

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

JOÃO PEDRO VALENTINI SFFAIR

SIMULADOR DE VEÍCULO PARA AMBIENTE VIRTUAL

Porto Alegre

2009

JOÃO PEDRO VALENTINI SFFAIR

SIMULADOR DE VEÍCULO PARA AMBIENTE VIRTUAL

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro, **Eng.**

Professor Orientador:

Júlio César Marques de Lima

Porto Alegre, RS,
Março – Julho, 2009

SFFAIR, João Pedro Valentini

Simulador de Veículo para Ambiente Virtual

Porto Alegre, RS, 2009 março - julho

Monografia – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

1. Engenharia 2. Simulador 3. Ambiente virtual 4. Jogos eletrônicos.

Compilação, incluindo seleção de texto e imagem desta Monografia tem todos os direitos de reprodução reservados a João Pedro Valentini Sffair. Nenhuma parte desta Monografia pode ser compilada ou impressa, gravada e fotocopiada, através de qualquer meio mecânico ou eletrônico, sem a devida autorização, por escrito do autor e detentor dos direitos de reprodução. Pedidos devem ser enviados para endereço residencial, Rua Pedro Chaves Barcelos 1065/101; 90450010 – Porto Alegre, RS; ou para endereço eletrônico: jpeditorsffair@gmail.com, ou pelo telefone: (51) 99559103.

JOÃO PEDRO VALENTINI SFFAIR

SIMULADOR DE VEÍCULO PARA AMBIENTE VIRTUAL

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro, **Eng.**

Professor Orientador:

Me. Júlio César Marques de Lima

Banca examinadora:

Dr. Vicente Mariano Canalli

Dr. João Carlos Pinheiro Beck

Porto Alegre, RS, Brasil

1 de Julho de 2009

Aos meus pais, por todo amor, carinho, apoio, dedicação e compreensão, em todos os momentos de minha vida.

Ao meu irmão Gabriel pela grande amizade. À minha namorada Déia, pelo companheirismo, amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Essa monografia foi possível graças a duas pessoas muito importantes: meu irmão, Gabriel Sffair, pela iniciativa e generosidade, e minha namorada, Andréa Vilela, pelo incentivo e motivação. Aos dois meu eterno agradecimento. Agradeço a minha mãe, por ter me dado amor, carinho, compreensão e por ter me preparado para chegar até aqui e me fazer ter certeza de que posso seguir adiante, e ao meu pai, que apesar de ter me acompanhado por menos tempo que eu gostaria, me ajudou a ser quem eu sou. Ao meu tio Roberto e minha tia Flávia, que também sempre me apoiaram. À minha família, por ter sempre acreditado em mim e me dado suporte. Ao professor Júlio Marques de Lima pelo apoio, ajuda e grande amizade. Finalmente, gostaria de agradecer a Thanos Kodoyiannis, o projetista grego que inventou esse simulador, por ter disponibilizado seu projeto na internet. Esse projeto foi baseado no simulador criado por ele.

RESUMO

Projeto de Diplomação / Curso de Engenharia de Controle e Automação
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

SIMULADOR DE VEÍCULO PARA AMBIENTE VIRTUAL

Autor: **João Pedro Valentini Sffair**

Professor / Orientador: Júlio César Marques de Lima.

Data e local da defesa: 1 de Julho de 2009. Porto Alegre, RS.

Este trabalho visa a construção de um simulador de veículos para ambiente virtual de baixo custo e de projeto simples, cuja aplicação é voltada especialmente para jogos eletrônicos envolvendo corridas de automóveis.

No Capítulo I explica-se o histórico dos simuladores, o que são os graus de liberdade e qual o tipo de simulador selecionado. No Capítulo II é apresentado um estudo funcional, envolvendo as acelerações que serão simuladas, além da abrangência dos movimentos do simulador. No Capítulo III o projeto mecânico é detalhado, bem como os materiais e componentes utilizados. No Capítulo IV é descrito o esquema elétrico, os componentes envolvidos e os circuitos eletrônicos. O Capítulo V apresenta o funcionamento do simulador e quais programas são utilizados, suas funções e como eles se comunicam entre si.

Palavras-chave: simulador; monografia; ambiente virtual; jogos eletrônicos.

ABSTRACT

Diplomacy Project / Control and Automation Engineering Course
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

VEHICLE SIMULATOR FOR VIRTUAL ENVIRONMENT

By: **João Pedro Valentini Sffair**

Supervisor: Prof. Júlio César Marques de Lima.

Date and place: 1st of July, 2009. Porto Alegre, RS, Brazil.

The target of this study is the construction of a vehicle Simulator with low cost and simple project, with its main application in games of car racing.

In Chapter I a brief history of the simulators is explained, degrees of freedom are defined and the kind of simulator selected. In Chapter II a function study is shown, the accelerations that are going to be simulated are explained and the coverage of the simulator is defined. Chapter III shows the mechanical project of the structure as well as the materials and components used. In Chapter IV the electric schematic is presented, the components that were used are shown and the electric circuits that were developed are explained. Chapter V shows how the simulator works, the different computer programs that are used and how they exchange information between them.

Key words: Simulator; monograph; virtual environment; electronic gaming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Graus de Liberdade.....	13
Figura 2: Modelo do Simulador	14
Figura 3: Analogia entre acelerações reais e simulação	15
Figura 4: Movimento de <i>Bank</i> e <i>Pitch</i>	16
Figura 5: Estrutura do Simulador.....	17
Figura 6: Motor montado na torre <i>Pitch</i>	18
Figura 7: Rodízios antes da modificação	19
Figura 8: Rodízios após a modificação	19
Figura 9: Motor e torre do eixo <i>Pitch</i>	20
Figura 10: Motor e torre do eixo <i>Bank</i>	20
Figura 11: Diagrama de funcionamento do Hardware	21
Figura 12: Placa Serial	22
Figura 13: Esquema elétrico da placa serial.....	23
Figura 14: Kit Board of Education (Serial) - Full Kit Parallax	24
Figura 15: Ponte HB-25 Parallax.....	24
Figura 16: Central de processamento	25
Figura 17: Voltante Logitech.....	25
Figura 18: Cambio Logitech	26
Figura 19: Pedais Logitech.....	26
Figura 20: <i>Cockpit</i>	27
Figura 21: Esquemático de funcionamento do simulador.....	28
Figura 22: Tela do programa X-Sim Force-Sender captando valores do jogo	29
Figura 23: Tela de configuração dos eixos do <i>software</i> X-Sim Force-Profilers.....	30
Figura 24: Gráfico do eixo <i>Bank</i>	30
Figura 25: Gráfico do eixo <i>Pitch</i>	30
Figura 26: Tela de configuração da saída serial do <i>software</i> X-Sim Force-Profilers....	31
Figura 27: Fluxograma do programa da placa BS2.....	32

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
CONTEÚDO DOS CAPÍTULOS.....	11
CAPÍTULO I – SIMULADORES	12
1.1 HISTÓRICO	12
1.2 GRAUS DE LIBERDADE	13
1.3 SELEÇÃO DO SIMULADOR	14
CAPÍTULO II – PROJETO	15
2.1 ESTUDO FUNCIONAL	15
2.2 ACELERAÇÕES	16
CAPÍTULO III – ESTRUTURA MECÂNICA	17
3.1 PROJETO DA ESTRUTURA	17
3.2 MATERIAIS.....	18
3.3 COMPONENTES COMPLEMENTARES.....	19
CAPÍTULO IV – HARDWARE.....	21
4.1 ESQUEMÁTICO	21
4.2 COMPONENTES.....	22
4.3 COCKPIT.....	25
CAPÍTULO V – SOFTWARE.....	28
5.1 FUNCIONAMENTO	28
5.2 AQUISIÇÃO DE DADOS	29
5.3 PROCESSAMENTO	31
5.4 ACIONAMENTO DOS MOTORES	32
CONCLUSÃO.....	33
BIBLIOGRAFIA.....	35

INTRODUÇÃO

Um simulador envolve o usuário em um ambiente virtual, criando os efeitos e forças que existiriam se o ambiente fosse real. Quando se fala em simuladores, a primeira lembrança que geralmente aparece são máquinas muito grandes e muito caras, em parques de diversões ou centros de treinamento de pilotos. Este trabalho visa à construção de um simulador de corrida de automóveis relativamente simples, de uso doméstico, com tamanho reduzido e custo baixo, porém sem perder em desempenho ao criar as sensações de aceleração, frenagem e curvas.

CONTEÚDO DOS CAPÍTULOS

Capítulo I – Simuladores

No Capítulo I explica-se sobre os simuladores, sua história, sua base teórica de funcionamento e qual o modelo selecionado para este projeto.

Capítulo II – Projeto

No Capítulo II explica-se como o simulador funciona e quais as limitações do projeto.

Capítulo III – Estrutura Mecânica

No Capítulo III a estrutura mecânica é definida, os materiais utilizados são discriminados assim como os outros componentes.

Capítulo IV – Hardware

No Capítulo IV são definidos todos os elementos de hardware utilizados e suas respectivas funções.

Capítulo V – Software

No capítulo V é explicado como o simulador funciona, que programas são utilizados e como os dados são adquiridos e processados.

CAPÍTULO I – SIMULADORES

1.1 HISTÓRICO

Os Estúdios Universal foram os precursores em simuladores com sua atração *The Fantastic World of Hanna-Barbera*, em 1990. Os visitantes eram lançados em um foguete e as sensações de aceleração eram sentidas através de bancos móveis. A atração consistia em doze bases móveis, cada uma contendo oito assentos, para um total de noventa e seis passageiros. O simulador tinha quatro graus de liberdade. A primeira fileira continha bancos sem a simulação, para os clientes que quisessem somente assistir ao filme, que não tivessem a altura mínima de 40 polegadas (em torno de 1m), mulheres grávidas, pessoas suscetíveis a náusea, com problemas de coração ou de coluna. Ocasionalmente, as pessoas entravam em pânico devido à grande movimentação dos bancos e a atração era parada pelos operadores.

A Disney desenvolveu um projeto similar e abriu o *Star Tours* em 1987. Apesar da atração da Disney ter sido inaugurada antes, a idéia original foi dos Estúdios Universal. Ambas as atrações utilizavam uma plataforma de simulação, com a base dos assentos paralela ao solo enquanto se movia circularmente ao longo de um plano vertical. Logo em seguida surgiram novas atrações com simulação, como *Back to the Future: The Ride*, baseada nos filmes De Volta para o Futuro, que abriu em 1991 nos Estúdios Universal Florida e que fechou em 2007 para dar lugar a atração *The Simpsons Ride*. Entre outras atrações podemos destacar *Rocket Power Air Time*, uma atração que simula um foguete, no parque Paramount's Carowinds, Corkscrew Hill, onde os usuários viajam em miniatura pela antiga e mágica Irlanda, no parque Busch Gardens Williamsburg, *The Amazing Adventures of Spider-Man*, atração com tema sobre o super herói Homem Aranha, no parque *Island of Adventure*, dos Estúdios Universal e *Akbar's Adventure Tours*, no parque Busch Gardens Tampa.

1.2 GRAUS DE LIBERDADE



Figura 1: Graus de Liberdade

Os graus de liberdade são um conjunto de movimentos independentes que definem a posição exata de um corpo ou sistema. Este conceito é amplamente utilizado nas áreas de engenharia mecânica, aeronáutica e estrutural, robótica, etc.

Enquanto uma partícula em um universo de três dimensões possui três graus de liberdade, todos lineares, um corpo rígido em três dimensões possui seis graus de liberdade, três translacionais e três rotacionais. São eles:

1. Mover-se para cima e para baixo (*Heaving*);
2. Mover-se para esquerda e para direita (*Swaying*);
3. Mover-se para frente e para trás (*Surging*);
4. Inclinar-se para frente e para trás (*Pitching*);
5. Girar para esquerda e para direita (*Yawing*);
6. Inclinar-se para esquerda e para direita (*Rolling*).

Os simuladores podem proporcionar movimentos em até seis graus de liberdade, porém a maioria dos simuladores geralmente possuem menos graus de liberdade ou, através de alguns movimentos, transmitem a sensação de outros graus de liberdade, como é o caso do simulador descrito nesse trabalho.

1.3 SELEÇÃO DO SIMULADOR

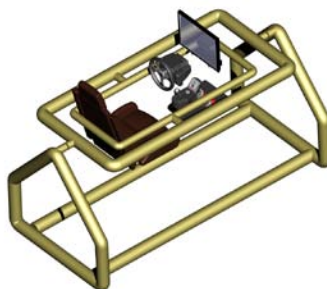


Figura 2: Modelo do Simulador

Existem simuladores nas mais variadas escalas e custos. Os grandes simuladores, como os encontrados em parques de diversão ou usados para treinamento comercial e militar, são os mais caros e com mais tecnologia embarcada, enquanto que os simuladores pequenos, encontrados em fliperamas ou feitos em casa, são muito mais simples e muito mais baratos, porém com menos recursos.

Um simulador pode ser para uma ou mais pessoas, pode ser movido por motores elétricos, atuadores pneumáticos ou hidráulicos, e pode ter de um a seis graus de liberdade.

Para esse trabalho foi escolhido um simulador acionado por correias movidas por motores elétricos. Essa escolha foi feita devido ao baixo custo e por ser constituído de peças simples e fáceis de encontrar, aliado a um desempenho muito bom, transmitindo as sensações de aceleração e frenagem (eixo *Pitch*) e curvas (eixo *Bank*) de forma convincente.

CAPÍTULO II – PROJETO

2.1 ESTUDO FUNCIONAL

O funcionamento do simulador inicia na parte interna do ouvido, o sistema vestibular. Esse sistema, que é constituído por uma estrutura óssea dentro da qual se encontra um sistema de tubos membranosos cheios de líquido, transmite impulsos nervosos ao cérebro, indicando variações na nossa posição. O sistema vestibular é o responsável pelo equilíbrio dos seres invertebrados. Devido a ele que nós conseguimos nos manter de pé, e por causa dele que as vezes sentimos enjôo quando estamos em um barco ou ficamos tontos quando giramos demais.

O segredo está no fato de que o cérebro, sem referencia visual, não sabe dizer se estamos deitados de costas ou acelerando a 1 g (1 g é a força a que é submetido um objeto estacionário na superfície da Terra). O simulador funciona substituindo a aceleração real, que seria sentida, por exemplo, ao fazer uma curva para a direita, pela força gravitacional correspondente, inclinando o banco, e, portanto o piloto e seu sistema vestibular, para o lado oposto. Se o jogador não tiver referencia visual, ou ainda, se ele estiver influenciado pela imagem do jogo, que diz que ele esta de fato fazendo uma curva, a sensação é a mesma que seria sentida em uma situação real.

A figura 3 apresenta uma analogia entre as forças de acelerações e frenagem com o movimento de *Pitch* utilizado em um simulador.

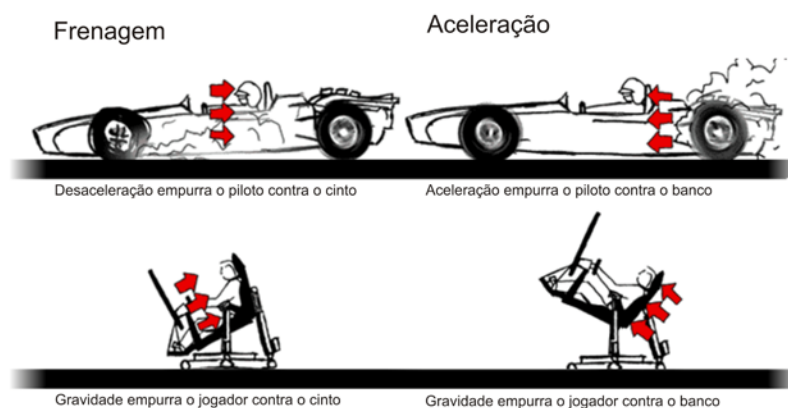


Figura 3: Analogia entre acelerações reais e simulação

2.2 ACELERAÇÕES

Ao pilotar um carro, o usuário sofre vários tipos de acelerações, quando acelera e freia, faz curvas, passa em um buraco, bate em outro carro ou objeto, quando “solta” a traseira em uma curva, entre outros.

Esse simulador possui somente dois graus de liberdade. Ele pode inclinar-se para frente e para trás, no movimento que será definido agora como *Pitch*, e também pode inclinar-se para a esquerda e para direita, no movimento que será definido agora como *Bank* ou Roll. A figura 4 ilustra esses movimentos.

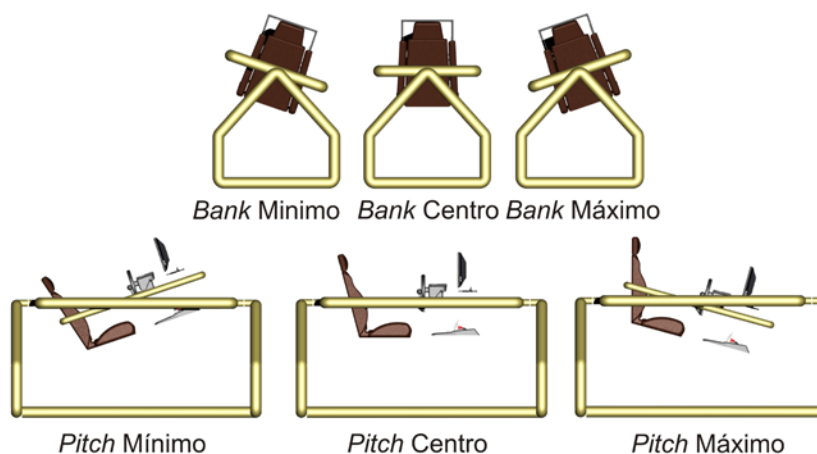


Figura 4: Movimento de *Bank* e *Pitch*

Apesar de esses dois movimentos representarem diretamente a aceleração/frenagem e curvas, alguns outros efeitos também são sentidos, como por exemplo algumas batidas laterais são transmitidas como uma pequena oscilação. Isso acontece porque o programa que retira as informações do jogo envia ao programa os valores de força longitudinal (*Pitch*) e força lateral (*Bank*). Alguns movimentos, devido a essa limitação, são impossíveis de simular, como é o caso de um escorregamento ou uma capotagem.

CAPÍTULO III – ESTRUTURA MECÂNICA

3.1 PROJETO DA ESTRUTURA

A estrutura do simulador é construída em volta de um *cockpit*, que inclui um banco de corrida, volante, câmbio, pedais e um monitor. Este habitáculo está ligado a uma estrutura retangular, através de dois rodízios modificados, localizados nas laterais da estrutura. Os rodízios permitem que o *Cockpit* gire, realizando um movimento chamado *Pitch*. O retângulo externo, por sua vez, está ligado à base do simulador, também pela presença de rodízios, na frente e atrás, permitindo que ele gire, realizando o movimento *Bank*.



Figura 5: Estrutura do Simulador

Esta estrutura, devido à presença dos rodízios, permite que o simulador se incline. Essa inclinação é gerada por dois motores elétricos de limpador de pára-brisas, que acionam uma polia que move uma correia, fixada nas estruturas. Os motores estão fixados em duas torres. A torre do *Bank* fica localizada do lado esquerdo do simulador, fixada na base, e a correia prende a estrutura retangular externa, levantando e baixando a lateral, gerando o movimento. A torre do *Pitch* fica presa na parte da frente do simulador e tem uma fixação um pouco mais complicada. Ela tem que mover a estrutura retangular interna produzindo o movimento *Pitch*, porém ela

deve se mover junto com a estrutura externa, que se inclina ao realizar o movimento *Bank* e essa torre limita o movimento *Bank*, pois sua parte inferior interfere com a base.



Figura 6: Motor montado na torre *Pitch*

3.2 MATERIAIS

O material escolhido para compor a estrutura foi o tubo de PVC, pela resistência aliada ao baixo peso, e custo relativamente baixo. Ele se mostrou suficiente para quase toda a estrutura, exceto nas barras laterais do *Cockpit*, que foram substituídas por tubos de alumínio. Os tubos de alumínio se mostraram muito mais resistentes e com peso e custo semelhante aos tubos de PVC, além de se ajustarem melhor as conexões de PVC.

O *Cockpit*, que fica preso ao retângulo interno da estrutura, foi construído com cantoneiras perfuradas, devido ao seu baixo peso, resistência suficiente e principalmente pela facilidade de montagem, corte e fixação dos periféricos.

3.3 COMPONENTES COMPLEMENTARES



Figura 7: Rodízios antes da modificação

Os componentes complementares são os rodízios, o banco e as torres que dão suporte aos motores.

Os rodízios possuem rolamentos com carreira dupla de esfera. Este tipo de rolamento suporta pressão tanto axial como radial. A roda dos rodízios é retirada, e as pontas dobradas, para permitir sua fixação, através de parafusos, à estrutura.



Figura 8: Rodízios após a modificação

O banco é do tipo concha, utilizado em automóveis de corrida, proporcionando uma sensação próxima de estar em um *Cockpit* de verdade. O banco tipo concha, apesar de não ser muito confortável, fornece bastante suporte lateral ao corpo, evitando que o piloto escorregue nas curvas. Ele também permite que seja utilizado um cinto de quatro ou cinco pontos de fixação, caso necessário. O banco possui um trilho na parte inferior, permitindo uma regulagem dependendo da altura do piloto, mas essa função foi desabilitada devido à falta de espaço no simulador. Os trilhos são fixados em cantoneiras, que por sua vez são fixadas na estrutura tubular do retângulo interno.

As torres, onde ficam os motores elétricos e as suas respectivas correias, são construídas com barras em perfil L e fixadas na estrutura por parafusos. Essas torres

Figura 10: Motor e torre do eixo *Bank*

onde passam as correias, e uma das roldanas de cada torre possui regulagem, para que a tensão na correia seja ajustada. As figuras 9 e 10 mostram detalhes dessa construção.



Figura 9: Motor e torre do eixo *Pitch*



Figura 10: Motor e torre do eixo *Bank*

CAPÍTULO IV – HARDWARE

4.1 ESQUEMÁTICO

O projeto elétrico foi definido de acordo com a necessidade de envio de informações entre os vários componentes. Foi construída uma placa serial contendo todos os elementos que não estão presentes na placa BS2 e conectores para comunicação com os outros elementos.

O sistema possui sete componentes: O computador, que roda o jogo e envia as informações das acelerações, a placa serial, a placa com o processador *Basic Stamp 2* (BS2), as pontes H, os potenciômetros, as fontes e os motores elétricos. A figura 11 mostra o esquema elétrico do simulador.

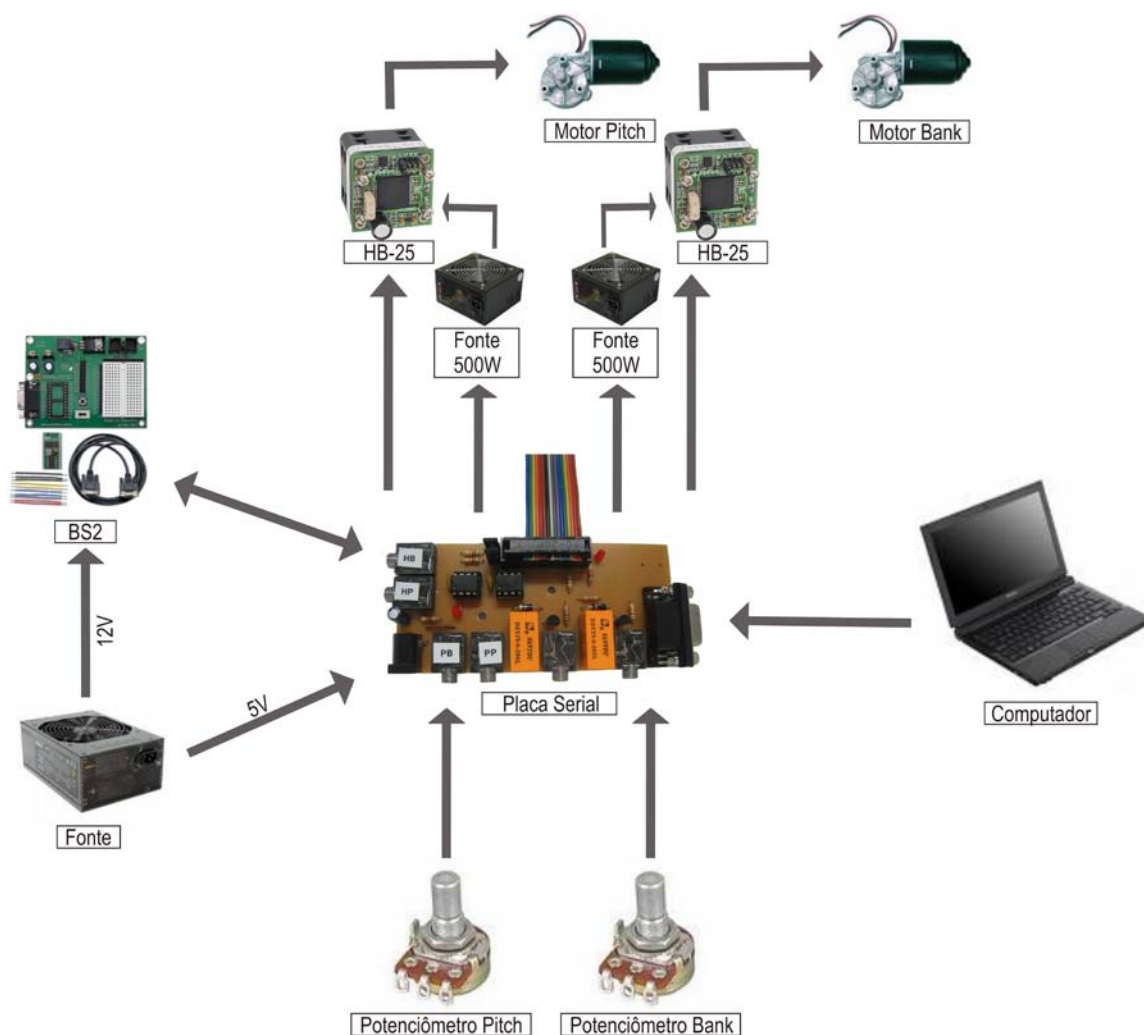


Figura 11: Diagrama de funcionamento do Hardware

4.2 COMPONENTES

O computador utilizado é um notebook Sony Vaio, processador Centrino Duo de 1,83 GHz, 1 Gb de RAM e placa de vídeo NVidia GeForce GO 7400 128Mb, rodando o jogo *Live For Speed*, porém qualquer computador pode ser utilizado, inclusive um desktop, desde que seja capaz de rodar o jogo escolhido.



Figura 12: Placa Serial

A placa serial (Figura 12), além de possuir a porta serial que recebe as informações do computador relativas às acelerações criadas no jogo, recebe também os sinais dos potenciômetros de posição, liga e desliga as fontes dos motores, ativa as pontes H e troca informações com a placa *Basic Stamp 2*. A figura 13 mostra o esquemático da placa serial.

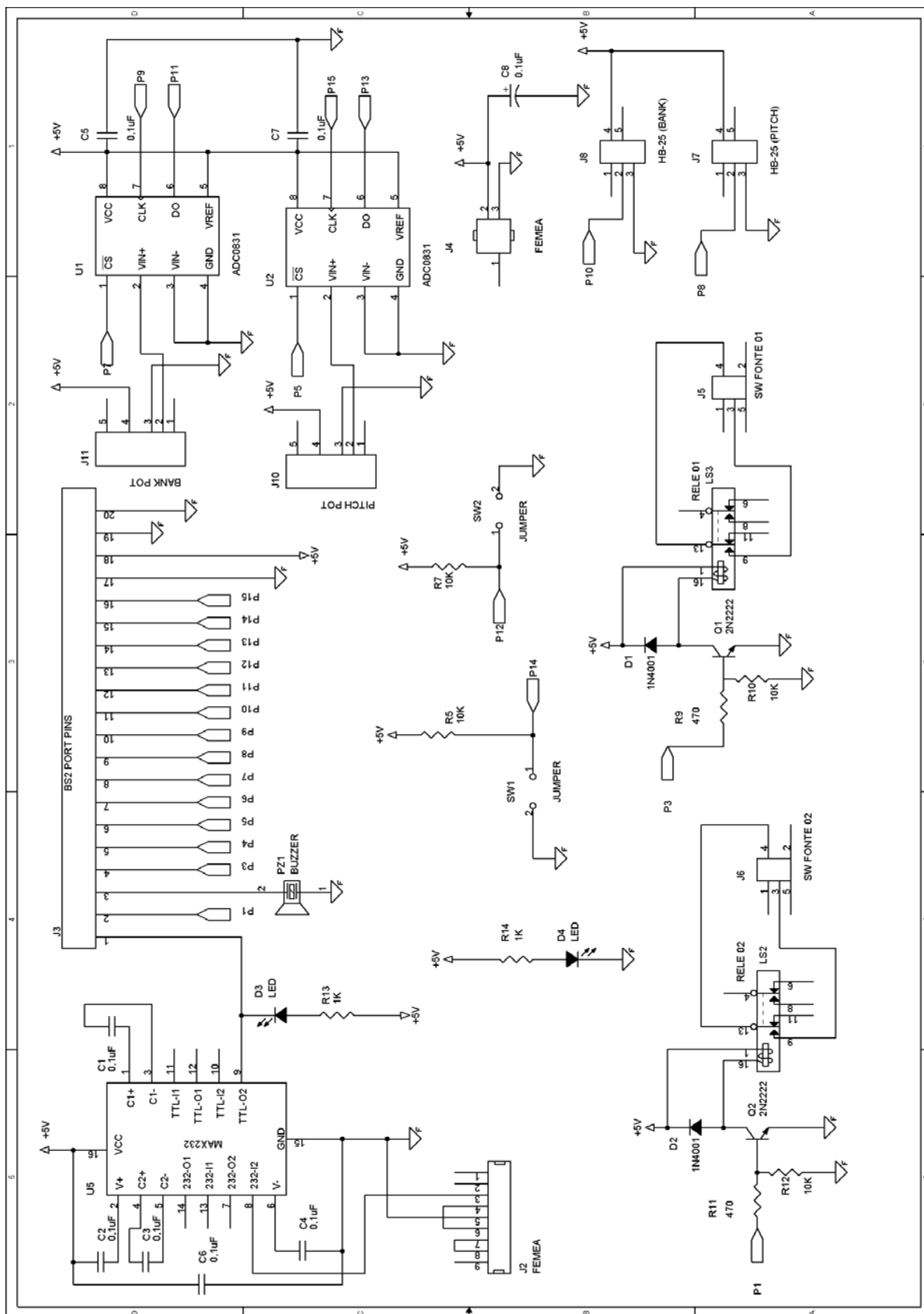


Figura 13: Esquema elétrico da placa serial



Figura 14: Kit Board of Education (Serial) - Full Kit Parallax

A placa que contém o processador *Basic Stamp 2* é o kit *Board of Education (Serial) – Full Kit*, desenvolvido pela Parallax. A placa contém uma entrada para alimentação 9V, através de bateria ou plugue P4, um conector serial DB9 fêmea, uma barra de pinos, uma *protoboard* de 5.1 x 3.5 cm e o processador *Basic Stamp 2*. Este kit foi desenvolvido para facilitar a utilização do processador Basic Stamp 2, que é muito versátil. A linguagem utilizada na programação é *BASIC*. Esta placa recebe os dados do computador e dos potenciômetros da placa serial através da barra de pinos (a entrada serial é utilizada somente para programação), realiza o processamento e envia os dados de volta para a placa serial, que ativa as pontes H pertinentes.



Figura 15: Ponte HB-25 Parallax

As pontes H modelo HB-25 *Motor Controller*, da Parallax, são responsáveis por acionar os motores elétricos. Entre suas especificações, deve-se destacar: utilização até motores de 0.5HP, alimentação de 6-16VDC, corrente 25A contínuo ou 35A de pico, sua temperatura de operação de 0 a 70°C e ainda possui ventilação forçada para refrigeração.

As duas placas e as pontes H foram montadas em uma maleta de plástico, para facilitar o transporte. Nessa central de processamento foram feitos furos para a entrada da porta serial, dos potenciômetros, dos switches das fontes e da alimenta-

ção. Também foram fixadas duas placas de MDF, dos dois lados, para dar mais suporte a fixação dos componentes.

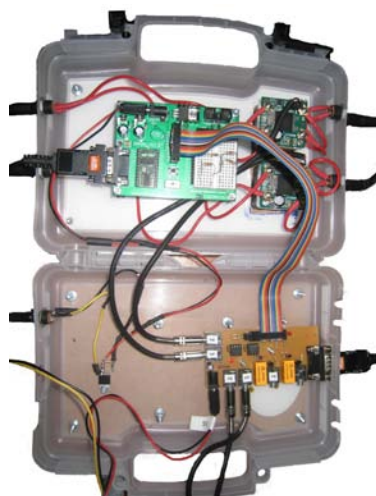


Figura 16: Central de processamento

O controle de posição é feito através de dois potenciômetros, fixos nos rodízios. São potenciômetros de $100k\Omega$ e 90 graus. O curso reduzido destes potenciômetros ajudam a melhorar a resolução da leitura do conversor A/D.

O simulador é alimentado por dois tipos de fonte. Uma fonte alimenta a placa serial com 5 V e também o BOE com 9V. Essa alimentação é originalmente de 12 V, regulada em 9V através de um regulador do tipo 7809. As outras duas fontes alimentam as pontes H, que por sua vez alimentam os motores. Essas fontes foram modificadas. Foi adicionado um switch, para ligar e desligar a fonte e uma saída tipo P4 de 12 V. Os motores elétricos são os mesmos utilizados no vidro elétrico do automóvel da Volkswagen Fox.

4.3 COCKPIT



Figura 17: Voltante Logitech



Figura 18: Cambio Logitech



Figura 19: Pedais Logitech

No *cockpit* estão fixados o volante, o câmbio, os pedais e o monitor. O conjunto, formado pelo volante, câmbio e pedais, é da marca Logitech, modelo G25. O câmbio é de seis marchas, com opção de troca seqüencial, e possui oito botões e um botão direcional, todos configuráveis. O volante gira 900 graus ou duas voltas e meia, possui dois botões configuráveis e dois acionadores do tipo borboleta. O conjunto ainda possui três pedais, que também são configuráveis. O volante é equipado com *force feedback*, que é um sistema que permite que o usuário sinta algumas das sensações do jogo onde ele é utilizado, como por exemplo, quando se faz uma curva, ao soltar o volante, o mesmo retorna a posição original. Esse tipo de volante faz com que o computador gere os dados de aceleração, e são esses dados que serão enviados para a placa serial. A utilização deste conjunto permite que o simulador seja construído, ou pelo menos facilita sua programação. O monitor utilizado no projeto é de 15", porém qualquer monitor poderia ser utilizado, desde que seja possível sua montagem na estrutura.

A alimentação do *cockpit* é feita através das fontes originais dos componentes. O monitor e o volante ainda devem ser ligados ao computador através de entrada de vídeo e USB, respectivamente. A figura 20 mostra o *cockpit* montado.



Figura 20: Cockpit

CAPÍTULO V – SOFTWARE

5.1 FUNCIONAMENTO

O simulador funciona processando o erro entre a posição que ele deveria estar e a posição indicada pelos potenciômetros. Durante uma corrida, várias sensações são sentidas pelo piloto devido as acelerações a que ele é submetido. O jogo, forçado pela utilização de um volante com *force feedback*, atribui valores a essas acelerações. Esses valores são adquiridos pelo programa X-Sim *Force-Sender*, que os envia para o programa X-Sim *Force-Profiler*, onde são processados e enviados à placa serial. A figura 21 mostra o funcionamento do simulador, incluindo os programas.

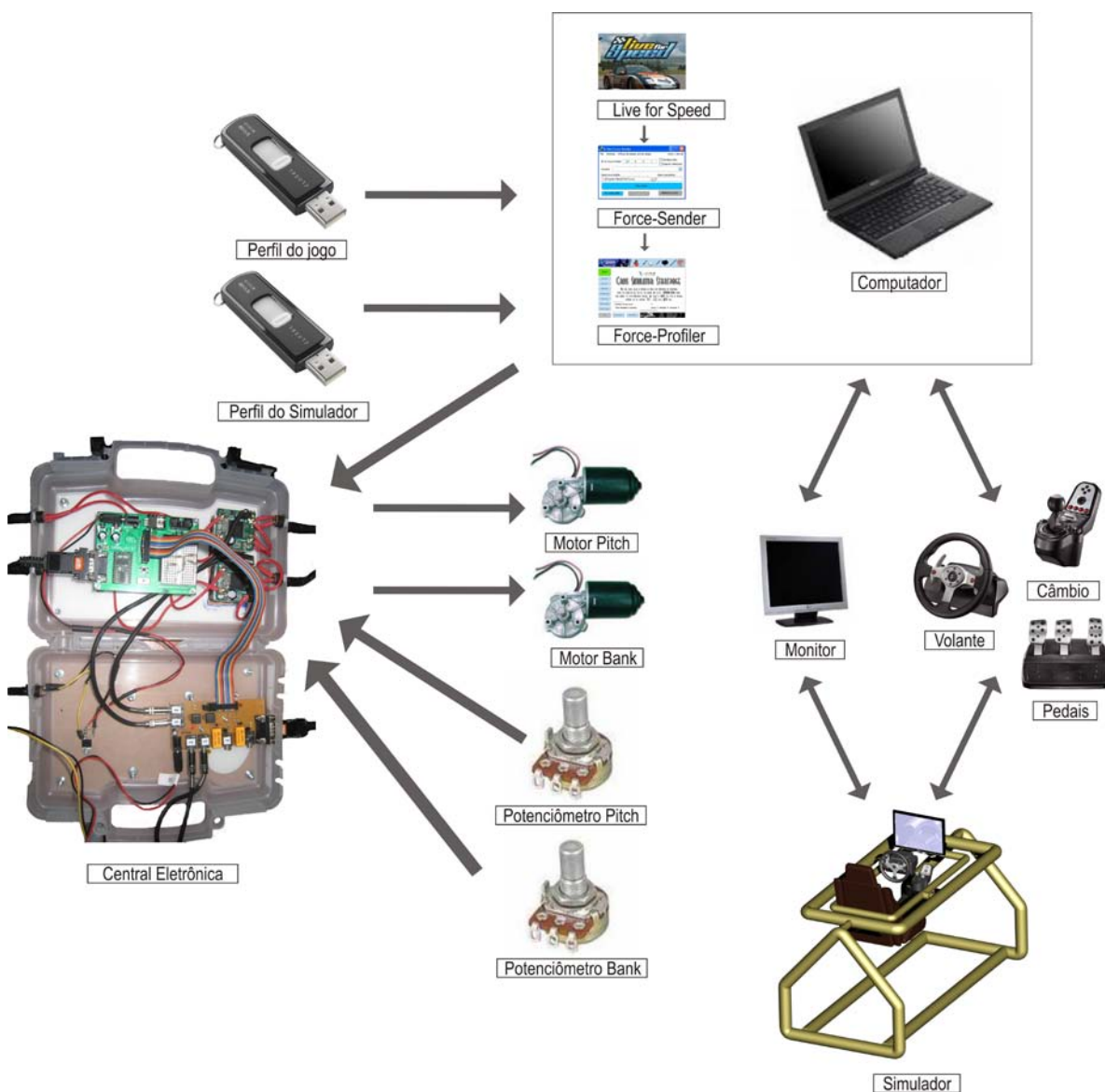


Figura 21: Esquemático de funcionamento do simulador

5.2 AQUISIÇÃO DE DADOS

O Programa X-Sim *Force-Sender* deve-ser configurado de acordo com o jogo utilizado. Por ser um jogo popular entre os construtores de simuladores, a configuração para o *Live For Speed* já vem no programa. Esse programa envia os dados do jogo para o *Force-Profiler*. A figura 22 é uma exemplo de valores produzidos pelo jogo e adquiridos pelo *software*.


outsim			
time	16160	<input type="checkbox"/> game paused	
LFS OUTSIM Section	X	Y	Z
Angular Velocity	0.067	0.028	-0.007
Orientation	-0.305	-0.013	-0.002
Acceleration	1.166	1.738	1.307
Velocity	8.127	26.170	-0.350
Position	-1.#QO	0.000	0.000
Game ID	0		
LFS OUTGAUGE Section			
Speed	2750		
Gear	3		
Turbo	0		
LatAcceleration	0.591		
LongAcceleration	2.008		
Connection errors:	0		

Figura 22: Tela do programa X-Sim Force-Sender captando valores do jogo

No *Force-Profiler* esses valores podem ser atribuídos a os eixos e configurados. Neste simulador, foram utilizados dois “efeitos”: Força Lateral para o movimento *Bank* e Força Longitudinal para o efeito *Pitch*. A lista de “efeitos” e os dois citados podem ser conferidos na figura 23.

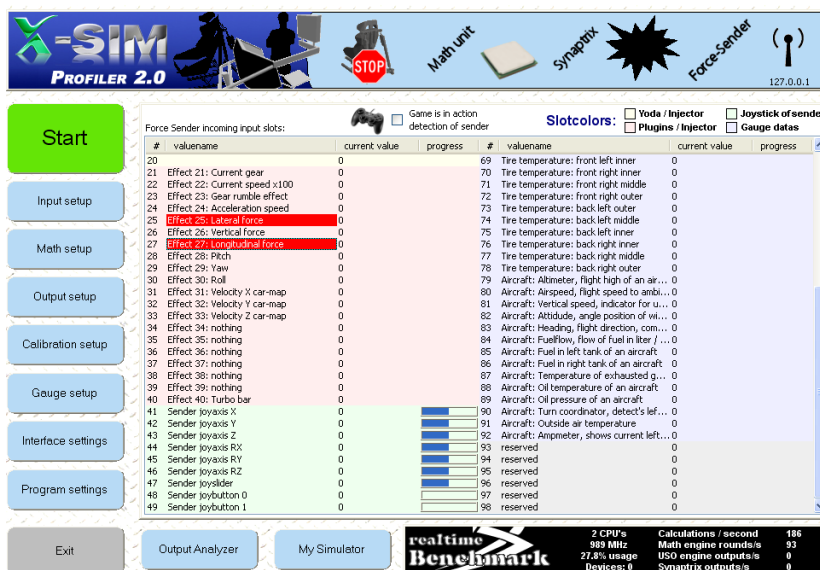


Figura 23: Tela de configuração dos eixos do software X-Sim Force-Profiler

Esses valores podem ser configurados no programa. Inicialmente eles são uma cópia dos valores originais, mas podem ser invertidos, limitados, amplificados ou atenuados, e ainda podem ser atribuídos a sensações diferentes, como aceleração e impacto. Ambos os efeitos foram configurados como aceleração, sem redução ou amplificação, o efeito *Bank* foi invertido, devido a construção do simulador (o motor poderia ser invertido ou o programa da placa BS2 poderia ser modificado para evitar a inversão do sinal, o que será explicado posteriormente) e o efeito *Pitch* foi limitado em valores diferentes para positivo (aceleração) e negativo (frenagem) já que essas forças não são de intensidade simétrica (a frenagem é muito mais forte que a aceleração). Esses valores são então enviados a placa serial. As figuras 24 e 25 mostram um exemplo dos gráficos gerados pelo programa e cujos valores são enviados à placa serial. A figura 24 representa a aceleração lateral e a figura 25 representa a aceleração longitudinal. Pode-se notar que, na figura 25, ao iniciar a corrida, quando o carro arranca, existe uma grande aceleração e as quedas bruscas são as trocas de marcha.

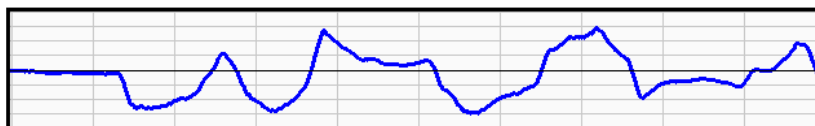


Figura 24: Gráfico do eixo *Bank*.

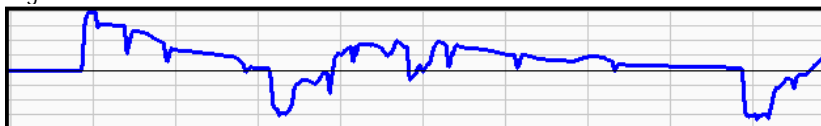


Figura 25: Gráfico do eixo *Pitch*.

Na configuração da saída serial do programa, especificam-se a porta serial utilizada, a taxa de transferência, que deve ser a mesma da placa BS2, os dados que devem ser enviados e o tempo de ciclo. Os dados enviados são do tipo “B~a01~P~a02~”. Essa linha de comando envia a letra “B”, depois o valor “a01” que é o equivalente a força lateral, a letra “P” e o valor “a02” que corresponde à força longitudinal. Essas e outras configurações podem ser observadas na figura 26.



Figura 26: Tela de configuração da saída serial do *software X-Sim Force-Profiler*

5.3 PROCESSAMENTO

A placa serial recebe os valores das acelerações e também os valores de posição dos potenciômetros. Ambos são enviados para a placa BS2. A placa BS2 calcula a diferença entre esses valores, ou seja, o erro entre posição atual e posição necessária, e o transforma em um sinal, que é enviado para as pontes H, através da placa serial, movendo os motores no sentido correto e na intensidade correta.

Além do processamento, a placa serial tem um recurso de timeout, caso os potenciômetros não respondam, mantendo o simulador na posição inicial, até que o controle seja restabelecido.

O programa da placa serial é representado pelo fluxograma da figura 27.

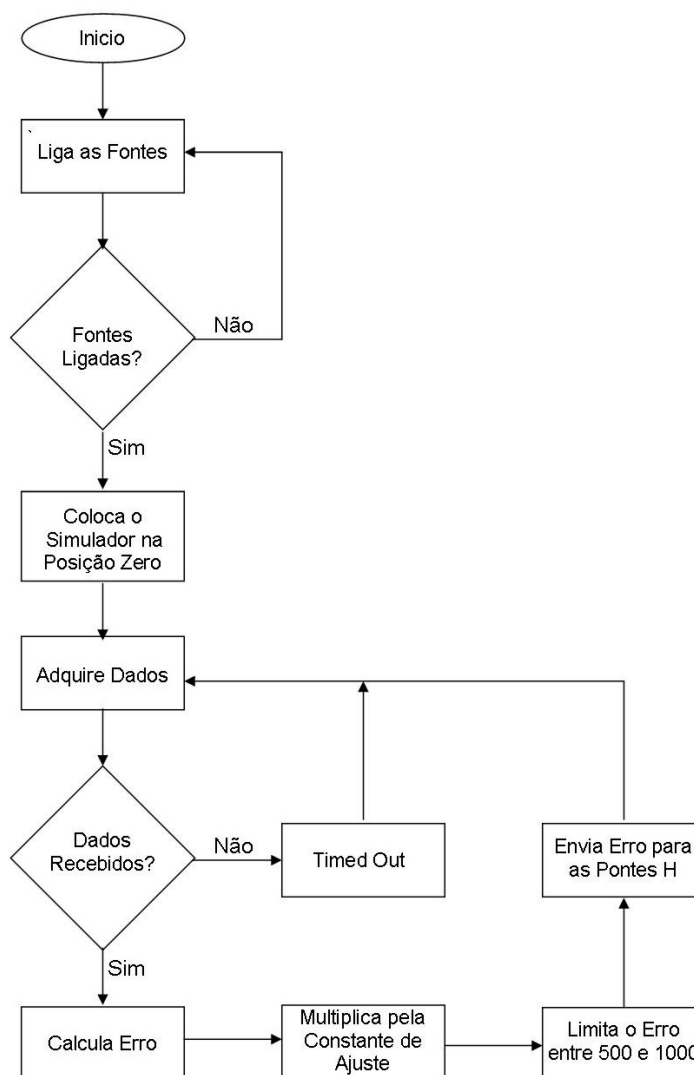


Figura 27: Fluxograma do programa da placa BS2.

5.4 ACIONAMENTO DOS MOTORES

Os motores são acionados pelas pontes H. As pontes são alimentadas por fontes de computadores de 500W e 25A. Dentro do programa, o acionamento é realizado através do comando *PULSOUT*, que envia uma seqüência de pulsos, com valores entre 500 e 1000, sendo 750 a posição zero. Se for enviado 500 o motor gira na máxima velocidade em uma direção, se for enviado 1000 gira com máxima velocidade na outra direção e se for enviado 750 o motor fica parado. Qualquer valor diferente desses e dentro dessa faixa fará com que o motor gire com a velocidade proporcional e na direção correspondente.

CONCLUSÃO

Além de alguns problemas construtivos o simulador apresentou alguns outros problemas de projeto, na sua maioria erros na hora da concepção da estrutura mecânica.

Devido ao seu *cockpit* ser "fechado" pelas barras laterais e o movimento se dar por correias, entrar e sair torna-se bastante trabalhoso e um pouco perigoso. Para entrar e sair do simulador é necessário um ajudante para segurar a traseira, sob pena do simulador se inclinar para frente. Seria necessário criar um calço e uma plataforma para facilitar a entrada ou planejar a estrutura de forma a eliminar o tubo lateral para resolver esse problema.

Como toda a estrutura foi feita de canos PVC, exceto as barras laterais, existe um barulho, um rangido típico de estruturas plásticas, quando o simulador entra em movimento. Esse barulho poderia ser diminuído ou talvez eliminado se fossem usados tubos de alumínio, que pesam e custam aproximadamente o mesmo que os canos de PVC, com a vantagem de serem mais resistentes.

Outro problema apresentado pela estrutura projetada foi a limitação de altura imposta ao piloto. Os pedais são muito largos para a estrutura, resultando numa posição quase vertical dos mesmos. Isso fez com que o simulador seja confortável somente para pessoas com até 1,75 m de altura. Pessoas um pouco mais altas devem jogar utilizando somente o volante, com a devida configuração dos botões, e pessoas muito mais altas não conseguem entrar no simulador. Essa limitação poderia ser resolvida com um projeto de uma estrutura maior, ou uma melhor acomodação dos pedais.

A grande quantidade de equipamentos embarcados (volante, monitor, motores elétricos, potenciômetros) fez com que uma grande quantidade de cabos fique pendurada para fora do simulador. Do lado de fora existem seis componentes ligados na tomada (computador, três fontes, monitor, volante) além dos cabos que ligam as fontes aos respectivos componentes (placa serial, placa BS2, pontes H) e do cabo USB/Serial que conecta o PC a placa. A organização dos cabos ficou muito precária. Para não aumentar o número de cabos, os *switches* das fontes, que deveriam ser ligados a placa serial, não foram implementados. Um chicote elétrico e uma construção mais compacta seriam indicados para facilitar a montagem e manutenção dos equipamentos.

Como melhoramentos, poderiam ser usados dois computadores ao invés de um. Na configuração atual, o mesmo computador roda o jogo e o programa de envio de informações. Esse processamento poderia ser dividido, utilizando um computador, que poderia ter uma configuração bem simples, para fazer o processamento e envio das informações. Dessa forma, o programa *X-Sim Force-Sender* deveria ser configurado de maneira diferente, enviando as informações através de uma LAN para o outro computador.

Para criar um ambiente mais interessante para o piloto/jogador, um painel de instrumentos analógico, com velocímetro, conta-giros, marcador de combustível, temperatura do motor, indicador de marcha, etc., poderia ser implementado. O programa *X-Sim Force-Sender* fornece essas informações e bastaria uma pequena alteração no programa para ligar esses acessórios.

Tirando esses problemas e desprezando os possíveis melhoramentos, o resultado do projeto foi bastante satisfatório. O simulador é muito envolvente e o jogador realmente sente que está pilotando um carro de corrida. Alguns efeitos não previstos, porém muito bem-vindos, foram percebidos, como por exemplo as batidas laterais que são transmitidas como uma pequena oscilação, o que aumenta a sensação de estar no ambiente virtual.

Os ângulos obtidos foram de $-15,40^\circ$ a $18,50^\circ$ no *Pitch*, o que equivale a 26% e 32% da força de 1 g, respectivamente, e de $-18,90^\circ$ a $18,90^\circ$ no *Bank*, o que equivale a 32% da força de 1 g, lembrando que o movimento no eixo *Bank* é limitado pela interferência da torre com a base do simulador. Uma alteração no projeto de um desses elementos permitiria aumentar os ângulos de inclinação. Como comparação, um carro comum na frenagem máxima chega a 1 g, enquanto um carro de Formula 1 chega a 5 g.

Finalmente, o custo do projeto ficou em torno de R\$ 2.000,00, tirando o computador, o monitor e o kit da Logitech. Nesse valor também não estão incluídos gastos com perdas por dano e erros na hora da montagem. Esse valor ficou razoável pelo resultado do projeto.

BIBLIOGRAFIA

[http://en.wikipedia.org/wiki/Degrees_of_freedom_\(mechanics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Degrees_of_freedom_(mechanics))

http://en.wikipedia.org/wiki/G_force

http://en.wikipedia.org/wiki/Motion_simulator

http://ptyxiouxos.net//greekbotics/user_projects/Flight_Simulator/thanos_home_motion_flight_simulator.htm

<http://www.force-dynamics.com/>

www.jclima.tk

<http://www.logitech.com>

<http://www.parallax.com/>

<http://www.ti.com/>

http://www.x-simulator.de/wiki/X-SIM_2.0_Software_Documentation