735–751.

MADIGAN, M. L., PIDCOE, P. E. 2002. *A muscle temperature compensation technique for EMG fatigue measures*. Medicine and Science in Sports Exercise, vol.43, p780-784.

MAGILL, R. A. 2000. *Aprendizagem motora conceitos e aplicações*. São Paulo: Edgard Blücher.

MANTONI, V. 2008. How to Measure Attention. Online. Disponível em <<http://www.mpdailyfix.com/how-to-measure-attention/>>. Acessado em abril de 2012.

MATWEB. 2012. *Material Property Data*. Online. Disponível em <<http://www.matweb.com/>> Acessado em abril de 2012.

MONTGOMERY, D. C. 2010. *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. Editora LTC.

NASCIMENTO, S. R. 2001. *Oscilações no desempenho de motoristas profissionais, motoristas pluriacidentados e não motoristas em tarefas de atenção mantida*. Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo.

PORTAL ACTION. 2012. Online. Disponível em <<http://www.portalaction.com.br/content/24an%C3%A1lise-de-vari%C3%A2ncia>> Visitado em setembro de 2012.

RICHERSON, S. J., ROBINSON, C. J., SHUM, J. 2005. *A Comparative study of reaction times between type II diabetics and non-diabetics*. BioMedical Engineering. Online, 4: 12.

SAYER, L. C. 2007. *More work for mothers? Trends and gender differences in multitasking*. Competing Claims in Work and Family Life, p.41-55.

STRAYER, D. L., DREWS, F. A. 2004. *Profiles in driver distraction: Effects of cell phone conversations on younger and older drivers*. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, vol.46, p.640–649.

STRAYER, D. L., DREWS, F. A. 2006. *A Comparison of the Cell Phone Driver and the Drunk Driver*. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, vol.48, p.381–391.

THOMAS, S., SHERWOOD, M. A. 1992. *Valence band spectra of aluminum oxides, hydroxides, and oxyhydroxides interpreted by Xa calculations*. Annual Chemistry, vol.64, p.2488-2495.

VAGHETTI, C. A. O., ROESLES, H., ANDRADE A. 2007. *Revista Brasileira da Medicina do Esporte* - SciELO Brasil.

VIEIRA, F. J. 2008 . *Trânsito – acidente ou incidente?*. Online. Disponível em <<http://www.transitodez.com.br/artigoacidenteouincidente.html>> Acessado em maio de 2012.



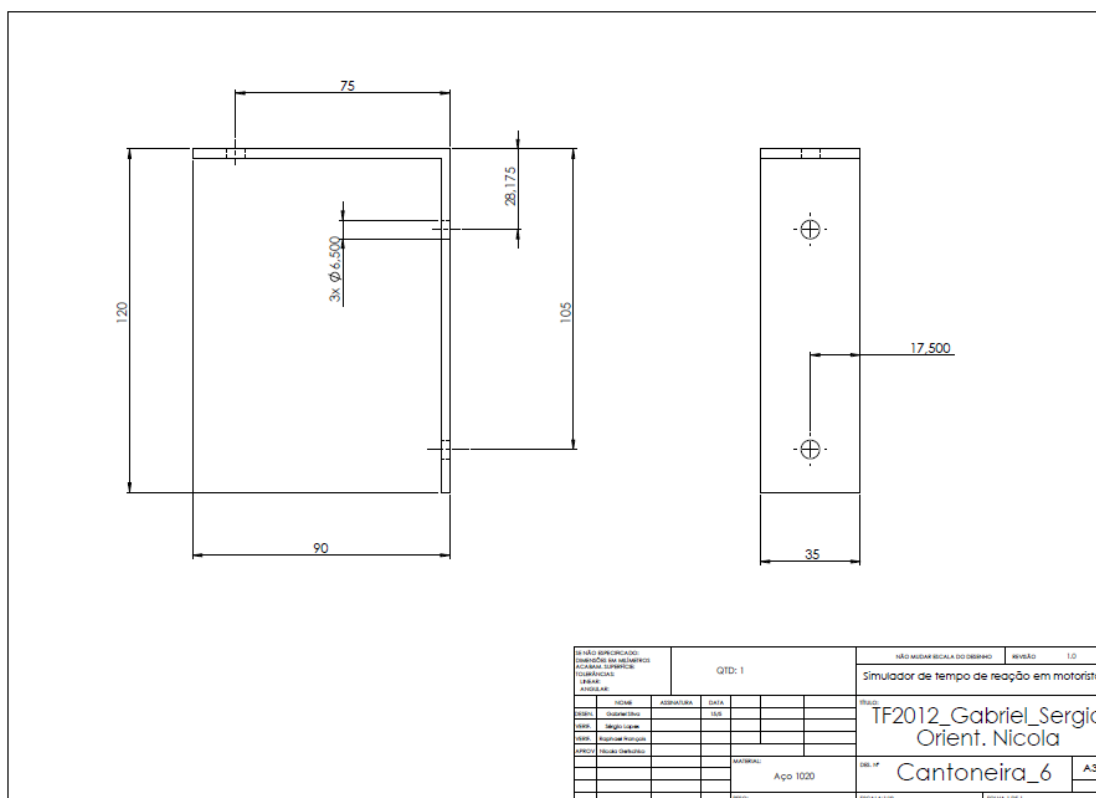


Figura B.3 - Cantoneira para fixação de sarrafos da estrutura modelo 6

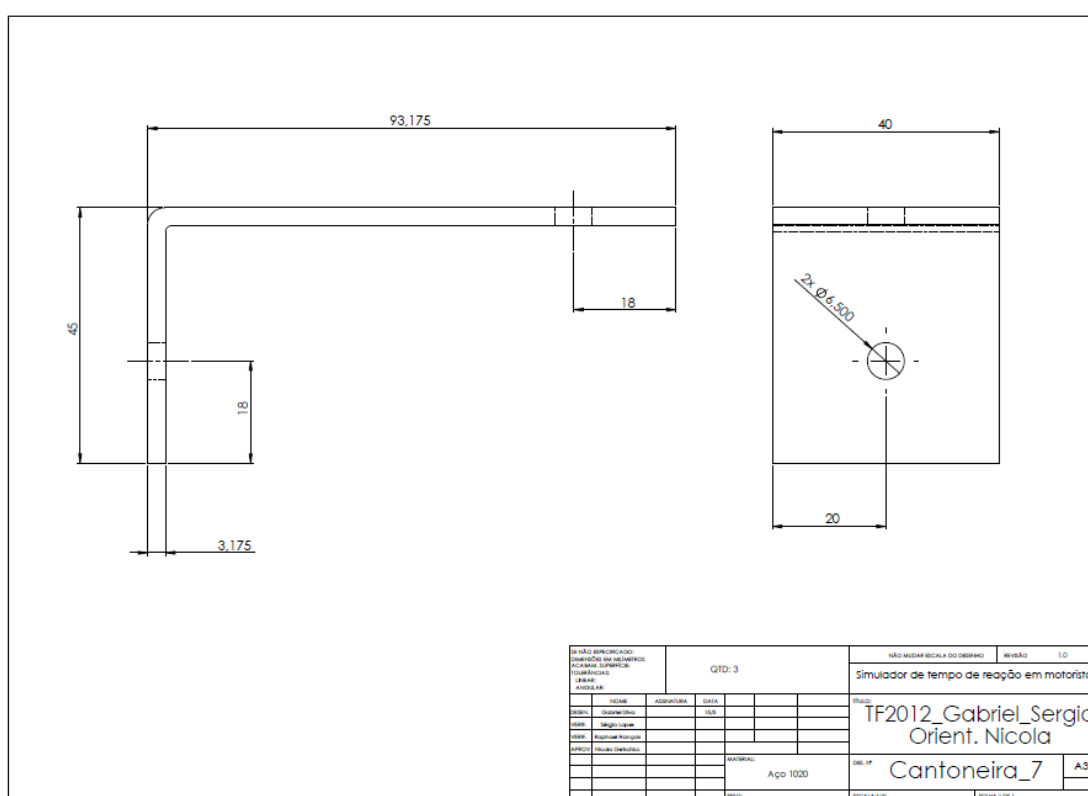


Figura B.4 - Cantoneira para fixação de sarrafos da estrutura modelo 7

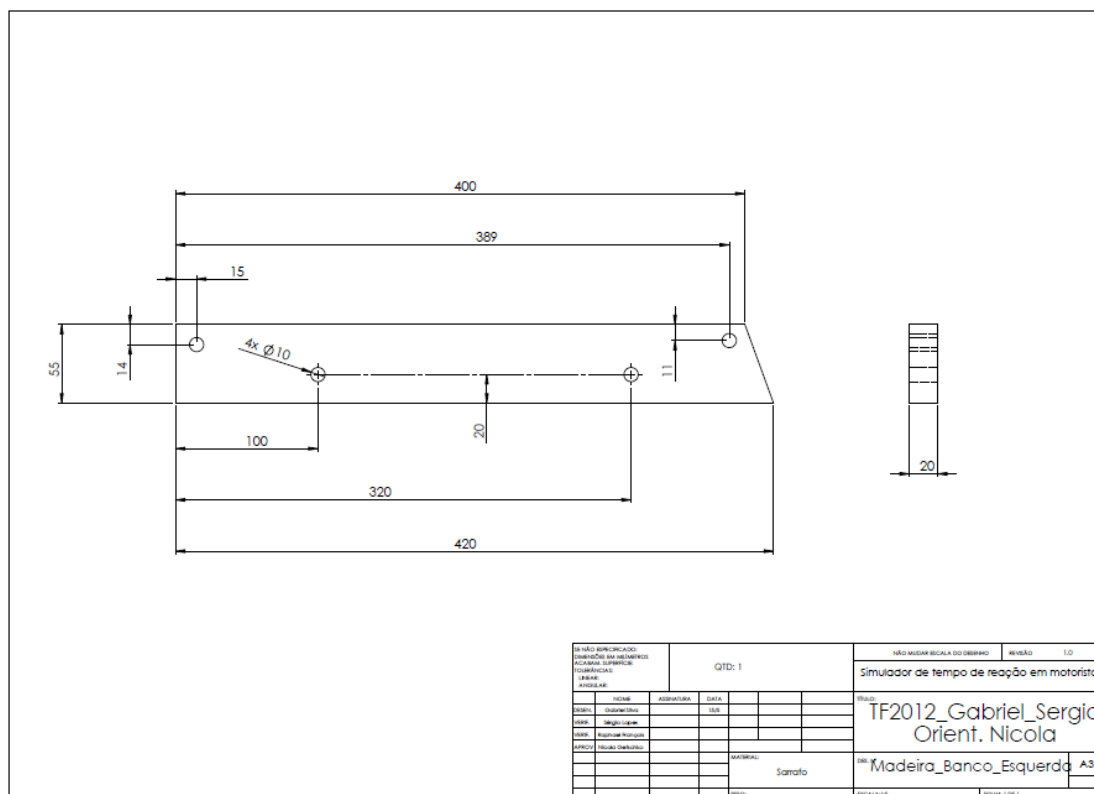


Figura B.5 - Madeira para fixação do banco na estrutura. Lado esquerdo.

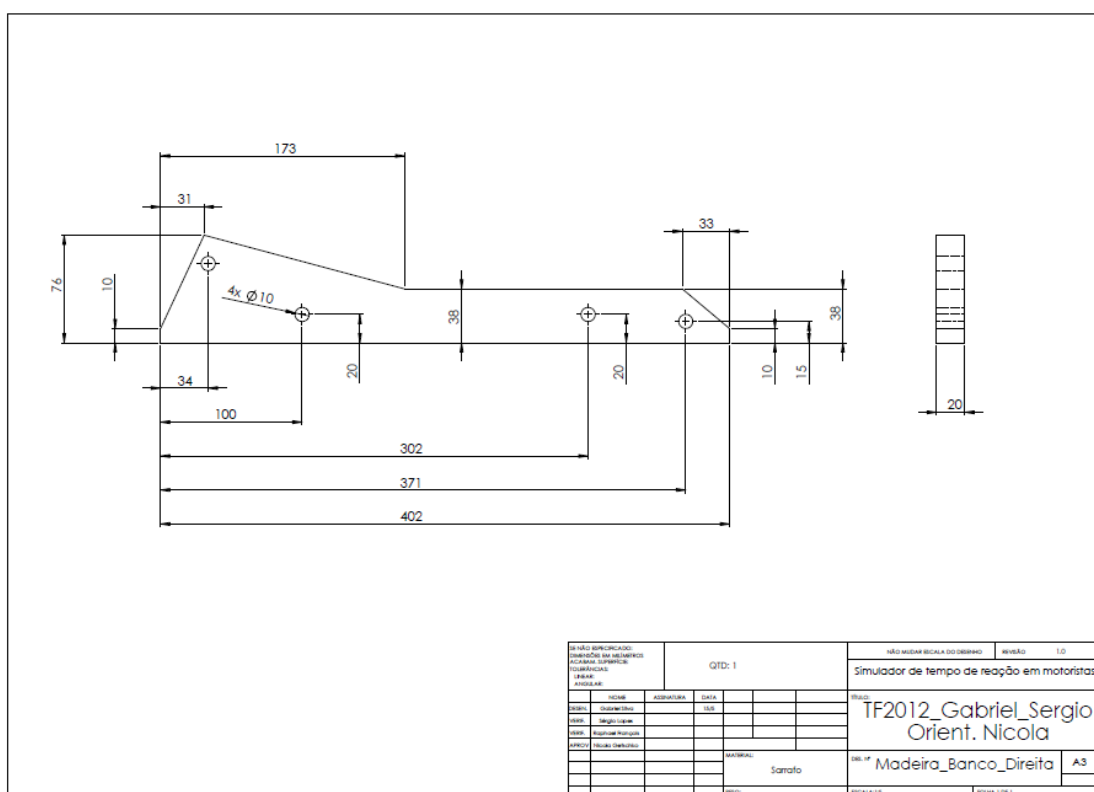


Figura B.6 - Madeira para fixação do banco na estrutura. Lado Direito.





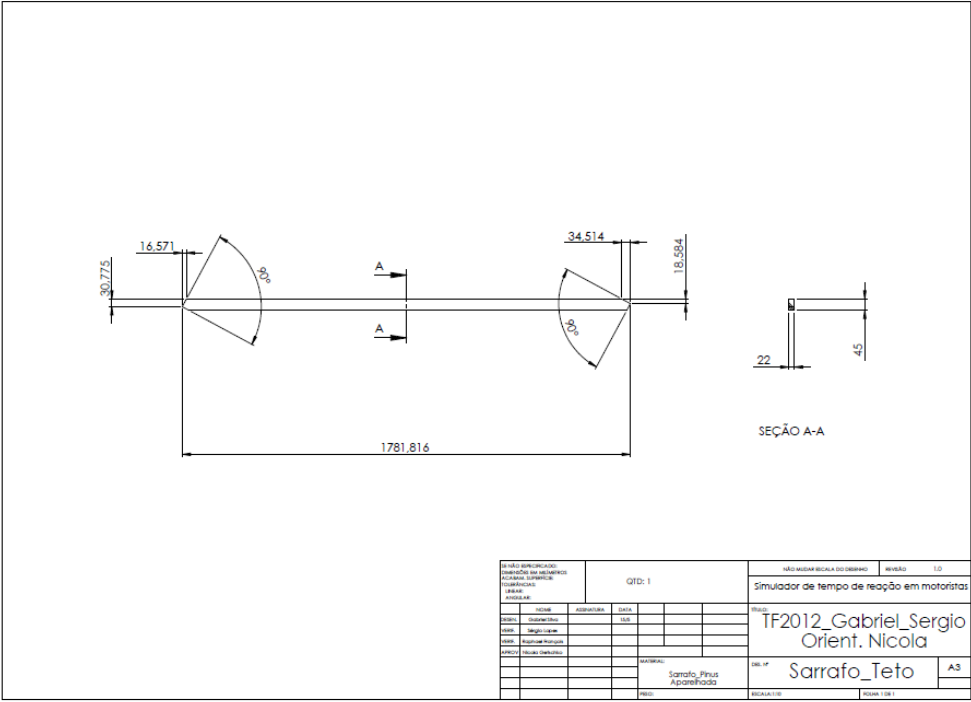


Figura B.9 - Sarrafo diagonal do teto do simulador

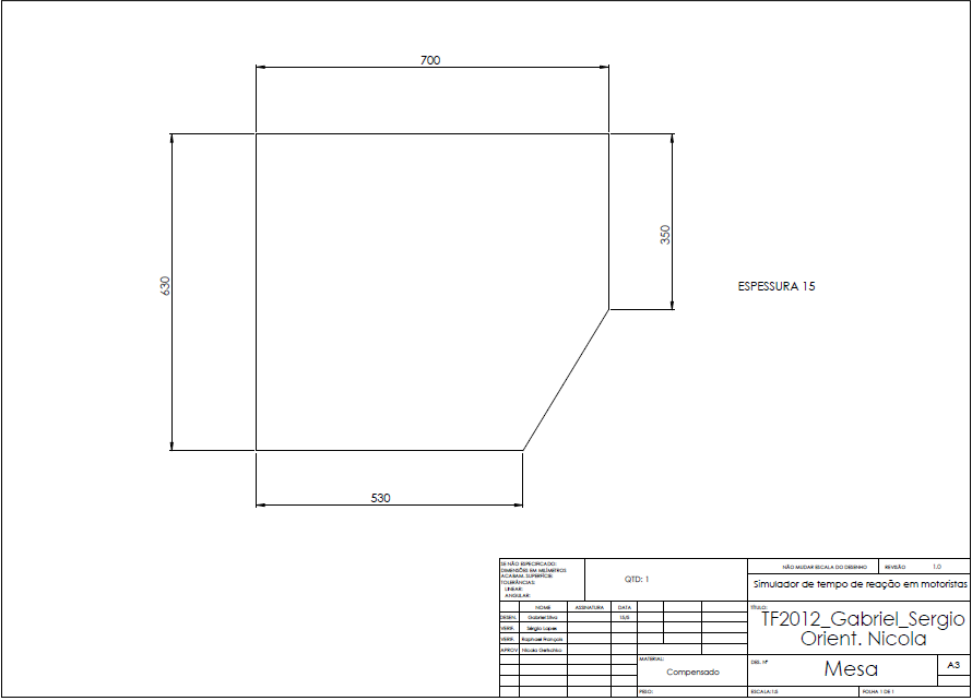


Figura B.10 - Mesa da TV e volante.



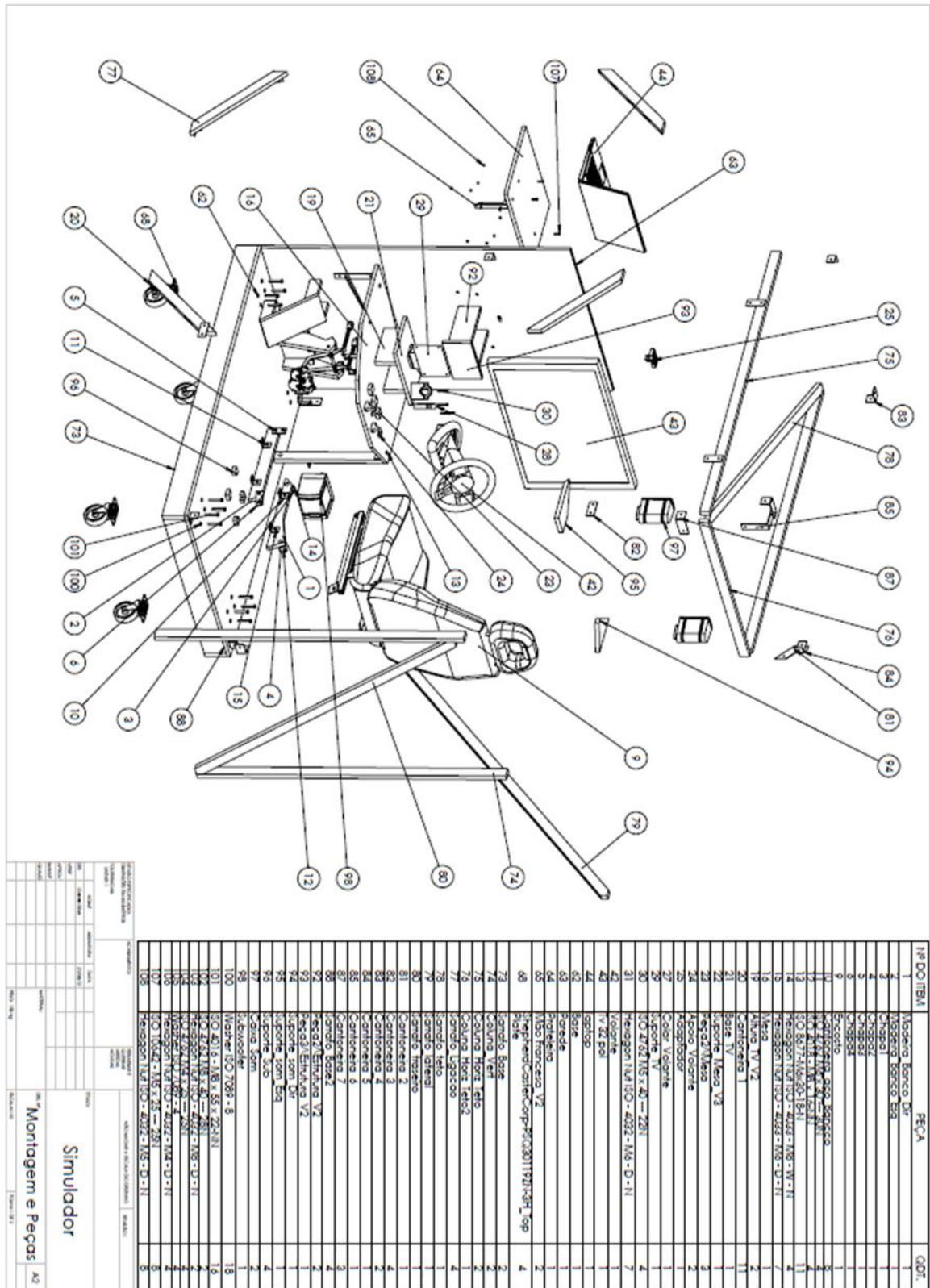


Figura B.12 – Desenho explodido e Lista de Materiais.

## B.3 Cartaz explicativo

# ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos

## SIMULADOR PARA MEDIÇÃO DE TEMPO DE RESPOSTA EM MOTORISTAS

Gabriel Gustavo de Góes Silva – PMR

Sérgio Luís Miragaia Lopes Jr. – PMR

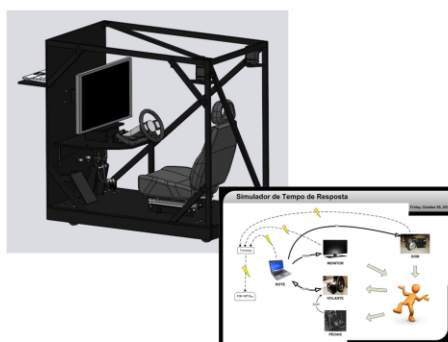
Raphael David François – PME

Orientador: Prof. Dr. Nicola Getschko – PMR

Este projeto está sendo desenvolvido como atividade de Iniciação Científica e como requisito parcial de obtenção do título de Graduado em Eng.<sup>3</sup> Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

### Objetivos:

- ✓ Projeto e construção do protótipo de baixo custo;
- ✓ Medição do tempo de resposta;
- ✓ Correlação entre o tempo de resposta e fatores modificadores (cansaço, nível alcoólico sanguíneo, uso de celular, etc.)



### Metodologia:

- ✓ Projeto conceitual com base na ergonomia do motorista em trânsito (protótipo similar a um automóvel em trânsito);
- ✓ Projeto detalhado e especificações técnicas;
- ✓ Construção conforme o projeto concebido;
- ✓ Testes de integração entre Mecânica, Elétrica e Software;
- ✓ Refinamento da projeto e da solução proposta conforme testes e coleta de dados preliminares;
- ✓ Tratamento dos dados coletados utilizando regressão de múltiplas variáveis.

Venha fazer o teste e ajude  
nosso trabalho!

**PARTICIPE!**

Figura B.13 – Cartaz explicativo.

## B.4 Dados coletados dos usuários

Tabela B.1 – Base de dados coletada nos testes.

Idade	Sexo	Tipo de distração	Cansaço	Tipo de reação	Tempo de Resposta (ms)
20	Masc	0	94	freio	905
21	Fem	0	57	freio	1150
22	Masc	0	68	freio	761
23	Masc	0	60	freio	871
18	Masc	0	78	freio	969
19	Masc	0	64	freio	846
22	Masc	0	57	freio	864
24	Masc	0	98	freio	846
22	Fem	0	79	volante	794
20	Masc	0	90	freio	939
21	Masc	0	82	freio	973
19	Masc	0	73	freio	816
24	Masc	0	71	volante	862
22	Masc	0	79	freio	925
22	Fem	0	85	freio	1079
20	Masc	0	58	freio	743
24	Masc	0	81	volante	767
18	Masc	0	27	freio	925
21	Masc	0	78	volante	1115
23	Masc	0	47	volante	877
24	Masc	0	35	freio	702
23	Masc	0	70	volante	873
21	Masc	0	72	volante	764
22	Masc	0	52	freio	936
21	Fem	0	81	volante	1066
20	Masc	0	76	freio	885
20	Fem	0	84	volante	941
23	Masc	0	67	freio	964
21	Masc	0	66	freio	934
22	Masc	0	87	freio	1221
21	Masc	0	71	freio	639
23	Masc	0	81	freio	998
21	Masc	0	84	freio	812
22	Masc	0	43	freio	526
21	Masc	0	81	freio	917
25	Masc	0	39	freio	787
20	Fem	0	65	volante	1101
23	Fem	0	100	freio	1249
25	Masc	0	56	volante	845

24	Masc	0	80	volante	1091
19	Masc	0	50	volante	956
18	Masc	0	35	freio	590
22	Masc	0	41	freio	604
25	Masc	0	33	freio	748
25	Masc	0	36	volante	779
23	Fem	0	71	volante	835
23	Masc	0	65	volante	748
24	Masc	0	48	freio	811
25	Masc	0	78	freio	925
24	Masc	1	75	freio	927
20	Masc	1	74	freio	1124
23	Masc	1	79	freio	821
18	Masc	1	88	freio	867
25	Masc	1	81	freio	1153
25	Masc	1	83	freio	1249
20	Fem	1	83	freio	1110
18	Masc	1	86	volante	887
21	Fem	1	64	freio	1107
19	Masc	1	95	freio	703
19	Masc	1	80	volante	726
23	Fem	1	96	freio	1023
24	Masc	1	63	volante	1026
18	Masc	1	78	volante	1100
19	Masc	1	72	volante	1108
20	Masc	1	91	freio	1153
21	Fem	2	85	freio	943
21	Masc	2	72	volante	1041
24	Masc	2	78	freio	1414
22	Masc	2	77	freio	858
25	Masc	2	81	freio	1156
19	Masc	2	71	freio	1130
20	Masc	2	72	freio	1025
18	Masc	2	84	freio	995
24	Masc	2	93	freio	874
22	Fem	2	73	volante	964
24	Masc	2	80	freio	1274
25	Fem	2	69	volante	1354
19	Masc	2	85	volante	1097
18	Masc	2	88	freio	1296
19	Fem	2	82	volante	1169
19	Masc	2	72	freio	995

