

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DE TESTES PARA
MOTORES DE AEROMODELOS**

PAULO VITOR DE FREITAS SANTOS

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
JUNHO / 2011

PAULO VITOR DE FREITAS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DE TESTES PARA
MOTORES DE AEROMODELOS**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Denilson Eduardo Rodrigues.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
JUNHO / 2011

PAULO VITOR DE FREITAS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DE TESTES PARA
MOTORES DE AEROMODELOS**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 30 de JUNHO de 2011.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Denilson Eduardo Rodrigues - Orientador
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. André Gomes Tôrres - Membro
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dra. Ketia Soares Moreira - Membro
Universidade Federal de Viçosa

*“A ociosidade é o que envelhece não o trabalho.”
(Sócrates)*

Dedico a todos as pessoas que contribuíram para a minha formação, de forma direta ou indireta.

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, que esteve comigo em todos os momentos. Ao meu pai Geraldo e minha mãe Cida que não pouparam esforços para me ajudar ao longo de toda minha vida. Aos meus irmãos Ana Paula, Marco Aurélio e Ana Silvia pela alegria, carinho e apoio. Aos meus parentes, amigos de São Paulo e amigos de Minas Gerais que torceram pelo meu sucesso. Agradeço aos companheiros de república Higor, Hiro, Benatti, Leke, Mateus, Barata, Arthur, Diego e Cachoeiro. Aos colegas de Engenharia Elétrica, principalmente ao Renato Markele e Victor Dardengo, que foram os que acompanharam mais da minha vida nos últimos 6 semestres. A minha namorada Flávia, por me agüentar nas reclamações e nos momentos de estresse nos quais ela acabava sofrendo junto. Obrigado ao professor Denilson por ser o responsável por este trabalho tão importante na graduação. Agradeço a todos os professores do DEL e da UFV que contribuíram com o conhecimento para que eu me tornasse um engenheiro. Agradeço a equipe SkyWards por se dispor a ajudar no desenvolvimento do projeto da monografia. Obrigado a todos que contribuíram para minha formação e me ajudaram a crescer intelectualmente e profissionalmente. Meu muito obrigado a todos.

Resumo

As equipes de aerodesign existentes no Brasil e no mundo vêm aprimorando seus conhecimentos e montando novas técnicas de se obter sucesso em competições do SAE (*Society of Automotive Engineers*). Tendo em vista esse cenário, a equipe SkyWards, da Universidade Federal de Viçosa, não pensou diferente e logo propôs a elaboração de uma bancada de testes para os motores do aeromodelo, para que possam encontrar qual a melhor combinação motor-hélice para satisfazer as condições propostas do protótipo. Esse desenvolvimento teve por base fazer um circuito de aquisição de dados com a utilização de um microcontrolador, conversores analógicos/digitais, além de sensores de temperatura, de força e de velocidade. Através de um software desenvolvido no Matlab, os gráficos e valores obtidos são apresentados para que o usuário possa analisá-los e concluir qual a melhor decisão a ser tomada com relação ao conjunto motor-hélice amostrado. O software desenvolvido salva os dados coletados nos testes para uma futura utilização na apresentação de propostas de melhoria. Nas simulações, os sensores foram substituídos por dispositivos análogos. Então, o comportamento dos sistemas de aquisição e tratamento dos dados foi testado e concluiu-se que a programação do sistema de comunicação do PIC e o desenvolvimento dos supervisórios haviam sido feitos de forma correta.

Palavras-chave: bancada de testes, aerodesign, teste em motores, sensoriamento

Abstract

AeroDesign teams in Brazil and in the world have been improving their knowledge and are developing new techniques to achieve success in SAE's competitions. In view of this scenario, the team SkyWards, Federal University of Viçosa, thought the same and proposed the development of a test bench for model airplane engines, so they can find the best engine-propeller combination to meet the conditions proposed of the prototype. This development was based on making a circuit of data acquisition with the use of a microcontroller, analogic/digital converters, and temperature, power and speed sensors. Through the software developed in Matlab, graphs and values are presented to the user, who can analyze them and conclude what the best decision to be made about the engine-propeller sampled. The software developed on Guide saves the data collected in tests for use in future proposals for improvements and reports. In the simulation, the sensors were changed for analogues components. Then, the behavior of systems acquisition and processing of data were tested and were concluded that the PIC's software of acquisition and the development of supervisories had been made correctly.

Keywords: bench of tests, aero design, motors test, sensing

Lista de Figuras

Figura 1 - Blocos internos do PIC18F4550	9
Figura 2 - Conexão USB com o PIC	12
Figura 3 - Conector USB.....	13
Figura 4 - Transmissão de 1 byte em comunicação serial.....	14
Figura 5 - Detalhes de um motor.....	16
Figura 5 - Diagrama de Blocos	17
Figura 6 - Estrutura da bancada de testes	18
Figura 7 - Pinagem do PIC18F4550.....	19
Figura 8 - Fluxograma da rotina principal do PIC	20
Figura 9 - Fluxograma da rotina de interrupção do PIC	21
Figura 10 - Supervisor de Aquisição de Dados.....	23
Figura 11 - Supervisor de Tratamento dos Dados.....	23
Figura 12 - Sensor de temperatura	25
Figura 13 - Circuito básico do sensor de temperatura.....	25
Figura 14 - Célula de carga.....	26
Figura 15 - Conexão interna da célula de carga	26
Figura 16 - Sensor Indutivo.....	27
Figura 17 - Propriedades internas.....	28
Figura 18 - Pinagem do TL074	28
Figura 19 - Circuito amplificador.....	29
Figura 21 - Gráfico de Tração Disponível e Requerida	31
Figura 22 - Circuito do Microcontrolador	32
Figura 23 - Circuito da simulação da comunicação serial	33
Figura 24 - Circuito da simulação do sensor de rotação	33
Figura 25 - Circuitos das simulações dos sensores de força e temperatura	33
Figura 26 - Tabela dos valores obtidos em simulação computacional.....	34
Figura 27 - Supervisor de Tratamento dos dados com os dados simulados.....	35
Figura 28 - Circuito de teste no protoboard	36
Figura 29 - Tabela dos valores obtidos em teste	37
Figura 30 - Supervisor de Tratamento com os dados obtido no teste	37

Lista de Símbolos

A	Ampère
A/D	Analógico/Digital
CPU	Unidade Central de Processamento
GUI	Graphical User Interface
I/O	Entrada/Saída
LED	Diodo Emissor de Luz
Mbps	Megabit por Segundo
MHz	Megahertz
NRZI	Non Return to Zero Invert
°C	Grau Celsius
PC	Computador
PIC	Controlador Programável
PWM	Modulação por Largura de Pulso
RS232	Recommended Standard 232
SAE	Society of Automotive Engineers
SIE	Serial Interface Engine
UFV	Universidade Federal de Viçosa
USB	Universal Serial Bus
V	Volt
Vdc	Volt de Tensão Contínua
VSPD	Virtual Serial Port Driver

Sumário

Dedicatória	i
Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract	iv
Lista de Figuras	v
Lista de Símbolos	vi
1 Introdução.....	8
2 Conceitos Básicos	9
2.1. Microcontrolador PIC	9
2.1.1. Temporizadores e Contadores	10
2.1.1.1. TIMER0.....	10
2.1.1.2. TIMER1	10
2.1.2. Interfaces de Entrada e Saída	11
2.1.3. Interrupções	11
2.1.4. Módulo USB	11
2.2. Universal Serial Bus (USB)	12
2.2.1. Interface Elétrica	12
2.2.2. Alimentação	13
2.2.3. Comunicação Serial e Protocolo RS232	13
2.2.4. Protocolo USB.....	14
2.3. Motores.....	15
3 Objetivos Gerais e Específicos.....	17
4 Materiais e Métodos	17
4.1. Bancada de Testes	18
4.2. Microcontrolador PIC18F4550	19
4.3. Código Fonte (PIC)	20
4.4. Sistema Supervisório.....	21
4.4.1. Desenvolvimento.....	21
4.4.1.1. Entendimento do Processo e Tomada de Dados.....	21
4.4.1.2. Planejamento do Banco de Dados	22
4.4.1.3. Desenho das Telas	22
4.4.1.4. Padronização.....	22
4.4.2. Código Fonte	22
4.5. Sensor de Temperatura.....	24
4.6. Sensor de Força	26
4.7. Sensor de Rotação	27
4.8. Amplificadores	28
4.9. Tração.....	29
5 Resultados	32
5.1. Simulação Computacional.....	32
5.2. Testes Práticos.....	35
6 Conclusões	39
Referências Bibliográficas	40

1 Introdução

A competição AeroDesign, criada pela SAE Internacional (*Society of Automotive Engineers*) em 1994 nos Estados Unidos, é um desafio de projeto aberto para estudantes universitários de graduação de diversos países. A partir de 1999 esta competição passou a constar do calendário de eventos da SAE BRASIL Seção São José dos Campos, afiliada da SAE Internacional. A equipe SkyWards, da Universidade Federal de Viçosa, surgiu em julho de 2009, com o intuito de desenvolver um aeromodelo competitivo com as outras equipes nacionais.

Desde então, a equipe só tem aumentado e com o investimento de alguns parceiros e órgãos governamentais, tem desenvolvido uma aeronave de grande nível. Porém, para a melhoria da aeronave, testes devem ser feitos cujos resultados servem como pontuação para a competição SAE BRASIL Aerodesign. Logo a equipe precisaria de uma bancada de testes para os motores do aeromodelo para que possam realizar os testes com os motores e as hélices disponíveis da competição e encontrar qual a melhor combinação motor-hélice para satisfazer as condições propostas do protótipo da equipe.

Os testes realizados na bancada objetivam a coleta dos dados de temperatura, rotação e tração e o tratamento dessas grandezas através de um supervisor. As informações coletadas são utilizadas em relatórios e auditorias para a conclusão sobre os motores a combustão e as hélices. Os testes ocorrem em períodos curtos de tempo, pois a autonomia do aeromodelo é de 5 minutos.

2 Conceitos Básicos

A apresentação dos conceitos básicos para se entender os processos envolvidos no desenvolvimento da bancada de testes será feita neste capítulo. Assim, abordar-se-ão algumas características do microcontrolador, da comunicação e protocolo USB e do motor.

2.1. Microcontrolador PIC

Microcontrolador é um circuito integrado composto por um microprocessador e dispositivos periféricos essenciais para o seu funcionamento como: memória de programa e de dados; e também periféricos acessórios como: interfaces de entrada e saída de dados. Os microcontroladores também são equipados com diversos circuitos eletrônicos tais como: conversor analógico digital, temporizadores, comparadores, interfaces de comunicação, geradores de pulsos, entre outros. Assim, a utilização destes dispositivos como ferramenta chave na coleta dos dados passou a ser adotada.

O microcontrolador está provido internamente de memória de programa, memória de dados, portas de entrada e/ou saída paralela, temporizadores, contadores, comunicação serial, PWM's, conversores analógico-digitais, etc. [1]. A seguir na Figura 1, tem-se ilustrada sua estrutura interna em diagramas de blocos.

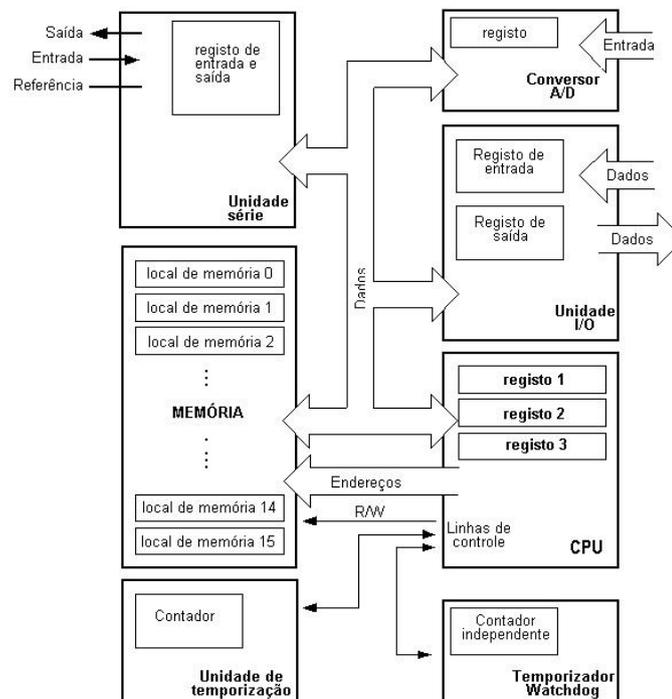


Figura 1 - Blocos internos do PIC18F4550 (Fonte: Microchip)

2.1.1. Temporizadores e Contadores

São usados para executar rotinas que precisem de noções de tempo ou contadores temporais. Podem gerar pulsos, rotinas em períodos específicos, entre outros. Seus parâmetros são alteráveis, tornando o seu uso programável para uso específico ou geral.

2.1.1.1. TIMER0

O temporizador/contador TIMER0 permite uma grande variedade de aplicações práticas. É bastante conveniente, e simples de usar, para gerar pulsos de duração arbitrária, medição do tempo ou para contar pulsos externos. Isto tudo quase sem limitações [1].

O TIMER0 é um temporizador/contador de 8 bits, com as seguintes funcionalidades:

- i) Temporizador/contador de 8 bits;
- ii) Divisor de 8 bits, partilhado com o “cão de guarda”;
- iii) Fonte de oscilação interna ou externa (programável);
- iv) Gerador de interrupções por fim de contagem (255 para 0);
- v) Seleção de borda (subida ou descida) do temporizador externo.

Este módulo pode ser aplicado para medir tempo ou para contar pulsos. No projeto da bancada, a utilização desse módulo é importante na determinação da frequência de amostragem do sistema.

2.1.1.2. TIMER1

O módulo TIMER1 é um temporizador/contador de 16 bits, com capacidade de ser ligado/desligado por software e prescalar independente. Esse temporizador possui dois registros, TIMER1L e TIMER1H. Pode contar até 65535 pulsos num só ciclo, ou seja, antes do contador retornar a zero devido ao extravasamento. Similarmente ao TIMER0, estes registros podem ser lidos/escritos a qualquer momento e em caso de extravasamento, uma interrupção é gerada. O módulo TIMER1 também pode funcionar de dois modos básicos distintos: temporizador ou contador.

A aplicação do TIMER1, nesse projeto, faz a contagem do “trem de pulsos” enviado pelo sensor de velocidade. Com a quantidade de pulsos enviada no intervalo de tempo determinado pela frequência de amostragem é possível obter a velocidade de rotação do motor.

2.1.2. Interfaces de Entrada e Saída

Este tipo de componente é responsável por prover formas de comunicação do microcontrolador com dispositivos externos. É o meio usado para a troca de dados que podem ser transmissão serial e paralela em vários protocolos como RS232 e USB por exemplo. Podem receber informações de mouses, teclados, sensores e enviar informações para mostradores, atuadores, entre outros[2].

As portas são provavelmente o recurso mais poderoso de um microcontrolador, pois é por meio delas que o PIC pode se comunicar com os demais componentes do sistema. Com essas portas podemos ler um botão, acender e apagar um LED, ativar um relé, controlar um motor, escrever em um mostrador, iniciar uma comunicação via USB dentre diversas outras aplicabilidades.

2.1.3. Interrupções

Este é o componente que controla os pedidos de interrupção. Vários são os dispositivos que estão inclusos dentro de um microcontrolador e a sua maioria dispara pedidos de interrupção o qual pode ser usado para a execução de rotinas específicas.

A interrupção serve para interromper um programa imediatamente. Desta maneira, pode-se tomar atitudes instantâneas. As interrupções são ações tratadas diretamente pelo circuito, o que as torna muito rápidas e disponíveis em qualquer ponto do sistema. Assim sendo, quando uma interrupção acontece, o programa é paralisada, uma função específica (definida pelo programador) é executada e depois o programa continua a ser executado no mesmo ponto em que estava[1].

2.1.4. Módulo USB

A família de dispositivos PIC18FX455/X550 contém um mecanismo de interface serial USB compatível com modo de alta velocidade e com o de baixa velocidade que permite rápida comunicação entre qualquer USB anfitrião (*host*) e o microcontrolador PIC. O SIE pode ser interfaceado diretamente ao USB, utilizando um transceptor interno, ou pode ser conectado através de um transceptor externo. Um regulador interno de 3.3 V está também disponível para energizar o transceptor interno em aplicações de 5V [3]. A Figura 2 mostra o esquema do periférico USB no PIC.

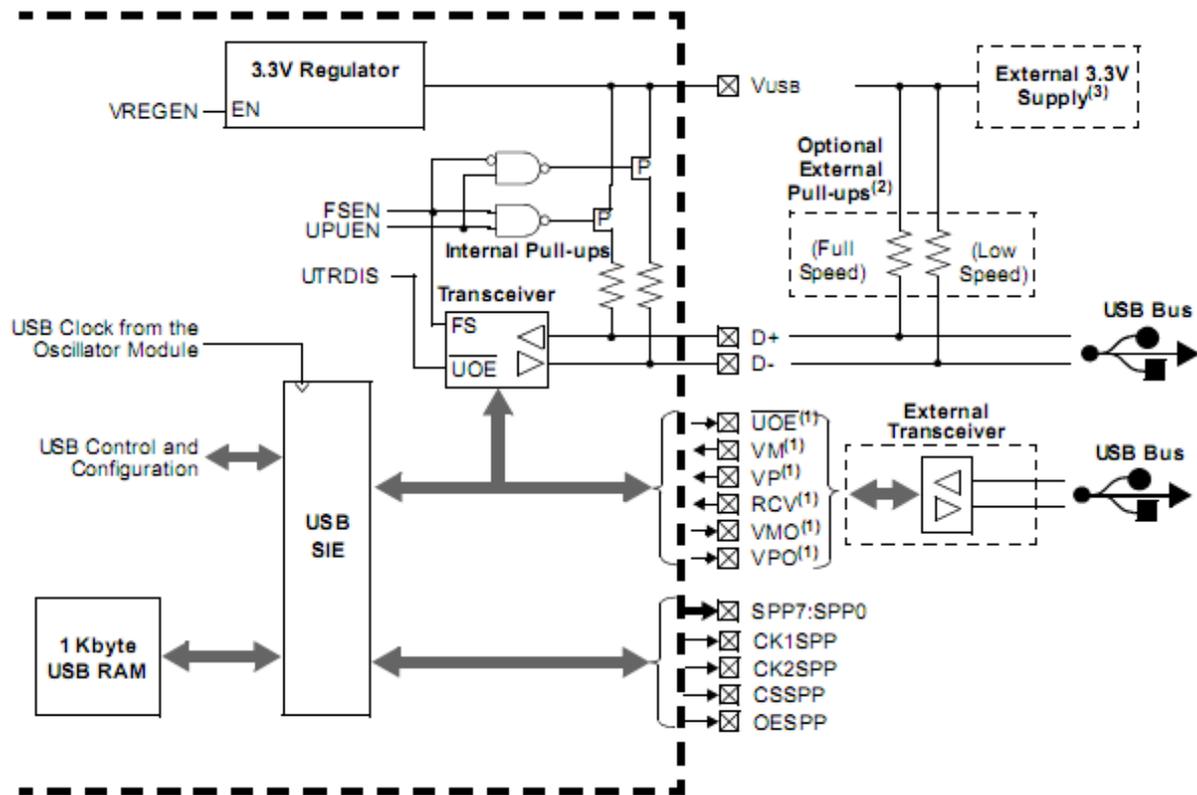


Figura 2 - Conexão USB com o PIC (Fonte: Microchip)

2.2. Universal Serial Bus (USB)

O protocolo USB foi concebido com a finalidade de poder ser implementado em qualquer dispositivo, possuir configuração fácil por parte do usuário, ter um baixo custo de desenvolvimento, ser *Plug and Play* e ter disponível vasta documentação e suporte. A velocidade da transmissão de dados também foi algo em foco no desenvolvimento desse padrão. O padrão USB é especificado para ser um padrão industrial de extensão para a arquitetura atual dos PC's, focado principalmente na integração entre computadores e telefonia, consumidores e aplicações visando o aumento da produtividade. Além das vantagens anteriormente citadas, também possui a flexibilidade de protocolo para transferências isossíncronas de dados, e assíncronas de mensagens, a possibilidade de criação de novas classes de dispositivos capazes de aumentar a capacidade dos computadores pessoais e a previsão de um padrão de interface capaz de espalhar-se rapidamente entre novos produtos[4].

2.2.1. Interface Elétrica

A comunicação elétrica é feita através de um cabo com quatro fios, como é mostrado na Figura 3.

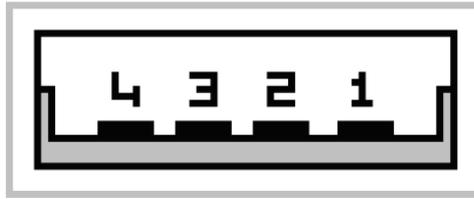


Figura 3 - Conector USB

Os cabos 1 e 4 são, respectivamente, V_{CC} e GND. Os cabos 2 e 3 são, respectivamente, D+ e D-.

A transmissão de sinais ocorre em dois fios, ponto a ponto, em cada segmento. O *clock* é transmitido, codificado, junto com os dados diferenciais (utiliza-se um par diferencial para a transmissão de dados). O esquema invertido de não retorno para o zero NRZI (*Non Return to Zero Invert*) é utilizado para codificar o *clock*. Neste método de codificação de dados seriais, zeros e uns são representados pelo oposto em voltagens, alta e baixa, alternadas onde não há retorno para a voltagem zero (referência) entre bits codificados. Elimina-se então a necessidade por pulsos de *clock*. Um campo SYNC precede cada pacote de dados permitindo ao receptor sincronizar o bit de recuperação de *clocks*. O cabo possui os fios V_{CC} e GND em cada segmento para distribuir energia aos dispositivos. V_{CC} é nominalmente +5 V na fonte. O USB permite a utilização de segmentos de cabo variáveis até alguns metros, escolhendo-se um padrão adequado de condutores. Para fornecer níveis de voltagem de entradas garantidos e impedâncias apropriadas nas terminações, são utilizadas terminações parciais no fim de cada cabo. Estas terminações permitem a detecção da conexão e remoção em cada porta e a diferenciação entre dispositivos de alta e baixa velocidade [4].

2.2.2. Alimentação

Cada segmento USB fornece para o interior do cabo uma quantidade limitada de energia. As fontes de energia do *host* provêm alimentação para os dispositivos USB conectados diretamente. Estes são chamados de dispositivos alimentados pelo barramento (*bus-powered devices*). No mais, qualquer outro dispositivo deve possuir sua própria fonte de alimentação, dispositivos auto-alimentados (*self-powered devices*). Um hub também pode fornecer energia para os periféricos a ele conectados [4].

2.2.3. Comunicação Serial e Protocolo RS232

O protocolo RS232 é um padrão de comunicação serial, em que a transmissão de informações é feita de forma que cada byte de dados consiste de um bit de início (baixo), 8

bits de dados (bit menos significativo primeiro) e um bit de parada, como pode ser visto na Figura 4.

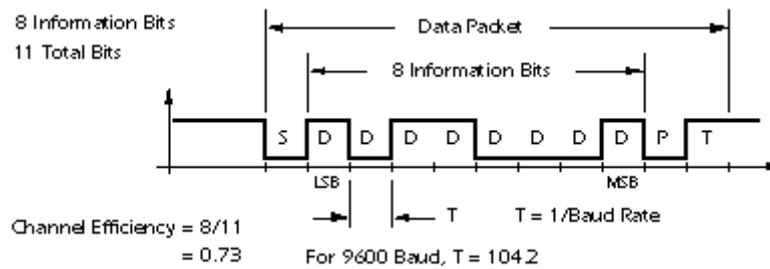


Figura 4 - Transmissão de 1 byte em comunicação serial (Fonte: AEDB)

Esse tipo de comunicação é muito utilizado na conexão entre circuitos eletrônicos, pois é de fácil implementação, principalmente quando há a utilização dos circuitos microcontroladores da série PIC da Microchip® [5].

2.2.4. Protocolo USB

O USB é um barramento receptor (ou de contagem). O controlador do *host* inicia todas as transferências de dados. Todas as transações do barramento envolvem a transmissão de até três pacotes. Cada transação se inicia quando o controlador do *host*, em uma base listada, envia um pacote USB descrevendo o tipo e a direção da transação, o endereço do dispositivo USB e o número do ponto final. O ponto final de um dispositivo é a única porção endereçável deste que é a fonte de informação em um fluxo de comunicações entre o *host* e o próprio. O número do ponto final é um valor de 4 bits entre 0H e FH, inclusive, associado a um ponto final de um periférico USB. Este primeiro pacote é conhecido como “pacote de sinal”.

O dispositivo USB, que é endereçado, seleciona a si mesmo pela decodificação do endereço apropriado. Em uma dada transação, dados são transferidos do *host* para o dispositivo ou vice-versa. A direção da transferência é especificada no “pacote de sinal”. A fonte da transação envia então um pacote de dados ou indica que não há mais dados para serem transferidos. O destinatário, em geral, responde com um "pacote aperto de mão", indicando o sucesso da transferência.

O modelo para transferências de dados entre a fonte ou um destino no *host* e um ponto final de um dispositivo é conhecido como tubo ou canal (*pipe*). Existem dois tipos de canais: correntes (*stream*) e mensagens.

Uma corrente de dados não possui uma estrutura USB definida, enquanto as mensagens possuem. Além disto, os tubos possuem associações com as bandas de transmissão de dados, tipos de serviços de transferência e características de ponto final, como direção e tamanho de

buffers. A maioria dos tubos passa a existir quando um dispositivo é configurado. Uma mensagem de tubo, canal de controle padrão (*default control pipe*), sempre existe enquanto o dispositivo está sendo alimentado, para que possa fornecer acesso às configurações, informações de controle e status deste.

A listagem das transações permite o controle do fluxo para várias correntes de tubos (*stream pipes*). O mecanismo de controle de fluxo permite a construção de listas flexíveis, que acomodam serviços concorrentes de misturas heterogêneas de *stream pipes*. Múltiplas correntes de *pipes* podem ser "servidas" em diferentes intervalos e com pacotes de diferentes tamanhos [4].

2.3. Motores

O motor a explosão de aeromodelo é único em seu gênero, pois não utiliza uma vela comum incandescente para a ignição. Na verdade ele usa uma vela com um filamento especial que contém platina. Para que o motor funcione, uma bateria é acoplada na cabeça da vela e outra no corpo do motor fazendo com que o elemento de platina se aqueça. Com uma boa lubrificação da mistura de combustível e com uma rotação no seu eixo, o motor começa a funcionar. Em seguida, a bateria usada para a incandescência da vela é retirada. O motor então continua seu funcionamento, pois as explosões internas na câmara de combustão são suficientes para manter a vela acesa e o motor funcionando[6].

Ainda que existam vários tipos de motores de aeromodelos, o de dois tempos é sem dúvida o mais comum. Os tamanhos variam de .010 cc até 1.50 cc. Os .25 até .60 são os mais populares para os aeromodelos. A Figura 5 mostra as principais partes de um motor de aeromodelos.

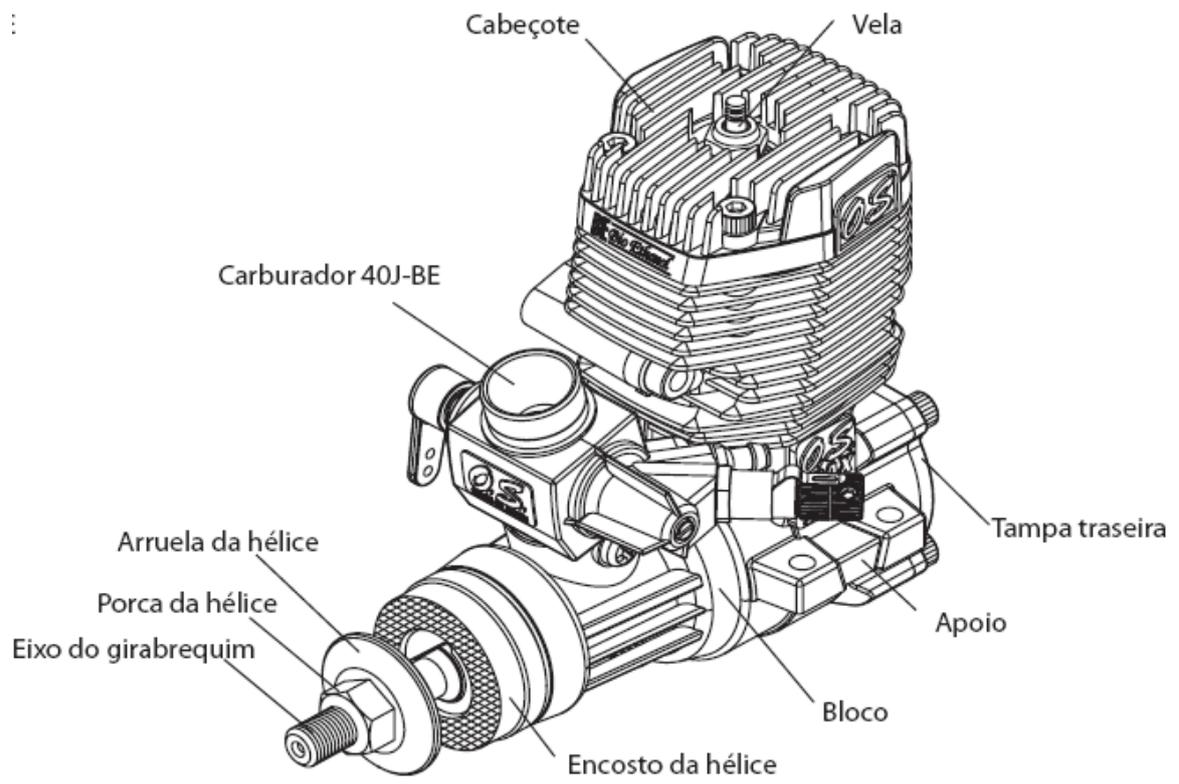


Figura 5 - Detalhes de um motor (Fonte: O.S. Engine)

3 *Objetivos Gerais e Específicos*

Este trabalho de monografia tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma bancada de testes para motores de aeromodelos. Assim, é necessário que seja feita a coleta dos dados de temperatura, tração e velocidade de rotação do motor. Um supervisor capaz de coletar os dados de teste e fazer o armazenamento foi criado, bem como o supervisor de tratamento destes para se fazer comparações e utilizar em auditorias futuras. Com isso, o usuário é capaz de fazer a análise entre os diversos tipos de motor e hélice que podem ser utilizadas na competição SAE AeroDesign.

4 *Materiais e Métodos*

No decorrer deste capítulo serão descritos os materiais e métodos que foram empregados no desenvolvimento da bancada.

São coletados os dados de temperatura, tração e velocidade de rotação do motor, através dos sensores de temperatura (LM35), força (célula de carga) e rotação (sensor indutivo), respectivamente. O sensor de temperatura faz a coleta da temperatura do motor em Grau Celsius, o sensor de força faz a medida da tração exercida pelo motor em Newton(N) e o sensor de rotação faz a medida da rotação do motor em RPM (rotações por minuto). A coleta dos dados destes sensores é feita pelo microcontrolador PIC18F4550, que tem compatibilidade com a porta USB com uma velocidade de até 12 Mbps, resolução de 10 bits, 13 canais analógico-digitais com tempo de aquisição programável, compilador C, memória flash de 32k e 35 pinos de entrada/saída. A coleta dos dados é feita para uma frequência de amostragem de 1Hz, o que significa que os dados são coletados a cada 1 segundo. Os supervisórios são desenvolvidos para fazer a aquisição dos dados e o tratamento dos mesmos. Os sistemas de supervisão são implementados no Matlab. O diagrama de blocos da Figura 6 mostra a funcionalidade do sistema.

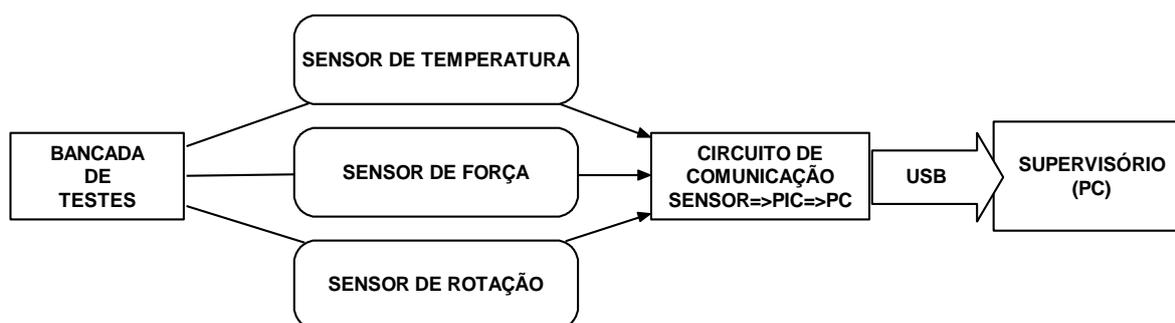


Figura 6 - Diagrama de Blocos

Depois de feita a coleta e o tratamento dos dados, o usuário pode utilizar os dados e os gráficos obtidos para fazer comparações entre diferentes hélices e motores a fim de concluir qual o melhor conjunto motor-hélice a ser utilizado para o protótipo desenvolvido pela equipe.

4.1. Bancada de Testes

A bancada de testes foi desenvolvida como mostra a Figura 7. Ela possui uma estrutura cilíndrica que se move com o aumento da força de tração desenvolvida pelo motor. O motor é acoplado na chapa localizada na parte inferior da estrutura móvel da bancada. Na estrutura também é localizado um furo onde se localiza o sensor indutivo, que vai medir a rotação do motor através do número de giros da hélice que é acoplada ao eixo do motor. O sensor de temperatura, não localizado na figura, é colocado em contato com o motor, para que a medição da temperatura do motor com maior precisão.

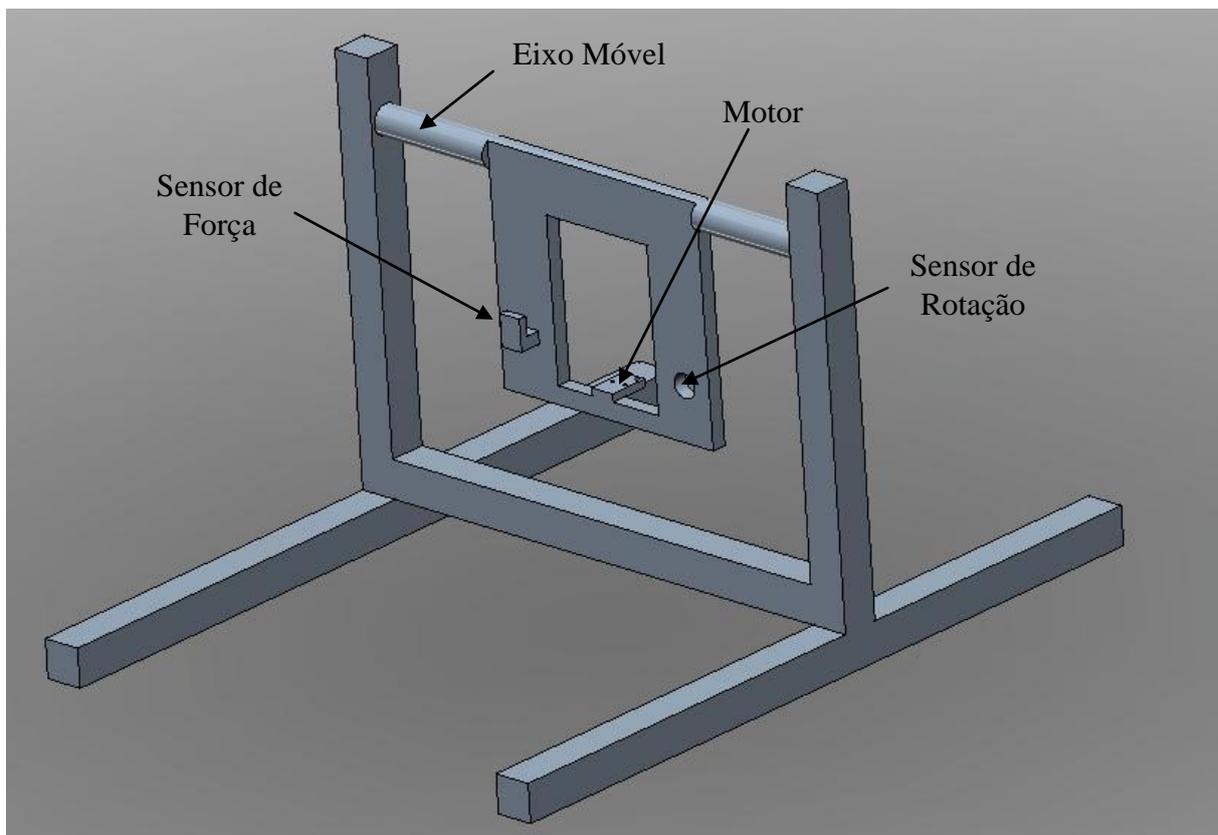


Figura 7 - Estrutura da bancada de testes

O sensor de temperatura não é mostrado na figura acima, pois este será alocado próximo ao motor.

4.2. Microcontrolador PIC18F4550

Os microcontroladores da Microchip® estão cada vez mais facilitando a vida dos usuários com uma integração maior e mais recursos, que permitem que com o microcontrolador possa desenvolver inúmeras aplicações. No projeto da bancada foi utilizado o microcontrolador PIC18F4550 que tem como principal característica e vantagem deste possuir a comunicação de suas portas com a porta USB, permitindo com que este chip possa comunicar-se com o computador sem a necessidade do desenvolvimento de um circuito mais robusto para comunicação.

O PIC18F4550 é um microcontrolador pode funcionar a uma velocidade de até 48 MHz. Com isso, a velocidade de processamento é alta e consegue-se desenvolver o circuito desejado. Na Figura 8 é mostrada a pinagem do microcontrolador.

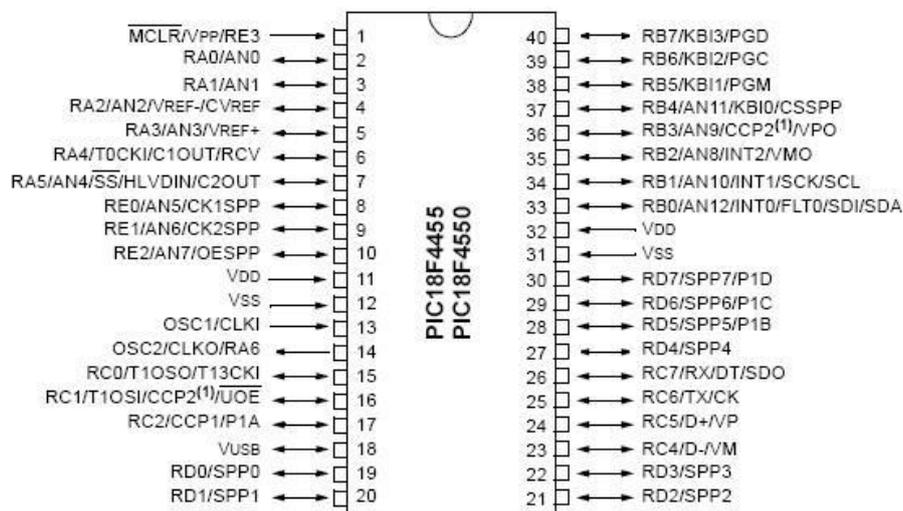


Figura 8 - Pinagem do PIC18F4550 (Fonte: Microchip)

A pinagem, se comparada a outros membros da família, não possui uma grande diferença. A vantagem da comunicação USB é vista nos pinos 23 e 24, que são os pinos que serão utilizados para a comunicação. A conectividade USB necessita destas duas linhas, a fim de permitir a comunicação entre o PIC e o computador. As linhas D+ (pino 24) e D- (pino 23) funcionam em modo diferencial e no conector USB, além destas duas vias de comunicação, existem mais duas vias que são responsáveis pela alimentação, como foi apresentado na seção anterior. Na alimentação encontram-se as siglas V_{DD} e V_{SS} , sendo fonte de +5V e terra, respectivamente[7].

4.3. Código Fonte (PIC)

O microcontrolador é programado para efetuar o processamento e tratamento dos dados recebidos dos variados sensores em linguagem C. O programa implementado faz as conversões pertinentes para deixar as variáveis nas unidades físicas desejadas.

Para os sensores de temperatura e força, de natureza analógica, isso quer dizer, seus valores apresentam tensão contínua, fez-se a conversão Analógico/Digital, para que possa ser feito o processamento dos valores no microcontrolador. Para que possa ser feita a conversão das tensões pelo conversor interno, houve a necessidade da criação de um circuito amplificador, como será apresentado na sessão 3.8. Para o sensor de rotação, devido à sua natureza digital, isso quer dizer, ou ele está acionado (nível lógico 1), ou ele está inativo (nível lógico 0), não é necessária tal conversão. Para o último sensor, que funciona emitindo “trens de pulsos”, é utilizado o módulo TIMER1. A frequência de amostragem do sistema é de 1Hz, definida pelo TIMER0.

Os fluxogramas da rotina principal e da rotina de interrupção que foram utilizados para o desenvolvimento do programa são mostrados na Figura 9 e na Figura 10.

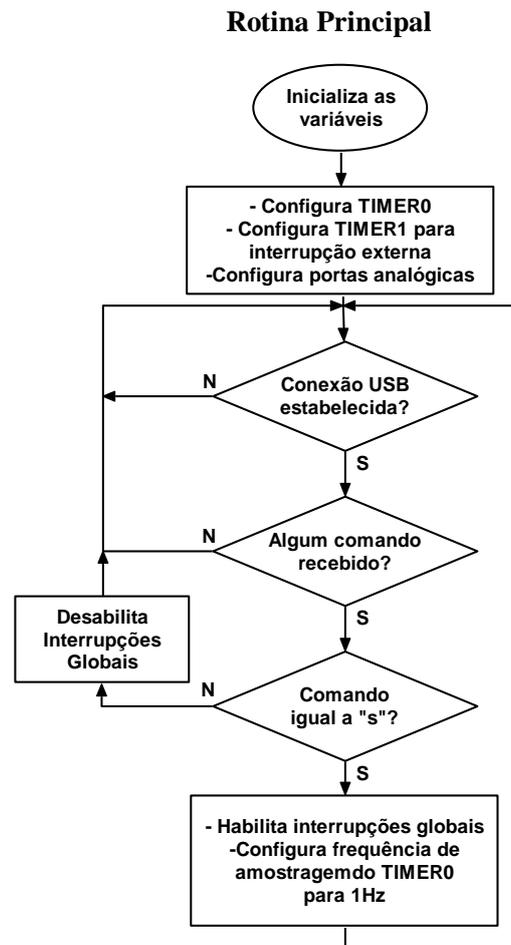


Figura 9 - Fluxograma da rotina principal do PIC

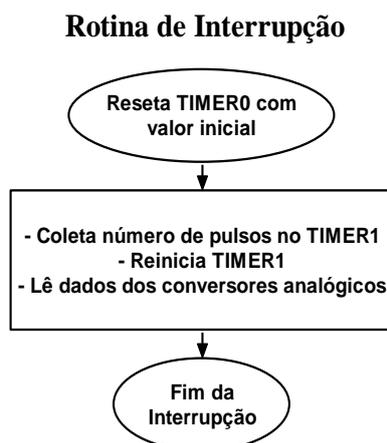


Figura 10 - Fluxograma da rotina de interrupção do PIC

4.4. Sistema Supervisório

O software Matlab possui uma ferramenta que permite construir interfaces gráficas de interação com o utilizador. O utilitário GUI (*Graphical User Interface*) é uma interface amigável para o utilizador que pode ser utilizada durante o projeto prático. Para construir uma interface gráfica convém ter uma idéia muito bem definida do que se pretende. O GUI torna os programas mais fáceis de serem utilizados, pois fornecem uma aparência consistente e com controles intuitivos.

4.4.1. Desenvolvimento

A comunicação do processo a ser monitorado com o sistema supervisório é feita com a ajuda de *tag's*, que são especificações que informam ao sistema supervisório qual variável está sendo enviada naquele determinado momento. Assim, o sistema de interface pode mostrar o valor (ou estado) dessa variável em seu devido local na janela. Os sistemas supervisórios operam normalmente em dois modos:

- a) Modo de Desenvolvimento, que é o ambiente de criação da interface gráfica, ou seja, é onde se elaboram os desenhos das janelas e os mostradores do sistema.
- b) Modo *Run Time*, que é a janela por onde são mostradas as telas criadas no modo de desenvolvimento, ou seja, é a interface gráfica pronta e funcionando. [8]

No desenvolvimento de um sistema supervisório são recomendadas as seguintes etapas:

4.4.1.1. Entendimento do Processo e Tomada de Dados

Para dar início ao desenvolvimento do sistema, é necessário ter um entendimento detalhado do funcionamento do processo a ser monitorado. Para isso, é preciso ter uma

conversa com os operadores do sistema ou com os responsáveis pelo projeto. Nessa etapa, são determinadas as variáveis do processo que precisam ser monitoradas, sendo que se deve escolher para apresentação somente os dados mais importantes para que o sistema supervisorio fique conciso[8].

4.4.1.2. Planejamento do Banco de Dados

O banco de dados tem a importante função de armazenar as informações relevantes do processo a fim de possibilitar a criação de históricos e relatórios. Em seu planejamento, é necessário escolher qual será a velocidade de leitura das variáveis a serem armazenadas, bem como nomeá-las de forma coerente, de acordo com seu significado para que uma futura manutenção no sistema fique facilitada[8].

4.4.1.3. Desenho das Telas

Na elaboração das telas do sistema supervisorio é importante ter uma boa organização nas partes constituintes visando aumentar a eficiência da interface e facilitar o trabalho do operador. Para isso, os recursos gráficos devem ser consistentes no uso de símbolos e cores sempre seguindo um padrão comum[8].

4.4.1.4. Padronização

É importante que o programa do sistema supervisorio esteja dentro de um padrão conhecido. Estando o operador familiarizado com o ambiente, torna mais fácil o seu treinamento e o manuseio do sistema. Também é relevante a fácil ligação com outros sistemas, possibilitando trocas de recursos e informações[8].

4.4.2. Código Fonte

O Código Fonte do sistema supervisorio foi dividido em duas etapas: a aquisição de dados e o tratamento dos dados.

No supervisorio referente à aquisição dos dados, foi feita a comunicação do PIC com o computador, através da conexão USB. Essa interface gráfica apresenta as opções para que o usuário possa fazer a escolha do tempo de teste e a opção da porta que é feita a conexão via USB, como mostrado na Figura 11. O código desenvolvido faz a coleta dos dados e estes são salvos com a data dos testes, a duração do teste e o conjunto hélice-motor que foi utilizado. A interface gráfica desse supervisorio é mostrada na Figura 11.



Figura 11 - Supervisório de Aquisição de Dados

No supervisório referente ao tratamento dos dados coletados, apresentado na Figura 12, o usuário seleciona o banco de dados para que possa ser feita a plotagem dos gráficos referentes ao teste selecionado. Após a seleção desse banco de dados, o programa faz a leitura do arquivo e realiza as plotagens da temperatura, força e rotação pelo tempo. É implementado uma opção para que o usuário possa salvar os gráficos plotados, para que estes possam ser utilizados em relatórios ou reuniões posteriores.

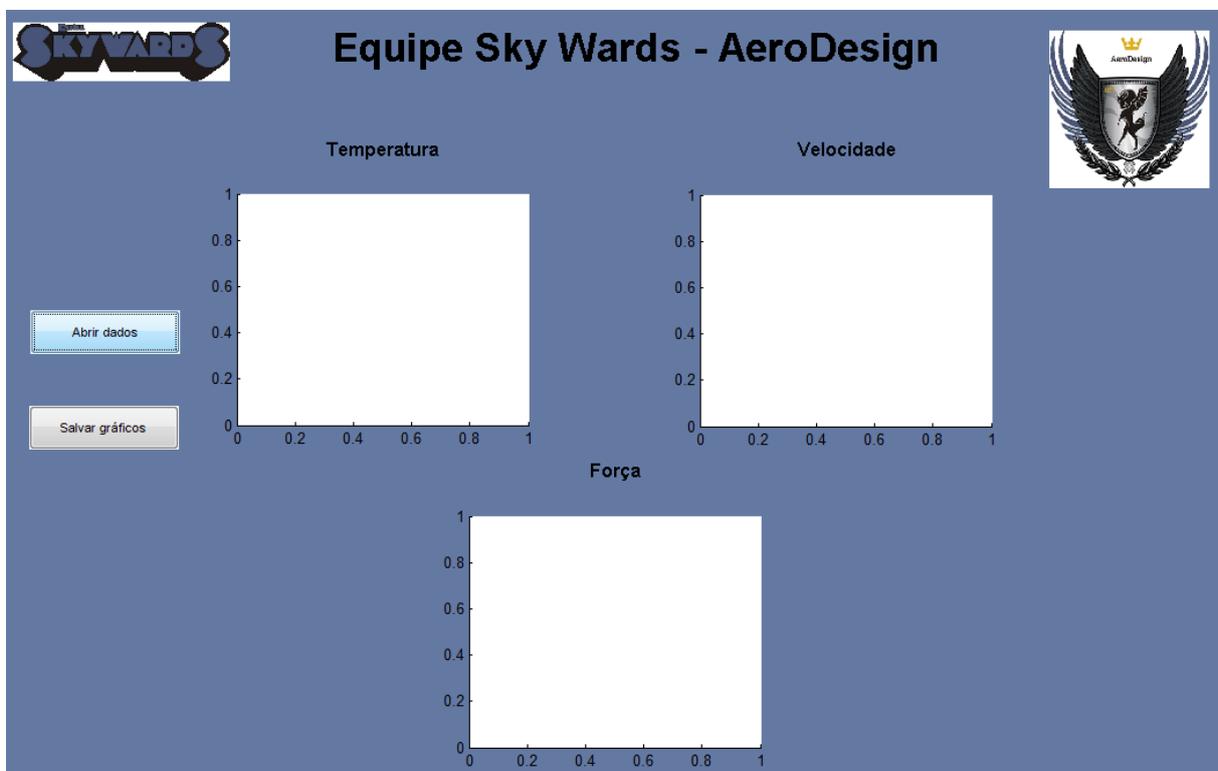


Figura 12 - Supervisório de Tratamento dos Dados

O programa de tratamento dos dados é responsável pela conversão dos valores medidos nas unidades pertinentes. O sensor de temperatura irá gerar uma tensão entre 0 e 5V, e sua faixa de trabalho é de 2°C a 150°C. Assim a equação para transformação da tensão em temperatura é dada por (1).

$$T(^{\circ}C) = \frac{148.V_T + 10}{5} \quad (1)$$

Na equação (1), $T(^{\circ}C)$ é a temperatura do motor e V_T é a tensão adquirida pelo PIC, em relação ao sensor de temperatura.

De forma análoga, foi feita a conversão para o sensor de força, que possui sua faixa de trabalho entre 0 e 49,05N e a tensão varia entre 0 a 4,7V, devido ao ganho do amplificador. Assim, a equação obtida é mostrada em (2)

$$F(N) = \frac{49,05.V_F}{4,7} \quad (2)$$

Nesta equação, $F(N)$ é a força em Newton que o motor traciona e V_F é a tensão coletada pelo PIC, em relação ao sensor de força.

Para o sensor de rotação, são medidos os pulsos em um intervalo de um segundo. Assim, o número de pulsos é responsável pelo número de rotações em um segundo. Logo, a equação que calcula o número de voltas por minuto é dado por (3)

$$V(rpm) = 60.N_{pulsos} \quad (3)$$

O $V(rpm)$ é a velocidade do motor em rpm e N_{pulsos} é o número de pulsos contados pelo PIC.

4.5. Sensor de Temperatura

O sensor LM35 é um sensor de precisão, fabricado pela National Semiconductor, que apresenta uma saída de tensão linear relativa à temperatura em que ele se encontrar no momento em que for alimentado por uma tensão de 4-20V dc e GND, tendo em sua saída um sinal de 10mV para cada Grau Celsius de temperatura. Sendo assim, apresenta uma boa vantagem com relação aos demais sensores de temperatura calibrados em “KELVIN”, não necessitando nenhuma subtração de variáveis para que se obtenha uma escala de temperatura em Graus Celsius.

O LM35 não necessita de qualquer calibração externa ou *trimming* para fornecer com exatidão, valores de temperatura dentro da faixa de -55°C à 150°C. Este sensor tem saída com baixa impedância, tensão linear e calibração inerente precisa, fazendo com que o

4.6. Sensor de Força

O sensor de força a ser utilizado é uma célula de carga, que vem a ser um dispositivo eletromecânico que mede a deformação ou flexão de um corpo e a transforma em uma saída de tensão. O sinal em milivolts é alterado proporcionalmente à medida que se é aplicado uma carga em sua estrutura física.

A célula é constituída de um ou mais extensômetros e um circuito denominado ponte de *Wheatstone*. O tipo de aplicação da célula é o fator determinante para a escolha da quantidade de extensômetros e configuração do circuito da ponte. Na Figura 15 é mostrada uma célula de carga que será utilizada no desenvolvimento da bancada de testes e na Figura 16 mostra a conexão interna da célula de carga.



Figura 15 – Célula de carga

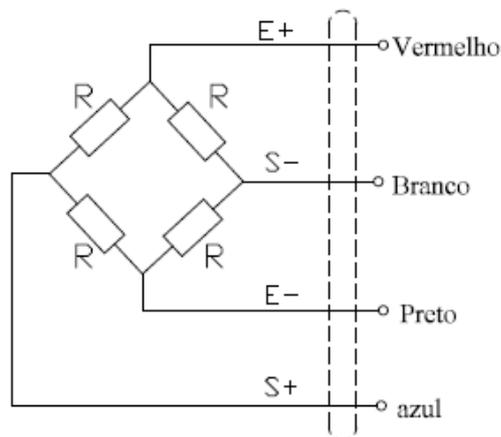


Figura 16 – Conexão interna da célula de carga

O sinal de saída da célula de carga possui uma variação muito pequena e na ordem de milivolts. A tensão de saída necessitou de uma amplificação, antes de processar o valor de

tensão no PIC para posteriormente efetuar a medição. Como já comentado, a amplificação é mostrada na seção 4.8.

A célula de carga utilizada foi do modelo CSA-ZL-M6 da MKControle, que na carga máxima (5kg) gera um sinal máximo de, aproximadamente, 1V.

4.7. Sensor de Rotação

O sensor utilizado para efetuar a medição da velocidade de rotação do motor do aeromodelo foi do tipo sensor indutivo. Os sensores indutivos são componentes eletrônicos capazes de detectar a aproximação de um objeto sem a necessidade de contato físico entre sensor e o acionador, proporcionando o aumento da vida útil do sensor, por não possuir peças móveis sujeitas a desgastes mecânicos. Eles também não necessitam de energia mecânica para operar e são imunes a vibração e choques mecânicos. Graças à elevada resistência dos componentes de alta tecnologia utilizados em seu circuito eletrônico, os sensores são particularmente capazes de operar em condições severas de trabalho, como a presença de lubrificantes, óleos, imersos na água, etc. A sua principal aplicação é a detecção de objetos metálicos, pois o campo emitido é eletromagnético[9].

O sensor consiste de uma bobina em um núcleo de ferrite, um oscilador, um detector de nível de sinais de disparo e um circuito de saída. Na Figura 17 é apresentado um sensor indutivo. A Figura 18 mostra a representação interna de um sensor indutivo.



Figura 17 - Sensor Indutivo

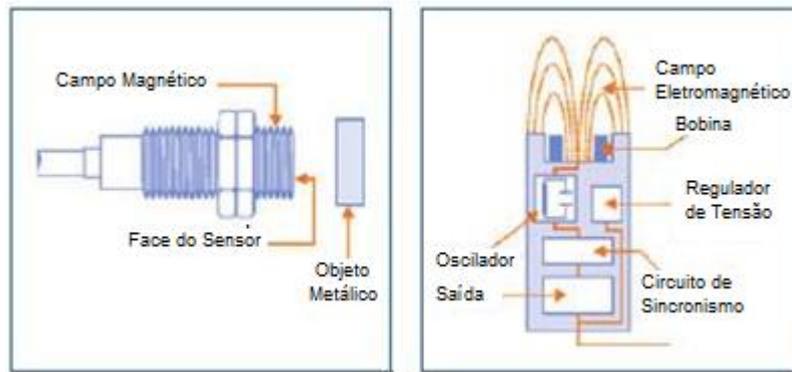


Figura 18 - Propriedades internas

O sensor indutivo trabalha pelo princípio da indução eletromagnética, funcionando de maneira similar aos enrolamentos primários e secundários de um transformador. O sensor tem um oscilador e uma bobina; juntos produzem um campo magnético fraco. Quando um objeto entra no campo, pequenas correntes são induzidas na superfície do objeto. Por causa da interferência com o campo magnético, energia é extraída do circuito oscilador do sensor, diminuindo a amplitude da oscilação e causando uma queda de tensão. O circuito de detecção do sensor percebe a queda de tensão do circuito do oscilador e responde mudando o estado do sensor[9].

No projeto da bancada, deve-se utilizar um sensor indutivo de frequência alta, pois a velocidade de rotação que o motor do aeromodelo pode atingir é alta, em torno de 17000rpm.

4.8. Amplificadores

Como dito anteriormente, os sensores de temperatura e força necessitam de uma amplificação no sinal emitido para que possa ser feita a conversão A/D no PIC. O sinal de saída destes sensores foi amplificado por dois circuitos iguais, porém de ganhos diferentes. O circuito amplificador utiliza o circuito integrado TL074. O pinagem desse CI é mostrado na Figura 19.

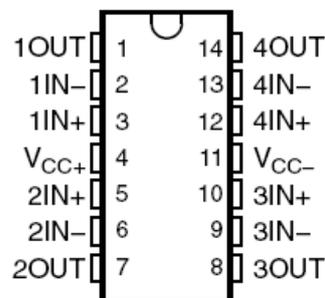


Figura 19 - Pinagem do TL074 (Fonte: Texas Instruments)

Esse circuito integrado possui 4 amplificadores operacionais, a mesma quantidade que foi necessária para o desenvolvimento dos amplificadores de tensão. O circuito de amplificação genérico é mostrado na Figura 20.

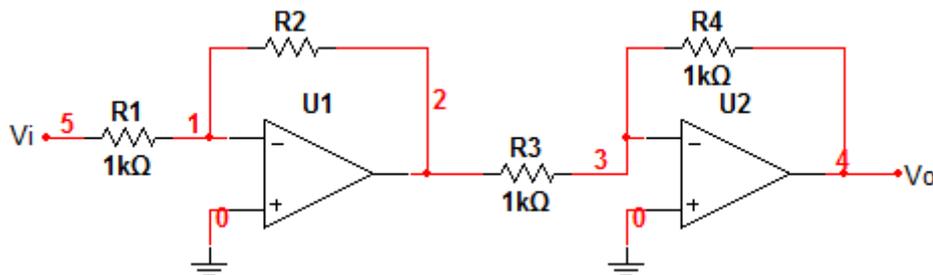


Figura 20 - Circuito amplificador

No circuito anterior, o amplificador operacional U1 faz a amplificação do sinal com o ganho desejado. Ao final da amplificação de U1 a tensão obtida possui sinal invertido. Então, adicionou-se o amplificador operacional U2, com ganho -1, para que a tensão voltasse a ser positiva. Para o ganho fosse de -1, no circuito de U2 os valores de R3 e R4 devem ser iguais. O valor de R3 e R4 é 1kΩ. Para o circuito completo, o ganho G pode ser obtido da seguinte equação.

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_1} \quad (4)$$

Logo, pela equação (4), a amplificação do sinal do sensor de temperatura deve ter, adotando um ganho próximo de 3,33 e valores comerciais de resistores, uma resistência R1 de 1kΩ e R2 de 3,3kΩ. Com esse valor, é possível tratar os valores da tensão de saída do sensor de temperatura entre 0 e 5V.

Do mesmo modo, pela equação (4), a amplificação do sinal de saída do sensor de força deve estar entre 0 e 5V. O ganho para o circuito amplificador deste sensor deve ser próximo de 5. Com isso, os valores comerciais de resistores adotados são: R1 igual a 1kΩ e R2 igual a 4,7kΩ. O ganho deste amplificador é de 4,7.

A amplificação dos sinais de saída desses sensores torna a coleta dos dados mais precisa.

4.9. Tração

Para o motor O.S. 61FX, que é uma das versões utilizadas na análise motor-hélice, as curvas de tração disponível e requerida foram avaliadas em três diferentes altitudes - h= 0m, h= 500m e h= 1250m - tomando como base as possíveis mudanças na densidade atmosférica e umidade do ar no dia da competição, de forma a simular mais precisamente a verdadeira situação a qual a aeronave e a equipe poderão estar sujeitas.

Para a eventual determinação das curvas de tração disponível foi usado o método matemático pela equação (5) exposta abaixo[10]:

$$T_{dh} = T_{d0} \cdot \frac{\rho}{\rho_0} \quad (5)$$

Onde T_{dh} é a tração disponível na altura desejada e T_{d0} é a tração disponível na altura zero.

Já a tração requerida - tomando como base um vôo reto e nivelado - foi adquirida pelo método matemático designado pela equação (6) que se segue:

$$T_r = D = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot (CD0 + K \cdot C_L^2) \quad (6)$$

Onde T_r é a tração requerida, ρ é a densidade do ar, v é a velocidade do ar, S é a área de referência, $CD0$ é o coeficiente de arrasto parasita, K é o coeficiente de proporcionalidade e C_L é o coeficiente de sustentação.

Obteve-se para a equação de tração requerida, ao utilizar uma variação da velocidade de 8 m/s e 30 m/s – que será posteriormente explicado, quando formos estabelecer os resultados de desempenho de decolagem e pouso - um peso total de 130 N. Conforme a variação de altitude assumimos os seguintes valores de densidade do ar:

$\rho = 1,225$ para $h = 0$ m (nível do mar); $\rho = 1,167$ para $h = 500$ m; $\rho = 1,085$ para $h = 1250$ m.

O valor do coeficiente de sustentação para cada diferente velocidade é apresentado na Equação (7) abaixo:

$$C_L = \frac{2 \cdot W}{\rho \cdot v^2 \cdot S} \quad (7)$$

Onde W é o peso total da aeronave.

O gráfico resultante é apresentado na Figura 21, onde se pôde perceber que à medida que a altitude aumenta, os valores de mínima velocidade aumentam e os valores de máxima velocidade diminuem, restringindo dessa forma a faixa de operação da aeronave.

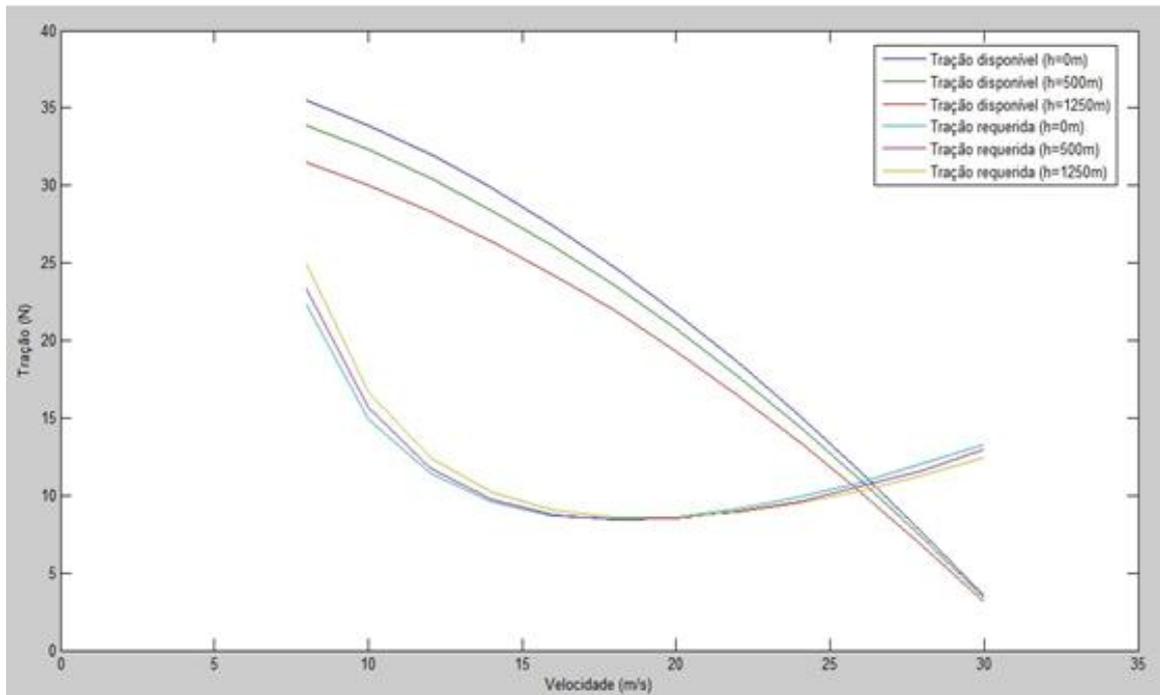


Figura 21 - Gráfico de Tração Disponível e Requerida

Segundo o fabricante do modelo especificado, a faixa de velocidade de rotação do motor é de 2300rpm a 18000rpm. Para os diversos tipos de motores que são utilizados no desenvolvimento do aeromodelo, a faixa de velocidade de rotação não varia abruptamente, mantendo-se sempre em torno de 18000rpm para as velocidades máximas e 2500rpm para as velocidades mínimas.

5 Resultados

Os resultados foram divididos em duas etapas: Simulação Computacional e Teste Prático. Na Simulação Computacional foram feitas as simulações envolvendo o código fonte do PIC. O Teste Prático foi realizado para verificar a aplicação do desenvolvimento do projeto.

5.1. Simulação Computacional

A simulação do código fonte desenvolvido para a aquisição e tratamento de dados do PIC foi feito através dos *softwares* Proteus 7.6, Virtual Serial Port Driver (VSPD) e Matlab. O Proteus foi utilizado para o desenvolvimento dos circuitos. Com este programa foi possível fazer a simulação do circuito elétrico e verificar se o programa implementado estava funcionando de forma correta. O VSPD foi utilizado apenas para a criação de uma porta serial virtual no computador. Assim, é possível combinar o Proteus com o Matlab. O programa de aquisição de dados e tratamento dos dados foi feito no Matlab. Para a simulação do código fonte do PIC foi feito de duas formas. Primeiramente houve a utilização do protocolo RS232 juntamente com a comunicação serial para que pudesse ser simulado computacionalmente. Após ser observado o funcionamento na simulação, houve a mudança da configuração do código fonte para que o sistema funcionasse com a comunicação USB. Nas próximas figuras que serão apresentadas estão dispostos os circuitos separadamente.

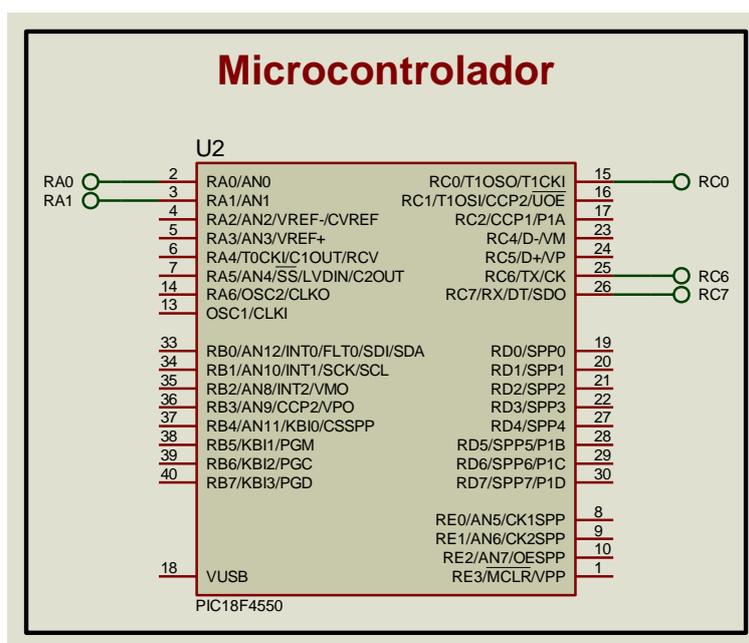


Figura 22 - Circuito do Microcontrolador

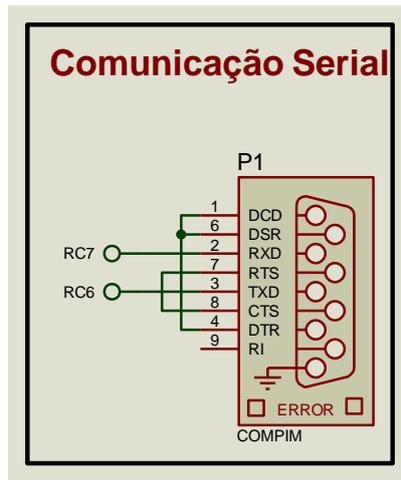


Figura 23 - Circuito da simulação da comunicação serial

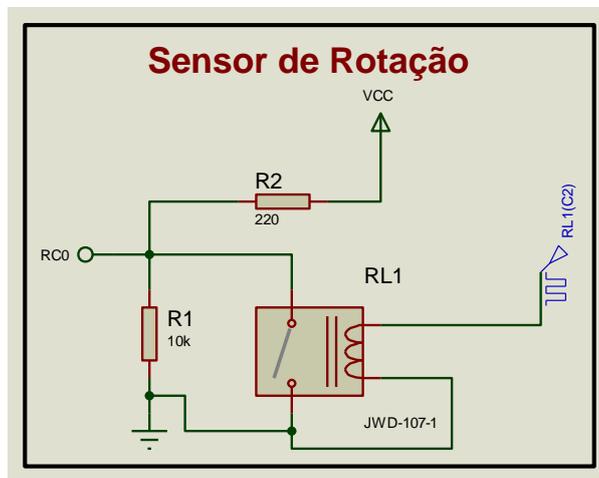


Figura 24 - Circuito da simulação do sensor de rotação

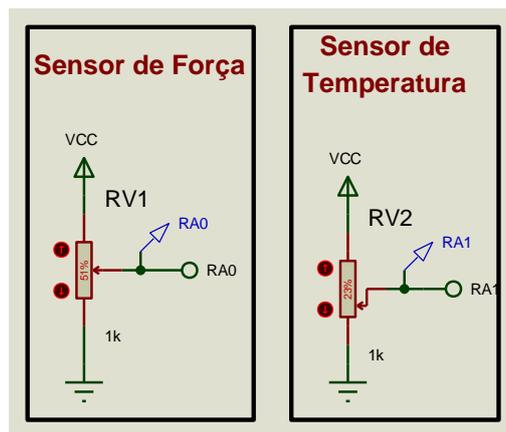


Figura 25 - Circuitos das simulações dos sensores de força e temperatura

Quando o circuito referente à junção das figuras anteriores é simulado, pode-se perceber que a variação dos potenciômetros referentes ao sensor de força e temperatura varia, bem como a frequência de oscilação do gerador de sinal referente ao sensor de rotação. Assim, a

cada 1 segundo de simulação, os dados do RA0 e RA1 e o número de pulsos contados pelo TIMER1 na porta RC0 são lidos e impressos através dos pinos RC6 e RC7 para que o supervisor de aquisição possa fazer o armazenamento dos dados medidos.

O supervisor de aquisição dos dados teve a comunicação feita com o Proteus de forma correta, apresentando os dados na forma de um arquivo chamado “teste.mat”. Esse arquivo é composto de 3 variáveis, que possuem os valores armazenados no formato da tabela mostrada na Figura 26.

	1	2	3
1	50	2.2700	2.5200
2	50	2.2700	2.5200
3	50	2.2700	2.5200
4	55	2.2700	2.5200
5	55	2.2700	2.5200
6	55	3.0200	2.5200
7	55	3.0200	2.5200
8	55	3.0200	2.5200
9	55	3.0200	2.5200
10	55	3.0200	2.5200
11	55	3.0200	2.5200
12	55	3.0200	3.1200
13	55	3.0200	3.1200
14	55	3.0200	3.1200
15	55	3.0200	3.1200

Figura 26 - Tabela dos valores obtidos em simulação computacional

Esse arquivo possui três colunas contendo os dados de rotação (coluna 1), em pulsos por segundo, de força (coluna 3), em valores de tensão, e de temperatura (coluna 2), em valores de tensão, amostrados a cada segundo de teste. O número de linhas do sistema corresponde ao número de segundos que foi feita a simulação. O primeiro teste foi feito em 60 segundos. Então, o arquivo gerado é carregado pelo supervisor de tratamento dos dados, como mostrado na Figura 27.

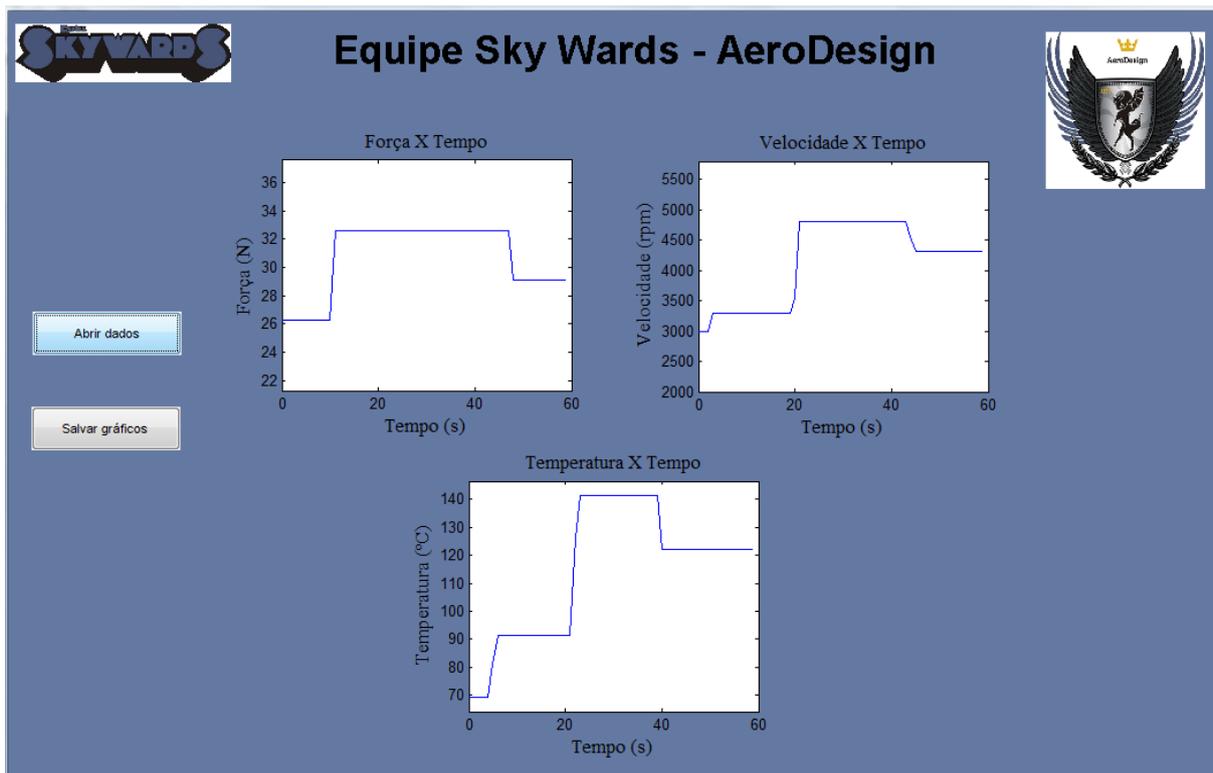


Figura 27 - Supervisor de Tratamento dos dados com os dados simulados

Analisando-se os gráficos gerados, é possível perceber que os gráficos possuem um degrau de variação muito grande, devido à variação em degrau do potenciômetro e no gerador de sinal. Esse fato não será visto quando o sistema for executado com um teste prático utilizando a bancada de testes, pois os sensores variam de forma mais contínua, não com diferenças tão abruptas.

Após a simulação ser feita e os programas se comportarem como o esperado, passou-se para a etapa de testes práticos, que será abordado no item seguinte.

5.2. Testes Práticos

Para a conclusão do projeto dentro do prazo estipulado, houve a necessidade de se fazer apenas os testes dos sistemas de aquisição e tratamento. Houve a necessidade de se fazer os testes com os sensores sendo substituídos por ferramentas que fazem a simulação dos sensores a serem utilizados.

Assim, na etapa de testes, o código fonte implementado para o PIC foi substituído para que se pudesse ser feita a comunicação via USB. Na sequência, foi montado o circuito em um protoboard, como mostra a Figura 28, e para a simulação dos sensores foi utilizado um sensor LM35, o mesmo que será utilizado na bancada de testes para a coleta da temperatura do

motor, um potenciômetro para simular o sensor de força e um gerador de sinal para a simulação do sensor de rotação.

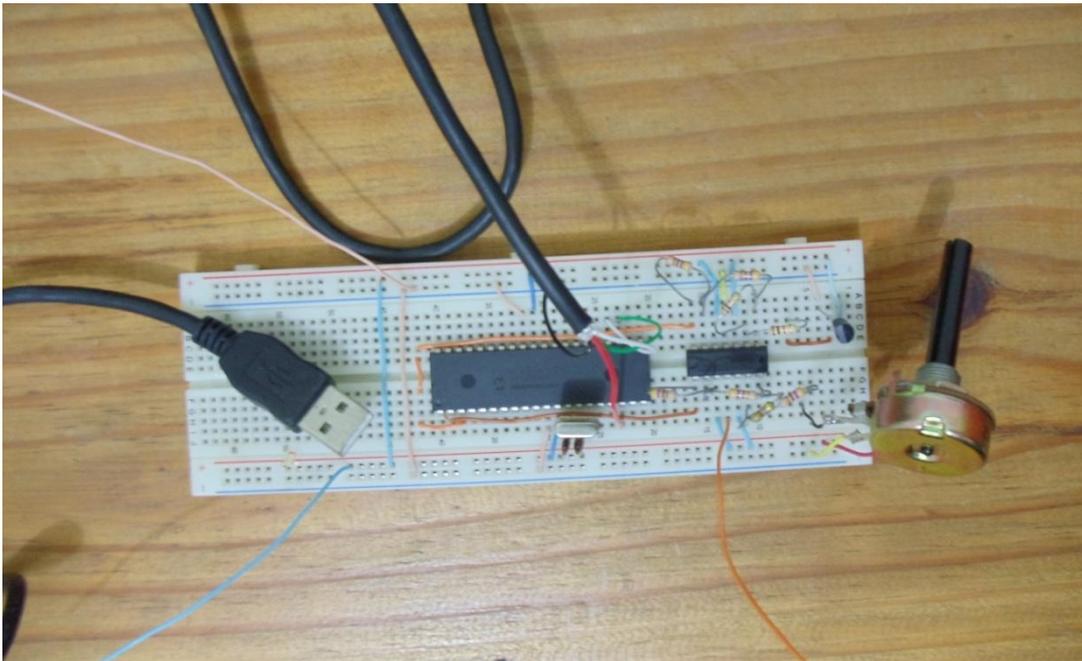


Figura 28 - Circuito de teste no protoboard

O aquecimento do sensor de temperatura foi feito por um ferro de solda. Através da variação da resistência do potenciômetro, foi possível simular o sensor de força para que este tivesse uma variação na tensão entre 0 e 4,7V. Com a utilização do gerador de sinal, a variação da frequência da onda quadrada amostrada, acarretava em um número de pulsos no intervalo de tempo desejado variado. Assim, mudava-se a frequência do sinal para que se coletassem os pulsos no intervalo de um segundo. A frequência amostrada no gerador de sinal era o número de pulsos que deveria ser coletado pelo sistema de aquisição, já que a frequência em Hertz é o número de ciclos por segundo.

Para a simulação descrita anteriormente, a Figura 29 mostra a tabela encontrada a partir do teste prático onde a coluna 1 é o número de pulsos, a coluna 2 é tensão referente à temperatura e a coluna 3 é tensão referente à força. A Figura 30 mostra o sistema supervisor após o tratamento dos dados amostrados.

teste <60x3 double>			
	1	2	3
1	51	0.6800	2.5300
2	51	0.6500	2.5100
3	50	0.6900	2.5200
4	51	0.6700	2.5100
5	52	1.0900	2.4800
6	51	1.3700	2.5100
7	50	1.6900	2.5400
8	51	1.8900	2.5100
9	52	1.9900	2.5000
10	50	1.9500	2.8500
11	51	1.6200	3.5000
12	52	1.2700	3.1000
13	51	1.0400	3.1000
14	50	0.8300	3.0800
15	51	0.7500	3.1100

Figura 29 - Tabela dos valores obtidos em teste

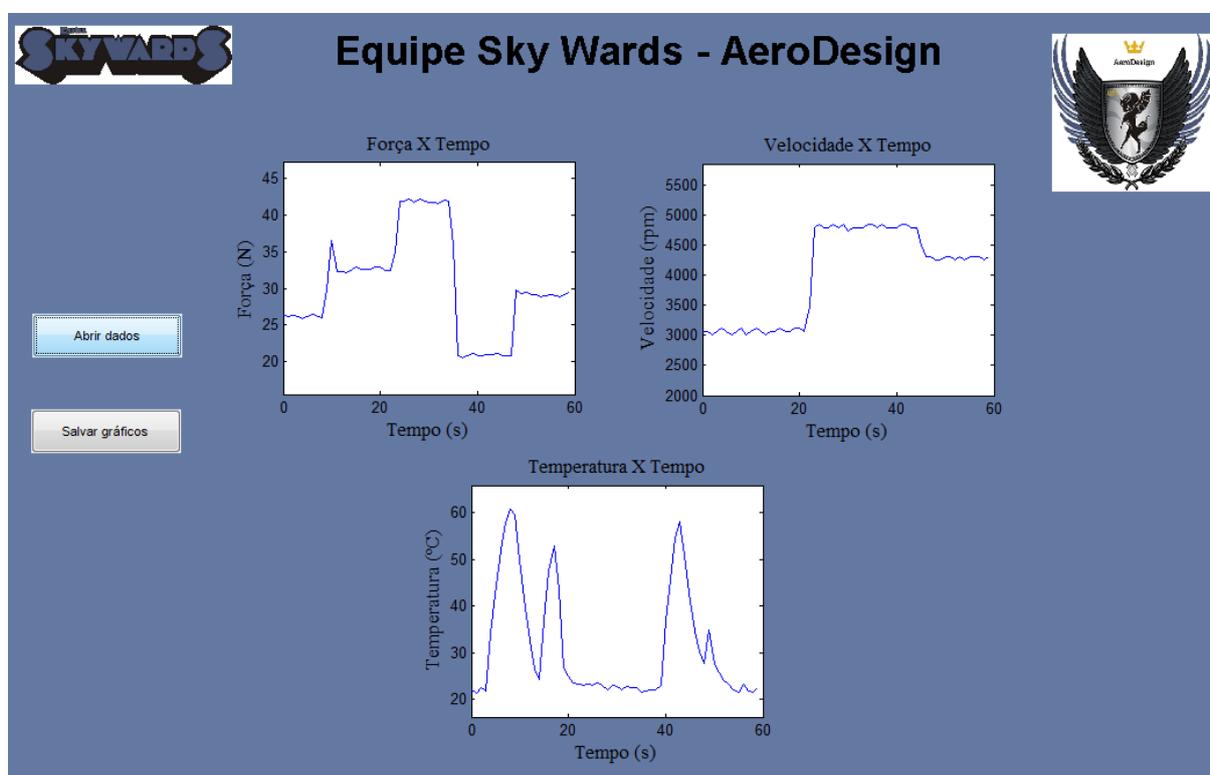


Figura 30 - Supervisório de Tratamento com os dados obtido no teste

É possível verificar que os gráficos ficaram mais próximos de resultados reais visto que os gráficos obtidos na simulação computacional apresentavam-se de forma muito limpa, sem ruídos. Apesar dos valores serem apenas amostras do comportamento do sistema de aquisição de dados, o sistema comportou-se como o esperado, executando o seu papel na coleta dos dados da simulação.

As imprecisões que ocorreram no sistema de aquisição são provenientes dos métodos indiretos para se simular os sensores. Sabe-se que a variação da força não é tão abrupta como o teste realizado, assim a força não possuirá tantas interferências. Do mesmo modo ocorre

com a temperatura. O motor tem seu aquecimento de forma gradativa, não abruptamente como colocar um ferro de solda diretamente no sensor, visto que, mesmo deste modo, existem diversas formas de se encontrar ruídos. A velocidade, como havia sido projetada apenas para um sensor de rotação, apresentou um erro considerável, que deve ser corrigido para a finalização da bancada. Quando o número de pulsos variava de uma unidade em um segundo, significava que a velocidade variava em 60rpm, o que representa muita coisa para um teste real. Isso ocorreu devido a frequência de amostragem do sistema ser de 1Hz e o número de sensor que captam o número de pulsos durante o período de 1 segundo. Porém, se a frequência fosse maior que esta, o erro por pulso perdido seria maior que 60rpm. Então, neste caso, uma das soluções é aumentar o número de sensores que capturam o número de pulsos dados em uma rotação. Se o fosse adicionado mais um sensor de rotação na bancada, para a mesma frequência de amostragem, a velocidade iria variar de 30rpm. Se fossem utilizados quatro sensores, para a mesma frequência, a diferença seria de 15rpm.

Com todos os problemas vistos, os ajustes finais da aquisição dos dados deverão ser feitos quando a bancada estiver em funcionamento junto ao motor e os sensores citados nos itens 4.5, 4.6 e 4.7. Assim, espera-se que o circuito funcione de forma correta, pois a partir dos dados obtidos nos testes práticos, é possível verificar que os sistemas que recebem os dados provenientes dos sensores são capazes de realizar a leitura e armazenamento dos valores medidos em teste.

6 Conclusões

O estudo apresentado neste trabalho contribuiu principalmente para a inserção de novos métodos para a comunicação dos microcontroladores PIC com o computador. Aplicando os novos conceitos foi possível realizar uma comunicação eficiente com o supervisor. O desenvolvimento do trabalho também favoreceu na aprendizagem de novas técnicas que só são adquiridas com a aplicação em projetos.

Como conclusão dos sistemas de aquisição de dados e dos supervisórios, foi possível perceber que o sistema de aquisição conseguiu coletar os dados de forma eficiente, fazendo o salvamento das informações coletadas pelo PIC em um arquivo que pode ser lido pelo supervisor do Matlab de tratamento de dados. Esse supervisor também apresentou um funcionamento bastante efetivo, conseguindo realizar a transformação dos dados coletados em valores de temperatura, força e velocidade.

Como sugestão para Trabalhos Futuros e Melhorias, é válido ressaltar o fato dos sensores de velocidade, que quando utilizado apenas um sensor, há certa imprecisão nos valores da velocidade. Uma solução para esta imprecisão é a inserção de mais sensores para contabilizar o número de pulsos dados em um ciclo de leitura do PIC. O aumento no número de variáveis a serem medidas, como o consumo de combustível e o torque realizado pelo motor, pode deixar o trabalho mais completo.

Referências Bibliográficas

- [1] SOUZA, D. J., *Desbravando o PIC*. Editora Érica, São Paulo, 2004.
- [2] SANTOS, L. S. L., *Sistema de Comunicação USB com Microcontrolador*. EPP/UPE, 2009.
- [3] Microchip PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet. *Disponível em*: <http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1999&ty=&dtty=§ion=&NextRow=&ssUserText=18f4550>.
- [4] Universal Serial Bus. *Disponível em*: <<http://www.pads.ufrj.br/~rapoport/usb/index.html#evolucao>>.
- [5] Comunicação Serial – RS 323. *Disponível em*: <<http://www.professores.aedb.br/arlei/AEDB/Arquivos/rs232.pdf>>.
- [6] CRUZ, L. F.: *Manual do Aeromodelista* – e-book. <<http://www.hobbys.com.br/manual.htm>>
- [7] PEREIRA, F., *Microcontroladores PIC: Programação em C*. Editora Érica, São Paulo, 2003.
- [8] NATALE, F.. *Automação Industrial* – 10^a Ed. – Editora Érica, São Paulo, 2000.
- [9] LIMA, H.L., *Sensores Indutivos*. DEE/UFRN - Natal, RN, 2008.
- [10] RODRIGUES, L. E. M. *Fundamentos da Engenharia Aeronáutica – Aplicações ao Projeto SAE-AeroDesign*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Editora Rev, São Paulo, 2009.