



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE COLETA DE
DADOS DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAR
AEROGERADORES DE PEQUENO PORTE

Dissertação submetida ao Exame Final

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

como parte dos requisitos para a obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

CESAR ROGERIO MENEZES SILVA

PROF. Dr. JOSÉ WILSON LAGE NOGUEIRA

Natal, Setembro/2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE COLETA DE
DADOS DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAR
AEROGERADORES DE PEQUENO PORTE**

CESAR ROGERIO MENEZES SILVA

**Esta dissertação foi julgada adequada no exame de final
DO MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

Prof. Dr. José Wilson Lage Nogueira - Orientador

BANCA EXAMINADORA

Dr. José Wilson Lage Nogueira - Presidente

Dr. Ângelo Rocanlli Oliveira Guerra

Dr. Alexandre César de Castro

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais volta ao tamanho original.”
Albert Einstein

“No futuro, o vento não será usado apenas para gerar energia elétrica, mas na produção do combustível necessário para mover os automóveis. É um mundo muito diferente daquele em que vivemos hoje, mas esse mundo está muito perto de se tornar real.”

(Brown, 2000)

Dedicatória

Dedico esta dissertação aos meus queridos filhos
Marina Bomfim Menezes, Fausto Bomfim Menezes e Luana Bomfim Menezes,
que eu possa ensinar-lhes muita mais pelas minhas ações que pelas minhas palavras.
A minha esposa Angela Mare Bomfim Menezes que sempre está ao meu lado.
Aos meus pais Cândido de Castro Silva Filho e Heloisa Menezes Silva pela
contribuição silenciosa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade de existência e contemplação da criação.

Agradeço ao amigo e orientador Prof. Dr. José Wilson Lage Nogueira por todo apoio, paciência, incentivo e compartilhamento de saberes.

Agradeço aos colegas de mestrado que com as diversas interrogativas colaboraram para o sucesso deste trabalho.

Agradeço à coordenação do PPGEM da UFRN, em especial ao Prof. Rubens Maribondo pela atenção e atendimento.

Agradeço ao colega Prof. Raimundo Jorge de Abreu pelas orientações recebidas.

Agradeço ao colega Prof. Dr. Ângelo Rocanlli Oliveira Guerra pelas orientações recebidas.

Agradeço ao colega Prof. Dr. Carlos Magno de Lima pelas orientações recebidas.

Agradeço a ANP pela oportunidade de uso dos equipamentos instalados no Laboratório de Dispositivos Térmicos e Especiais – LABDTE do CT da UFRN.

Agradeço a FAPESB pela concessão da bolsa, fundamental para manutenção das atividades.

SUMÁRIO

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Símbolos

Lista de Siglas e Abreviaturas

Resumo

Abstract

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação.....	1
1.2 Objetivo Geral	7
1.3 Objetivos Específicos.....	7

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Aquisição de Dados	8
2.1.1 Sinais Contínuos e Discretos.....	9
2.1.2 Métodos de Aquisição de Dados.....	12
2.1.3 Sensores.....	15
2.1.4 Condicionamento do Sinal.....	17
2.1.5 Amostragem de Sinais Contínuos.....	22
2.1.6 Conversão Analógica/Digital.....	24
2.2 Transmissão de Dados à Distância.....	30
2.2.1 Ondas Eletro-Magnéticas.....	31
2.2.2 Modulação	32
2.3 A turbina eólica	34
2.3.1 Estrutura de uma Turbina Eólica.....	34
2.3.2 A Energia do Vento.....	38
2.3.3 Aproveitamento da energia por uma turbina.....	40

3 SISTEMA EÓLICO OBJETO DO TRABALHO	
3.1 Aerogerador utilizado no modelo em estudo no C.T. da UFRN.....	42
3.2 Estrutura do modelo em estudo no C.T. da UFRN.....	45
4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	
4.1 Desenvolvimento	51
4.1.1 Sistema de Monitorização (Aquisição e Transmissão)	52
4.2 Montagem Experimental	55
4.2.1 Aquisição de dados.....	56
4.2.1.1 Elementor Sensor.....	56
4.2.1.2 Condicionamento do Sinal	56
4.2.1.3 Conversor Analógico/Digital	57
4.2.1.4 Microprocessador de sinais	59
4.2.1.5 Módulos de Transmissão e Recepção.....	62
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	
5.1 Dados Obtidos	67
5.2 Análise dos Resultados.....	72
6 CONCLUSÕES	
6.1 Conclusões.....	74
6.2 Trabalhos Futuros.....	75
7 REFERÊNCIAS.....	76
ANEXOS.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Quantidade de gás carbônico emitido no consumo de combustíveis fósseis.....	02
Figura 02: Comparação entre a Vazão do Rio São Francisco e o Vento Típico no Interior e no Litoral do Nordeste do Brasil	03
Figura 03: Mapa Eólico da região Nordeste do Brasil.....	03
Figura 04: Diagrama funcional de um sistema de Aquisição de Dados.....	08
Figura 05: Representação gráfica de um sinal contínuo	10
Figura 06: Representação gráfica de um sinal discreto.....	10
Figura 07: Modelo em blocos de um sistema de aquisição de dados	12
Figura 08: Representação da aplicação do condicionamento do sinal.....	17
Figura 09: Curvas de respostas dos filtros FPB, FPA, FPF e FRF.....	18
Figura 10: Símbolo típico do amplificador operacional.....	19
Figura 11: Amplificador operacional na configuração não inversora.....	20
Figura 12: Gráfico de condicionamento da amplitude do sinal em canal analógico	20
Figura 13: Gráfico do comportamento funcional da etapa de condicionamento do sinal.....	21
Figura 14: Amostragem pelo método S&H de um sinal contínuo de variação rápida.....	22
Figura 15: Gráfico do Sinal Original e sua Imagem amostrado com alissing.....	23
Figura 16: Relação entre código digital binário e o número decimal analógico	25
Figura 17: Curva de um sistema de conversão com resolução igual a 0,33	26
Figura 18: Curva de um sistema de conversão com resolução igual a 0,05	26
Figura 19: Curva de conversão e erro de quantização	27
Figura 20: Curva de relação entrada-saída de um quantizador A/D de 3-bits.....	28
Figura 21: Erros possíveis em um conversor analógico/digital.....	29
Figura 22: Erro de abertura de um conversor A/D.....	29
Figura 23: Composição em planos dos campos elétrico e magnético de uma OEM.....	31
Figura 24: Espectro da mensagem após modulação	33
Figura 25: Vista em explosão de uma turbina eólica	34
Figura 26: Diagrama de potência útil no aerogerador de acordo com a velocidade do vento	37
Figura 27: Área de Varredura de uma turbina eólica.....	38
Figura 28: Fotografia do aerogerador AC750 da Aerocraft instalado no LABDTE	42
Figura 29: Curva de potência do aerogerador AC750 da Aerocraft	43

Figura 30: Curva de potência obtida x área de varredura.....	44
Figura 31: Curva de potência obtida com limite de Betz x área de varredura	44
Figura 32: Esquema do Modelo instalado no CT da UFRN.....	45
Figura 33: Foto do Inversor de frequência e Controlador de Carga do modelo	47
Figura 34: Estrutura da estação de medição piloto do CT-UFRN.....	50
Figura 35: Anemômetro NRG #40.....	50
Figura 36: Registrador de Campo 9200 Plus da NRG	50
Figura 37: Diagrama em blocos da Unidade de Leitura	53
Figura 38: Diagrama em blocos da Unidade de Aquisição e Transmissão de Dados.....	54
Figura 39: Foto da Unidade Base de Leitura	55
Figura 40: Diagrama de pinagem do ADC0809 em configuração DIL	58
Figura 41: Diagrama de pinagem do Microcontrolador AT89S52 da ATMEL	60
Figura 42: Foto da Unidade de Aquisição e Transmissão de Dados	61
Figura 43: Diagrama em blocos da unidade receptora RR3 da Telecontrolli	63
Figura 44: Diagrama em blocos da unidade transmissora RT4 da Telecontrolli.....	63
Figura 45: Foto da bancada de teste das unidades de aquisição e leitura.....	65
Figura 46: Análise do sincronismo entre transmissão e recepção das unidades.....	65
Figura 47: Espectro frequencial obtido na transmissão sem modulação	66
Figura 48: Espectro frequencial obtido na transmissão com modulação	66
Figura 49: Velocidade do Vento – CT – 1º semestre/2006	69
Figura 50: Velocidade do Vento – CT – 2º semestre/2006	69
Figura 51: Rosas-dos-Ventos – CT - UFRN	70
Figura 52: Distribuição de frequências do vento no mês de fevereiro/2006	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Levantamento no censo 2002	04
Tabela 02 – Ações do Programa Luz para Todos	05
Tabela 03 – Faixas espectrais das OEM's, suas denominações e aplicações.....	31
Tabela 04 – Custos empregados na construção do protótipo	67

SÍMBOLOS

Alfabeto Latino:

A	Área transversal	[m ²]
D	Distância	[m]
Ec	Energia Cinética	[J]
EG	Energia Gerada ao ano	[Wh/ano]
m	Massa	[kg]
Pm	Potência média	[W]
Pi	Potência Instantânea	[W]
t	Tempo	[s]
V	Volume	[m ³]

Alfabeto Grego:

v	Velocidade	[m/s]
ρ	Densidade específica do ar	[kg/m ³]
λ	Comprimento de onda	[nm]
η	rendimento	[adimensional]

Siglas

ADC – Conversor Analógico Digital
AM – Modulação em Amplitude
ASK – Modulação por Chaveamento de Amplitude
DMA – Acesso Direto à Memória
FM – Modulação em Frequência
FS – Fundo de Escala
IDH – Índice de Desenvolvimento Humano
LSB – Bit Menos Significativo
OEM – Ondas Eletromagnéticas
PM – Modulação em Fase
q – Quantum (nível de quantização)
RF – Rádio-Frequência
USB – Universal Serial Bus
μP – Microprocessador
μC – Microcontrolador

RESUMO

É fundamental a oferta de energia elétrica para as regiões centrais do Brasil, principalmente da região Nordeste, de modo que exista mesmo que remota, a possibilidade de mudança de cultura para a melhoria das condições de vida, a produção e o desenvolvimento sócio-econômico. A utilização de aerogeradores em determinados locais do interior é possível, pois existe a oferta de vento, o que viabiliza a instalação de sistemas autônomos de energia elétrica para o provimento das necessidades já mencionadas.

Este trabalho busca reforçar a aplicação de aerogeradores ou sistemas híbridos em locais mais remotos, aplicando sempre um sistema de monitoramento e aquisição dos dados das condições funcionais destes sistemas, possibilitando a contínua avaliação das condições operacionais, sem a necessidade de deslocamento para a área de instalação do sistema. Existem diversas técnicas para transmissão de dados, sendo que devido a diversos fatores, como por exemplo o custo, a transmissão por ondas eletromagnéticas parece ser a mais favorável quando o ponto de coleta encontra-se distante do centro de tratamento dos dados.

Palavras-chave: coleta de dados, monitoramento, aerogerador.

ABSTRACT

It is fundamental the electric power offer for the central areas of Brazil, mainly of the Northeast area, so that it exists same that remote, the possibility of culture change for the production and development. That it also exists starting from the offer of the electric power the extraction of water of the underground, for human use, animal and irrigation. The wind turbines use in certain places of the interior is possible, because the wind offer exists, what makes possible the installation of autonomous systems of electric power for the provision of the needs mentioned already.

This work search to reinforce the wind turbines application or hybrid systems in more remote places, always applying a monitoring system and monitorin of the functional conditions of these systems, always making possible the evaluation of the operational conditions, without the displacement need for the area of installation of the system. Several techniques exist for data transmission, and due to several factors, as for instance the cost, the transmission for electromagnetic waves seems to be the most favorable when the collection point is distant of the center of treatment of the data.

Key words : monitoring system, low cost, wind turbines

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

O princípio de tudo é a palavra Energia, para toda e qualquer atividade do homem será sempre necessária a utilização ou aplicação da energia. O Sol irradia anualmente o equivalente a 10.000 vezes a energia consumida pela população mundial neste mesmo período. O Sol produz continuamente 390 sextilhões (390×10^{21}) de quilowatts de potência. Como o Sol emite energia em todas as direções, um pouco desta energia é desprendida, mas mesmo assim, a Terra recebe mais de 1.500 quatrilhões ($1,5 \times 10^{18}$) de quilowatts-hora de potência por ano [AMBIENTE BRASIL, 2006].

Nas últimas décadas o interesse e as pesquisas em torno da capacidade de utilização da energia eólica cresceram significativamente; é interessante notar que os países chamados tropicais que não dispõem de uma política nacional de desenvolvimento e construção de uma matriz energética baseada na energia solar e eólica. São exatamente esses países os que mais apresentam a oferta de energia fototérmica (solar e eólica) desperdiçando recursos naturais que poderiam amenizar as dificuldades de parte da população mais carente, que muitas vezes não tem a oferta de serviços públicos (energia elétrica, água e saneamento), apesar de existirem experiências que foram executadas em algumas cidades do interior da região Nordeste do Brasil. Nesses locais aerogeradores e placas fotovoltaicas foram instaladas em residências de pequenos povoados distantes, oferecendo melhorias na qualidade de vida destas pessoas.

Sabe-se também que, atualmente, muitos países ricos têm sua geração de energia baseada em recursos fósseis (carvão e petróleo), esses países produzem enormes quantidades de CO_2 que é um dos principais agentes de intensificação do efeito estufa. As alterações climáticas na atualidade são mais intensas e constantes, e talvez irreversíveis. As alterações das condições de penetração dos raios solares e suas conseqüências na atmosfera e superfície terrestre podem modificar as condições dos oceanos e mares, lagos e rios, florestas. Enfim, podem também alterar as condições atuais de oferta das energias renováveis.

De acordo com **Brown (2000)**, a economia global, nestes últimos 50 anos completa uma expansão admirável, impulsionada por um crescimento quádruplo do combustível fóssil, acompanhado de um aumento semelhante nas emissões de dióxido de carbono (CO₂). Tal situação pode ser verificada através da figura 01 abaixo.

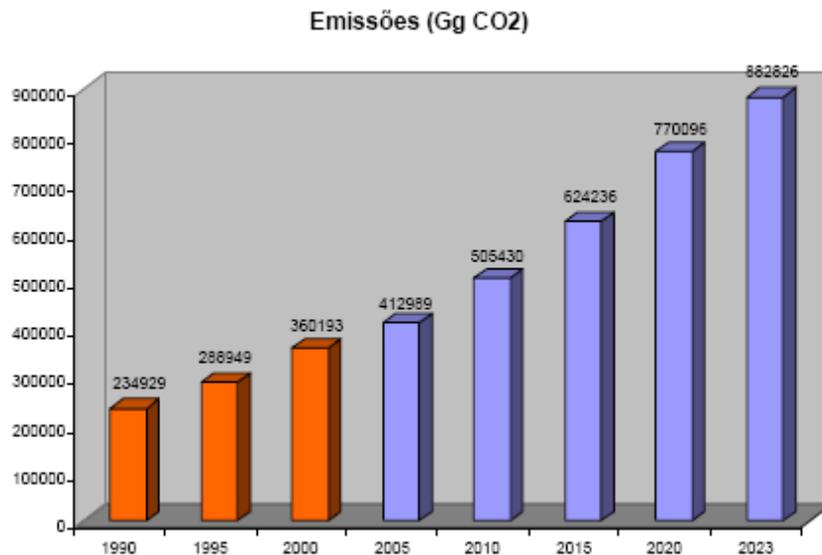


Figura 01 - Quantidade de gás carbônico emitido no consumo de combustíveis fósseis. Fonte MME 2006.

Os países industrializados, apesar de abrigarem apenas 21% da população mundial consomem 70% das fontes convencionais de energia e 75% da eletricidade, enquanto 2 bilhões de seres humanos, nos países em desenvolvimento vivem privados do acesso a energia [FHB e CRV, 2002].

A partir do gráfico da figura 02 pode-se constatar que o período de baixa vazão do rio São Francisco coincide com o período de maior oferta de vento tanto no litoral como no interior da região Nordeste do Brasil, o que favorece a geração em sistemas híbridos. Avaliando ainda o perfil eólico, através das figuras 02 e 03 constantes na página 03, do litoral da região Nordeste do Brasil, se percebe que o regime de vento apresenta uma boa temporalidade e intensidade favorável à implantação de sítios eólicos nesta região, com índices de velocidade média do vento em torno de 8,5 m/s.

A conjuntura atual do setor elétrico brasileiro tem despertado o interesse de muitos empreendedores. Em 5 de julho de 2001, foi instituído o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA, atualmente incorporado ao PROINFA-Programa de

Incentivo ao uso de Fontes Alternativas de Energia Elétrica), com o objetivo de agregar ao sistema elétrico nacional 1050MW de energia eólica [ELETROBRÁS, 2005].

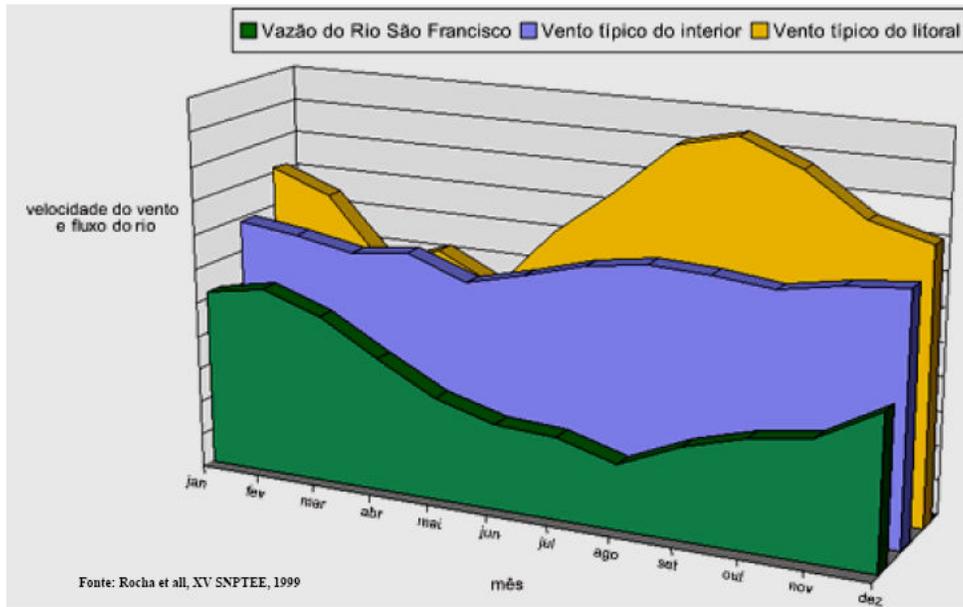


Figura 02 - Comparação entre a Vazão do Rio São Francisco e o Vento Típico no Interior e no Litoral do Nordeste do Brasil [MOSS E DUTRA, 2007].

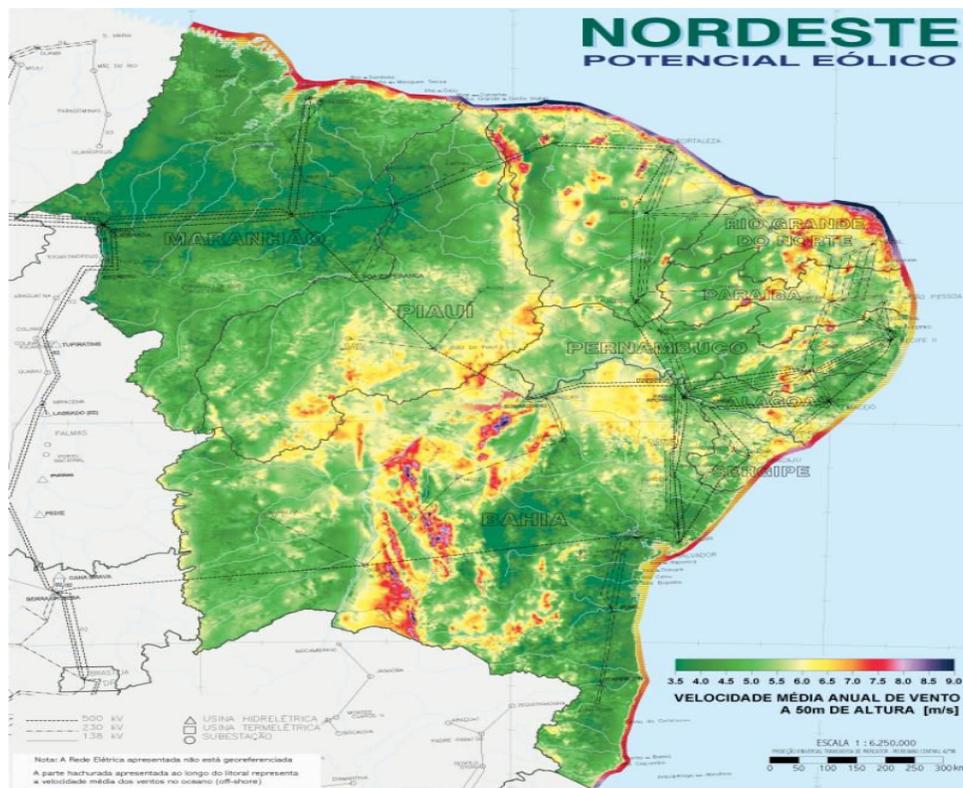


Figura 03: Mapa do Potencial Eólico da região Nordeste do Brasil – [AMARANTE et al, 2001].

A questão energética é básica e está sempre ligada ao desenvolvimento de uma região ou país. Hoje, depende-se mais de energia que em qualquer outro período da humanidade. Em decorrência, também são mais visíveis seus efeitos poluidores, e buscam-se, com relativa pressa, alternativas para uma nova matriz energética mundial.

Como exemplo existe a cidade de Güssing situada ao sul da Áustria que ao término dos anos 1980, era a região mais pobre de Áustria. O industrial tinha deixado o território e não havia mais trabalho na agricultura. Atualmente com a produção local de energias renováveis alcança todos os anos a marca de 70 milhões de quilowatt-horas de calor e 28 milhões de quilowatt-horas elétricas, produzindo 100% da energia que consome graças as suas instalações de biomassa e solar. E com esta energia, a vida econômica voltou [ENERGIES RENOUVELABLES, 2006].

É fato que as cidades do interior da região Nordeste apresentam os piores índices de desenvolvimento humano quando comparada com outras regiões do Brasil e têm níveis de renda abaixo da linha de pobreza estabelecida pela Organização das Nações Unidas (ONU). Um dos motivos principais é a dificuldade de implementação de projetos de desenvolvimento que sempre estão associados à necessidade de uso da energia elétrica. As diferenças podem ser vistas na tabela 01 abaixo relativa ao censo 2002 sobre oferta de energia elétrica em domicílios rurais e urbanos.

Tabela 01 - Levantamento no censo 2002, [ELETROBRÁS, 2005].

Grandes Regiões	Domicílios Permanentes Não Atendidos					
	Urbano	%	Rural	%	Total	%
Brasil	505.023	1,2%	1.979.249	27,0%	2.484.271	5,2%
Região Norte	56.195	2,4%	447.124	59,7%	503.319	16,1%
Região Nordeste	201.642	2,2%	1.110.339	34,4%	1.311.981	10,7%
Região Sudeste	166.565	0,8%	206.214	11,9%	372.779	1,7%
Região Sul	49.011	0,8%	125.235	10,3%	174.246	2,3%
Região Centro-Oeste	31.610	1,0%	90.336	21,5%	121.946	3,5%

O Programa Luz para Todos que é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, foi criado pelo Governo Federal através do Decreto n.º 4.873 de 11 de novembro de 2003, destinado a propiciar, até o ano de 2008, o atendimento de energia elétrica a 12 milhões de brasileiros da zona rural que ainda não têm acesso a esse serviço público. No Brasil, a exclusão elétrica predomina em áreas com menor Índice de

Desenvolvimento Humano (IDH) e entre famílias de baixa renda. Cerca de 90% das famílias sem acesso à energia têm renda inferior a três salários mínimos e 84% vivem em municípios com IDH abaixo da média nacional [NEOENERGIA, 2007].

Tabela 02: Ações do Programa Luz para Todos [NEOENERGIA, 2007]

Avanço Físico Posição em 31/05/2006	Coelba	Cosern	Outras Empresas	Grupo Neoenergia
Ligações concluídas	94.287	17.187	43.027	154.501
Ligações em execução	17.780	931	9.835	28.546
TOTAL	112.067	18.118	52.862	183.047

O objetivo final de um sistema de energia elétrica consiste em fornecer aos consumidores um produto (energia elétrica) de boa qualidade e economicamente acessível, procurando ao mesmo tempo minimizar possíveis impactos ecológicos e sociais. Apresentando continuidade (sempre disponível), conformidade (dentro dos padrões mundiais), flexibilidade (adaptável às necessidades de mudanças) e manutenibilidade (manutenção rápida), como elementos integrantes do produto de boa qualidade [CAMARGO, 2006].

Todo sistema de geração elétrica a partir de aerogeradores deve contar com a possibilidade de controle das suas condições operacionais, muitas vezes os controles são locais e essencialmente buscam tirar o aerogerador de operação caso as condições funcionais não sejam adequadas. É, então, desejável a existência de um sistema de monitoramento das condições funcionais do sistema, permitindo a leitura por parte de uma equipe ou centro de operação e controle.

Como diversos podem ser os sistemas instalados, não é viável a existência de uma equipe para cada sistema ou sítio eólico instalado. Como solução alternativa, surge o monitoramento remoto, ou seja, feito à distância o que permite a avaliação contínua das condições operacionais e funcionais dos diversos equipamentos instalados. Há também a possibilidade de ser feito a curta ou longa distância e centralizar diversas unidades em um mesmo centro de controle e supervisão.

Toda estrutura de unidades geradoras, linhas de transmissão, transformadores e equipamentos de manobra e proteção apresentam um elevado grau tecnológico e requer

maciços investimentos, motivos pelos os quais o Governo federal tem intervindo e criado elementos de financiamento e subsídio ao setor. Não obstante estão as parcerias entre as empresas geradoras, transmissoras e distribuidoras com universidades e centros de pesquisa, onde se busca soluções ou tecnologias de maior eficiência para o setor elétrico [CAMARGO, 2006].

Na condição de se estabelecer um sistema de geração e abastecimento de energia elétrica a partir de aerogeradores com interligação com a rede comercial se faz necessário observar fatores de qualidade e conformidade do sinal elétrico gerado, com o objetivo de evitar transtornos na rede de distribuição elétrica. As variações de velocidade do vento em escala de tempo de milissegundos a minutos, também chamadas de turbulências atmosféricas, aliadas a aspectos dinâmicos estruturais das turbinas eólicas são responsáveis pelas variações dinâmicas de tensão, normalmente contabilizadas através do fenômeno de cintilação (*flicker*) [MUTSCHLER, 2002].

Para sistemas de geração conectados à rede comercial se faz necessário estabelecer um estudo criterioso da continuidade e temporalidade dos ventos na região e a indicação da necessidade de aplicação ou instalação de transformadores reguladores de carga na linha de transmissão, como forma de garantir uma energia elétrica de qualidade.

É propósito deste trabalho enfatizar a aplicabilidade das energias renováveis, especificamente a eólica, que pode ser aplicada no Nordeste do Brasil para geração de energia elétrica com a utilização de sistemas autônomos e não conectados a rede elétrica comercial, mas particularmente em regiões remotas onde a partir de uma pequena oferta de energia elétrica pode-se realizar o bombeamento de água para consumo humano e animal, e beneficiamento de lavoura, que seja familiar ou de subsistência. Casos de sistemas eólicos implantados no interior do estado da Bahia existem, mas por serem distante da capital tornam-se dispendiosos em seu controle e manutenção.

Assim, aplicando um sistema de monitoramento remoto de baixíssimo custo é possível acompanhar continuamente as condições operacionais do sistema do aerogerador, assegurando maior confiabilidade e funcionalidade ao sistema eólico. Este trabalho apresenta contribuição no sentido da construção de equipamento nacional de baixo custo para aquisição e transmissão de dados em tempo real, como ferramenta auxiliar no processo de desenvolvimento da aplicação de sistemas eólicos ou híbridos do semi-árido Nordestino.

1.2 OBJETIVO GERAL

Apresentar e discutir a aplicação de um sistema de coleta de dados aplicado a aerogeradores de pequeno porte. Analisar as condições funcionais do sistema eólico instalado no campus da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) para geração de energia elétrica, refenciando-o como elemento piloto deste trabalho.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar as condições funcionais do sistema de geração eólica instalado no Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, em área do Laboratório de Dispositivos Térmicos e Especiais (LABDTE).

- Montar um sistema de aquisição e transmissão de dados à distância, aplicado ao modelo em estudo, que permita a análise funcional de forma remota de cada etapa ou estágio da unidade instalada, composto de uma unidade de aquisição e transmissão e outra unidade de leitura.

- Acompanhar o desempenho do sistema eólico instalado no LABDTE da UFRN.

- Diagnosticar eventuais problemas na unidade geradora da UFRN.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Aquisição e Transmissão de Dados

Durante as diversas atividades diárias executadas pelo homem, existe a interação com as mais variadas formas de informação, as quais podem se apresentar de forma analógica ou de forma digital, sendo a primeira mais comum ao homem já que o processamento humano é de modo contínuo, o que caracteriza o sinal analógico. Muitas máquinas operam de modo digital, ou seja, as informações são tratadas de modo discreto, como por exemplo, o computador, só que as suas interfaces para com o homem devem sempre apresentar as informações de forma analógica. A introdução e avanço da eletrônica permitiram avançar no tratamento das informações com excepcionais ganhos em velocidade de processamento da informação e volume da mesma. O tratamento digital da informação apresenta-se na atualidade como a melhor forma do homem lidar com as mais variadas e extensas formas de informação, gerando economia significativa de tempo e capacidade de resolução de problemas.

No entanto, como os sinais de trabalho de interação do homem com os diversos meios produtivos e do trabalho são analógicos e podem requerer a transferência ou transmissão da informação para local distintos próximos ou distantes, se faz necessário para melhor trabalhar com a informação dispor de um sistema de aquisição da informação (aquisição de dados) que possa adequar a forma do sinal original ao sistema de transmissão, sem comprometer seu grau de inteligibilidade quando da recepção e apresentação. A figura 04 apresenta um modelo representativo da aquisição e apresentação de dados.

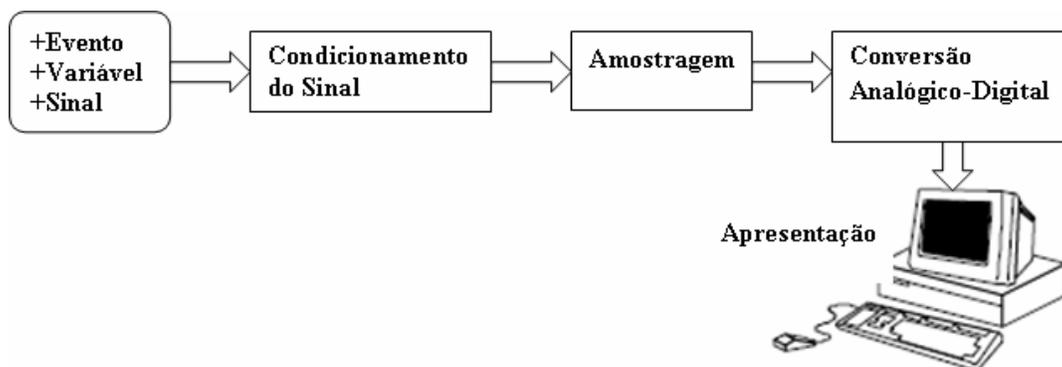


Figura 04 - Diagrama funcional de um sistema de Aquisição de Dados

2.1.1 Sinais Contínuos e Discretos

Sinal é a função que fornece informação acerca do estado ou comportamento de um fenômeno físico [LIMA, 2007].

Um sinal é definido como uma função de uma ou mais variáveis, a qual veicula informações sobre a natureza de um fenômeno físico [HAYKIN et al, 2002].

A representação do sinal analítica e graficamente pode ser feita nos domínios do tempo (t) e da frequência (f), dependendo do tratamento que se pretende estabelecer.

O sinal como elemento representativo de grandeza elétrica ou fenômeno físico em geral é um sinal contínuo, mas quando sugeridos a eventos pode-se tratar como sinal discreto. No tratamento elétrico é comum usar as terminologias de sinal analógico e sinal digital.

O sinal contínuo no tempo ($x(t)$) se dá quando a variável independente do tempo é contínua [LIMA, 2007].

Sinais analógicos são aqueles que podem assumir qualquer valor dentro de determinados limites e levam a informação na sua amplitude. Apresentam uma variação contínua de uma variável. Os sinais analógicos podem ser classificados de duas formas [ZAPELINI, 2006]:

- **Sinais analógicos variáveis** – podem ser representados por uma soma de um conjunto de senóides de frequência mínima e maior que zero.
- **Sinais analógicos contínuos** – podem ser decompostos numa soma cuja frequência mínima é zero, isto é, um sinal que tem certo nível fixo durante um tempo indefinido.

O sinal é um dos elementos presentes em todo e qualquer sistema de aquisição e/ou tratamento de dados, mas deve-se ter inicialmente também o entendimento sobre o que é um sistema, que pode ser definido como uma entidade que manipula um ou mais sinais para realizar uma função, produzindo, assim, novos sinais [HAYKIN et al, 2002].

Nas figuras 05 e 06 a seguir estão representados graficamente os sinais: analógico e digital, de forma a reforçar as suas definições teóricas.

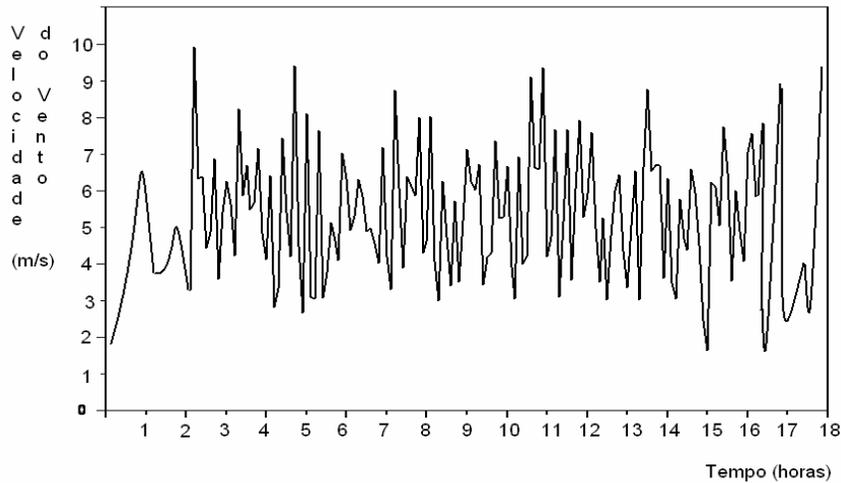


Figura 05 – Representação gráfica de um Sinal Contínuo.

O sinal contínuo tem como uma característica fundamental a existência de valor ou intensidade para qualquer instante, considerando o de intervalo de tempo de apresentação ou amostragem, sendo que sua amplitude também apresenta continuidade de valor, ou seja, o sinal pode assumir qualquer valor, dentro de sua faixa de operação ou a faixa dentro da qual o sinal pode excursionar.

Duarte (2007) define que o Sinal Analógico é o sinal que varia de forma contínua, sem dar saltos. São os sinais encontrados na natureza. E considera-se o Sinal Digital como o sinal que varia de forma descontínua, assumindo somente determinados níveis discretos. São os sinais com que o computador trabalha.

Os sinais digitais são aqueles que estabelecem um número finito de estados entre os valores máximo e mínimo do sinal em estudo. Portanto, assumem valores discretos, isto é, a passagem de um valor a outro que se dá por saltos. O sinal digital mais usado na comunicação de dados é o código binário, onde para representar uma dada informação (sinal) precisa de um certo número de variáveis binárias [ZAPELINI, 2006].

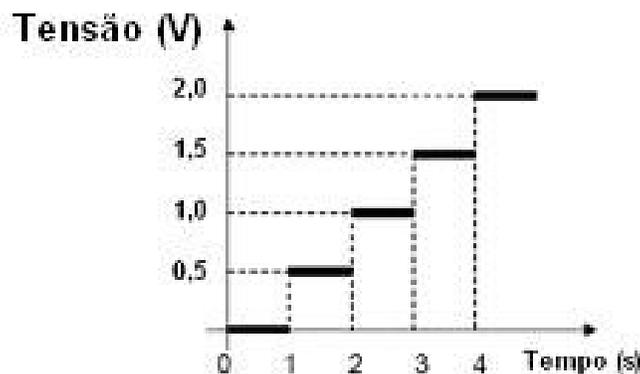


Figura 06 – Representação gráfica de um Sinal Discreto.

O sinal é dito discreto no tempo ou em seqüência em $x(n)$ quando sua componente independente é discreta [LIMA, 2007].

É impraticável a aquisição (para posterior processamento e/ou armazenamento) de sinais contínuos e variantes no tempo em todos os instantes de sua evolução. Necessitam, portanto, ser convertidos para digital (adquiridos) de tempo em tempo (mas sem perda de informação), numa taxa que deve ser compatível com a máxima freqüência do sinal. [ZAPELINI, 2006]

Em qualquer sistema de aquisição de sinal pode existir a introdução do ruído no fluxo do mesmo, seja pelo método de aquisição, seja pelo sensor, seja por interferência eletromagnética ou pelo próprio ruído dos componentes ou dispositivos elétricos e eletrônicos.

Ruído pode ser definido como qualquer variação aleatória, quase sempre, indesejável em um sinal. Sendo que quando não é possível identificar e diferenciar completamente o que é ruído e o que é sinal; Então, não é possível eliminar completamente o ruído de um sinal [DUARTE, 2007].

O ruído nos sistemas eletrônicos se deve basicamente ao caráter discreto da carga elétrica. A corrente elétrica é composta de pacotes individuais de carga e só é contínua em termos de média no tempo. O ruído gerado por cargas discretas em sistemas eletrônicos foi identificado e categorizado como ruído térmico, ruído *shot* e *partition*, ruído *flicker* e ruído impulsivo [YOUNG, 2006].

Outras classificações podem ser estabelecidas para o ruído elétrico, como por exemplo em relação a fonte do ruído que pode ser:

- Ruído intrínseco: resultado do movimento aleatório de elétrons no interior dos próprios elementos de um dispositivo elétrico;
- Interferência: resultado de sinais emitidos por outros circuitos ou sistemas.

O ruído pode ainda ser classificado quanto ao modo de propagação, ao tipo e quanto à duração. Quanto ao modo de propagação, os ruídos se classificam em irradiados e conduzidos.

2.1.2 Método de Aquisição de Dados

A interface analógica é o limite ou a fronteira na qual o mundo digital e o analógico se encontram, onde o microcomputador se conecta ao mundo exterior. Nesta interface, pode-se encontrar um conversor A/D (lado de entrada) ou um conversor D/A (lado de saída). Na entrada deste sistema aplicado por microprocessador, o processo global de conversão de um sinal analógico para uma forma digital envolve uma seqüência de quatro processos fundamentais a saber: amostragem, retenção, quantização e codificação. Estes processos não são necessariamente realizados em operações separadas. De um modo geral, a amostragem e retenção são feitos simultaneamente em um tipo de circuito chamado: amostragem e retenção (*Sample & Hold*) de primeira ordem, enquanto a quantização e a codificação são feitas simultaneamente em um circuito chamado conversor analógico/digital (A/D) [GIACOMIN, 2006].

Um sistema de Aquisição de Dados pode de uma forma mais simplificada ser constituído pelos seguintes elementos e circuitos, conforme o diagrama em blocos a seguir.

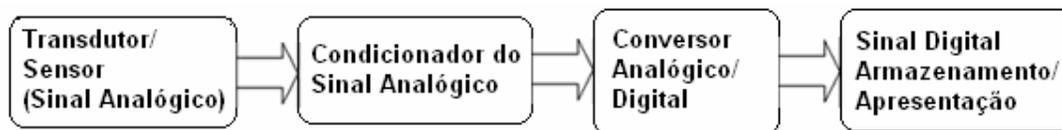


Figura 07 – Modelo em blocos de um sistema de aquisição de dados.

Os condicionadores de sinais, também conhecidos como conformador de sinal ou pré-amplificador, são circuitos eletrônicos responsáveis em interfacear os sensores ou transdutores com o circuito eletrônico, nada mais fazem do que compatibilizar o sinal de saída do transdutor com as características de entrada exigidas pelos circuitos eletrônicos (conversores analógicos digitais). Esta operação algumas vezes requer energia proveniente do transdutor e isso pode ser um problema porque a capacidade de fornecimento de energia do transdutor é limitada, disso podendo resultar uma distorção ou atenuação do sinal. Assim, inicialmente é necessário realizar um estudo de casamento de impedância entre o transdutor e a interface. Os condicionadores de sinais podem conter fontes de alimentação, circuitos de calibração, circuitos de balanceamento, amplificação, filtros, etc [CASSULA, 2007].

O conversor analógico-digital (A/D) é o circuito responsável por transformar uma grandeza elétrica numa representação binária adequada ao tratamento digital do sinal amostrado; para tanto é necessário que o sinal proveniente do condicionador respeite algumas condições [LYNXTEC, 2006]:

- O sinal não deve ultrapassar a faixa de entrada do conversor A/D.
- A taxa de variação do sinal deve respeitar a taxa de amostragem da aquisição.
- O sinal deve ser adequado a faixa de entrada do A/D, sinais muito pequeno não permitem uma boa resolução na conversão digital.

Feita a conversão do sinal analógico para digital é necessário executar o tratamento dos dados obtidos, para tanto esta informação deverá estar disponível a um sistema dedicado ao tratamento de dados ou a algum computador com programa específico, de maneira tal que estes dados sejam configuráveis e apresentáveis ao homem. Existem algumas técnicas de transferência utilizando os seguintes meios:

- Comunicação serial ou paralela;
- Comunicação USB;
- Conexão direta ao barramento interno do computador;
- Comunicação sem fio (wire-less).

O sistema de aquisição de dados aplicados a monitorização de aerogeradores, sítios eólicos ou sistemas híbridos pode ser configurado na forma de registro ou transmissão em tempo real, onde a primeira se configura pela existência de um sistema de aquisição com carregamento de memória local. Isso determina a necessidade de deslocamentos periódicos em intervalos de tempo regulares de modo a possibilitar a leitura e transferência dos dados registrados para uma outra unidade transportável que servirá de portadora para mover os dados registrados do local de instalação até o centro de controle e operação.

Na segunda forma de aquisição, os dados são transferidos em tempo real, ou seja, os dados a partir dos sensores ou transdutores são convertidos em sinais elétricos que passam por um sistema de condicionamento de sinais possibilitando a sua transmissão via ondas eletromagnéticas, aplicando-se técnicas de modulação que na sua maioria são técnicas digitais, garantindo maior confiabilidade e segurança na

transmissão, propagação e recepção dos dados, reduzindo significativamente as possibilidades de erros.

Sistemas de tempo real podem ser classificados como rígidos (*hard*) ou leves (*soft*). É possível diferenciar um sistema de tempo real rígido de um leve pelo fato de que o primeiro pode causar perdas irreparáveis (e, por isso, inaceitáveis) caso não sejam rigorosamente satisfeitos os seus requisitos de tempo de resposta. Os sistemas leves são aqueles que continuam funcionando mesmo que seus requisitos de tempo de resposta não sejam satisfeitos. Nestes sistemas quando o tempo de resposta não é respeitado, ocorre uma execução deficiente (com atraso, queda de qualidade, etc.), mas não uma interrupção do serviço [GARCÍA, 2004].

Existem softwares comerciais específicos para o monitoramento e aquisição de dados nas suas formas mais diversas, que são responsáveis por monitorar o estado ou o comportamento de um sistema, máquina ou outro qualquer dispositivo. O exemplo deste campo de aplicação é o software LabVIEW desenvolvido pela *National Instruments*, que representa o campo da instrumentação virtual, onde todo o sistema é concebido por programação. A programação do LabVIEW, até a versão 6i, de 2001, não é necessariamente orientada a objetos, apesar que seus componentes sejam objetos e que tenha sido desenvolvida em C++. A forma com que o usuário programa o LabVIEW é denominada programação orientada a fluxo de dados.

A exemplo do LabVIEW também existe o HP-VEE (Hewlett-Packard Virtual Engineering Environment) que é o ambiente de instrumentação virtual criado pela Hewlett-Packard para trabalhar com seus próprios equipamentos e demais instrumentos compatíveis.

Estes ambientes de instrumentação virtual além de serem pré-formatados, também tem aspecto de software fechados, onde o usuário não pode manipular os códigos das fontes, apenas operar com as mesmas. Outro aspecto a ser considerado é o custo de aquisição do software.

Outra realidade para aquisição de dados é a aplicação em sistemas isolados associados ou integrados a um sistema de controle, como são os sistemas embarcados. Sistemas embarcados são caracterizados pela capacidade de executar em ambientes isolados, realizando tarefas muito bem definidas e, muitas vezes, com nenhuma ou pouca interação com usuários. Muitos sistemas embarcados são projetados para serem capazes de tomar decisões por si só baseados no estado do ambiente no qual executam.

2.1.3 Sensores

Coelho (2005) afirma que o conceito de sensor e transdutor aparece na literatura com alguma ambigüidade, e para diferentes domínios da ciência, o significado de sensor e transdutor sofre algumas alterações sugerindo para uns casos uma ou a mesma coisa, e para outras entidades que desempenham papéis distintos.

Os sensores ou transdutores são os componentes ou dispositivos sensíveis que sob ação de variações físicas, as convertem em sinais e impulsos elétricos. Em um sistema de aquisição de dados a escolha dos sensores é um passo importante para a obtenção dos resultados com a resolução adequada

Os sensores elétricos podem ser entendidos como elementos primários que sofrem ação de uma variável do mundo exterior, e apresentam resposta na forma de uma grandeza elétrica (resistência, voltagem ou corrente). Já os transdutores têm função ativa com excitação externa de um sinal elétrico, podem transformar uma grandeza elétrica em outra.

Mais e mais os sensores mecânicos vêm sendo substituídos por sensores elétricos ou eletrônicos por facilitarem o interfaceamento com computadores, o armazenamento e posterior processamento e análise da informação e o controle de processos à distância em tempo real.

Os sensores podem ser classificados de diversas maneiras [BIANCHI, 2007], de acordo com:

- o seu princípio de funcionamento:
 1. Mecânicos;
 2. Elétricos;
 3. Magnéticos;
 4. Térmicos;
- a função realizada:
 1. Manipulação;
 2. Aquisição.
- a sua localização:
 1. Internos;
 2. Externos;
 3. Interlocked.

- o seu tipo de ativação:
 1. Contato;
 2. Sem contato;
 3. Proximidade ou presença.

Dentre os sensores elétricos e transdutores existentes ou disponíveis no mercado, pode-se citar como mais conhecidos os seguintes elementos:

Sensores Elétricos

- Chave Bóia
- Bulbos de Termo-Resistência
- Sensores de pressão
- Termopares
- Células de Capacitivas
- Chave fim de curso

Transdutores

- Encoder

Características gerais dos Sensores

Sensibilidade –A razão entre a mudança e na saída, causada por uma mudança qualquer na entrada.

Exatidão –Qualidade da medição que assegura que a medida coincida com o valor real da grandeza considerada. O valor representativo deste parâmetro é o valor médio.

Precisão–Qualidade da medição que representa a dispersão dos vários resultados, correspondentes a repetições de medições quase iguais, em torno do valor central.

Linearidade – A linearidade pode definir-se como o desvio da relação entre duas grandezas de uma linha reta.

Faixa – Representa valores máximos e mínimos que o sensor apresenta resposta.

2.1.4 – Condicionamento do Sinal

O condicionamento do sinal (fig. 08) no processo de aquisição de dados é de fundamental importância, pois cada sensor aplicado ao sistema apresenta características próprias, dentre outras, a do sinal de saída, assim se faz necessário aplicar o condicionamento do sinal a cada elemento sensor de forma a adequar sua grandeza elétrica as condições funcionais do conversor.

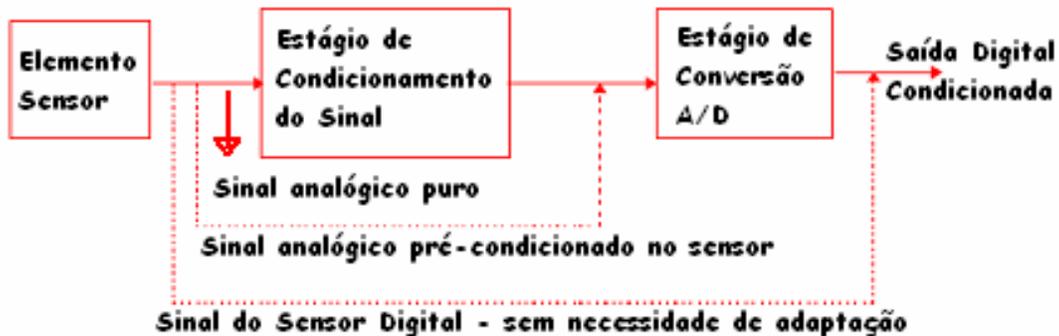


Figura 08 – Representação da aplicação do condicionamento do sinal.

O objetivo da etapa de condicionamento do sinal no sistema de aquisição de dados é transferir o sinal livre de ruídos, interferências e distorções para as etapas de amostragem e conversão, dando ao sinal uma forma e características adequadas e compatíveis com a etapa de amostragem, conferindo-lhe maior qualidade possível a fim de evitar uma transformação inadequada ou indevida, a qual não corresponderia ao sinal real.

É possível categorizar um condicionamento de sinais em vários tipos, como principais temas [FERREIRA, 2006]:

- 1) Mudança no nível;
- 2) Linearização;
- 3) Conversão;
- 4) Isolação;
- 5) Filtragem e
- 6) Casamento de impedância.

Elementos mais comuns constantes no condicionamento de sinais:

- Filtros e
- Amplificadores.

Filtros

São circuitos ou dispositivos capazes de selecionar ou rejeitar uma determinada frequência ou uma faixa frequencial, com o efeito final de tornar o sinal de saída o mais puro possível, livre de ruídos e outras interferências.

Classificação dos filtros quanto a seleção frequencial:

- Filtro Passa Baixa;
- Filtro Passa Alta;
- Filtro Passa Faixa;
- Filtro Rejeita Faixa;
- Filtro Notch (remove o sinal com frequência de 60 Hz).

Curvas de Resposta em frequência dos filtros Passa-Baixa, Passa-Alta, Passa-Faixa e Rejeita-Faixa, diagramados pelo Ganho de Tensão em dB em função da velocidade angular (escala logarítmica), são mostradas a seguir:

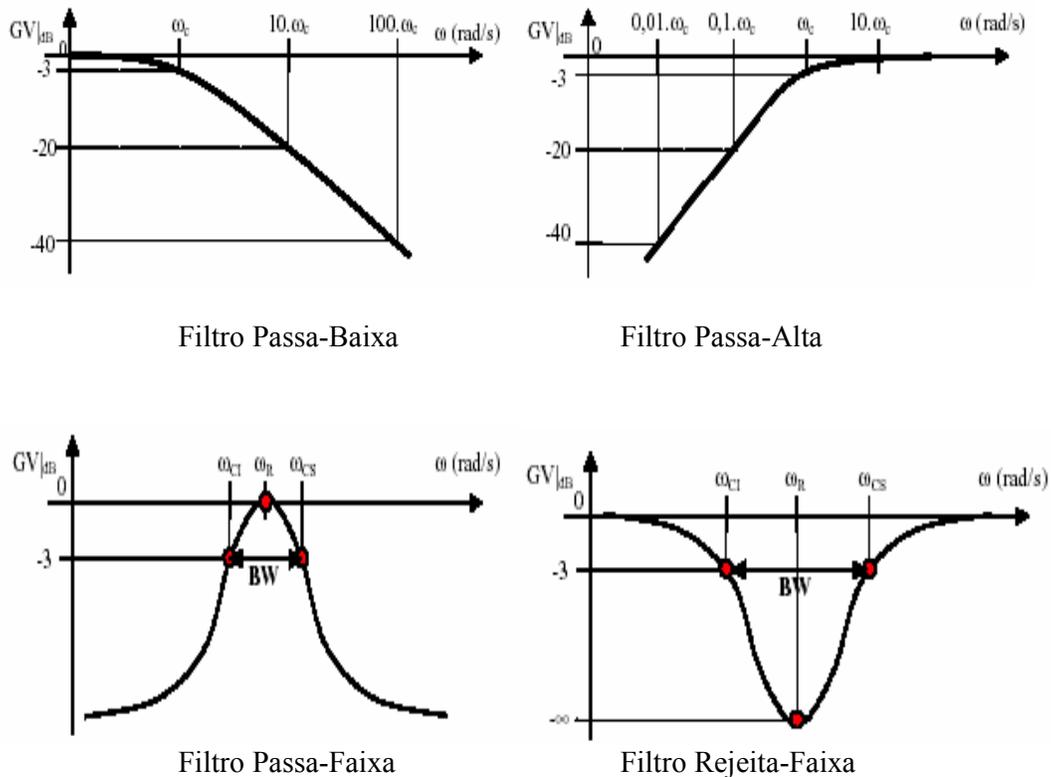


Figura 09 – Curvas de resposta dos filtros PB, PA, PF e RF [MUSSOI, 2004].

Em relação a sua implementação os filtros podem ser analógicos (circuito eletrônico que filtra um sinal analógico) ou digitais (circuito eletrônico ou software que filtra um sinal digital).

Principais características de um filtro:

- Frequência de corte;
- Frequência de rejeição;
- Atenuação ou inclinação;
- Ordem do filtro.

Amplificadores

São circuitos eletrônicos que determinam o condicionamento da amplitude do sinal a ser entregue a etapa de amostragem, utilizando o máximo possível da faixa útil de leitura da amostragem. Evitando sinal de saída de baixa ou elevada amplitude, os quais poderiam trazer transtornos na qualidade final do sinal.

Há muito tempo os mais diversos equipamentos eletrônicos utilizam o amplificador operacional (amp-op), que apresentam a característica de realizar operações matemáticas. Um amplificador operacional é basicamente um dispositivo amplificador de tensão, caracterizado por um elevado ganho em tensão em malha aberta, impedância de entrada altíssima, impedância de saída baixa e largura de banda frequencial extensa. Para configurar o modelo funcional é necessária uma malha de realimentação externa para controle do ganho e modelagem do sinal, que usualmente utilizam resistores, capacitores e diodos.

O amp-op (fig. 10) é um componente eletrônico que apresenta duas entradas, sendo uma inversora assinalada com o sinal (V-) e outra não inversora assinalada com o sinal (V+), e um terminal de saída onde todos são referenciados à massa. O amp-op é normalmente alimentado com tensões simétricas, na faixa de ± 03 V a ± 18 V, que são aplicadas aos respectivos terminais de alimentação V- e V+ [NISE, 2002].

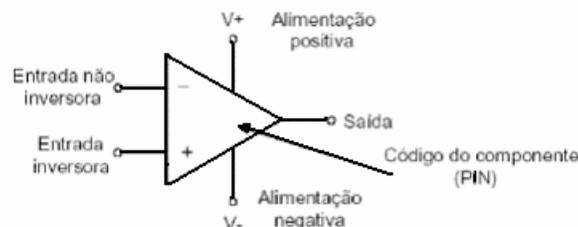


Figura 10 – Símbolo típico do amplificador operacional.

O amplificador operacional é um amplificador diferencial, ou seja, amplifica a diferença entre as tensões presentes as suas entradas. Sendo V_+ e V_- as tensões aplicadas às entradas não-inversora e inversora respectivamente, V_{out} será a tensão de saída. Uma configuração eletrônica bastante conhecida é a montagem como amplificador não inversor (fig. 11), dentre tantas outras configurações para aplicação dos amplificadores operacionais. A principal característica do amplificador não inversor é que o sinal de saída apresenta a mesma fase do sinal de entrada e seu ganho de tensão pode ser controlado pela malha de realimentação externa [NISE, 2002].

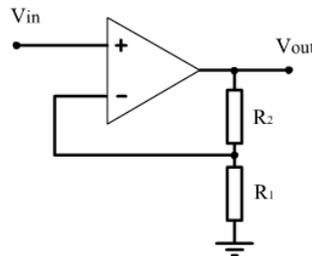


Figura 11 – Amplificador operacional na configuração não inversora.

Para o amplificador operacional na configuração não inversora o ganho de tensão de saída responderá a seguinte formulação:

$$V_{IN} = V_+ = V_- = V_{R_1} \quad \text{eq. 2.1}$$

$$V_{R_1} = V_{out} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad \text{eq. 2.2}$$

$$G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{eq. 2.3}$$

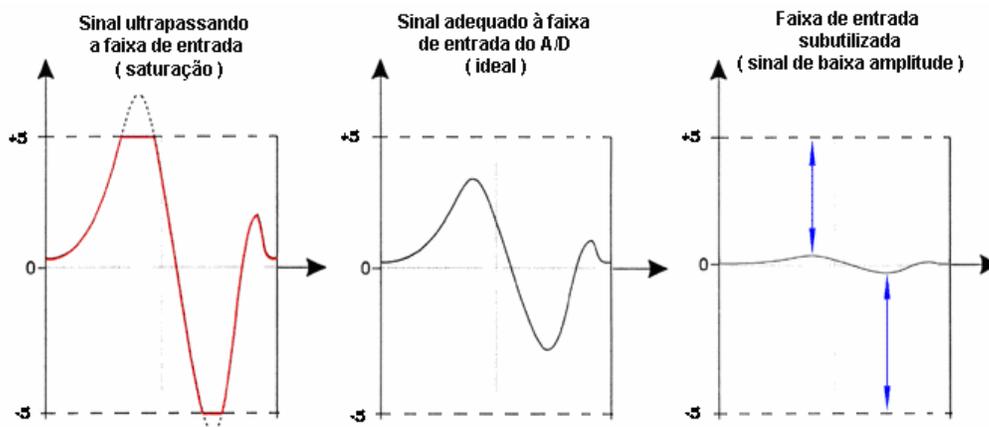


Figura 12 – Gráfico de condicionamento da amplitude do sinal em canal analógico [adaptado de Panham, 2002].

Durante o processo de condicionamento dos sinais analógicos nos sistemas de aquisição de dados, se faz necessário observar que o ganho dos circuitos amplificadores deve manter o sinal a ser aplicado a etapa de conversão A/D dentro da faixa de tensão de alimentação, evitando a saturação do sinal que certamente irá prejudicar a leitura.

Esse problema ocorre quando a amplitude de um sinal ultrapassa os limites da faixa de entrada do conversor A/D. Nessa situação o valor resultante da conversão é o valor que o sinal teria se fosse igual ao limite ultrapassado, conforme figura 12. Neste exemplo, se um sinal com variação maior que $\pm 5V$ numa faixa de entrada de $-5V$ a $+5V$, os trechos do sinal maiores que $+5V$ e $-5V$ seriam convertidos como se o sinal fosse $+5V$ ou $-5V$.

Por outro lado, a subutilização da faixa de entrada diminui a resolução com que o sinal será convertido. Isso ocorre quando, por exemplo, a variação de interesse do sinal é de $+0,5V$ a $-0,5V$ numa faixa de entrada de $\pm 5V$. Nesse exemplo o sinal será digitalizado com apenas 10% dos níveis do A/D; os outros 90% dos níveis do A/D ficarão subutilizados [PANHAM, 2002].

A figura 13 representa o tratamento do sinal na etapa de condicionamento, onde inicialmente se realiza a adequação do posicionamento referencial do sinal e posteriormente a equalização do nível dop sinal tornando-o apropriado a etapa de amostragem da conversão analógica-digital.

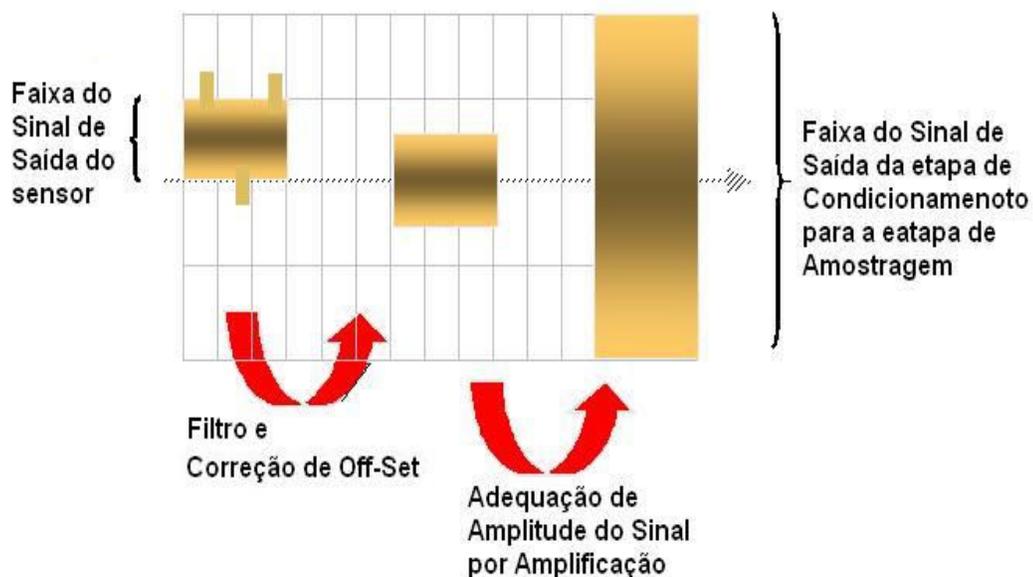


Figura 13 – Gráfico do comportamento funcional da etapa de Condicionamento do Sinal.

2.1.5 – Amostragem de Sinais Contínuos

Teoria da Amostragem

A frequência na qual o sinal é adquirido (para conversão para valor digital) é chamada frequência de amostragem (FA). Isto acarreta a primeira discretização introduzida neste processo: a discretização no tempo. O Teorema de Nyquist diz que, desde que a frequência de amostragem (FA) seja superior ao dobro da máxima frequência (componente espectral) existente no sinal, não há perda de informação no processo de discretização temporal, e a seqüência discreta (sinal discretizado no tempo) pode ser transformada de volta, fielmente, em um sinal contínuo no tempo [ZAPELINI, 2006]

Se um sinal contínuo, de banda limitada, tem componente espectral de frequência mais elevada igual a f_m , então o sinal original pode ser recuperado sem distorção se a frequência de amostragem for maior ou igual a $2f_m$ [SCHIABEL, 2007].

Sinais analógicos podem ser considerados como de comportamento contínuo no tempo, isto é, não existe um período de tempo onde a função não esteja definida. Sistemas digitais, contudo, são inerentemente discretos no tempo. Isto significa que o tratamento da informação analógica será feito por um circuito discreto no tempo, o que implicará algumas dificuldades no uso imediato da informação [CARRO, 2001].

A partir da técnica *Sample & Hold* (figura 14) um ADC lento pode ser usado para amostrar um sinal de variação rápida. Entretanto, só uma amostra pontual pode ser analisada [SOARES, 2007].

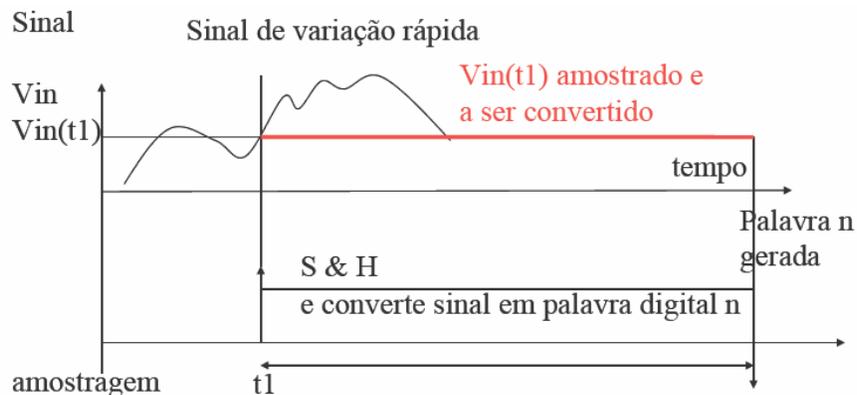


Figura 14 - Amostragem pelo método S&H de um sinal contínuo de variação rápida [SOARES,2007].

Amostragem por trem de pulsos

A amostragem por trem de pulsos é normalmente aplicada em conversor A/D por aproximações sucessivas, onde um comando de “start” inicia o processo, disparando um trem de pulsos que possibilita converter um sinal analógico em uma palavra digital do bit mais significativo ao bit menos significativo. A frequência do trem de pulsos deve também respeitar o Teorema de Nyquist, que é a limitação na frequência de amostragem (“*Nyquist rate*”).

Se o tempo de conversão de um ADC for igual a T_{conv} (s), a taxa de amostragem máxima será $F_{max}=1/T_{conv}$ (Hz). Usa-se normalmente o modelo “*Sample & Hold*” para congelar um sinal de variação rápida quando o ADC é de baixa velocidade. Para se estabelecer uma conversão rápida, utiliza-se a técnica de acesso direto à memória (DMA) para copiar/ler a saída digital diretamente para a memória do microprocessador (μP) e, assim, evitar ou minimizar o efeito do atraso do μP para o ADC.

Aliasing

Este fenômeno ocorre quando a frequência mais elevada do sinal de entrada é maior do que metade da frequência de amostragem ($f_{amostragem}/2$), contrariando o Teorema de Nyquist. O sinal de saída apresenta sobreposição de frequências (“*frequency aliasing*”), tal fenômeno é apresentado na figura 15.

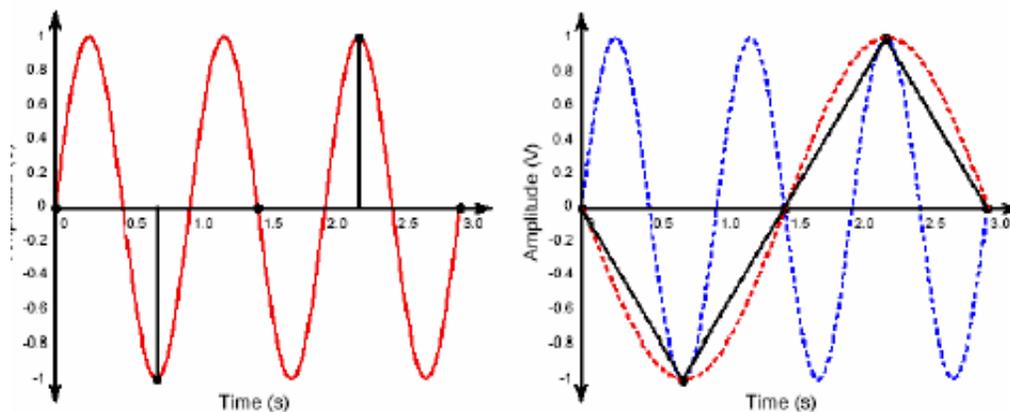


Figura 15 – Gráfico do Sinal Original e sua Imagem amostrada com aliasing [DUARTE, 2007]

2.1.6 Conversão Analógico-Digital

A conversão analógico-digital é o processo pelo qual se transforma ou converte um sinal analógico em um sinal digital ou de representação digital, para que tal procedimento eletrônico seja possível existe o circuito eletrônico conhecido como conversor analógico-digital (ADC), que é um dispositivo ou circuito eletrônico capaz de gerar uma representação digital de uma grandeza analógica.

Avaliação de parâmetros relativos aos conversores analógico-digitais:

- Resolução do conversor A/D - níveis ou passos de conversão dentro dos quais os valores analógicos são classificados no seu equivalente digital.
- Faixa de entrada - intervalo de variação do sinal em que se realiza a conversão analógico-digital.
- Resolução de entrada - percentual da menor unidade da faixa de entrada.
- Valores máximos admissíveis de entrada - valores de entrada superiores à faixa aceita pelo A/D que segundo o fabricante não causam dano elétrico ao conversor.
- Tempo de conversão do A/D - tempo mínimo requerido pelo conversor A/D para gerar uma saída digital válida equivalente a uma dada entrada analógica.
- Taxa de conversão do A/D - velocidade com a qual o sistema consegue converter os sinais analógicos em digitais.

Resolução do Conversor A/D

Nesta operação de transformação de um sinal analógico em sinal digital é necessário estabelecer a faixa de entrada do sinal analógico, como também a faixa do sinal digital de saída, para tanto, o sinal de entrada deve-se limitar a um valor igual ou menor que a tensão de alimentação do dispositivo ou circuito, e para o sinal de saída deve se estabelecer em quantos níveis o sinal de entrada deverão ser representados, implicando diretamente no número de bits a serem utilizados para escrever o sinal na forma digital de saída.

Quanto mais níveis referenciais forem utilizados menor será a gama de cada um desses níveis, que é conhecida como *quantum*, logo mais bits serão necessários para estabelecer a conversão. Então, teremos V_{in} como a tensão máxima de entrada

analógica, n como o número de bits utilizados, N como o número de níveis a serem referenciados, onde:

$$N = 2^n \quad \text{eq. 2.4}$$

Logo, pode-se definir a resolução de conversor A/D pela seguinte relação:

$$R = \frac{V_{ref}}{2^n} \quad \text{eq. 2.5}$$

Cada nível produzido pelo conversor é chamado de “quantum” e é definido pelo valor analógico (figura 16) do qual dois códigos digitais adjacentes diferem. A relação entre o nível de quantização (q) e o máximo valor do sinal analógico é dado por [KURO, 2001]:

$$q = 2^{-n} \cdot FS \quad \text{eq. 2.6}$$

Onde, q é igual ao menor valor significativo a ser lido [SILVA, 2007]:

$$q = LSB = \frac{FS}{2^n} \quad \text{eq. 2.7}$$

FS é o fundo de escala do sinal analógico que o conversor pode resolver, ou seja, o valor de referência (V_{ref}), n é o número de bits.

Este processo de definição dos níveis de tensão a serem referenciados com uma palavra binária é conhecido como Quantização, daí a cada nível ser definido como quantum. Percebe-se que quanto mais bits forem usados no ADC para conversão, menor será o valor do quantum, e conseqüentemente maior será a resolução do conversor.

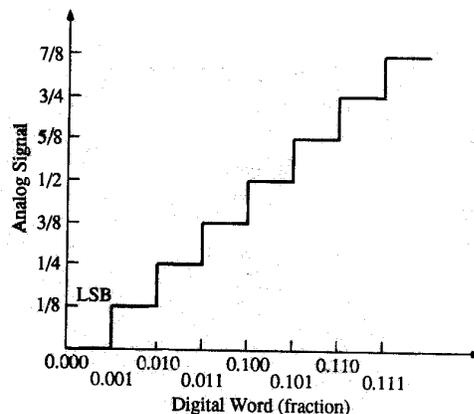


Figura 16 – Relação entre o código digital binário e o número decimal analógico [KURO, 2001].

As figuras 17 e 18 a seguir permitem visualizar e comparar dois sistemas de conversão, onde o primeiro com três níveis de relação apresenta uma resolução de 0,33. Já o segundo com vinte níveis de relação apresenta uma resolução de 0,05. Onde se pode concluir, de quantos mais níveis de relação o sistema for composto, melhor será a sua resolução.

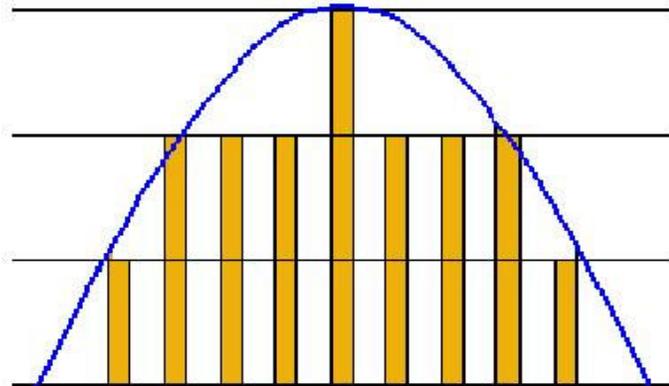


Figura 17 – Curva de um sistema de conversão com resolução igual a 0,33.

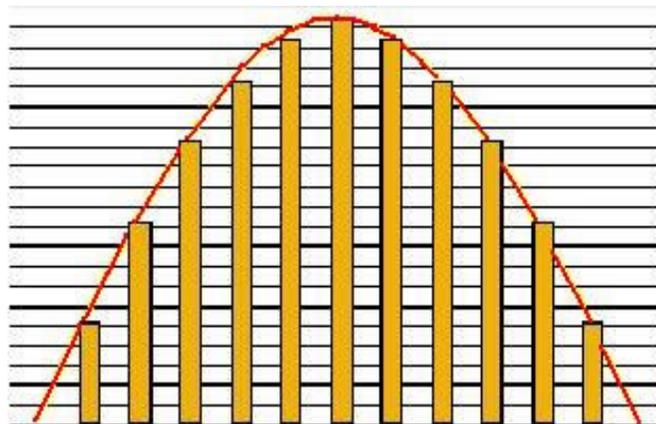


Figura 18 – Curva de um sistema de conversão com resolução igual a 0,05.

Tempo de Conversão do A/D

Tempo de conversão é o tempo necessário ou transcorrido a partir do start de conversão, necessário para ler o sinal de entrada e apresentar o resultado da palavra binária na saída, este tempo finito, é representado por t_c (tempo de conversão).

Durante o tempo de conversão a voltagem de entrada não pode variar mais que 1LSB, sob pena de se ter incertezas no resultado da conversão [SILVA, 2007]. Ou seja:

$$\left(\frac{dV_{in}}{dt}\right)_{\max} \leq \frac{FS}{2^n t_c} \quad \text{eq. 2.8}$$

Erro de Quantização

Durante o processo de conversão A/D alguns valores analógicos entregues pelo circuito de amostragem, podem assumir valores que se encontram dentro da faixa do degrau ou quantum, assim o conversor apresentará o mesmo valor digital de saída para valores distintos de entrada, o que representa um dos erros existentes nos conversores analógico-digital, que é conhecido como erro de quantização.

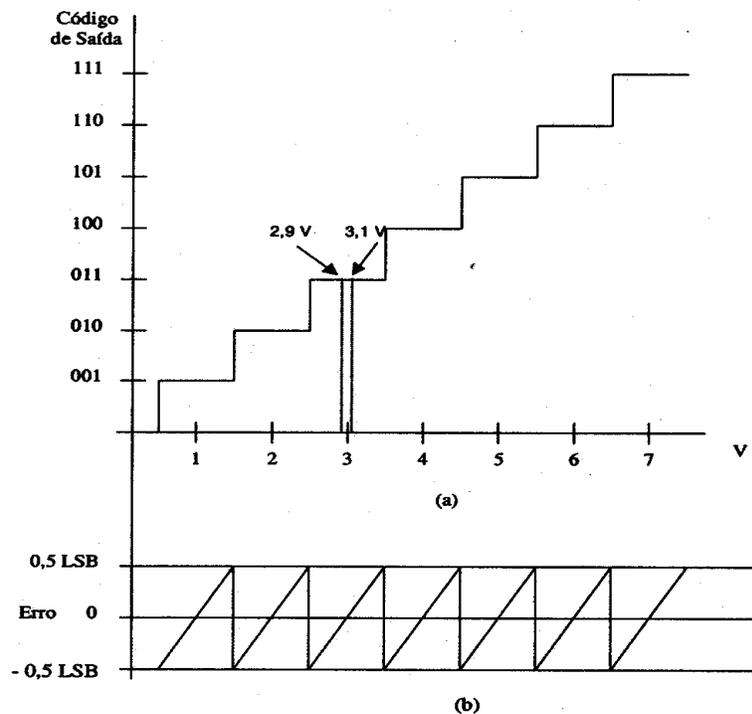


Figura 19 – Curva de conversão e erro de quantização [CARRO, 2001].

Pela curva de transferência a seguir é possível observar que o espaço entre os níveis de quantização é regular, deste modo quando a entrada encontrar-se na linha entre $-q/2$ e $+q/2$, a saída é zero; quando a amplitude de entrada encontrar-se na linha entre $+q/2$ e $+3q/2$, a amplitude de saída será q , e assim por diante. Isto demonstra que existe um erro de quantização que se encontra na faixa de $\pm q/2$.

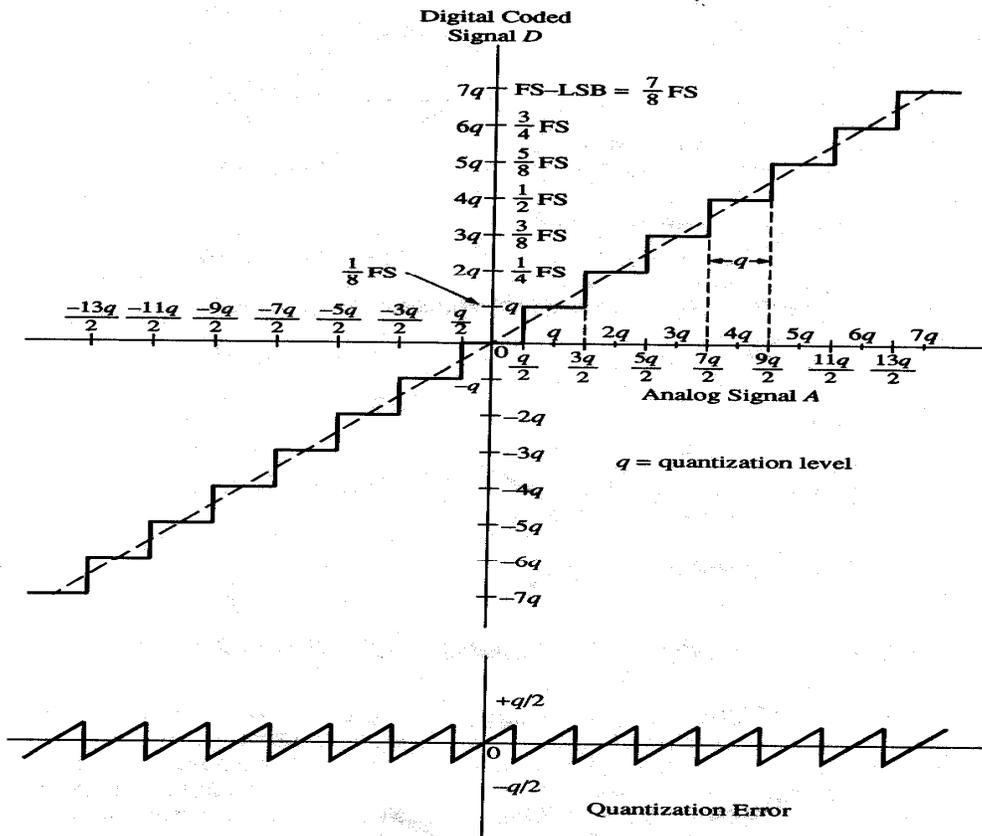


Figura 20 - Curva de relação entrada-saída de um quantizador A/D de 3-bits [KUO, 2001]

O erro de quantização provocará um ruído de quantização, que forma de um dente de serra e se move entre $(-0,5)$ LSB e $(+0,5)$ LSB, supondo-se que o código de saída mais o erro de quantização é equivalente ao código de entrada. Pode-se calcular o ruído de quantização computando-se seu valor eficaz, que será a dado pela equação corrigida [CARRO, 2001]:

$$Q_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{q_1}^{q_2} q^2 dq} = \sqrt{\frac{1}{LSB} \int_{-LSB/2}^{+LSB/2} q^2 dq} = \frac{LSB}{\sqrt{12}} \quad \text{eq. 2.9}$$

Erros Possíveis na Conversão Analógico/Digital

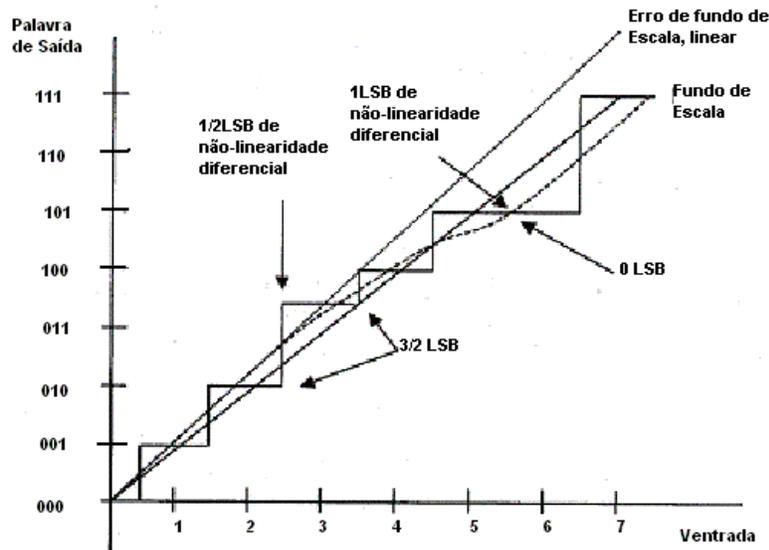


Figura 21 - Erros possíveis em um conversor analógico/digital [CARRO, 2001].

Erro de abertura (conversor AD)

O erro de abertura é causado pela incerteza no tempo onde o circuito de Sample-Hold (do próprio conversor ou na entrada deste) muda da estado *Sample* para o estado *Hold*. Esta variação é devido a presença de ruído no sinal de entrada ou no clock. O efeito causado pelo erro de abertura é limitar o máximo *Slew rate* do sinal de entrada o que implica em outra limitação na máxima frequência no sinal de entrada [FERREIRA, 2006].

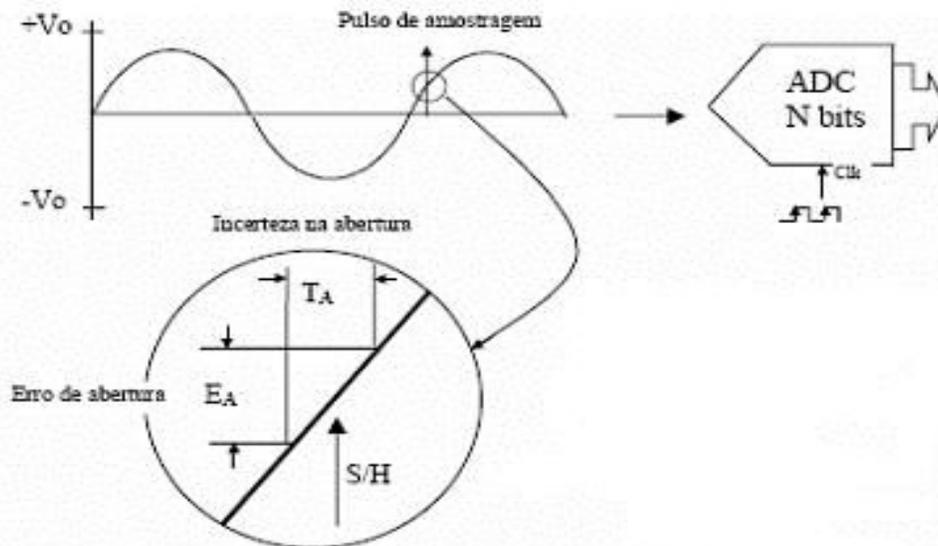


Figura 22 - Erro de abertura em um conversor A/D [FERREIRA, 2006].

2.2 Transmissão de Dados à Distância

Para transferir o sinal dos elementos sensores ou transdutores instalados no local de aplicação para o local de tratamento e controle da informação, sem perdas ou distorção, existe a necessidade de aplicação das técnicas de transmissão à distância, seja por cabo com condutor metálico, seja por fibra ótica ou por ondas eletromagnéticas. O cabo de condutor metálico apresenta perdas elevadas, o custo é significativamente alto para longas distâncias tanto para cabo metálico como fibra ótica (seja para cabeamento aéreo ou subterrâneo) e um elevado grau de insegurança em relação a possibilidade de vandalismo ou furto de material ao longo da rede instalada.

Os sinais originais obtidos dos sensores ou transdutores são, em sua maioria, analógicos, pois são conversores de grandezas primárias em uma grandeza secundárias. A utilização de tecnologia digital permite ter maior segurança e confiabilidade nas informações ou dados obtidos, bem como no trato das mesmas, permitindo ainda uma rápida troca de informações entre dispositivos.

Assim, para vencer as dificuldades impostas pela distância entre o local da coleta e o local de tratamento, pode-se ou deve-se fazer uso das transmissões digitais sem fio que primeiramente necessita de um sistema de conversão do sinal analógico para digital, e a transmissão deste último via transmissores ou transceptores de RF.

Assim, a melhor ou mais apropriada tecnologia de transmissão de informação parece ser a utilização das O.E.M. (Ondas Eletromagnéticas), conhecidas também como ondas de radiofrequência (RF), mas para tanto se faz necessário a escolha e utilização de uma determinada técnica de modulação. A modulação irá permitir o transporte do sinal informação pela portadora, que efetivamente é transformada em ondas eletromagnéticas.

Todo e qualquer sistema de transmissão de informação ou dados estão sujeitos a interferências ou perturbações do próprio meio ou inseridos nele por outros elementos ou dispositivos. Sendo assim, as transmissões por ondas eletromagnéticas também estão sujeitas a estas perturbações, mas conforme a técnica de modulação empregada os dados ou informações estarão assegurada, como por exemplo a modulação em código de pulso (PCM), associada a técnica de espalhamento de espectro.

2.2.1 Onda Eletromagnética

Chama-se onda eletromagnética ao conjunto dos campos elétrico e magnético propagando-se pelo espaço. As ondas eletromagnéticas são sempre produzidas por cargas elétricas aceleradas ou retardadas. O campo elétrico se propaga num plano, isto é, os vetores elétricos \vec{E} se dispõem num certo plano P_1 . O campo magnético se propaga num outro plano P_2 . Uma propriedade importante das ondas eletromagnéticas é que esses dois planos são perpendiculares: os vetores \vec{E} estão em um plano perpendicular ao plano dos vetores \vec{H} , como indica a figura 23 [EFISICA, 2007].

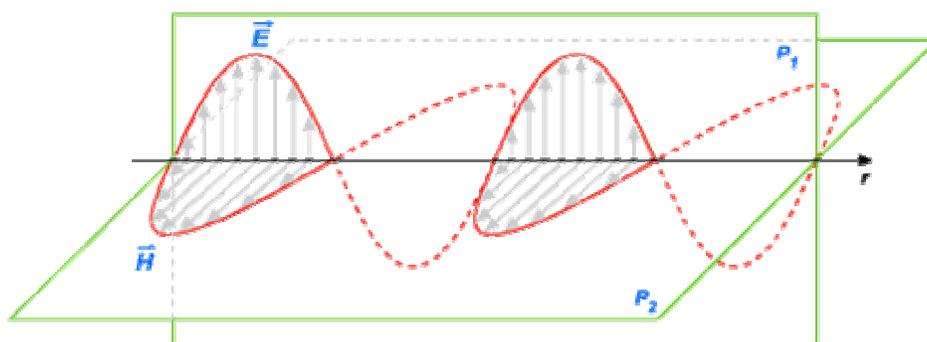


Figura 23 – Composição em planos dos campos elétricos e magnéticos de uma OEM [EFISICA, 2007].

Tabela 03 - Faixas espectrais das OEM's, suas denominações e aplicações.

<i>Frequência</i>	<i>Designação</i>	<i>Denominação</i>	<i>Exemplos</i>
300Hz a 3000Hz	ELF	Ondas extremamente longas	Submarinos Minas
3KHz à 30KHz	VLF	Ondas muito longas	
30KHz à 300KHz	LF	Ondas longas	
300KHz à 3MHz	MF	Ondas médias	Navegação Aérea Serviços Marítimos Radiodifusão Local AM (107) canais
3MHz à 30MHz	HF Freq. Alta	Ondas Tropicais Ondas curtas	Serviços marítimos Radiodifusão Local Radiodifusão Distante
30MHz à 300MHz	VHF Freq. Muito alta	Ondas curtas	Transmissão de TV Segurança pública Sistemas comerciais Sistemas particulares Sistemas celulares
300MHz à 3GHz	UHF Freq. Ultra-alta	Ondas muito curtas	
3GHz à 30GHz	SHF Freq super alta	Microondas	Comunicação pública Sistemas Radiovisibilidade Sistemas Satélites
30GHz à 300GHz	EHF Freq. Extremamente elevadas		

2.2.2 Modulação

Modulação é o processo pelo qual alguma característica (amplitude - AM, frequência - FM ou fase -PM) de uma portadora (sinal senoidal de frequência f_p em Hertz) é variada de acordo com uma onda modulante (sinal de informação). O resultado do processo de modulação é um sinal com espectro deslocado que é denominada onda modulada, e que transporta a informação contida na onda modulante. Do ponto de vista espectral, a modulação realiza uma translação da informação da banda básica para uma faixa do espectro em torno da frequência da portadora, f_p . O propósito da modulação é adequar o sinal de informação (de banda básica) às características de um canal passa-faixa ou possibilitar a multiplexação por divisão de frequência de vários sinais de informação.

Uma vez que a modulação AM trabalha com sinais contínuos no tempo a modulação ASK (Amplitude Shift-Keying), por sua vez, é uma técnica de modulação mais simples entre as mais utilizadas para modular sinais discretos (digitais). Consiste na alteração da amplitude da onda portadora em função do sinal digital a ser transmitido. A modulação em amplitude como já foi vista no tópico acima, translada o espectro de frequência baixa do sinal binário, para uma frequência alta como é a da onda portadora. A amplitude da portadora é comutada entre dois valores, usualmente ligada e desligada (na modulação em amplitude multinível podem ser utilizados mais valores). A onda resultante consiste então em pulsos de rádio frequência (RF), que representam o sinal binário "1" e espaços representando o dígito binário "0" (supressão da portadora).

Esta técnica é equivalente a modulação AM para sinais contínuos com um sinal modulante na forma de um pulso retangular. O preço desta simplicidade, tanto para a modulação AM quanto para a modulação ASK é o desperdício de largura de banda, desperdício de potência e baixa imunidade com relação a ruídos.

O processo da modulação é basicamente constituída de dois sinais o primeiro chamado informação que deve ser enviada entre os elementos transmissor e receptor, e o segundo sinal a portadora que tem inicialmente um dos seus parâmetros modificados durante a modulação. Considerando os dois sinais, um informação da seguinte forma:

$$S(f) = S_{\max} \cos \omega_m t \quad \text{eq. 2.10}$$

o outro portadora (carrier) da seguinte forma:

$$P(f) = P_{\max} \cos \omega_c t \quad \text{eq. 2.11}$$

Para entender a transformação ocorrida com o sinal informação pelo processo da modulação em amplitude, tem-se abaixo o modelo matemático e respectivo gráfico.

$$\cos \omega_m t \cdot \cos \omega_p t = \frac{1}{2} \cos(\omega_p + \omega_m)t + \frac{1}{2} \cos(\omega_p - \omega_m)t \quad \text{eq.2.12}$$

banda lateral superior banda lateral inferior

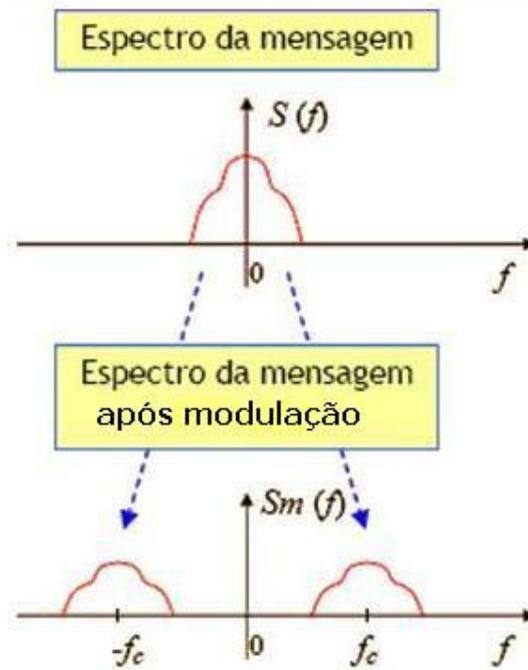


Figura 24 – Espectro da mensagem antes e após modulação.

2.3 A Turbina Eólica

Desde o moinho de vento até os dias atuais diversas foram as transformações realizadas nos mais diversos tipos de turbinas e aerogeradores, buscando o melhor perfil aerodinâmico e o maior rendimento mecânico-elétrico do conjunto. Para melhor entendimento da estrutura física de uma turbina eólica de pequeno porte no item 2.3.1 é apresentada a seguir na figura 25 que trás uma vista geral e outra com detalhe de uma turbina eólica de pequeno porte.

2.3.1 Estrutura de uma turbina Eólica de Pequeno Porte

Este padrão de aerogerador de pequeno porte apresenta estrutura bastante simplificada quando comparada a aerogeradores de elevadas potências. O sistema de transformação da energia eólica em energia elétrica é composta por um sistema de rotor, cone de rotor, pás, rotor ou alternador, nacele, rabeta e rolamento de posicionamento e acoplamento de rotor.

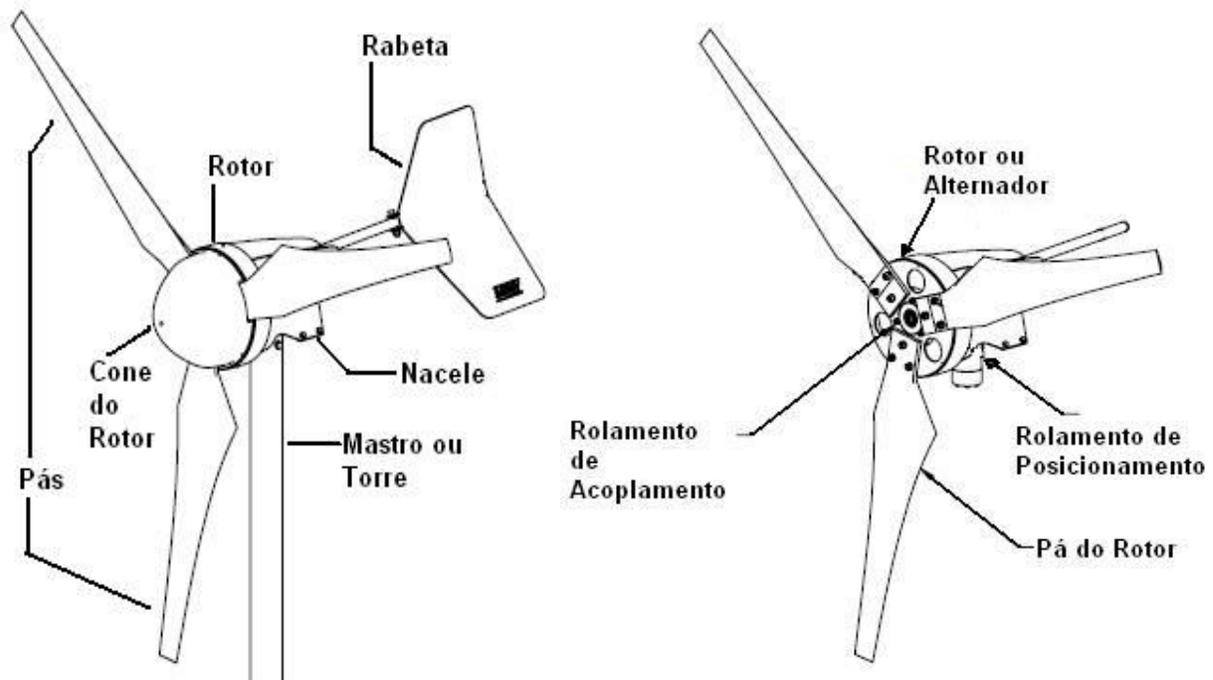


Figura 25 – Vista de uma Turbina Eólica de Pequeno Porte [adaptada SAMREY, 2007].

1 - Conjunto do Cone e Pás do Rotor

Responsáveis pela área de captação do fluxo de vento (pás) com utilização dos efeitos aerodinâmicos do arrasto e sustentação, transferindo energia cinética ao rotor que por sua vez transforma esta quantidade de energia cinética do vento em energia cinética de rotação mecânica do eixo de transferência para o gerador.

A configuração do rotor influenciará diretamente no rendimento global do sistema. Os rotores eólicos podem ser classificados segundo vários critérios e o mais importante é aquele que utiliza a orientação do eixo como fator de classificação. Assim tem-se os rotores de eixo horizontal e os rotores de eixo vertical. Os rotores de eixo horizontal são os mais comuns e grande parte da experiência mundial está voltada para a sua utilização. São movidos por forças aerodinâmicas chamadas de forças de sustentação (lift) e forças de arrasto (drag).

2 - Sistema de posicionamento e controle

Responsável pelo controle de orientação direcional e posicionamento do sistema coletor em relação ao vento, permitindo um maior aproveitamento do conjunto do aerogerador. Funciona em acoplamento com a Rabeta que é o elemento sensível e responsável pela correção direcional nas turbinas de pequeno porte. Os aerogeradores de grande porte utilizam fazem o controle de posicionamento a partir de informações obtidas de elementos adicionais externos: anemômetro e sensor de direção (direcional).

Os modernos aerogeradores utilizam dois diferentes princípios de controle aerodinâmico para limitar a extração de potência nominal do aerogerador. São chamados de: controle estol (stall control) que é um controle passivo e outro ativo chamado de controle de passo (pitch control) [ALBERS et al, 2001].

3 - Nacele ou Gôndola

É a estrutura externa do aerogerador que abriga o eixo do rotor, eixo de transmissão, gerador elétrico, sistema de freio e posicionamento. É a carcaça externa ou corpo externo. Elemento de acomodação de todo o conjunto do aerogerador, é o próprio revestimento, que deve apresentar resistência mecânica e durabilidade, com resistência a exposição contínua ao sol e a chuva.

4- Rolamento do posicionamento

Responsável pelo alívio de contato e apoio mecânico no sistema, permite o livre posicionamento da turbina frente ao vento. Evita também a vibração do sistema.

5- Sistema de freio

Este conjunto é responsável pela resposta quando da ação manual do freio sobre o sistema, fazendo com que a turbina não mais responda a ação do vento. Caso exista a necessidade de parada de emergência ou para manutenção da turbina, é realizada a aplicação do freio que nos aerogeradores de pequeno porte se dá manualmente. Através da mudança da posição de uma alavanca existente na base da torre de sustentação do aerogerador, um cabo de aço encontra-se interligado para com o sistema de freio na própria base da turbina, que será atuado.

6- Torre

As torres são necessárias para sustentar e posicionar o rotor a uma altura conveniente para o seu funcionamento. É um item estrutural de grande porte e de elevada contribuição no custo inicial do sistema. Em geral, as torres são fabricadas de metal (treliça ou tubular) ou de concreto e podem ser ou não sustentadas por cabos tensores.

7 - Rabela

Elemento mecânico responsável pelo posicionamento da turbina, coloca o conjunto rotor/pás no melhor ângulo de ataque para com o vento, de forma a obter o maior rendimento da turbina.

8 – Gerador Elétrico

Responsável pela conversão da energia mecânica em energia elétrica, obtida a partir do conjunto rotor-pás através do acoplamento da caixa multiplicadora

A figura 26 abaixo representa de forma genérica uma curva de potência útil gerada por um aerogerador qualquer, a partir da mesma é possível identificar a condição de resposta de um aerogerador quando das condições de vento ao qual encontra-se submetido. Sendo que parâmetro posteriormente identificado depende do aspecto construtivo do aerogerador dado pelo próprio fabricante.

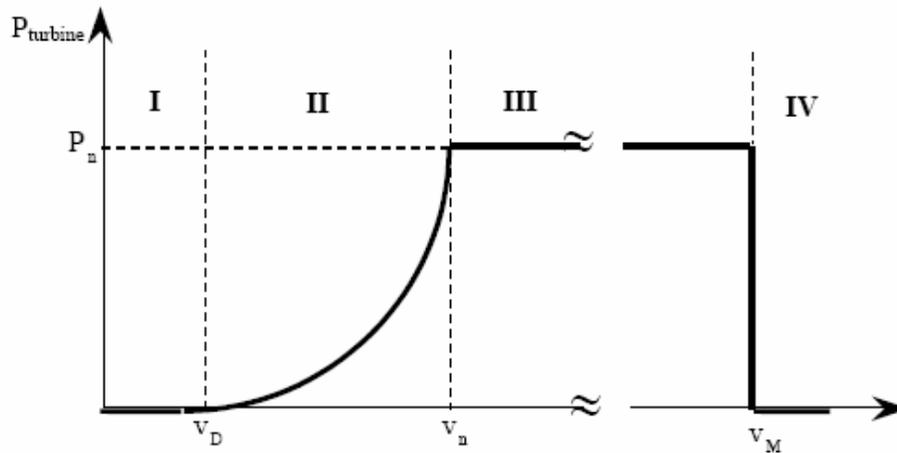


Figura 26 - Diagrama de potência útil no aerogerador de acordo com a velocidade de vento. [GERGAUD, 2002]

É necessário identificar alguns pontos deste diagrama, que são:

- ❖ P_n = Potência Nominal do Aerogerador;
- ❖ V_D = Velocidade de Partida do Aerogerador (início da geração de energia);
- ❖ V_n = Velocidade Nominal do Aerogerador;
- ❖ V_M = Velocidade Máxima (ponto de Estol; parada ou retirada do aerogerador para proteção mecânica das suas peças).

Assim a curva característica de potência de uma turbina eólica de acordo com a velocidade de vento inclui quatro zonas [GERGAUD, 2002]:

- A zona I, onde $P_{turbina} = 0$ (a turbina não provê potência);
- A zona II, na qual a potência provida no aerogerador depende da velocidade do vento;
- A zona III, onde geralmente é mantida a velocidade de rotação constante antes de um dispositivo de regulação e onde a potência provida $P_{turbina}$ permanece apreciavelmente igual em P_n (Potência Nominal);
- A zona IV, na qual o sistema de segurança do funcionamento pára a rotação e a transferência da energia.

2.3.2 A Energia do Vento

No Brasil pode-se identificar que em toda sua extensão existe capacidade de geração eólica específica em cada região. Verificasse que os estados do Rio Grande do Norte e Ceará apresentam as maiores intensidades de ventos, maiores constâncias e médias. O ar tem uma densidade de $1,225\text{kg/m}^3$ a 15°C , e irá variar conforme a temperatura do ambiente, que sofre influência da quantidade de energia solar incidente.

A produção de energia elétrica a partir dos ventos é possível quando se recorrer ao estudo e compreensão dos fenômenos físicos. Considerando o princípio da conservação da energia, ou seja, estudado um determinado sistema dentro dos seus limites conclui-se que a quantidade total de energia sempre será a mesma, ou seja, podem existir mudanças nas mais diversas formas de energia (elétrica, química, mecânica, térmica, etc.), contudo a quantidade final de energia existente neste sistema é a mesma antes e depois das transformações.

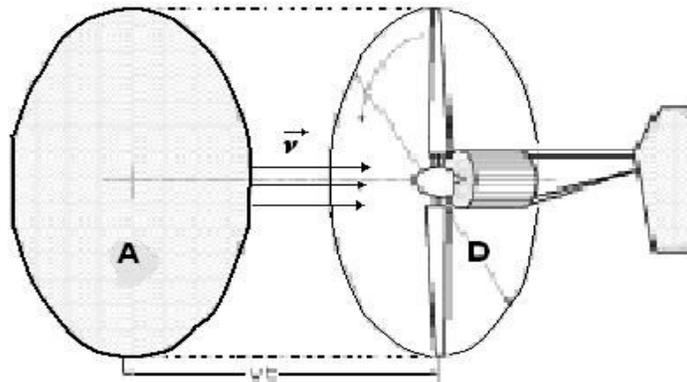


Figura 27 - Área de varredura de uma turbina.

Considerando a figura 27 acima, pode-se estabelecer matematicamente a capacidade de transformação ou captação de potência em função da área varrida pelas pás de um aerogerador. A partir das seguintes considerações: $\rho = m/V$, $V = A.d$ e $d = v.\Delta t$, verifica-se a transformação da energia cinética do vento em potência mecânica obtida no conjunto rotor/pás do aerogerador. A energia cinética é expressa por:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (\text{eq. 2.13})$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{A.d} = \frac{m}{A.v.\Delta t} \Rightarrow m = \rho.A.v.\Delta t \quad (\text{eq. 2.14})$$

Substituindo eq. 2.14 em eq. 2.13, tem-se:

$$E_C = \frac{\rho \cdot A \cdot v^3}{2} \cdot \Delta t \quad (\text{eq. 2.15})$$

Onde ρ = densidade do ar, m = massa do ar, V = volume, v = velocidade do ar e d = comprimento/distância.

Como a potência média desenvolvida é resultado da energia aplicada em determinado intervalo de tempo, tem-se:

$$P_m = \frac{E_C}{\Delta t} \therefore E_C = P_m \cdot \Delta t \quad (\text{eq. 2.16})$$

comparando com eq. 2.16 com eq. 2.15, conclui-se que:

$$P_m = \frac{\rho \cdot A \cdot v^3}{2} \quad (\text{eq. 2.17})$$

O que implica numa potência por metro quadrado em:

$$\frac{P_m}{A} = \frac{\rho \cdot v^3}{2} \quad (W/m^2) \quad (\text{eq. 2.18})$$

Como pode ser observado através das formulações acima, considerando-se um tubo de vento em torno da turbina eólica e a energia cinética do escoamento do ar, a potência média (P_m) obtida nesta turbina depende diretamente da densidade do ar (ρ), da área descrita pelo giro da turbina (A) e do cubo da velocidade do vento (v). Assim, também pode se concluir que a potência eólica obtida por metro quadrado de área depende fortemente da velocidade do vento. Portanto, qualquer pequena variação na velocidade do vento provocará uma variação significativa na potência obtida na turbina.

A energia eólica, embora inesgotável, não é captável de uma forma contínua e uniforme [VIANNA et al, 2000]. Os ventos variam com as estações do ano e é comum transcorrerem dias de calmaria. Mesmo num dia com vento, este varia de intensidade durante o transcurso do dia. A descontinuidade de captação de energia eólica não é, todavia, um empecilho à sua utilização. De fato, os aerogeradores que acionam bombas ou dispositivos para irrigação e moagem não necessitam, em geral, de uma perfeita regularidade, nem de horário nem de nível energético. Em termos econômicos devido ao grande avanço tecnológico e sua utilização já bastante disseminada, a energia eólica é hoje plenamente viável.

2.3.3 Aproveitamento de energia por uma turbina

Nos seus estudos desenvolvidos no ano de 1919, o físico Albert Betz formulou sobre turbinas eólicas, chegando a construção da conhecida Lei de Betz, onde o máximo de rendimento de uma turbina é de aproximadamente 59%, ou melhor, da energia cinética do vento que incide sobre uma turbina o máximo que pode ser aproveitado na forma de energia mecânica é de 0,59 vezes a energia cinética.

Conforme **Brizon e Schild (2006)**, o coeficiente de potência (C_p) foi introduzido pela teoria de Betz. O limite de Betz indica que, mesmo para os melhores aproveitamentos eólicos (turbinas de 2 ou 3 pás de eixo horizontal), recupera-se apenas um máximo de 59% da energia do vento, o que significa que C_p máximo (teórico) é, aproximadamente, 0,59.

Pode-se avaliar que a potência eólica convertida em potência elétrica depende de um conjunto de fatores de rendimentos [ALDABÓ, 2002], onde:

$$\eta = \eta_B \times \eta_A \times \eta_M \times \eta_G \quad (\text{eq. 2.19})$$

Onde:

η = rendimento final do sistema eólico

η_B = rendimento teórico (limite de Betz = 0,59)

η_A = rendimento aerodinâmico das pás

η_M = rendimento do multiplicador ou caixa multiplicadora (quando houver)

η_G = rendimento elétrico do gerador

Assim a potência elétrica final obtida no aerogerador será terminada por:

$$P = \eta \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \right) \quad (\text{eq. 2.20})$$

Onde: η = rendimento final do sistema eólico

ρ = a densidade do ar (1,225kg/m³ a temperatura de 15°C)

A= Área de varredura das pás (m²)

V= velocidade do Vento (m/s)

O Fator de capacidade (FC) é um dos elementos na medição da produção da geração de energia. Ele compara a produção atual do sistema num determinado período de

tempo com a quantidade de energia que o sistema poderia ter produzido em plena capacidade, para o mesmo período de tempo [ALDABÓ, 2002]. Para um sistema eólico o FC anual encontra-se na faixa de 30% a 45%, comparado aos sistemas convencionais com FC na faixa de 40% a 80%.

$$\text{Fator de Capacidade} = \frac{P}{P_n} \quad (\text{eq. 2.21})$$

Onde : P = Potência Elétrica obtida

P_n = Potência Nominal

Estimando a Energia Produzida por um Aerogerador Simples

A freqüência de distribuição de potência é obtida pela multiplicação do número de horas de uma dada velocidade do vento, pela potência obtida da curva de potência x velocidade do vento do aerogerador escolhido.

Cálculo da Energia Produzida

O parâmetro de maior interesse no projeto de um sistema eólico é a quantidade de energia útil produzida pelo conjunto de aerogeradores que o compõe. A energia produzida é função das características do aerogerador e da distribuição da velocidade do vento. Dados a freqüência de distribuição da velocidade do vento e a curva de potência da turbina a energia média bruta esperada a ser produzida pela turbina será calculada por [VIANNA et al, 2000]:

$$E = \sum_{i=1}^{i=n} P_i \cdot f(U_i) \quad (\text{eq. 2.22})$$

onde:

E = energia média bruta fornecida pela turbina (Wh)

P_i = potência fornecida na velocidade U_i (W)

f(U_i) = freqüência de ocorrência da velocidade U_i (h)

U_i = velocidade do vento na altura do eixo (m/s)

CAPÍTULO III

SISTEMA EÓLICO OBJETO DO TRABALHO

3.1 Aerogerador utilizado no modelo em estudo no C.T. da UFRN.

O modelo em estudo encontra-se instalado no local de testes do Laboratório de Dispositivos Térmicos e Especiais (LABDTE) no Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, em uma área aberta com poucas árvores e prédios do campus da UFRN.

O aerogerador A-750 de fabricação da AeroCraft Energietechnik GmbH (Alemanha), apresenta potência máxima de 750 W na velocidade de 9m/s, sendo sua velocidade de partida igual a 3,0m/s e velocidade de estol de 12 m/s, conforme curva de potência do fabricante (figura 29). Sendo um aerogerador de baixa potência o controle de posicionamento é feito pela “rabeta”, também responsável pela retirada de funcionamento do aerogerador quando de ventos acima do seu limite de velocidade, o que acontece por embandeiramento. O aerogerador AC-750 em estudo encontra-se instalado numa torre tipo treliça com eixo horizontal a uma altura de 12m.

Na figura 28, tem-se a fotografia a um ângulo baixo de aproximadamente 30° do aerogerador AC750 da Aerocraft instalado na área do LABDTE do CT da UFRN.



Figura 28 – Fotografia do aerogerador AC 750 da Aerocraft instalado no LABTDE da UFRN.

A figura 29 abaixo ilustra a curva de potência do aerogerador AC 750, onde o eixo horizontal apresenta os valores de velocidade do vento em metros por segundo, e os valores no eixo vertical apresentam os valores de potência produzida pela turbina.

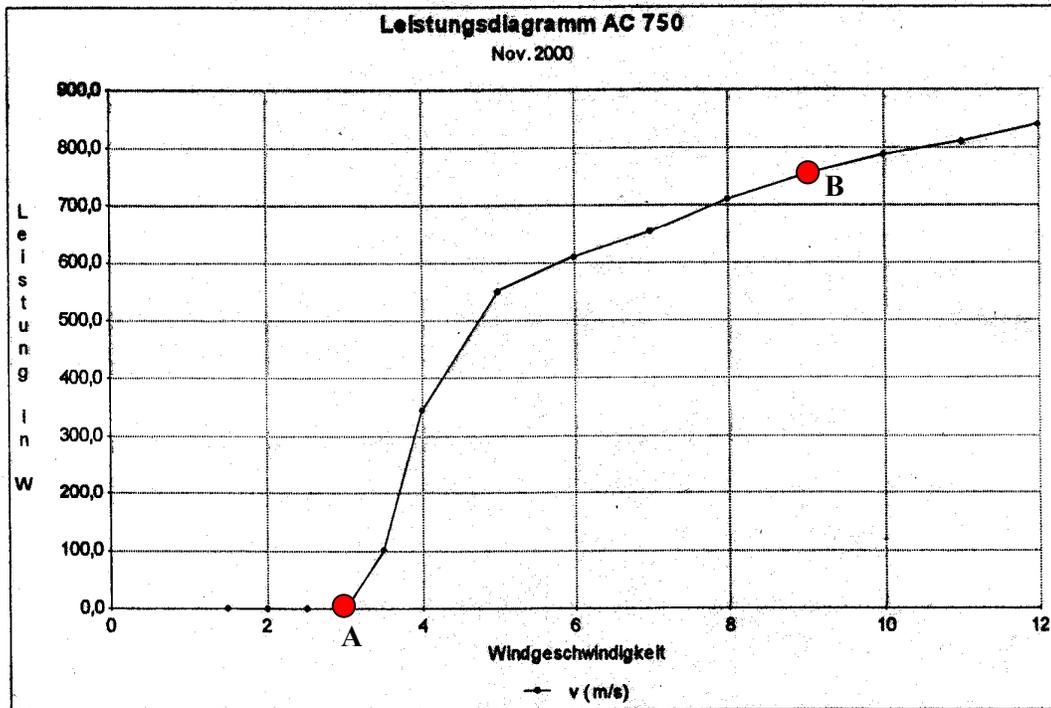


Figura 29 – Curva de potência do aerogerador AC 750 da Aircraft.

Os dois pontos em destaque marcam pontos significativos na turbina, a saber:

- Ponto A, velocidade de partida do aerogerador, ou seja, a partir deste ponto existe produção energia elétrica;
- Ponto B, velocidade nominal (9m/s), velocidade na qual o aerogerador atinge sua potência de trabalho nominal.

Os gráficos das figuras 30 e 31, a seguir foram feitos para possibilitar a comparação entre as potências obtidas em aerogeradores em função dos diâmetros das pás de 1m, 2m e 2,4m, no primeiro gráfico (figura 30) a potência disponível. Já na figura 31 é aplicado o limite de Betz.

As figuras 30 e 31 apresentam comparativos de curva de potência para valores de diâmetros do rotor distintos, observando o incremento de potência devido a área de varredura. Observado que o aerogerador do LABDTE tem diâmetro de 2,4m.

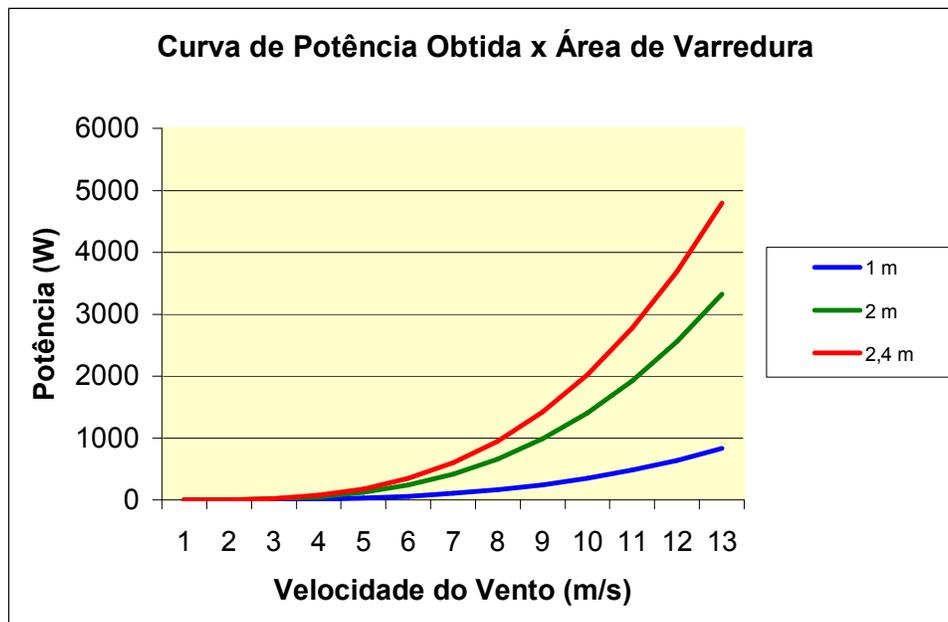


Figura 30 – Potência Obtida x Velocidade do vento para diferentes diâmetros de rotor.

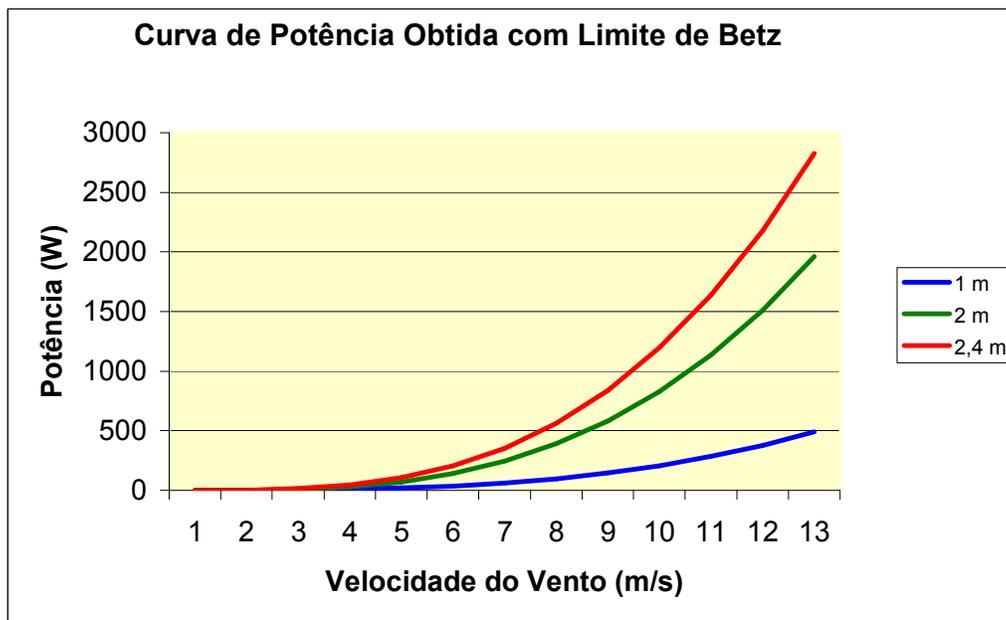


Figura 31 – Curvas de Potência para diferentes diâmetros de rotor considerando o Limite de Betz.

3.2 - Estrutura do modelo em estudo no LABDTE do C.T. da UFRN.

Abaixo a figura 32 apresenta o modelo de geração de energia elétrica baseada na energia eólica, instalado no LABDTE da UFRN e referência deste trabalho.

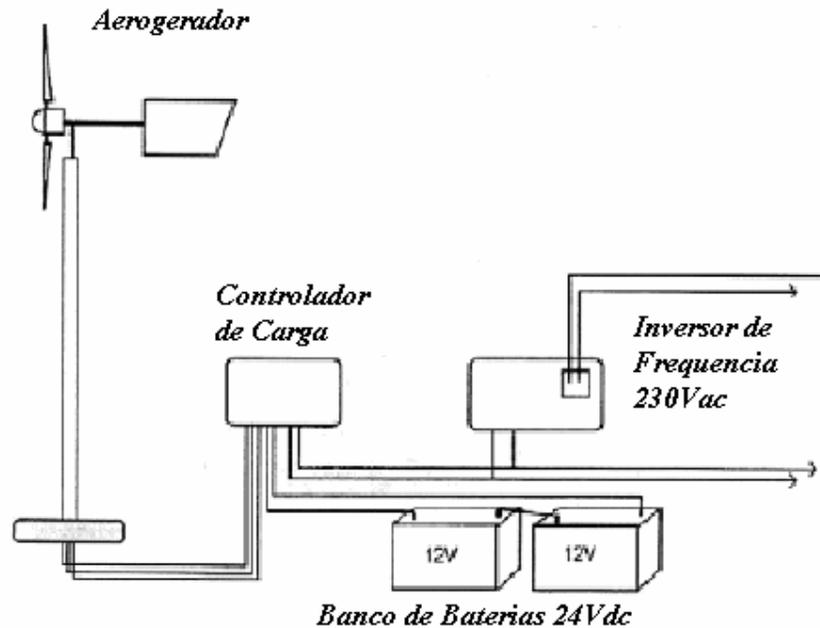


Figura 32 – Esquema do Modelo instalado no LABDTE do CT da UFRN.

Controlador de Carga e Banco de Baterias

O controlador de carga utilizado no modelo em estudo é fabricado pela Wind & Sun modelo ACLR-35, visto na figura 33 da página 47. A energia gerada pelo aerogerador vai para o controlador de carga que irá direcionar o fluxo elétrico para o banco de baterias, visto que a energia elétrica instantânea obtida no aerogerador não é suficientemente capaz de suprir a carga existente. O banco de baterias é responsável pela energização do inversor de frequência, que por sua vez fornece energia elétrica para a carga consumidora. Mesmo que haja energia gerada no aerogerador suficiente para atender ao consumo, a intervalos regulares o controlador de carga solicita energia das baterias para que sua vida útil não seja comprometida por longos períodos de inatividade.

Como as baterias estão sempre imóveis caso não fossem solicitadas pelo controlador, a decantação de seu fluido eletrolítico poderia causar a aceleração do

desgaste químico das placas das baterias. O controlador evita também que a tensão nas baterias fique abaixo de um determinado nível mínimo de segurança para a vida útil das mesmas quando por alguma razão (excesso de consumo ou falta de vento), a carga das baterias não é reparada pela energia gerada pelo aerogerador.

O banco de bateria é atualmente formado por um conjunto de quatro baterias tipo chumbo-ácida de 105Ah, interligadas em associação mista (série e paralelo) para obter a tensão final de 24 Volts e uma corrente nominal de 210Ah, o que representa uma excelente capacidade de manutenção do atendimento de tensão alternada via inversor de frequência.

Inversor de Frequência

O inversor de frequência utilizado no modelo em estudo é o Global 24/1000 fabricado pela Silverline Energy Systems, visto na figura 33 da página 47. O inversor é energizado com tensão contínua de 24 Volts provida pelo banco de bateria. Fornece na saída um sinal de tensão alternada de 230 Volts e apresenta capacidade de potência nominal de 1000 Watts. Os equipamentos consumidores encontram-se instalados no laboratório de Dispositivos Térmicos e Especiais, sendo alimentados por corrente alternada (CA) na faixa de tensão de 230V. A conversão de CC-24 V para CA-230 V é feita pelo inversor. No modelo do LABDTE no CT da UFRN optou-se por um inversor único para suprir toda a carga existente com CA.

Uma outra opção seria utilizar inversores menores distribuídos por eletrodomésticos ou pontos de carga. Esta segunda opção tem como vantagem a possibilidade de evitar a indisponibilidade total de energia em caso de defeito num inversor. Com um inversor único de maior porte, caso ocorra nele um defeito toda a casa ficará sem energia até que o mesmo seja substituído ou consertado. O sistema distribuído tem como desvantagem, entretanto, a necessidade de utilização de maior quantidade de fios de maior bitola, pois como a energia de C.C. opera em tensão mais baixa (24 V no caso contra 230 VCA), a corrente é maior para uma mesma potência transmitida.



Figura 33 - Foto do Inversor de Frequência e Controlador de Carga do modelo.

Sistema de aquisição de dados

A aquisição de dados existente no modelo em estudo é constituído pelo conjunto de sensores e o sistema de aquisição de dados (*Data Logger- modelo 9200 Plus da NRG Systems*) que registram os principais parâmetros necessários para avaliar a qualidade de operação do sistema monitorado, a saber: velocidade(m/s) e direção do vento (graus). Isso permite um melhor entendimento do desempenho dos sistemas instalados no campo e contribui para um aperfeiçoamento no planejamento desses sistemas. Os dados adquiridos serão utilizados para avaliar o desempenho do sistema eólico, bem como do banco de bateria e podem ser aproveitados para conhecer as características das cargas usadas neste período.

Instalado em uma torre lateral ao aerogerador fora da área de turbulência com posicionamento também à 12m de altura, encontra-se o Anemômetro modelo NRG #40 que é um anemômetro padrão. Os anemômetros NRG #40 registraram vento com velocidade de até 96 m/s (214 mph), pois seu baixo momento de inércia e porte permite resposta muito rápida a rajadas e calmarias.

Por causa da sua linearidade de saída, estes sensores são ideais para uso com vários sistemas de recuperação de dados. Um quarto pólo magnético induz uma voltagem de onda senoidal em um rolo produzindo um sinal de saída com frequência proporcional a velocidade do vento. Os anemômetros NRG #40 são construídos em meias conchas de Lexan ásperas moldadas para desempenho repetível.

ESPECIFICAÇÕES

Descrição

Sensor da velocidade do vento: anemômetro de 3 (três) conchas

Aplicações

- avaliação de recurso eólico
- estudos meteorológicos
- monitoramento ambiental

Faixa de sensor: 1 m/s até 96 m/s (2.2 mph até 214 mph)

Compatibilidade de instrumento todos os registradores (loggers) da NRG

Sinal de saída

Tipo do sinal: onda senoidal AC de baixa amplitude, frequência linearmente proporcional à velocidade do vento

Função de Transferência: $m/s = (Hz \times 0.765) + 0.35$, milhas p/h = $(Hz \times 1.711) + 0.78$

Precisão: dentro de 0.1 m/s (0.2 mph) p/ faixa de 5 m/s até 25 m/s (11 mph até 55 mph)

Faixa do sinal de saída: 0 Hz para 125 Hz

Limiar de características de resposta 0.78 m/s (1.75 milhas por hora)

Para a coleta e registro dos dados de velocidade do vento e sua direção, existe instalado na mesma torre do anemômetro o Logger NRG 9200-PLUS da NRG. O NRG 9200-PLUS da NRG é um sistema de registro de dados controlado por microprocessador de baixíssimo consumo. O sistema tem intervalos calculando a média selecionáveis de 10 ou 60 minutos, no caso específico adotou-se registro da média das medições a cada 10 minutos. A velocidade do vento e valores de divergência estão baseados em amostras seguidas a cada 2 segundos.

Características do NRG 9200-PLUS:

- 3 canais de velocidade de vento, 2 canais de direção e um canal analógico extra
- alimentação de 9 volt pela bateria, com fonte interna de 5 volts
- consumo de potência baixíssimo (>6 meses de operação, com 2 baterias alcalinas padrão 9 volts)
- Intervalo de registro: 10 até 60 minutos
- Capacidade de memória (de 4 dias a 681 dias que dependem da memória ROM usada, número de sensores e intervalo de leitura)
- Displays memória restante em dias
- LCD para 6 dígitos
- 8KB ou 32KB EEPROM Data Chips Removível
- Armazenamento no Chip de memória de: Início e final de tempo, data, voltagem de bateria, velocidade e direção do vento.

No modelo em estudo a aquisição dos dados, como já comentado, se dá através da utilização do DataLogger 9200 Plus da NRG, sendo que a transferência dos dados é feito através da manipulação de um chip de memória(EEPROM), que deve ser retirado no campo periodicamente para que em laboratório possa ser feita a leitura e gravação dos dados no PC, para posterior tratamento. O que determina sempre a necessidade de deslocamento de pessoal qualificado para tal manobra.

Aplicações de Energia Eólica exigem medições de vento de alto padrão, superiores às que normalmente são utilizadas para finalidades meteorológicas. Os aspectos mais críticos são: a seleção do sítio de medição, a seleção e calibração dos anemômetros e a instalação dos sensores de velocidade, direção e turbulência nas torres de medição.

Os custos envolvidos nas medições de alta qualidade são pequenos em comparação com a redução dos riscos financeiros de projetos de parques eólicos. É interessante que no planejamento responsável de um parque eólico, existam diversas medições das condições de vento executadas por especialistas independentes e reconhecidas [DEWI, 2007].

Nas figuras 34, 35 e 36 são mostradas: a estrutura da torre do sistema de sensores (anemômetro, direcional, piranômetro, registrador de dados), o Anemômetro NRG #40 e equipamento de coleta e registro de dados (DataLogger 9200-Plus) utilizados no modelo em estudo no LABDTE do CT da UFRN.

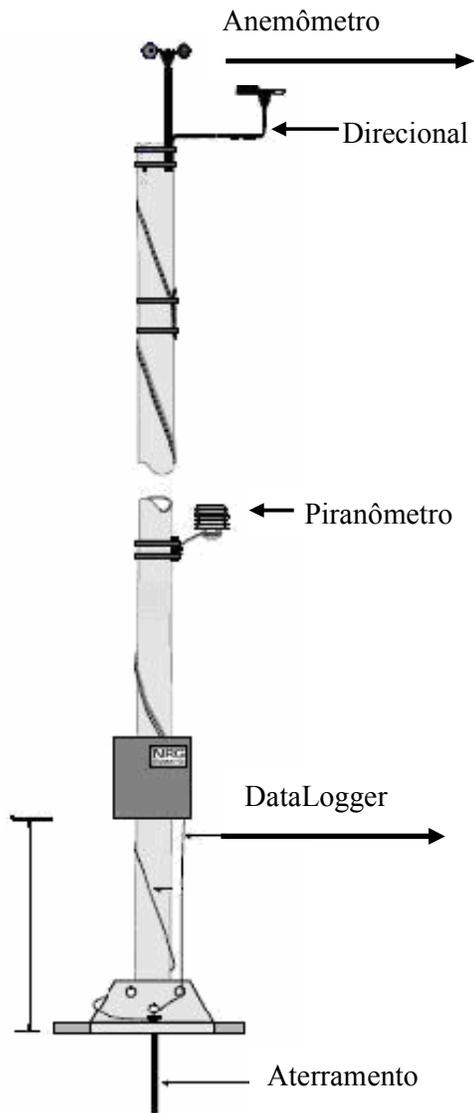


Figura 34 – Estrutura medição da Estação Piloto do LABDTE no CT/UFRN



Figura 35 – Anemômetro NRG #40



Figura 36 – Registrador de Campo 9200 Plus da NRG

CAPÍTULO IV

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 Desenvolvimento

Raramente um sistema qualquer de geração de energia elétrica tem um desempenho muito satisfatório e regular não necessitando, portanto de manutenção periódica ou sistêmica, bem como não se justifica a existência de um operador ou equipe de operação no local de instalação e operação do sistema, pois basicamente os mesmos são autônomos.

No desenvolvimento do projeto de aquisição e transmissão de dados aplicados a um sistema de geração de energia elétrica baseado num sistema eólico, adotou-se o modelo de aquisição livre por entender que estando toda e qualquer unidade geradora afastada de centros urbanos é altamente dispendiosas a avaliação contínua e operação do sistema.

O sensor a ser utilizado na medição é o anemômetro que já se encontra instalado e em conexão com um Registrador de Dados (DataLogger). Apenas será necessário compatibilizar a utilização do mesmo anemômetro com o sistema de aquisição e transmissão de dados proposto.

No modelo em estudo existe um Registrador de Dados instalado em campo que realiza a retenção dos dados de vento (velocidade e direção) e nível de radiação solar de forma contínua em intervalos de 10 minutos. Não é intenção neste trabalho realizar também a retenção de dados, mas sim, favorecer a transferência de modo contínuo dos dados de: Velocidade do Vento, Tensão de Saída do Aerogerador, Tensão de Saída do Regulador de Carga, Tensão do Banco de Baterias e Tensão de Saída do Inversor de Frequência. Pensando assim, a retenção de dados deveria ser a mínima possível, existindo a possibilidade da realização de retenção dos dados na unidade de recepção se esta estiver conectada a um computador com programa específico para este fim.

O DataLogger instalado (9200 Plus da NRG) faz registro dos dados de velocidade e direção do vento, e mais recentemente do nível de radiação solar incidente. Pode-se dividir o DataLogger em três blocos fundamentais, a saber:

1. Tratamento dos sinais;
2. Processamento;
3. Armazenamento.

O bloco do tratamento dos sinais é responsável por adequar o sinal primário colhido a partir dos sensores ou transdutores de forma que esteja de acordo com o padrão de entrada do conversor AD. O bloco do processamento é responsável pelo gerenciamento das tarefas do aparelho, ou seja, ele realiza as tarefas de comunicação, armazenamento e leitura dos sensores. O bloco do armazenamento é responsável pela retenção dos dados, o que é feito com chips de memória EEPROM, os quais devem retirados em prazos determinados para transferência dos dados gravados para um computador, permitindo assim, sua manipulação. Estes dados são informações de velocidade e direção do vento, e mais recentemente de radiação, com a respectiva data e hora em que os dados foram coletados. Neste DataLogger não existe nenhum dispositivo de comunicação, o que determina a necessidade de um sistema de transferência dos dados a distância sem uso de cabos de linhas de transmissão (metálico ou ótico).

4.1.1 Sistema de Monitoração (Aquisição e Transmissão)

Este sistema de monitoração foi idealizado a partir da necessidade de se obter dados contínuos de operação de sistemas eólicos e fotovoltaicos instalados em áreas rurais ou de difícil acesso para produção de energia elétrica. A aplicação de um sistema remoto de aquisição e transmissão de dados também é um fator de aumento de confiabilidade e comodidade operacional. A partir de sua aplicação é possível acompanhar o desempenho de qualquer sistema de geração de energia elétrica a distância.

O protótipo foi concebido com dois módulos, o primeiro denominado de: unidade remota de aquisição e transmissão de dados, e o segundo de: unidade base de leitura de dados. Para vencer o componente da distância entre o local de geração e o local de controle, a transferência de dados entre os módulos é realizada via ondas eletromagnéticas.

O sistema de aquisição de dados proposto neste trabalho objetiva a monitoração e registro da energia elétrica produzida pelo aerogerador, identificando se a operação do sistema encontra-se dentro da normalidade. Assim, foram estabelecidos quatro pontos de observação e leitura de sinais: velocidade do vento, tensão de saída do aerogerador, tensão do banco de baterias e tensão de saída do inversor de frequência.

A figura 37 abaixo apresenta o diagrama em blocos representativo do protótipo da unidade de Leitura de Dados, onde é identificada cada etapa existente na unidade.

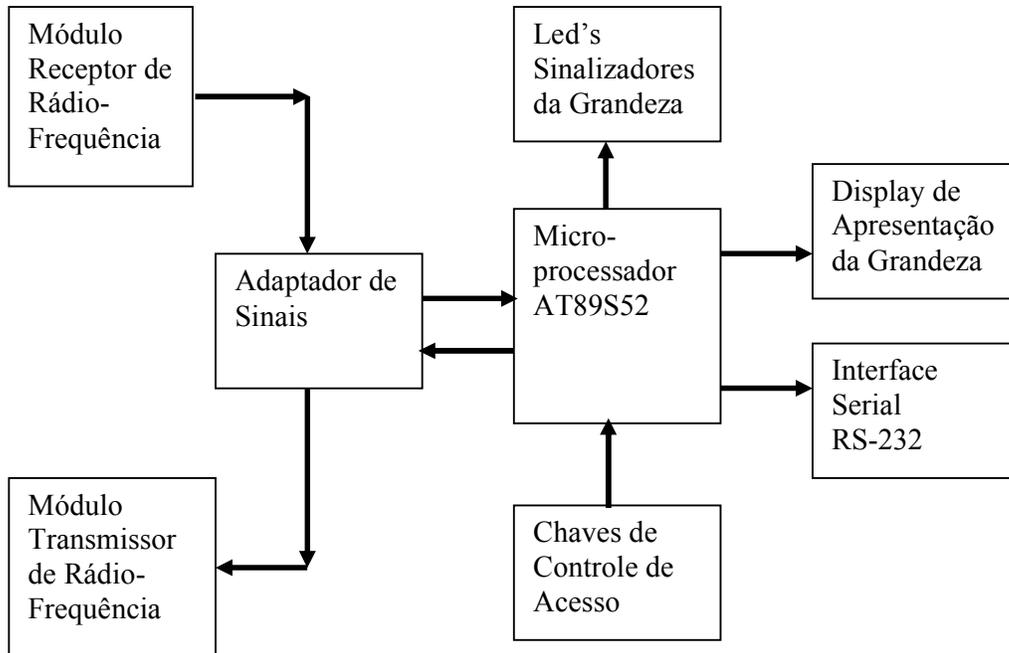


Figura 37 – Diagrama em blocos da Unidade de Leitura.

Como o objetivo do sistema é o acompanhamento contínuo das condições operacionais do sistema eólico, alguns pontos deste sistema foram considerados prioritários para compor o quadro de diagnóstico. Para tanto, em cada um destes pontos foram estabelecidas coletas de sinais. Estes sinais foram escolhidos pela seguinte seqüência de observação funcional:

1. O anemômetro - se existe vento em condição satisfatória para o sistema operar;
2. O aerogerador – existindo vento suficiente o aerogerador deverá ter tensão na saída para alimentar o banco de baterias;
3. O banco de baterias – deve sempre existir tensão dentro de limites máximo e mínimo, caso contrário o banco sofrerá danos e afetará a operação de todo o sistema;
4. O inversor de frequência – responsável pela alimentação da carga final, deve apresentar tensão de saída em torno de 230 Vac.

Estes dados são coletados pela unidade de aquisição e transmitidos via RF para a unidade de leitura, possibilitando o acompanhamento em tempo real. A unidade de aquisição conta com uma capacidade de memória que serve como sistema de salvadados. Se ocorrer a falta ou falha na transmissão dos dados durante algum tempo, é possível recuperar os dados dos últimos 15 (quinze) dias.

Os dados transmitidos e apresentados seguem seqüência pré-estabelecida na programação das unidades, entretanto, através da solicitação do operador a partir do acionamento de chaves de controle existentes na unidade base de leitura, que envia ordem de controle para unidade remota de aquisição a fim de transmitir os dados solicitados. A unidade de leitura pode ser conectada a um PC via serial 232, de modo a transferir ao computador os dados que estão sendo recebidos. Nesta condição estes dados recebidos podem posterior sofrer tratamento específico, ou podem ser mostrados na tela do PC em tempo real, com a necessidade de criação ou utilização de programas próprios para estes fins.

A figura 38 abaixo apresenta o diagrama em blocos representativo do protótipo da unidade de Coleta e Transmissão de Dados, onde é identificada cada etapa existente na unidade.

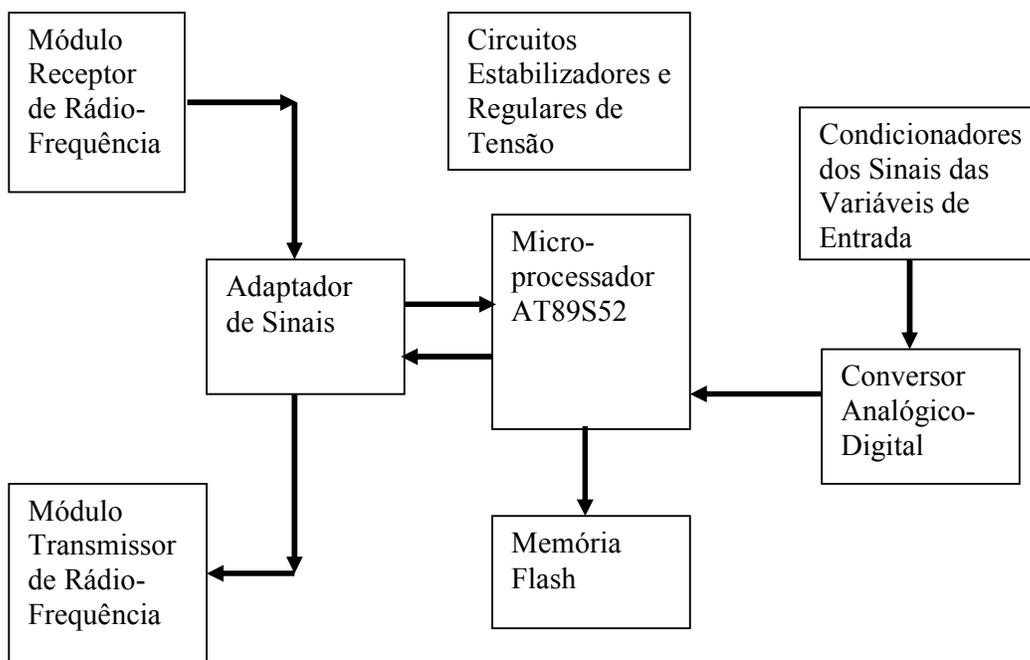


Figura 38 – Diagrama em blocos da Unidade de Aquisição e Transmissão de Dados.

4.2 Montagem experimental

Para compor o sistema de aquisição e transmissão de dados do aerogerador instalado no LABDTE do CT da UFRN foi pensado um protótipo e econômico devido, principalmente, a pouca disponibilidade de recursos. Sendo assim, o sistema foi concebido com a seguinte estrutura para o sistema de aquisição de dados:

- Elementos Sensores
- Condicionamento do Sinal
- Conversor Analógico-Digital
- Micro-Processador de sinais
- Transmissão e Recepção

Na figura 39 pode-se notar os componentes eletrônicos que compõem o protótipo da unidade base de leitura.

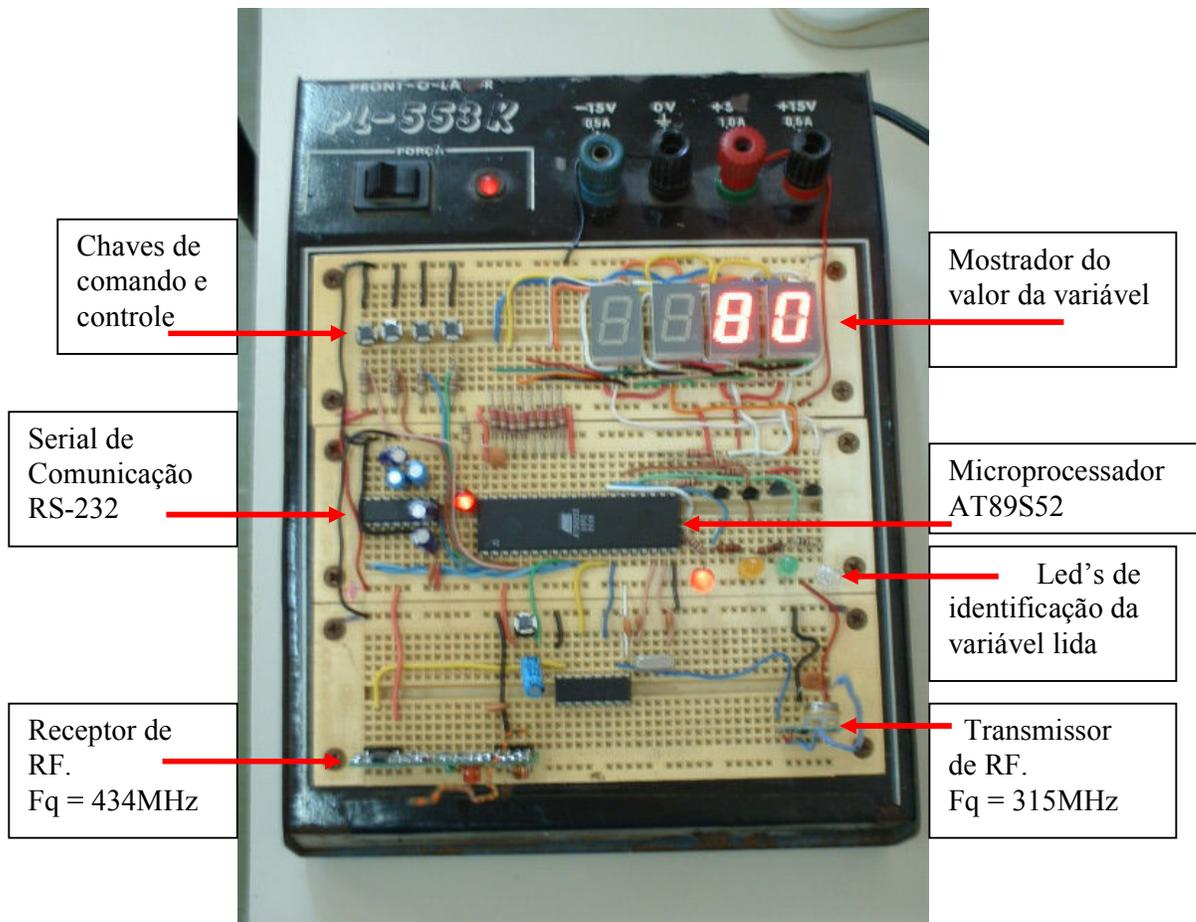


Figura 39 – Unidade Base de Leitura.

4.2.1 Aquisição dos Dados

4.2.1.1 Elemento Sensor

Neste sistema de aquisição de dados, utilizou-se como único sensor do sistema o anemômetro NRG #40 já instalado e conectado ao DataLogger, como sua saída apresenta grandeza elétrica da frequência com faixa de 0 a 125Hz, foi necessário aplicar o condicionamento de sinais transformando o sinal frequencial em voltagem numa nova faixa de 0 a 5 Volts compatível com o conversor Analógico-Digital.

O modelo de análise adotado nas páginas 51 e 52 para avaliação das condições funcionais do sistema de geração de energia elétrica, é composto do aerogerador, controlador de carga, banco de baterias e inversor de frequência. As variáveis como a direção do vento e a intensidade de radiação solar não foram incluídas no sistema de aquisição de dados proposto neste trabalho, pois objetivo é monitorar as condições gerais de funcionamento do sistema descrito e não apenas modelar o funcionamento do aerogerador. Entretanto, devido a importância dessas variáveis trabalhos futuros poderão estabelecer a inclusão.

Além do sinal do anemômetro outros sinais foram utilizados na avaliação do desempenho do sistema eólico. Sendo assim, utilizou-se a tensão de saída do aerogerador, a tensão do banco de bateria e a tensão de saída do inversor de frequência, estabelecendo o raciocínio de que o vento é a condição básica para o funcionamento do sistema. Se existe vento confirmado pelo sinal do anemômetro, o aerogerador deve estar fornecendo potência elétrica para o controlador de carga. Se esta etapa estiver também em perfeito funcionamento, o banco de bateria deve apresentar tensão em torno de 24 Volts. O inversor de frequência alimentado pelo banco de bateria deve fornecer ao sistema de carga instalada tensão alternada nominal de 230 Volts. Sendo assim, todo o sistema estará sendo monitorado e avaliado em seus valores instantâneos.

4.2.1.2 Condicionamento do Sinal

Para a etapa de condicionamento do sinal foram utilizadas malhas resistivas para obter tensões de Thevenin apropriadas à condição da etapa, contando com elementos capacitivos para filtro de primeira ordem evitando ruídos ou espúrios, mantendo o sinal de entrada adequado ao amplificador de sinais. As malhas resistivas

foram configuradas como divisores de tensão para os sinais de tensão superiores a 05 Volts, como também se utilizou de retificadores de silício e filtro capacitivo para transformação dos sinais analógicos alternados em contínuos de forma a obter um sinal mais estável, já que, pelo seu valor médio, é possível identificar a condição funcional do sistema de geração de energia.

Para amplificação de sinais utilizou-se o circuito integrado TL072ACP da Motorola (ver anexo), que é um duplo amplificador operacional com alimentação simétrica. O amplificador foi configurado na montagem não inversora para evitar a ocorrência de tensão negativa na entrada do conversor A/D. Entretanto, foi necessário estabelecer balanceamento entre a malha resistiva de entrada e o ganho do amplificador de sinais, evitando que no sinal a ser entregue ao conversor A/D existisse alguma espécie de erro, como por exemplo, erro de fundo de escala.

4.2.1.3 Conversor Analógico-Digital

Pela necessidade de realizar a leitura e tratamento dos quatro sinais (velocidade do vento pelo anemômetro; tensão de saída do aerogerador; tensão do banco de baterias; tensão de saída do inversor de frequência) do sistema de geração elétrica com aerogerador, optou-se por utilizar o circuito integrado ADC0809, apresentado na figura 40, é fabricado pela National Semiconductor que além de apresentar características comuns para o projeto, apresenta também preço bastante acessível. O ADC0809 é um componente para aquisição dados. É um dispositivo fabricado em tecnologia CMOS monolítico, com um conversor analógico-digital de 8-bits, multiplex de 8 canais e compatível com controle lógico microprocessador. O ADC0809 utiliza a aproximação sucessiva como técnica de conversão. O conversor tem como característica de entrada um comparador de alta impedância, um divisor de voltagem de 256R com estruturado com interruptor analógico e um registrador de aproximação sucessiva. O multiplex de 8 canais pode diretamente acessar quaisquer dos sinais analógicos 8 canais de entrada por endereço.

O dispositivo elimina a necessidade de ajuste externo ou controle por zero, é de fácil conexão para com todos os microprocessadores. A entrada é provida pelo endereço do multiplex e suas saídas chaveadas são compatíveis com lógica TTL em *tri-state*.

O *design* do ADC0809 foi aperfeiçoado incorporando os aspectos mais desejáveis de várias A/D técnicas de conversão. O ADC0809 oferece alta velocidade, alta precisão, mínima dependência de temperatura, excelente precisão e repetibilidade em longo prazo, com consumo mínimo de potência.

Características e Especificações fundamentais:

Alimentação Simples 5 VDC

Faixa de saída de 0V a 5Volts

Saídas com especificações em voltagem de TTL

Resolução de 8 Bits

Erro máximo de $\pm 1/2$ LSB a ± 1 LSB

Baixo Consumo 15 mW

Tempo de Conversão 100 μ s

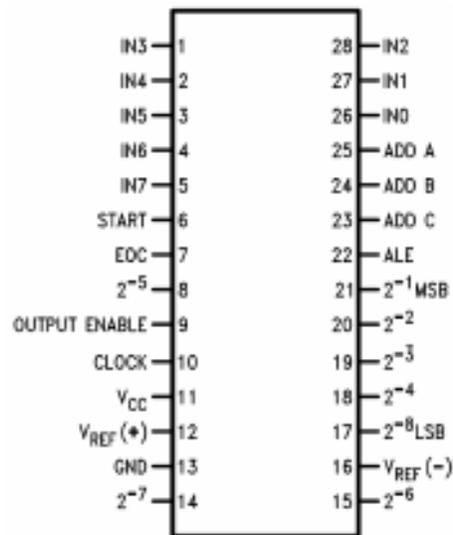


Figura 40 – Diagrama de pinagem do ADC0809 em configuração DIL.

Como este conversor A/D apresenta 8 canais de entrada e o sistema utiliza-se de apenas quatro, foi elaborado endereçamento de apenas quatro canais via conexões das portas P3.5 e P3.4 do microprocessador com os endereços ADD A e ADD B do conversor, respectivamente.

4.2.1.4 Micro-processador de sinais

Pela necessidade de controle e manipulação dos sinais obtidos fez-se necessário a aplicação de microcontroladores, que dentro dos mais variados modelos existentes no mercado, o microcontrolador AT89S52 da Atmel foi escolhido devido a sua larga aplicação e conhecimento nas mais diversas áreas, bem como pelo preço bastante acessível.

Descrição:

O AT89S52 é um microcontrolador CMOS de 8-bits baixo consumo, alto desempenho, com 8Kbytes de memória de Flash programável *in-sistem*. O dispositivo é fabricado utilizando a tecnologia de memória não volátil de alta densidade da Atmel e é compatível com o padrão 80C51, com o conjunto instrução e pinagem. O sistema Flash permite que o programa de memória seja reprogramado *in-sistem* ou por um programador de memória não volátil convencional.

Combinando uma CPU versátil de 8-bits com o *Flash* programável *in-sistem* em um *chip* monolítico, o Atmel AT89S52 é um microcontrolador poderoso que provê uma solução altamente flexível e custo reduzido para muitas aplicações de controle embarcadas. O Modo Inativo pára a CPU enquanto permite que a RAM, temporizadores/contadores, porta serial, e sistema de interrupção continuem funcionando. O modo de baixo consumo economiza os conteúdos de RAM, mas mantém o oscilador, incapacitando todas as outras funções do chip até a próxima interrupção ou *reset* do *hardware*.

Características:

- Compatível com Produtos de MCS®-51
- 8K Bytes de Memória de Flash Programável In-Sistem (ISP)
- Faixa de Alimentação Operacional 4.0V a 5.5V
- Operação Completamente Estática: 0 Hz para 33 MHz
- 256 Bytes x 8-bits de RAM Interna
- 32 Linhas (portas) de I/O Programáveis
- Três Temporizadores/Contadores de 16-bits

- Oito Fontes de Interrupção
- Canal Serial UART Full-Duplex
- Baixo consumo e modo de baixo consumo Inativo
- Tempo de Programação Rápido

Na figura 41 tem-se o diagrama de pinagem do microcontrolador AT89S52 da Atmel, de forma a identificar cada um dos pinos existentes e suas aplicações.

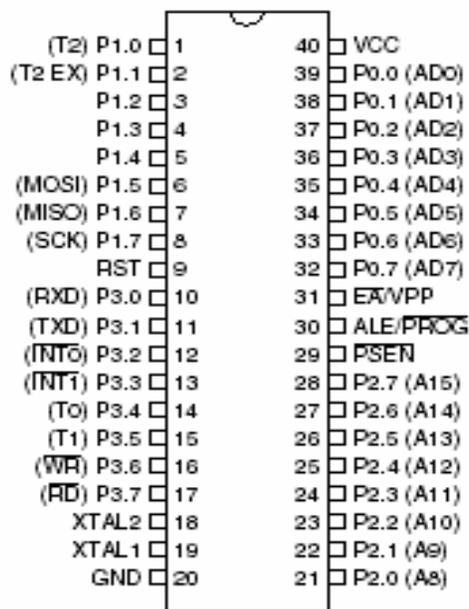


Figura 41 – Diagrama de pinagem do Microprocessador AT89S52 da ATMEL.

Na figura 42 é apresentada a montagem em placa experimental do protótipo da unidade de Aquisição e Transmissão de Dados. Que é constituído dos seguintes componentes:

- ❖ Microcontrolador AT89S52 da Atmel
- ❖ Conversor Analógico/Digital ADC 0809 da National
- ❖ Memória flash
- ❖ Amplificadores Operacionais TL072
- ❖ Regulador de tensão positiva LM 7805
- ❖ Regulador de tensão positiva LM 7812
- ❖ Regulador de tensão negativa LM 7912
- ❖ CI 4049
- ❖ CI 74373

- ❖ Módulo Transmissor
- ❖ Módulo Receptor
- ❖ Capacitores e Resistores diversos

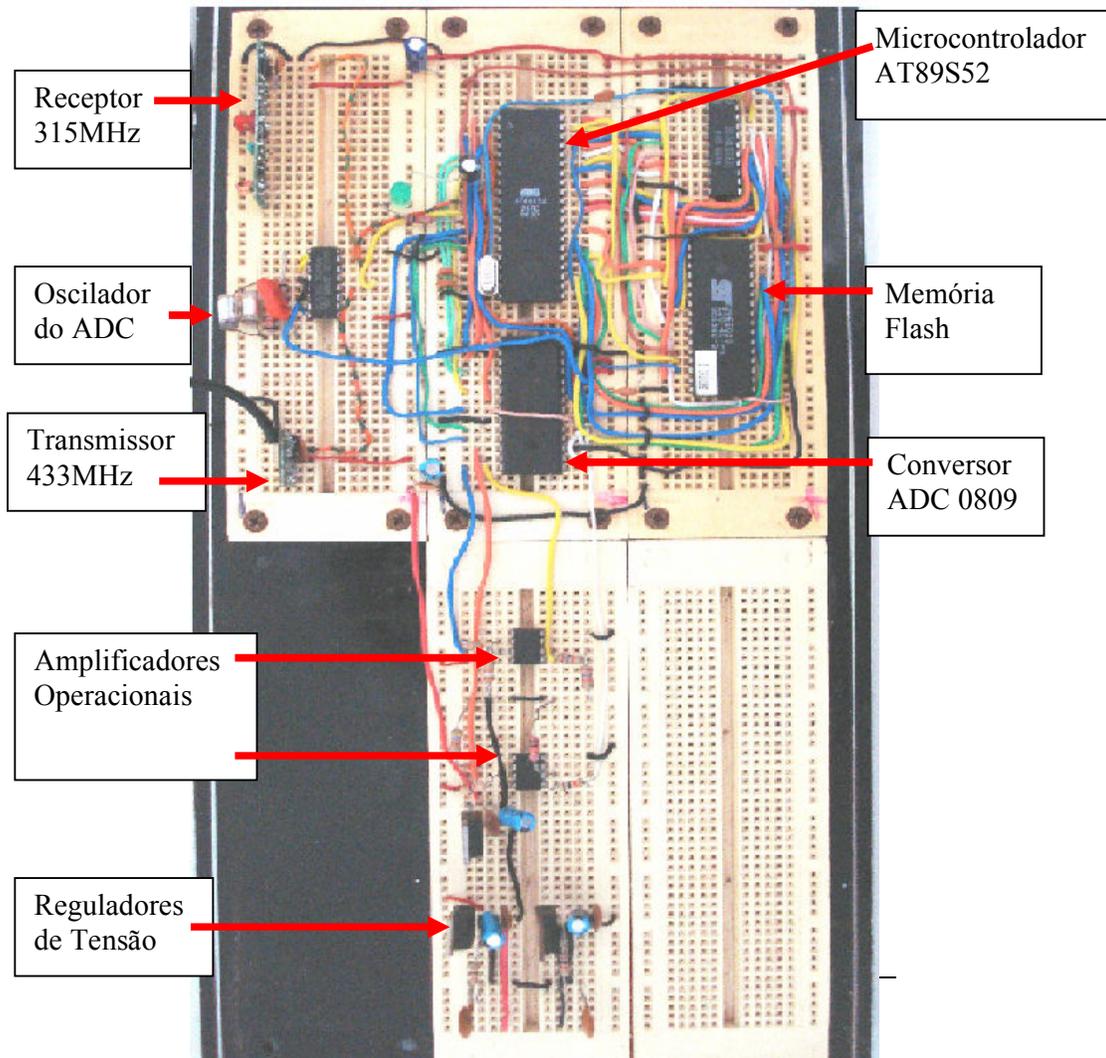


Figura 42 – Foto da Unidade de Aquisição e Transmissão de Dados.

Os dados resultantes do sistema de aquisição e conversão analógico-digital estão escritos por uma palavra de 08 bits, que são entregues pelo conversor ADC0809 de modo paralelo ao microcontrolador AT89S52 para tratamento da informação e transmissão via módulos de RF. No entanto, a palavra de informação não é transmitida da mesma forma como é entregue.

Como no projeto existe a necessidade de troca de informações entre as unidades, foi feita opção pelo sentido de transmissão *Half-Duplex*, porque otimiza o sistema, ou

seja, só haverá acionamento do transmissor em cada unidade quando houver informação a ser transmitida e a mesma se dará alternadamente.

O envio de dados será de modo serial cuja transformação é feita pelo microcontrolador, que também estará dotado de um programa de controle de comunicação, cujo ritmo de transmissão é de modo assíncrona baseada no modelo UART, de modo que toda transmissão depende de sincronismo baseado em bits, com uma seqüência pré-estabelecida de bits iniciais que marcam o início da transmissão e outra seqüência de bits finais que marcam o final da transmissão, portanto sem sincronismo temporal, o que simplifica bastante o processo de comunicação.

4.2.1.5 Módulos de Transmissão e Recepção

Os módulos utilizados para transmissão e recepção foram os genéricos RR3 e RT4 da Telecontrolli. Os módulos têm alcance de até 100m sem obstáculos, desde que a antena e a fonte de alimentação do transmissor sigam as recomendações técnicas do fabricante.

Os módulos RT4 e RR3 trabalham nas faixas de freqüências de: 315MHz, 418MHz e 433,92MHz. Os utilizados neste projeto trabalham na freqüência de 315MHz e 433,92MHz, apesar da opção por uma comunicação Half-Duplex entre a unidade aquisição instalada em campo e a unidade de monitorização (remota). É necessário ter o par transmissor/receptor com freqüências idênticas para que se possa assegurar a comunicação entre ambos, e evitar interferências frequenciais nos canais da mesma unidade.

A largura de banda (para a transferência dos dados) do módulo RT4 é de 4 kHz, já a do módulo RR3 é de 2 kHz. Portanto, para que o módulo receptor RR3 consiga receber os dados corretamente, o transmissor RT4 deverá se limitar a transmitir os dados numa taxa inferior ou igual a **2KHz**.

Os módulos RR3 e RT4 operam com transmissão serial, ou seja, sempre apresenta uma palavra escrita com um caractere após o outro. Como o conversor A/D na transmissão e o mostrador da variável na recepção precisam da palavra paralela pensou-se inicialmente utilizar os circuitos integrados complementares (encoder e decoder) **MC145026** e **MC145027**, respectivamente, formando os pares **MC145026/RT4** e **RR3/MC145027**.

Entretanto, estes circuitos integrados apresentam transmissão de apenas 4 bits, o que iria determinar uma baixíssima precisão por apresentar a possibilidade de operar com 16 níveis de tensão, ou seja, dezesseis degraus de tensão para a conversão analógico-digital. Considerando a faixa de 5 Volts cada degrau teria o valor de 0,3125 Volts ou 312,5mV, ou seja, cada degrau de quantum teria uma participação de 6,25% do total a ser excursionado. Com a utilização de 8 bits passa-se a ter 256 níveis de quantum (degraus de tensão) com uma tensão por degrau de 19,5mV, assim cada degrau representa 0,39% da faixa de tensão de 5 Volts de referência a ser excursionada, o que representa uma precisão muito maior na coleta, registro e apresentação dos dados. Para tanto foi escolhido o conversor ADC0809 da *National Semiconductor* já discutido anteriormente.

Na figura 43 encontra-se o diagrama em blocos da unidade receptora RR3 da Telecontrolli, onde se pode observar o tratamento do sinal com etapas funcionais como por exemplo: Filtro LC de entrada para controle da faixa de sinal, PLL para precisão frequencial, Filtro FI 10.7MHz, demodulador e comparador de saída.

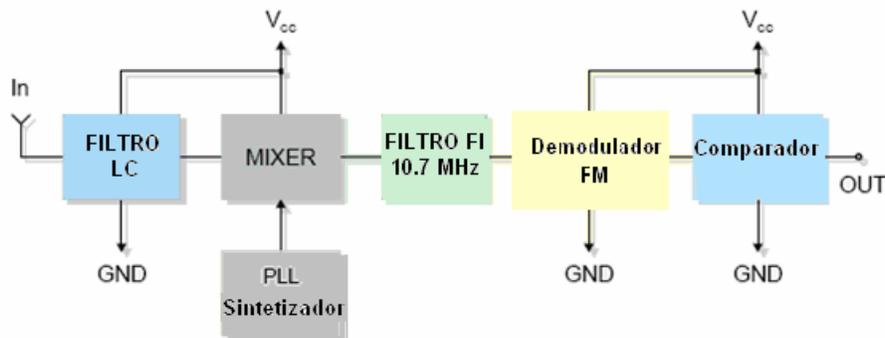


Figura 43 – Diagrama em blocos da unidade receptora RR3 da Telecontrolli.

Na figura 44 é apresentado o diagrama em blocos do módulo transmissor RT4 utilizado na montagem do protótipo.

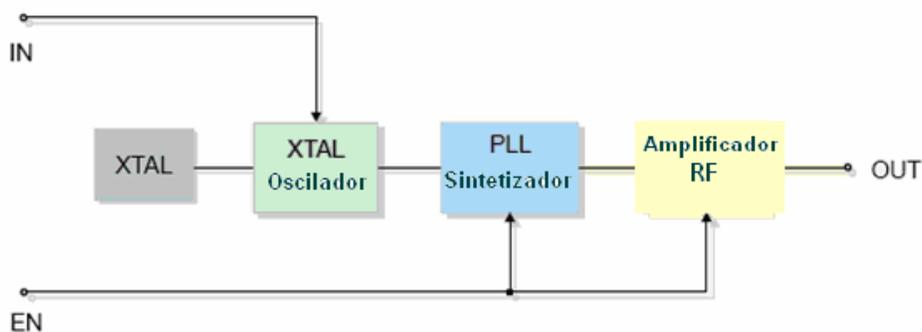


Figura 44 – Diagrama em blocos da unidade transmissora RT4 da Telecontrolli.

Para assegurar medições mais confiáveis e registro de dados para posterior tratamento e/ou modelagem, adotou-se uma nova linha de pensamento: a construção de protótipo de aquisição e monitoramento remoto, onde não fosse necessário a utilização de um Data Logger, material importado e de custo significativo. A filosofia funcional do protótipo é de transmitir continuamente em rede sem fio dados dos eventos do sistema eólico, permitindo o acúmulo ou registro dos dados, que fosse construído a um custo significativamente baixo. Assim algumas características funcionais foram estabelecidas:

- Leitura e transmissão em tempo real
- Aplicação de um sistema de memória não volátil
- Possibilidade de atender a solicitações remotas
- Sistema de armazenamento localizado na unidade remota de coleta dos dados
- Dados registrados e disponibilizados a qualquer tempo por comando

Bancada de Trabalho e Testes

A bancada de trabalho e testes é composta dos seguintes equipamentos e recursos de software para realização da programação dos microcontroladores e design do circuito:

- Fonte de alimentação estabilizada regulável e fixa marca Minipa modelo MPC303Di;
- Osciloscópio Digital 200MHz marca Agilent Technologies modelo;
- Microcomputador ;
- Analisador de espectro para 1000MHz marca Instek modelo GSP 810;
- Multímetro digital ;
- Software de simulação eletrônica Protel;
- Software μ Vision da Keil;
- Estação de programação Minipa modelo MSP-310

A figura 45 apresenta a bancada de trabalho e testes utilizada na elaboração e configuração das unidades.



Figura 45 - Foto da Bancada de Teste das unidades de aquisição e leitura.

A figura 46 apresenta o osciloscópio digital da Agilent Technologies utilizado durante os trabalhos de testes das unidades desenvolvidas.

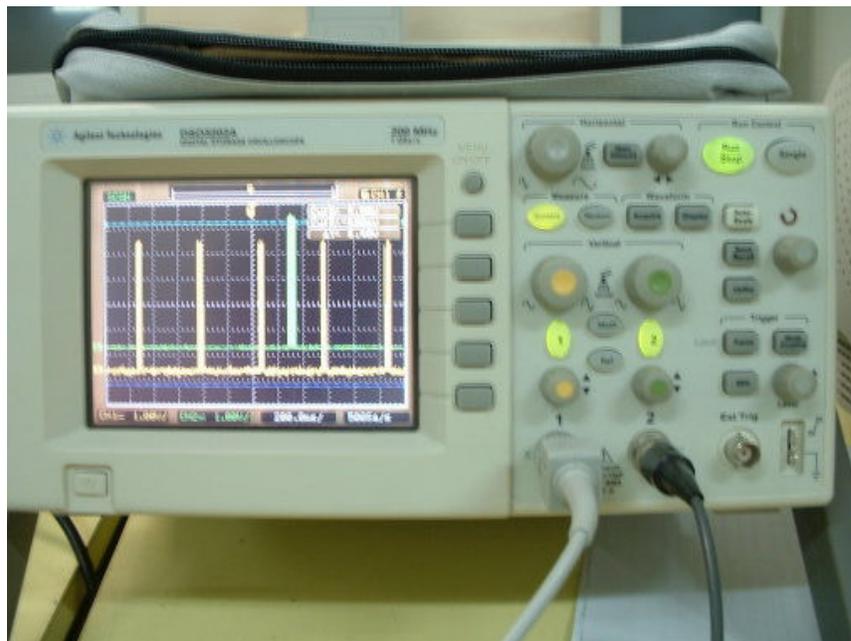


Figura 46 - Análise do sincronismo entre transmissão e recepção das unidades de aquisição e leitura.

Conforme estabelecido em teoria (ver fig. 24 da página 32) após o processo da modulação AM-OOK, o sinal informação sofre uma translação frequencial. Esta condição é confirmada e apresenta na prática através das figuras 47 e 48, quando da análise do comportamento sinal do transmissor do protótipo pelo instrumento analisador de espectro (marca Instek, modelo GSP-810).

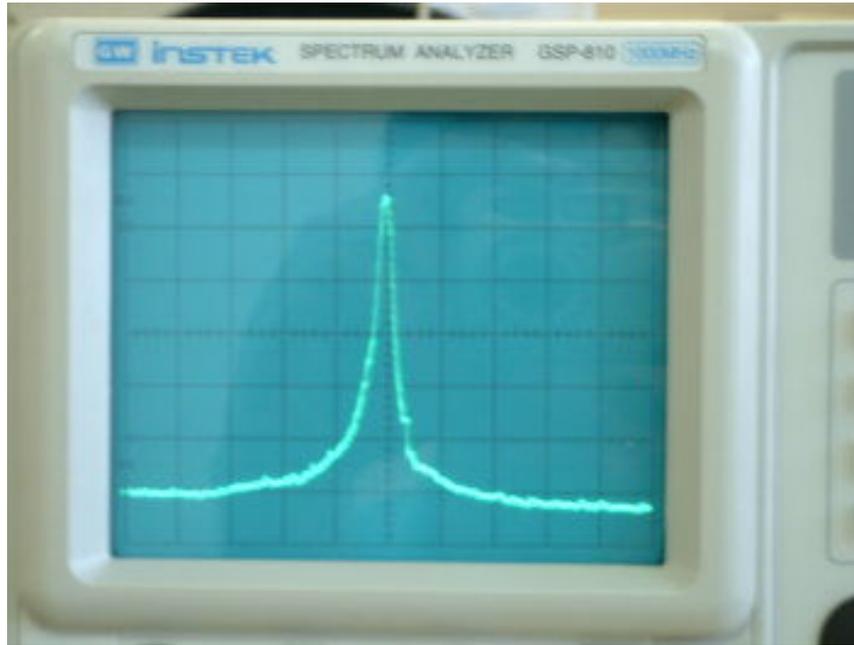


Figura 47 – Espectro frequencial obtido sem modulação.

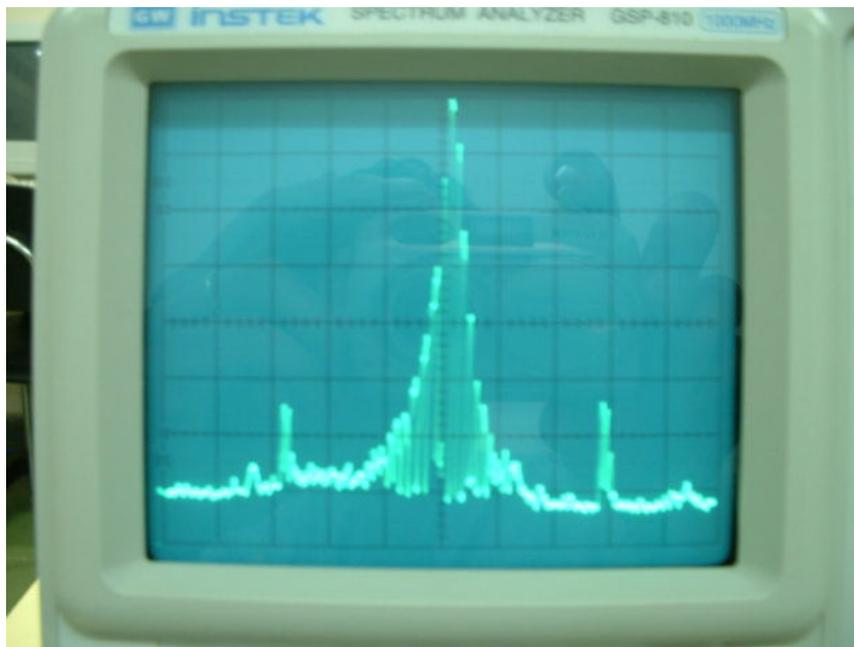


Figura 48 – Espectro frequencial obtido com modulação.

Este trabalho tem como propósito apresentar um modelo de um sistema de aquisição de baixo custo aplicado a aerogeradores de pequeno porte, assim, abaixo se encontra descrito na tabela 03 o levantamento do custo final para montagem do protótipo.

Tabela 04 – Custos empregados na construção do protótipo.

Item	Descrição do Material	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
01	Microcontrolador AT89S52 da Atmel	02	7,50	15,00
02	Display a LED 7 segmentos	04	1,60	6,40
03	CI - Conversor ADC0809	01	16,50	16,50
04	CI – AmOp TL072	02	1,05	2,10
05	CI – Regulador LM78M12	01	1,00	1,00
06	CI – Regulador LM79M12	01	1,00	1,00
07	CI – Regulador LM 78M05	01	1,00	1,00
08	CI – 74HC373	01	1,25	1,25
09	CI – SST29EE010	01	30,00	30,00
10	CI – HCF4049	02	1,20	2,40
11	CI – MAX232A	01	2,50	2,50
12	Cristal de 24MHz	02	0,90	1,80
13	Transistor BC557	04	0,25	1,00
14	Led	06	0,25	1,50
15	Chave simples de pressão tipo Táctil	06	0,20	1,20
16	Resistores de diversos valores	32	0,10	3,20
17	Capacitor Cerâmico diversos	11	0,10	1,10
18	Capacitor Eletrolítico diversos	10	0,40	4,00
19	Módulo Transmissor Telecontrolli	02	15,00	30,00
20	Módulo Receptor Telecontrolli	02	18,00	36,00
21	Caixa de Plástico	01	31,00	31,00

☺ **CUSTO TOTAL R\$189,95 ⇔ US\$ 102.00 (sem antenas)**

☺ **PREÇO DE DATA-LOGGER SEM CUSTOS DE IMPORTAÇÃO**

US\$ 1,350.00 aproximadamente R\$ 2.500,00

CAPÍTULO 5

RESULTADOS e DISCUSSÕES

5.1 DADOS OBTIDOS

Para avaliação do perfil de vento em Natal utilizou-se o registro dos dados coletados a partir do Data Logger 9200 instalado no modelo em estudo existente no CT da UFRN. Os dados foram obtidos no período de 27/01/2006 à 16/10/2006, o total de dados obtidos foi de 47320 registros, já que o processo de registro dos dados se dá da seguinte maneira: é feita leitura a cada 02 segundos, e a cada 10 minutos é realizado o cálculo da média e feito registro, a cada hora são registrados 06 valores da média da velocidade, assim, por dia são registrados 144 eventos, não sendo conveniente anexá-los a este trabalho devido a sua extensão total de 47320 eventos, entretanto serão aqui registrados dados expressivos sobre as condições de vento do modelo em estudo, possibilitando estabelecer elementos de diagnóstico. Sendo assim, os dados foram tratados utilizando o software Excel da Microsoft, de onde foi possível estabelecer os seguintes pontos:

1. A Velocidade Média do primeiro semestre do ano de 2006 foi de 4,3m/s
2. A Velocidade Média do segundo semestre do ano de 2006 foi de 5,3m/s;
3. A Velocidade Média anual (2006) encontra-se na faixa de 4,8m/s;
4. A Velocidade anual tende ao maior valor no período agosto a novembro;
5. A curva de tendência confirma a condição de maior valor médio de velocidade no referido período;
6. Utilizada a curva diária foi possível identificar que o vento apresenta-se com maior velocidade no período das 09:00 às 16:00 horas;
7. A rosa-dos-ventos sinaliza que a maior ocorrência da direção do vento se dá na faixa sudeste (SE), com extensão entre SSE e ESE;
8. A rosa-dos-ventos obtida tem uma proximidade significativa com o mapa eólico apresentado no Atlas do Potencial Eólico Brasileiro publicação do MME, Eletrobrás, Cepel e Cresesb;
9. Considerada a velocidade média obtida de 4,8 m/s o gerador fornecerá uma potencia de 500 W conforme sua curva potência elaborada pelo fabricante.

Nos gráficos das figuras 49 e 50 abaixo se encontram representadas graficamente as condições de velocidade do vento registradas no LABDTE do CT-UFRN, com apresentação em separado do primeiro e do segundo semestre do ano de 2006.

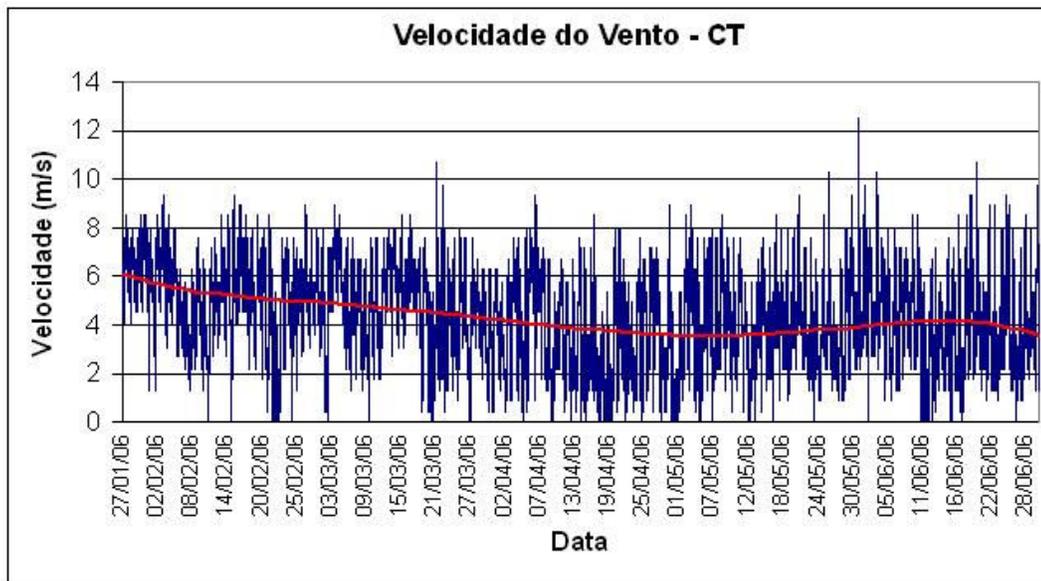


Figura 49 – Velocidade do Vento – CT – 1º Semestre/2006.

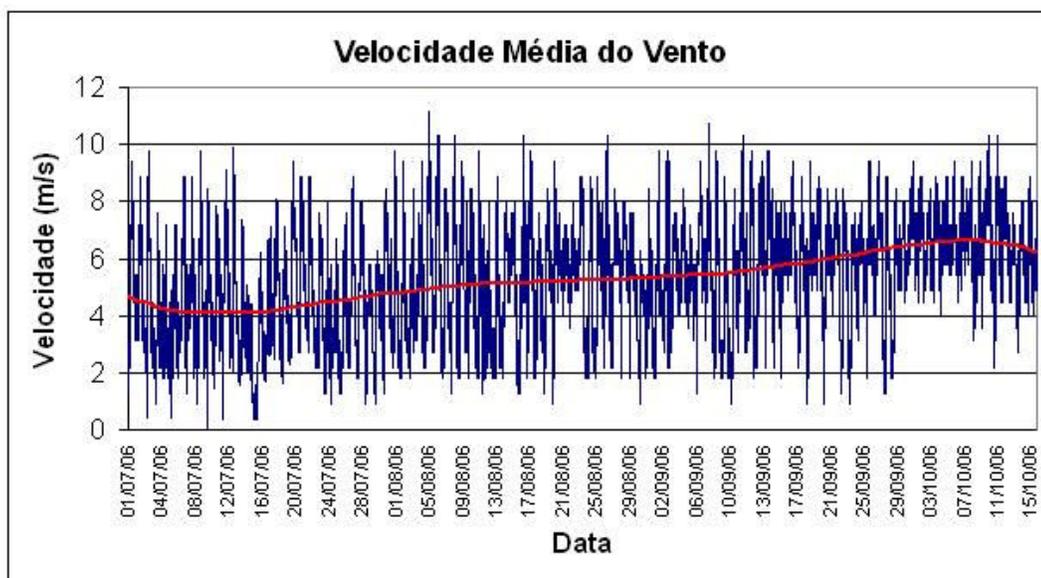


Figura 50 – Velocidade do Vento – CT – 2º Semestre/2006.

Foi acrescentada aos gráficos a linha de tendências de modo a possibilitar a visualização aproximada do valor de velocidade média ao longo dos períodos.

Na figura 51 é apresentada a Rosa-dos-Ventos gerada a partir dos dados obtidos nos registros no período de 27/01/2006 a 13/10/2006.

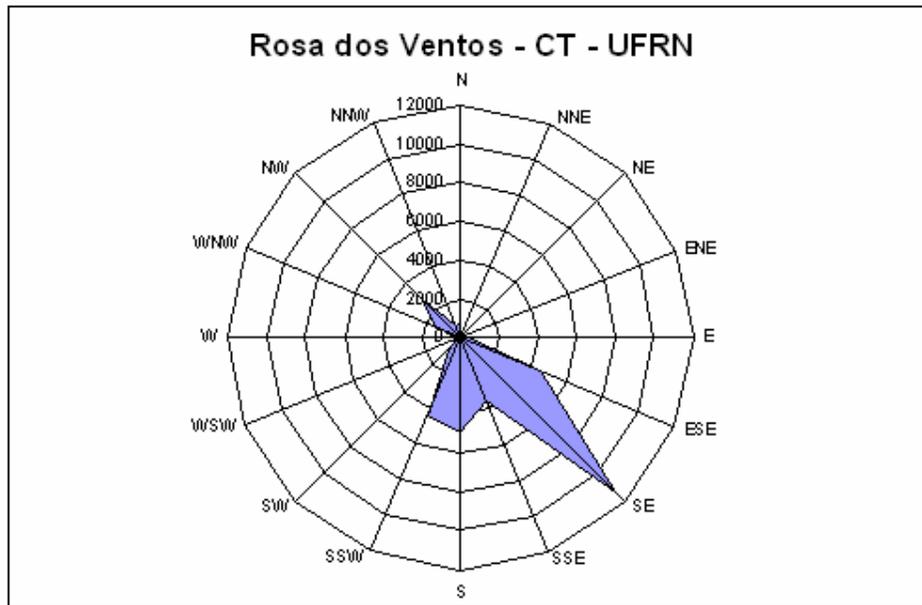


Figura 51 – Rosa-dos-Ventos – CT – UFRN.

Na figura 52 abaixo se encontra o gráfico de distribuição de frequências da velocidade do vento na área do LABDTE do CT da UFRN, possibilitando identificar os valores maior frequência (5 a 6m/s) no mês de fevereiro de 2006, com aproximadamente 28% de frequência.

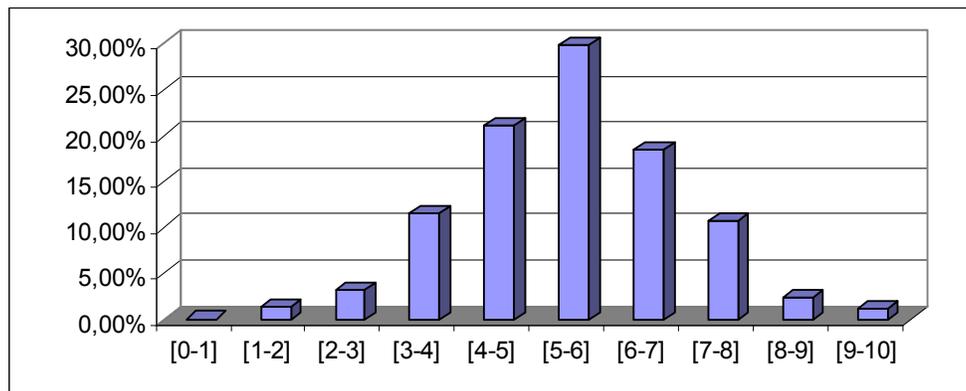


Figura 52 – Distribuição de frequências do vento no mês de fevereiro/2006.

Dados colhidos pelo protótipo e comparado com o dados registrados pelo Data Logger em mesmo período, para avaliação de desempenho do protótipo.

Data	Hora	Velocidade Média Data Logger (m/s)	Velocidade Média Protótipo (m/s)	Erro %
22/11/2007	11:30	4,51	4,88	8,2
22/11/2007	11:40	4,15	3,76	-9,4
22/11/2007	11:50	4,56	4,18	-8,3
22/11/2007	12:00	3,94	3,92	-0,5
22/11/2007	14:00	4,72	4,47	-5,3
22/11/2007	14:10	5,11	4,58	-10,4
22/11/2007	14:20	4,29	4,68	9,1
22/11/2007	14:30	4,77	4,18	-12,4
22/11/2007	14:40	4,34	4,11	-5,3
22/11/2007	14:50	4,49	4,06	-9,6

Média do Período		4,49	4,28	-4,6
------------------	--	------	------	------

Data	Hora	Velocidade Média Data Logger (m/s)	Velocidade Média Protótipo (m/s)	Erro %
23/11/2007	09:00	5,01	5,26	5,0
23/11/2007	09:10	5,18	4,72	-8,9
23/11/2007	09:20	4,84	4,79	-1,0
23/11/2007	09:30	5,20	4,66	-10,4
23/11/2007	09:40	4,75	5,13	8,0
23/11/2007	09:50	5,59	5,04	-9,8
23/11/2007	10:00	5,27	5,68	7,8

Média do Período		5,12	5,04	-1,6
------------------	--	------	------	------

É necessário registrar que para leitura da velocidade do vento, foi utilizado no protótipo na unidade de condicionamento de sinal o circuito integrado KA331, que é um conversor frequência/tensão, mas que nas frequências inferiores a 5 Hz o mesmo apresenta um afundamento significativo do valor de tensão com a necessidade de tempo maior para restauração de sua resposta.

Os valores da velocidade média do Data Logger é realizada pelo equipamento com amostras de 2 em 2 segundos, e num intervalo regular de dez minutos o mesmo acumula no chip de memória o valor da média obtida.

No protótipo a média foi realizada a partir de registro de dados com intervalos de 5 em 5 segundos, procedendo posteriormente o cálculo da média também em períodos regulares de dez minutos.

Como os métodos iniciais para aquisição dos dados são distintos já se especulava uma diferença qualquer entre os valores obtidos, o que veio a se comprovar na prática. Entretanto, após a determinação dos valores médios em cada período comprovou-se que a tendência dos valores médios em intervalos de uma hora ou próximo disso é apresentar desvios menores, que ficou situado abaixo dos 5 pontos percentuais.

5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Primeiramente foi adotado o tratamento dos dados obtidos no DataLogger instalado na planta piloto do CT da UFRN, manipulando-os de forma a obter graficamente a curva de vento por semestre. A partir desta condição realizou-se comparação com os dados obtidos junto ao INPE, como forma de avaliar a capacidade de resposta do sistema e permitir ou não sua validação. Os dados obtidos pelo Protótipo se aproximam dos dados do DataLogger, que por sua vez se aproximam dos dados existentes no Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE), com algumas diferenças que certamente são provocadas pela diferença de localização e altura do anemômetro e do sensor de direção do vento.

A comparação permite validar os dados obtidos e caracterizá-los como dados reais e confiáveis da estação do CT da UFRN, podendo ser utilizados em outras experiências ou aplicações. Nota-se também que a Rosa-dos-ventos elaborada a partir destes mesmos dados apresenta uma correspondência muito próxima com a Rosa-dos-ventos apresentada no catálogo do Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE).

Para criação do sistema de aquisição e transmissão foi primeiramente foram identificados os parâmetros que responderiam as seguintes questões:

1. Existe vento?
2. O aerogerador está gerando tensão elétrica na proporção do vento existente?
3. O Banco de baterias tem energia suficiente para alimentar o inversor de frequência?
4. A voltagem de saída do inversor de frequência está dentro da faixa admitida?

Assim, foi definida a leitura dos seguintes parâmetros, que respondem as questões acima:

1. Velocidade do vento, tendo como sensor o anemômetro;
2. A voltagem de saída do aerogerador;
3. A voltagem do banco de baterias, e;
4. A voltagem de saída do inversor de frequência.

Compondo a análise funcional do sistema tem-se:

Existindo vento é feita a leitura da sua velocidade, se a velocidade do vento apresenta um valor a partir do pré-estabelecido pelo fabricante o aerogerador deve estar em movimento e conseqüentemente gerando determinada energia, que pode ser avaliada pela tensão obtida através da leitura deste parâmetro.

É possível avaliar a condição de geração do aerogerador pela utilização da sua curva característica fornecida pelo fabricante. Assim, o sistema estará alimentando o banco de baterias, que também pode ser analisado sua condição de energia pela leitura do parâmetro de tensão total do banco.

Por último, como a energia a ser entregue a carga consumidora está sob a forma de voltagem alternada gerada pelo inversor de frequência, é também possível avaliar sua condição operacional, verificando o valor de tensão de saída do aerogerador.

O vento da região pode ser considerando de bom comportamento, ou seja, encontra-se, com boa frequência, em uma mesma faixa de velocidade e direção.

Analisando o comportamento do sistema após as modificações introduzidas, os valores obtidos comprovaram estabilidade e resolução aceitáveis, para os propósitos deste trabalho, validando o modelo elaborado e construído.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

6.1 CONCLUSÕES

Durante a realização deste trabalho foi possível demonstrar a possibilidade de desenvolvimento de pesquisa visando a construção de equipamentos nacionais aplicados ao controle e ao monitoramento de sistemas eólicos bem como sistemas híbridos eólicos-fotovoltaicos. A construção de equipamentos nacionais é plenamente possível a custos expressivamente reduzidos.

A transmissão de dados operacionais dos sistemas geradores remotos para efeito de monitorização e controle é perfeitamente aplicável quando utilizado com as ondas eletromagnéticas. Deve-se buscar, sempre, a melhor técnica de modulação e faixa de frequência adequadas à distância e às condições de relevo existentes.

Caso a distância entre a geração eólica e o ponto de localização da estação de leitura seja superior a 100 km, é conveniente adotar, se disponível nas localidades, a coleta de dados via GPS ou rede de telefonia celular. Pode-se então adotar para aplicações a longas distâncias, o sistema por GPS ou GPRS, contudo, haverá um acréscimo no custo.

Depois de vencida a distância inicial, é possível também adaptar o sistema, por O.E.M. , a ponto da rede mundial de dados (internet).

A aquisição de dados pode ser ampliada para trabalhar com mais quatro canais, possibilitando a leitura de outros parâmetros. Como a geração de energia elétrica com base nas energias renováveis pode ser híbrida, o sistema pode fazer análise também das condições funcionais do painéis fotovoltaicos.

Este sistema apresenta uma boa condição de remodelagem e adaptação a outros sistemas, como por exemplo o que monitora o bombeamento de petróleo por cavalo mecânico em poços isolados.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

É necessária, para melhor apresentação das condições funcionais do sistema, a elaboração de um programa em ambiente amigável que preferencialmente deve ser feito por intermédio da programação orientada a objetos com interfaces gráficas. Esse programa deverá identificar as variáveis existentes no sistema como também deverá avaliar o desempenho do sistema.

É bastante atrativa a utilização de *softwares* abertos, já que estes ganham cada vez mais importância nos campos da programação e aplicação, e apresentam diversas vantagens, entre elas, a capacidade de integração com outros *softwares* e sua manipulação.

REFERÊNCIAS

ALBERS, A e KLUG, H. **Cup Anemometry in Wind Engineering, Struggle for Improvement**. DEWI Magazin, Nr. 18, February 2001.

ALDABÓ, RICARDO. 2002. **Energia Eólica**. São Paulo: Artliber Editora.

AMARANTE, ODILON A. CAMARGO et al, **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. MME, Eletrobrás. Brasília, 2001.

AMBIENTE BRASIL – **ENERGIA SOLAR** – Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>, acessado em 20/10/2006.

BIANCHI, REINALDO - <http://www.fei.edu.br/eletrica/rbianchi/robotica/ROBOTICA-03-B-Sensores.pdf>, acessado em 06/06/2007.

BRIZON, DIANE e SCHILD, NATHALI - Université Catholique de Louvain. Disponível em: <<http://www.lei.ucl.ac.be/multimedia/eLEE/FR/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereEolienne/Generalites/Etudeappliquee/EtudeappliqueeEoli en3.htm>> , acessado em 09/11/2006.

BROWN, L. R. **Sinais Vitais 2000, as tendências vitais que determinarão nosso futuro**. Salvador: UMA Editora, 2000

CARMARGO, C. Celso de Brasil. 2006. **Transmissão de energia elétrica: aspectos fundamentais**. Florianópolis. Ed. da UFSC.

CARRO, LUIGI – **Projeto e prototipação de sistemas digitais** – UFRGS – Porto Alegre, Ed. Universidade, 2001.

CASSULA, AGNELO MAROTTA. **SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS** – Unesp, SP. Disponível em: <<http://dee.feg.unesp.br/Disciplinas/SEL5013/PDF/ApresSAD.pdf>>, acessado em 23/06/2007.

COELHO, JOÃO PAULO. **Sensores e Actuadores – Versão 2.0**. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal, 2005.

DEWI. **Medições de Velocidade do Vento Indispensável para um Projeto de um Parque Eólico**. Disponível em: <http://www.dewi.com.br>, acessado em 20/01/2007.

DUARTE, MARCOS. **Processamento Digital de Sinais - Digital signal processing (DSP)**. Site: <http://lob.iv.fapesp.br>, acessado em janeiro/2007.

EFISICA – **Ondas Eletromagnéticas** - Disponível em: <<http://efisica.if.usp.br/>>, acessado em 20/06/2007.

ELETOBRÁS. **Arquivo Histórico Nacional**. Disponível em: <www.memoria.eletobras.gov.br> , acessado em julho/2005.

ENERGIES RENOUVELABLES - Disponível em: <<http://www.energies-renouvelables.org/systemes-solaires/encours/actu-177.asp>>, acessado em 08/09/2006.

FERREIRA, Elnatan Chagas - **Sensores e condicionamento de Sinais** - Departamento de Eletrônica e Microeletrônica – Unicamp - Disponível em: <<http://www.demic.fee.unicamp/~elnatan>>, acessado em 15/12/2006.

FHB e CRV – Fundação Heinrich Böll e Coalizão Rios Vivos – Seminário Internacional: **Fontes Alternativas de Energia e Eficiência Energética: Opção para uma Política energética sustentável no Brasil**. Brasília, DF, Junho, 2002.

GARCÍA, F. H.- **Análise Experimental e Simulação de Sistemas Híbridos Eólico-Fotovoltaicos**. Tese de Doutorado, Porto alegre, RS, 2004.

GERGAUD, OLIVIER. **Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur**. Thèse de Doctorat de l'École Normale Supérieure de Cachan, 9 décembre 2002, Campus de Ker Lann – 35170 BRUZ, França.

GIACOMIN, JOÃO CARLOS - **Conversores D/A e A/D** - Universidade Federal de Lavras - Departamento de Ciência da Computação. Disponível em: <<http://www.comp.ufla.br/~giacomini>>, acessado em dezembro de 2006.

HAYKIN, Simon S. e VEEN, Barry Van – **Signals and Systems** – **Publisher: Wiley**; EUA, 2 edition (October 14, 2002)

KUO, Benjamin C. et al – **Digital Control Systems** – Oxford University Press – Oxford – New York – EUA, 2001.

LIMA, CARLOS – Disponível em: <http://dei-s1.dei.uminho.pt/outraslic/lebiom/proc_sinal/textos/Cap1.pdf> , acessado em 07/06/2007.

LYNXTEC. Disponível em: < <http://www.lynxtec.com.br/exemplo.htm>>, acessado em 16/03/2007.

MME, 2006, Sumário Executivo - **Projeção da Matriz 2023 (Matriz Energética Nacional)**. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Disponível em:<<http://www.mme.gov.br>>, acessado em janeiro/2007.

MOSS, Hamilton e DUTRA, Ricardo – IQPC – São Paulo - **Potencial Eólico e Solar Brasileiro: Fontes Limpas de Geração de Eletricidade**- Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>, acessado em 08/03/2007.

MUSSOI, FERNANDO LUIZ ROSA – **Filtros Passivos: Resposta em Frequência** - Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina - Gerência Educacional de Eletrônica – 2ª Edição - Florianópolis – Julho, 2004.

MUTSCHLER, P.; HOFFMANN, R., “**Comparison of Wind Turbines Regarding their Energy Generation Power**”, *Electronics Specialists Conference, pesc, IEEE 33rd Annual*, v.1, pp. 6 -11, Feb. 2002.

NEOENERGIA – Disponível em: <<http://www.neoenergia.com/luz.asp>> , acessado no dia 11/03/2007.

NISE, Norma S. – Engenharia **de Sistemas de Controle** – Tradução: Filho, Bernardo S. da Silva – Ed. LTC, Rio de Janeiro – RJ – 3^a Edição, 2002.

PANHAN, André Marcelo - **Sistema de aquisição de dados e monitoramento remoto para câmaras frias e sistemas de refrigeração** – Dissertação de Mestrado – UNICAMP, Campinas, SP, 2002.

ROSAS, Pedro A. C. e ESTANQUEIRO, Ana I. – Guia de projeto de Centrais Eólicas – VI.CBEE – Recife, 2003.

SAMREY Generations & Turbines Ltd – **Mistral Small Wind Turbine: Installation and Operation Guide** - 2007

SCHIABEL, Homero - **TEORIA DA AMOSTRAGEM** - SEL 414 – Sistemas Digitais – Disponível em: < <http://iris.sel.eesc.sc.usp.br/sel414/>>, acessado em 13/06/2007.

SILVA, Isaac – **Instrumentação** - PUC do Rio Grande do Sul - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais – RGS, 2007.

SOARES, JOSÉ A. Curso de Eletrônica e Instrumentação - Dep. Física da Faculdade Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal, 2007.

VIANNA A., Vieira L. dos S. Reis, Nascimento M. V. G. - **Manual de Aplicação de Sistemas Descentralizados de Geração de Energia Elétrica para projetos de Eletrificação Rural – Energia Eólica** – versão 1- Relatório Técnico ADG-A / Per – 785/00 – CEPEL, 11/2000

YOUNG, Paul H. – **Técnicas de Comunicação Eletrônica** – 5^a Edição – são Paulo: Pearson Prentice Hall: 2006.

ZAPELINI, WILSON B. - **Conversores Digital-Analógicos e Analógico-Digitais** - Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina - Florianópolis - 2006

ANEXOS

Features

- Compatible with MCS[®]-51 Products
- 8K Bytes of In-System Programmable (ISP) Flash Memory
 - Endurance: 1000 Write/Erase Cycles
- 4.0V to 5.5V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 33 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 256 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-bit Timer/Counters
- Eight Interrupt Sources
- Full Duplex UART Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes
- Interrupt Recovery from Power-down Mode
- Watchdog Timer
- Dual Data Pointer
- Power-off Flag
- Fast Programming Time
- Flexible ISP Programming (Byte and Page Mode)
- Green (Pb/Halide-free) Packaging Option

1. Description

The AT89S52 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcontroller with 8K bytes of in-system programmable Flash memory. The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard 80C51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with in-system programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89S52 is a powerful microcontroller which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The AT89S52 provides the following standard features: 8K bytes of Flash, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, Watchdog timer, two data pointers, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89S52 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset.



**8-bit
Microcontroller
with 8K Bytes
In-System
Programmable
Flash**

AT89S52

1916C-MICRO-205



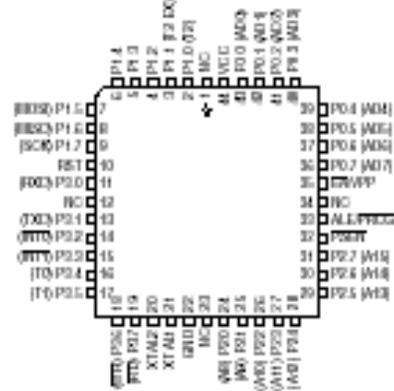


2. Pin Configurations

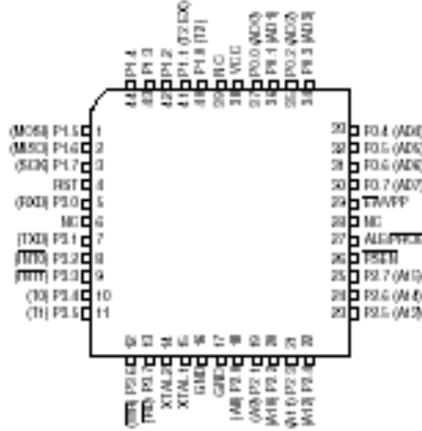
2.1 40-lead PDIP



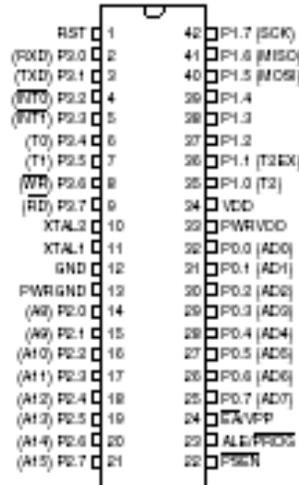
2.3 44-lead PLCC



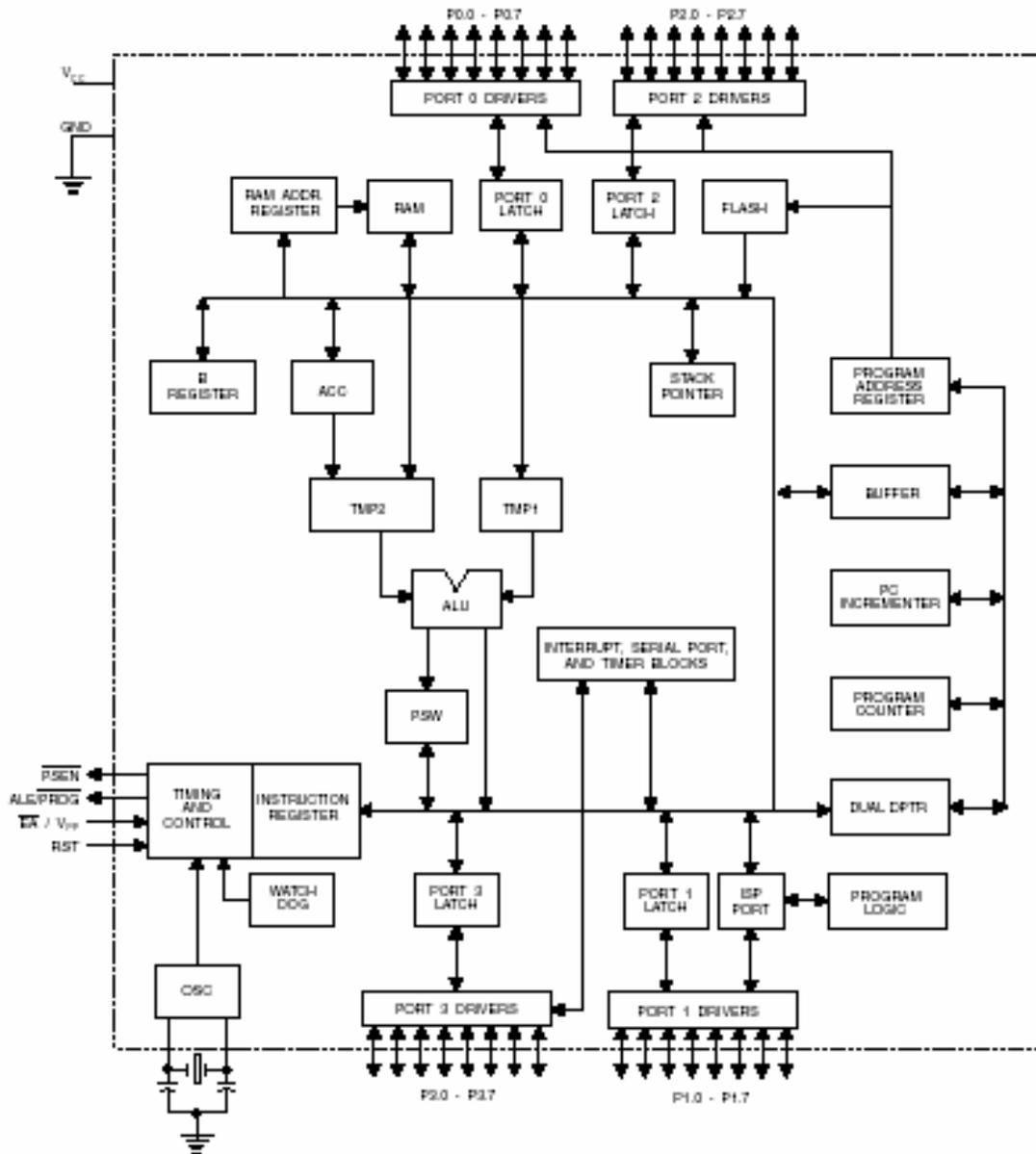
2.2 44-lead TQFP



2.4 42-lead PDIP



3. Block Diagram



ADC0808/ADC0809 8-Bit μ P Compatible A/D Converters with 8-Channel Multiplexer

General Description

The ADC0808, ADC0809 data acquisition component is a monolithic CMOS device with an 8-bit analog-to-digital converter, 8-channel multiplexer and microprocessor compatible control logic. The 8-bit A/D converter uses successive approximation as the conversion technique. The converter features a high impedance chopper stabilized comparator, a 256R voltage divider with analog switch tree and a successive approximation register. The 8-channel multiplexer can directly access any of 8 single-ended analog signals.

The device eliminates the need for external zero and full-scale adjustments. Easy interfacing to microprocessors is provided by the latched and decoded multiplexer address inputs and latched TTL TRI-STATE® outputs.

The design of the ADC0808, ADC0809 has been optimized by incorporating the most desirable aspects of several A/D conversion techniques. The ADC0808, ADC0809 offers high speed, high accuracy, minimal temperature dependence, excellent long-term accuracy and repeatability, and consumes minimal power. These features make this device ideally suited to applications from process and machine control to consumer and automotive applications. For 16-channel multiplexer with common output (sample/hold port) see ADC0816 data sheet. (See AN-247 for more information.)

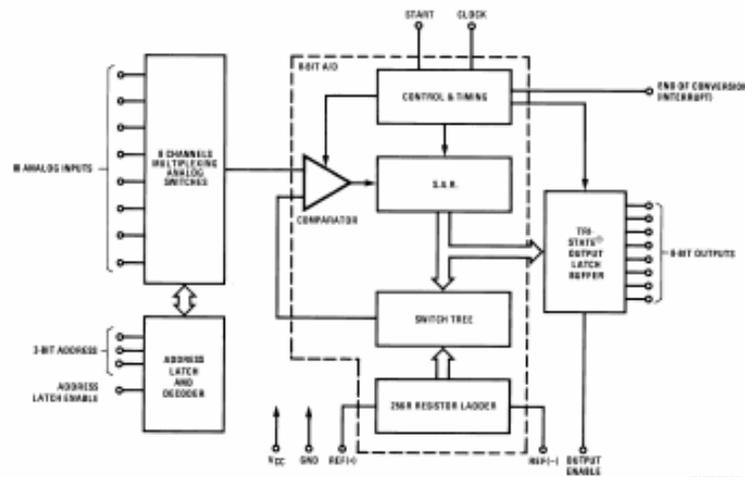
Features

- Easy interface to all microprocessors
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} or analog span adjusted voltage reference
- No zero or full-scale adjust required
- 8-channel multiplexer with address logic
- 0V to 5V input range with single 5V power supply
- Outputs meet TTL voltage level specifications
- Standard hermetic or molded 28-pin DIP package
- 28-pin molded chip carrier package
- ADC0808 equivalent to MM74C949
- ADC0809 equivalent to MM74C949-1

Key Specifications

■ Resolution	8 Bits
■ Total Unadjusted Error	$\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB
■ Single Supply	5 V _{DC}
■ Low Power	15 mW
■ Conversion Time	100 μ s

Block Diagram



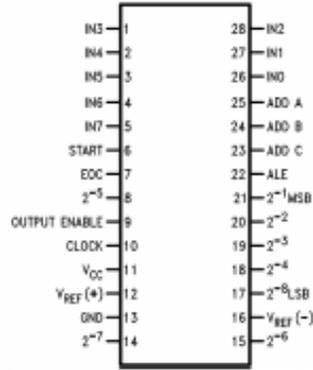
See Ordering Information

DS005672-1

TRI-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corp.

Connection Diagrams

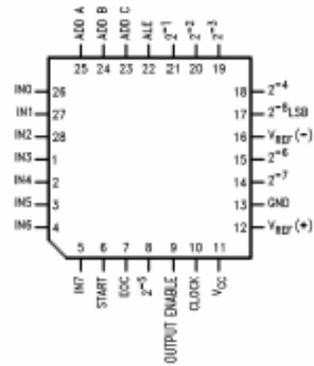
Dual-In-Line Package



DS0000272-11

Order Number ADC0808CCN or ADC0809CCN
See NS Package J28A or N28A

Molded Chip Carrier Package



DS0000272-12

Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
See NS Package V28A

Ordering Information

TEMPERATURE RANGE		-40°C to +85°C			-55°C to +125°C
Error	±½ LSB Unadjusted	ADC0808CCN	ADC0808CCV	ADC0808CCJ	ADC0808CJ
	±1 LSB Unadjusted	ADC0809CCN	ADC0809CCV		
Package Outline		N28A Molded DIP	V28A Molded Chip Carrier	J28A Ceramic DIP	J28A Ceramic DIP

Functional Description

Multiplexer. The device contains an 8-channel single-ended analog signal multiplexer. A particular input channel is selected by using the address decoder. Table 1 shows the input states for the address lines to select any channel. The address is latched into the decoder on the low-to-high transition of the address latch enable signal.

TABLE 1.

SELECTED ANALOG CHANNEL	ADDRESS LINE		
	C	B	A
IN0	L	L	L
IN1	L	L	H
IN2	L	H	L
IN3	L	H	H
IN4	H	L	L
IN5	H	L	H
IN6	H	H	L
IN7	H	H	H

CONVERTER CHARACTERISTICS

The Converter

The heart of this single chip data acquisition system is its 8-bit analog-to-digital converter. The converter is designed to give fast, accurate, and repeatable conversions over a wide range of temperatures. The converter is partitioned into 3 major sections: the 256R ladder network, the successive approximation register, and the comparator. The converter's digital outputs are positive true.

The 256R ladder network approach (Figure 1) was chosen over the conventional R/2R ladder because of its inherent monotonicity, which guarantees no missing digital codes. Monotonicity is particularly important in closed loop feedback control systems. A non-monotonic relationship can cause oscillations that will be catastrophic for the system. Additionally, the 256R network does not cause load variations on the reference voltage.

The bottom resistor and the top resistor of the ladder network in Figure 1 are not the same value as the remainder of the network. The difference in these resistors causes the output characteristic to be symmetrical with the zero and full-scale points of the transfer curve. The first output transition occurs when the analog signal has reached $+1/2$ LSB and succeeding output transitions occur every 1 LSB later up to full-scale.

The successive approximation register (SAR) performs 8 iterations to approximate the input voltage. For any SAR type converter, n -iterations are required for an n -bit converter. Figure 2 shows a typical example of a 3-bit converter. In the ADC0808, ADC0809, the approximation technique is extended to 8 bits using the 256R network.

The A/D converter's successive approximation register (SAR) is reset on the positive edge of the start conversion (SC) pulse. The conversion is begun on the falling edge of the start conversion pulse. A conversion in process will be interrupted by receipt of a new start conversion pulse. Continuous conversion may be accomplished by tying the end-of-conversion (EOC) output to the SC input. If used in this mode, an external start conversion pulse should be applied after power up. End-of-conversion will go low between 0 and 8 clock pulses after the rising edge of start conversion.

The most important section of the A/D converter is the comparator. It is this section which is responsible for the ultimate accuracy of the entire converter. It is also the comparator drift which has the greatest influence on the repeatability of the device. A chopper-stabilized comparator provides the most effective method of satisfying all the converter requirements.

The chopper-stabilized comparator converts the DC input signal into an AC signal. This signal is then fed through a high gain AC amplifier and has the DC level restored. This technique limits the drift component of the amplifier since the drift is a DC component which is not passed by the AC amplifier. This makes the entire A/D converter extremely insensitive to temperature, long term drift and input offset errors.

Figure 4 shows a typical error curve for the ADC0808 as measured using the procedures outlined in AN-179.

Functional Description (Continued)

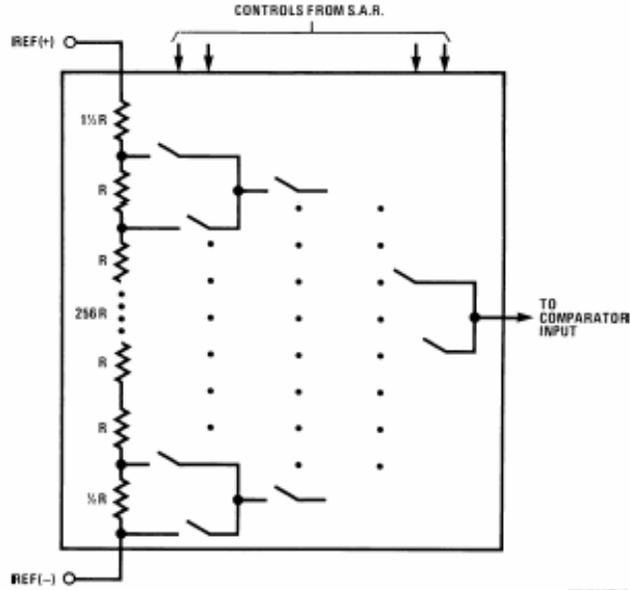


FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree

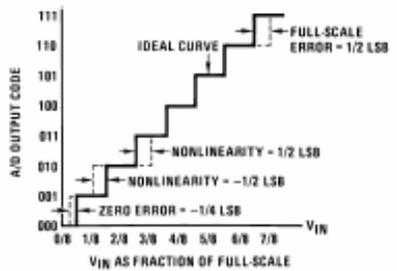


FIGURE 2. 3-Bit A/D Transfer Curve

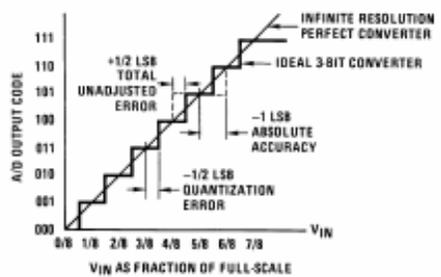


FIGURE 3. 3-Bit A/D Absolute Accuracy Curve

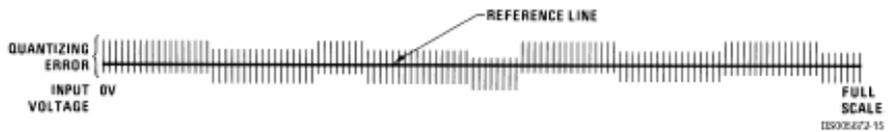


FIGURE 4. Typical Error Curve

LM79XX Series

3-Terminal Negative Regulators

General Description

The LM7900X series of 3-terminal regulators is available with fixed output voltages of $-5V$, $-12V$, and $-15V$. These devices need only one external component—a compensation capacitor at the output. The LM7900X series is packaged in the TO-220 power package and is capable of supplying 1.5A of output current.

These regulators employ internal current limiting, safe area protection and thermal shutdown for protection against virtually all overload conditions.

Low ground pin current of the LM7900X series allows output voltage to be easily boosted above the preset value with a

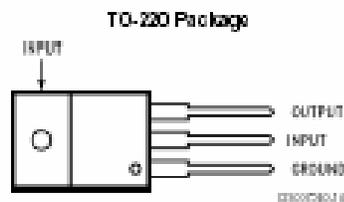
resistor divider. The low quiescent current drain of these devices with a specified maximum change with line and load ensures good regulation in the voltage boosted mode.

For applications requiring other voltages, see LM137 datasheet.

Features

- Thermal, short circuit and safe area protection
- High ripple rejection
- 1.5A output current
- 4% tolerance on preset output voltage

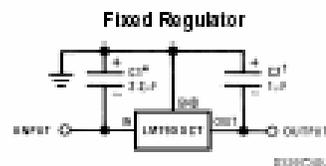
Connection Diagrams



Front View

Order Number LM7905CT, LM7912CT or LM7915CT
See NS Package Number TO220

Typical Applications



*Required if regulator is separated from filter capacitor by more than 3". For value given, capacitor must be solid tantalum. 25µF aluminum electrolytic may be substituted.

†Required for stability. For value given, capacitor must be solid tantalum. 25µF aluminum electrolytic may be substituted. Values given may be increased without limit.

For output capacitance in excess of 100µF, a high current diode from input to output (1N4001, etc.) will protect the regulator from momentary input shorts.

1 Mbit (128K x8) Page-Write EEPROM

SST29EE010 / SST29LE010 / SST29VE010



Data Sheet

FEATURES:

- Single Voltage Read and Write Operations
 - 4.5-5.5V for SST29EE010
 - 3.0-3.6V for SST29LE010
 - 2.7-3.6V for SST29VE010
- Superior Reliability
 - Endurance: 100,000 Cycles (typical)
 - Greater than 100 years Data Retention
- Low Power Consumption
 - Active Current: 20 mA (typical) for 5V and 10 mA (typical) for 3.0/2.7V
 - Standby Current: 10 μ A (typical)
- Fast Page-Write Operation
 - 128 Bytes per Page, 1024 Pages
 - Page-Write Cycle: 5 ms (typical)
 - Complete Memory Rewrite: 5 sec (typical)
 - Effective Byte-Write Cycle Time: 39 μ s (typical)
- Fast Read Access Time
 - 4.5-5.5V operation: 70 and 90 ns
 - 3.0-3.6V operation: 150 ns
 - 2.7-3.6V operation: 150 and 200 ns
- Latched Address and Data
- Automatic Write Timing
 - Internal V_{pp} Generation
- End of Write Detection
 - Toggle Bit
 - Data# Polling
- Hardware and Software Data Protection
- Product Identification can be accessed via Software Operation
- TTL I/O Compatibility
- JEDEC Standard
 - Flash EEPROM Pinouts and command sets
- Packages Available
 - 32-lead PLCC
 - 32-lead TSOP (8mm x 14mm, 8mm x 20mm)
 - 32-pin PDIP

PRODUCT DESCRIPTION

The SST29EE/LE/VE010 are 128K x8 CMOS Page-Write EEPROMs manufactured with SST's proprietary, high performance CMOS SuperFlash technology. The split-gate cell design and thick oxide tunneling injector attain better reliability and manufacturability compared with alternate approaches. The SST29EE/LE/VE010 write with a single power supply. Internal Erase/Program is transparent to the user. The SST29EE/LE/VE010 conform to JEDEC standard pinouts for byte-wide memories.

Featuring high performance Page-Write, the SST29EE/LE/VE010 provide a typical Byte-Write time of 39 μ sec. The entire memory, i.e., 128 Kbyte, can be written page-by-page in as little as 5 seconds, when using interface features such as Toggle Bit or Data# Polling to indicate the completion of a Write cycle. To protect against inadvertent write, the SST29EE/LE/VE010 have on-chip hardware and Software Data Protection schemes. Designed, manufactured, and tested for a wide spectrum of applications, the SST29EE/LE/VE010 are offered with a guaranteed Page-Write endurance of 10,000 cycles. Data retention is rated at greater than 100 years.

The SST29EE/LE/VE010 are suited for applications that require convenient and economical updating of program, configuration, or data memory. For all system applications, the SST29EE/LE/VE010 significantly improve performance and reliability, while lowering power consumption. The SST29EE/LE/VE010 improve flexibility while lowering the cost for program, data, and configuration storage applications.

To meet high density, surface mount requirements, the SST29EE/LE/VE010 are offered in 32-lead PLCC and 32-lead TSOP packages. A 600-mil, 32-pin PDIP package is also available. See Figures 1, 2, and 3 for pin assignments.

Device Operation

The SST Page-Write EEPROM offers in-circuit electrical write capability. The SST29EE/LE/VE010 does not require separate Erase and Program operations. The internally timed Write cycle executes both erase and program transparently to the user. The SST29EE/LE/VE010 have industry standard optional Software Data Protection, which SST recommends always to be enabled. The SST29EE/LE/VE010 are compatible with industry standard EEPROM pinouts and functionality.

1 Mbit Page-Write EEPROM
 SST29EE010 / SST29LE010 / SST29VE010



Data Sheet

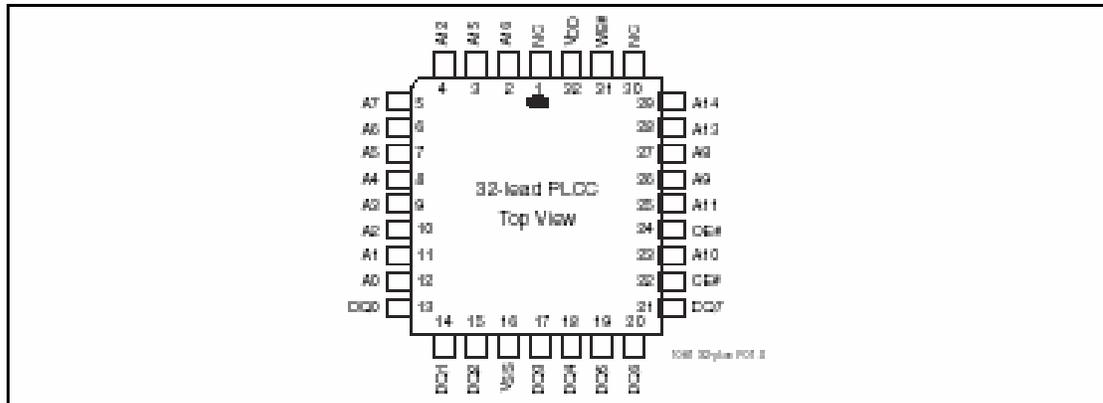


FIGURE 1: PIN ASSIGNMENTS FOR 32-LEAD PLCC

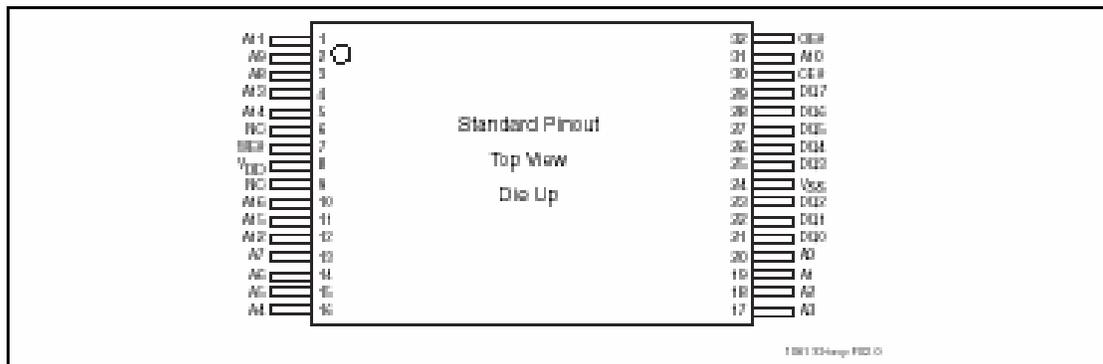


FIGURE 2: PIN ASSIGNMENTS FOR 32-LEAD TSO-P

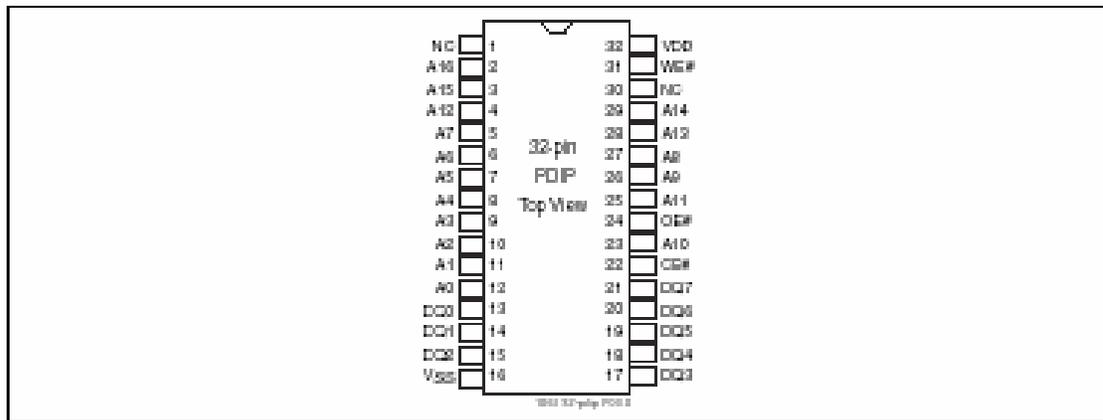


FIGURE 3: PIN ASSIGNMENTS FOR 32-PIN PDIP

Octal D-type transparent latch; 3-state

74HC/HCT373

FEATURES

- 3-state non-inverting outputs for bus oriented applications
- Common 3-state output enable input
- Functionally identical to the '583', '573' and '533'
- Output capability: bus driver
- I_{CC} category: MSI

GENERAL DESCRIPTION

The 74HC/HCT373 are high-speed Si-gate CMOS devices and are pin compatible with low power Schottky TTL (LS-TTL). They are specified in compliance with JEDEC standard no. 7A.

The 74HC/HCT373 are octal D-type transparent latches featuring separate D-type inputs for each latch and 3-state outputs for bus oriented applications. A latch enable (LE)

input and an output enable (\overline{OE}) input are common to all latches.

The '373' consists of eight D-type transparent latches with 3-state true outputs. When LE is HIGH, data at the D_n inputs enters the latches. In this condition the latches are transparent, i.e. a latch output will change state each time its corresponding D-input changes.

When LE is LOW the latches store the information that was present at the D-inputs a set-up time preceding the HIGH-to-LOW transition of LE. When \overline{OE} is LOW, the contents of the 8 latches are available at the outputs. When \overline{OE} is HIGH, the outputs go to the high impedance OFF-state. Operation of the \overline{OE} input does not affect the state of the latches.

The '373' is functionally identical to the '533', '563' and '573', but the '563' and '533' have inverted outputs and the '563' and '573' have a different pin arrangement.

QUICK REFERENCE DATA

GND = 0 V; T_{amb} = 25 °C; t_p = t_r = 6 ns

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYPICAL		UNIT
			HC	HCT	
t _{PHL} /t _{PLH}	propagation delay D _n to Q _n LE to Q _n	C _L = 15 pF; V _{CC} = 5 V	12	14	ns
			15	13	ns
C _I	input capacitance		3.5	3.5	pF
C _{PD}	power dissipation capacitance per latch	notes 1 and 2	45	41	pF

Notes

1. C_{PD} is used to determine the dynamic power dissipation (P_D in μW):

$$P_D = C_{PD} \times V_{CC}^2 \times f_i + \sum (C_L \times V_{CC}^2 \times f_o)$$
where:
f_i = input frequency in MHz
f_o = output frequency in MHz
 $\sum (C_L \times V_{CC}^2 \times f_o)$ = sum of outputs
C_L = output load capacitance in pF
V_{CC} = supply voltage in V
2. For HC the condition is V_i = GND to V_{CC}. For HCT the condition is V_i = GND to V_{CC} - 1.5 V

ORDERING INFORMATION

See ["74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Package Information"](#).

Octal D-type transparent latch; 3-state

74HC/HCT373

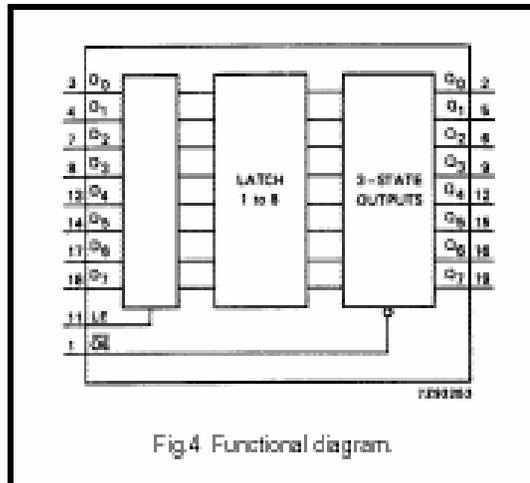


Fig. 4 Functional diagram.

FUNCTION TABLE

OPERATING MODES	INPUTS			INTERNAL LATCHES	OUTPUTS Q ₀ to Q ₇
	OE	LE	D _n		
enable and read register (transparent mode)	L	H	L	L	L
	L	H	H	H	H
latch and read register	L	L	l	L	L
	L	L	h	H	H
latch register and disable outputs	H	X	X	X	Z
	H	X	X	X	Z

Notes

- H = HIGH voltage level
 h = HIGH voltage level one set-up time prior to the HIGH-to-LOW LE transition
 L = LOW voltage level
 l = LOW voltage level one set-up time prior to the HIGH-to-LOW LE transition
 X = don't care
 Z = high impedance OFF-state

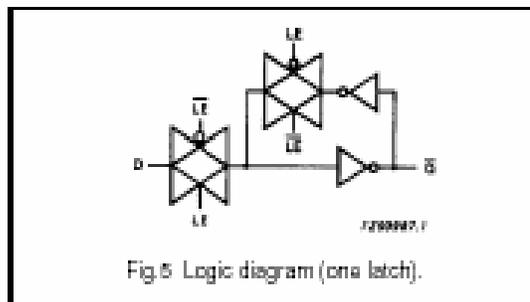


Fig. 5 Logic diagram (one latch).

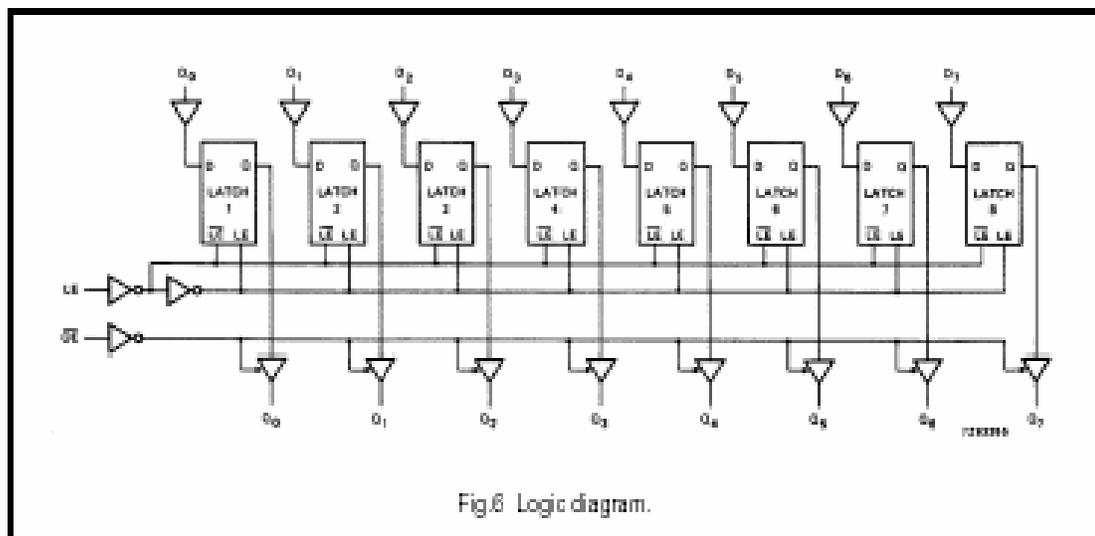


Fig. 6 Logic diagram.

TL071, TL071A, TL071B, TL072
TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS090J – SEPTEMBER 1978 – REVISED MARCH 2005

electrical characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T _A ‡	TL071C TL072C TL074C			TL071AC TL072AC TL074AC			TL071BC TL072BC TL074BC			TL071I TL072I TL074I			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V _{IO}	V _O = 0, R _S = 50 Ω	25°C	3	10	3	6	3	6	2	3	3	6	6	mv	
±V _{IO}	V _O = 0, R _S = 50 Ω	Full range		13		7.5		5		5		8			
I _O	V _O = 0, R _S = 50 Ω	Full range	18		18		18		18		18		μV/°C		
I _B	V _O = 0	25°C	5	100	5	100	5	100	5	100	5	100	pA		
		Full range		10		2		2		2		2	nA		
I _B	V _O = 0	25°C	65	200	65	200	65	200	65	200	65	200	pA		
		Full range		7		7		7		7		20	nA		
V _{ICR}	Common-mode input voltage range	25°C	-12	to	-12	to	-12	to	-12	to	-12	to	V		
			±11	to	±11	to	±11	to	±11	to	±11	to			
			15	to	15	to	15	to	15	to	15	to			
V _{OM}	Maximum peak output voltage swing	25°C	±12	±13.5	±12	±13.5	±12	±13.5	±12	±13.5	±12	±13.5	V		
		Full range	±12		±12		±12		±12		±12				
			±10		±10		±10		±10		±10				
A _{VD}	Large-signal differential voltage amplification	25°C	25	200	25	200	25	200	25	200	25	200	V/mV		
		Full range	15		15		25		25		25				
B ₁	Unity-gain bandwidth	25°C	3		3		3		3		3		MHz		
f ₁	Input resistance	25°C	10 ¹²		10 ¹²		10 ¹²		10 ¹²		10 ¹²		Ω		
CMRR	Common-mode rejection ratio	25°C	70	100	75	100	75	100	75	100	75	100	dB		
KSVR	Supply-voltage rejection ratio (ΔV _{CC±} /ΔV _{IO})	25°C	70	100	80	100	80	100	80	100	80	100	dB		
I _{CC}	Supply current (each amplifier)	25°C	1.4	2.5	1.4	2.5	1.4	2.5	1.4	2.5	1.4	2.5	mA		
V _{O1} /V _{O2} afterload	Crosstalk afterload	25°C	120		120		120		120		120		dB		

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage, unless otherwise specified.

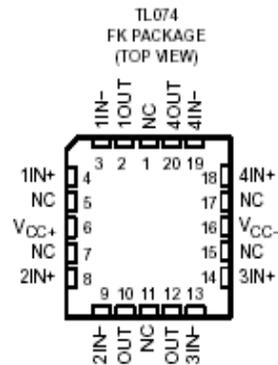
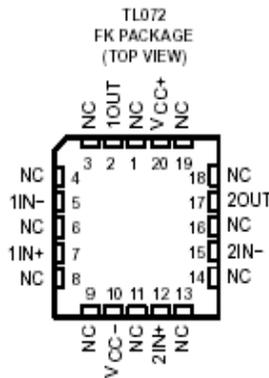
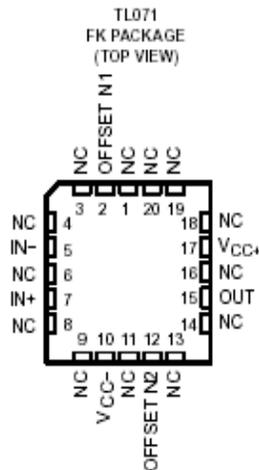
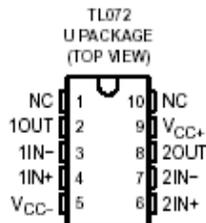
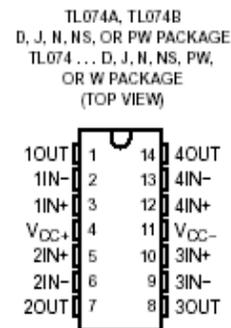
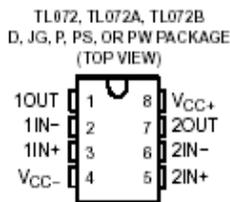
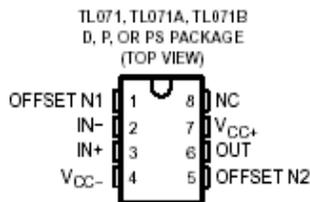
‡ Full range is T_A = 0°C to 70°C for TL07_C, TL07_AC, TL07_BC and T_A = -40°C to 85°C for TL07_I.

§ Input bias currents of an JFET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive, as shown in Figure 4. Pulse techniques must be used that maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.



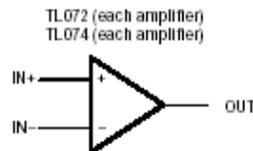
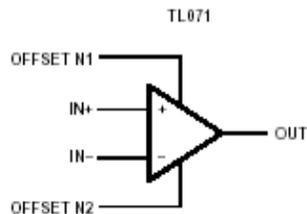
POST OFFICE BOX 655309 • DALLAS, TEXAS 75265

TL071, TL071A, TL071B, TL072
TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS
SLO9300J - SEPTEMBER 1976 - REVISED MARCH 2005



NC - No internal connection

symbols



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)