



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UniCEUB**

**CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**CASSIUS CLAY ALVES DOS SANTOS**

**GERAÇÃO DE TENSÃO ELÉTRICA CONTÍNUA**

**POR MEIO DE CORRENTES DE CONVECÇÃO**

**Orientadora: Prof. M.C. Maria Marony Sousa Farias**

Brasília

Dezembro, 2013

**CASSIUS CLAY ALVES DOS SANTOS**

**GERAÇÃO DE TENSÃO ELÉTRICA CONTÍNUA  
POR MEIO DE CORRENTES DE CONVECÇÃO**

Trabalho apresentado ao Centro  
Universitário de Brasília (UniCEUB)  
como pré-requisito para a obtenção  
de Certificado de Conclusão de  
Curso de Engenharia de  
Computação.

Orientadora: Prof. M.C.Maria  
Marony Sousa Farias

Brasília

Dezembro, 2013

**CASSIUS CLAY ALVES DOS SANTOS**

**GERAÇÃO DE TENSÃO ELÉTRICA CONTÍNUA  
POR MEIO DE CORRENTES DE CONVECÇÃO**

Trabalho apresentado ao Centro  
Universitário de Brasília (UniCEUB)  
como pré-requisito para a obtenção  
de Certificado de Conclusão de  
Curso de Engenharia de  
Computação.

Orientadora: Prof.M.C. Maria  
Marony Sousa Farias

Este Trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro de  
Computação, e aprovado em sua forma final pela Faculdade de Tecnologia e Ciências  
Sociais Aplicadas -FATECS.

---

Prof. Abiezer Amarilia Fernandes  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Maria Marony Sousa Farias, M.C.  
Orientadora

---

Prof. Cleber da Silva Pinheiro, Dr.

---

Prof. Flávio Klein, Mestre

Unb

## DEDICATÓRIA

Ao Deus do meu coração, que detém o poder supremo da vida e do além.

Aos meus pais, Moacir e Idália, que me deram vida, amor e educação.

Às minhas filhas, Catharine e Patrícia, que são parte de minha vida.

À minha querida namorada, Jane, que fortalece meu espírito com seu amor.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus que me fortalece a alma perante todos os desafios da vida. Só Ele sabe o quanto foi desafiador e difícil o caminho que percorri para concluir o curso de engenharia de computação.

Um agradecimento especial aos meus pais, Moacir e Idália, que sempre me apoiaram em todos os momentos de minha vida, pois sem as suas ajudas eu não teria realizado nada em minha vida.

Agradeço às minhas filhas, Catharine e Patrícia, por terem me ajudado a fazer as leituras das rotações dos exaustores eólicos na pesquisa de campo.

Agradeço à minha namorada Jane pela paciência durante minhas ausências quando eu frequentava as aulas no Uniceub e, principalmente, no período de execução do projeto final do curso de engenharia.

Agradeço à minha orientadora Marony pela orientação técnica no projeto e pelas revisões da monografia.

Agradeço ao colega José Carlos pelas dicas para resolução de problemas com o microcontrolador PIC.

Meus agradecimentos aos professores do curso de engenharia de computação do Uniceub que, sem dúvida, foram marcantes na minha trajetória acadêmica que culminou na elaboração deste trabalho.

## Sumário

LISTA DE FIGURAS .....	10
LISTA DE TABELAS .....	12
LISTA DE GRÁFICOS .....	13
RESUMO .....	14
ABSTRACT .....	15
1 INTRODUÇÃO .....	16
1.1 Apresentação .....	16
1.2 Objetivos do Trabalho .....	18
1.3 Justificativa e Importância do Trabalho .....	18
1.4 Escopo do Trabalho .....	19
1.5 Resultados Esperados .....	19
1.6 Estrutura do Trabalho.....	20
2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA .....	21
2.1 Referencial Teórico .....	22
2.1.1 Energias Alternativas .....	23
2.1.2 Energia Eólica .....	23
2.1.3 Dínamo.....	24
2.1.4 Inversor .....	25
3 BASES METODOLÓGICAS.....	30
3.1 Técnicas, Métodos, Metodologias e Ferramentas.....	30
3.1.1 Métodos e metodologias .....	30

3.1.2 Ferramentas.....	31
4 MODELO PROPOSTO .....	33
4.1 Apresentação Geral do Modelo Proposto .....	35
4.2 Descrição das Etapas do Modelo.....	36
4.2.1 Definição do tipo de exaustor eólico .....	37
4.2.2 Pesquisa de Campo.....	38
4.2.2.1 Processo de Medição de RPM do Exaustor Eólico .....	38
4.2.2.2 Análise dos gráficos .....	42
4.2.2.3 Conclusão .....	42
4.2.3 Desenho, Projeto e Implementação do Gerador Elétrico Eólico (GEE) .....	43
4.2.4 Desenho, Projeto e Implementação do Medidor Controlador de Tensão (MCT).....	46
4.3 Descrição da Implementação.....	46
4.3.1 Módulo de Geração de Energia Elétrica - GEE.....	49
4.3.2 Módulo Medidor e Controlador de Tensão (MCT).....	51
4.3.2.1 Estágio Inversor .....	51
4.3.2.2 Estágio Transformador.....	54
4.3.2.3 Estágio Medidor de tensão.....	54
4.3.2.4 Estágio Retificador .....	57
4.3.2.5 Estágio de Armazenamento de Energia.....	59
5 APLICAÇÃO PRÁTICA DO MODELO PROPOSTO .....	61
5.1 Apresentação da área de Aplicação do modelo.....	61
5.2 Descrição da Aplicação do Modelo .....	61
5.3 Resultados da Aplicação do Modelo .....	62

5.4 Custos do modelo proposto .....	65
5.5 Avaliação global do modelo .....	68
6 CONCLUSÃO .....	69
6.1 Conclusões .....	69
6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros .....	71
REFERÊNCIAS.....	72
APÊNDICES .....	74
ANEXOS .....	82

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Diagrama de blocos do gerador elétrico eólico – GEE.....	15
Figura 2.1 - Exemplos de energias alternativas: água, vento, solar e geotérmica...	21
Figura 2.2 - Composição de um dínamo .....	23
Figura 2.3 - Diagrama de blocos do circuito inversor.....	23
Figura 2.4 - Multivibrador astável simétrico.....	24
Figura 2.5 - Retificador de onda completa com capacitor de filtro.....	26
Figura 4.1 - Exaustor eólico tipo cogumelo.....	32
Figura 4.2 - Aparelho de iluminação com luz LED de 4,5V.....	32
Figura 4.3 - Motor elétrico DC de 12V.....	32
Figura 4.4 - Esquema de funcionamento do modelo proposto.....	33
Figura 4.5 - Tacômetro Digital Minipa.....	37
Figura 4.6 - Multímetro Digital Minipa.....	37
Figura 4.7 - Foto do terraço do prédio onde foi realizada a medição com os exaustores eólicos.....	38
Figura 4.8 - Mecanismo polia-gerador composto por uma polia de borracha acoplada num motor de 12 V DC de uma impressora jato de tinta (gerador elétrico).....	41
Figura 4.9 - Circuito completo do MCT.....	45
Figura 4.10 - Exaustor eólico e GEE.....	47
Figura 4.11 - Mecanismo polia-gerador.....	47
Figura 4.12 - Circuito do estágio inversor.....	52
Figura 4.13 - Fluxograma do programa medidor de tensão escrito na ling. C.....	53
Figura 4.14 - Circuito do estágio retificador.....	55

Figura 5.1 - Foto do Mecanismo GEE..... 59

Figura 5.2 - Foto do Circuito MCT..... 59

## LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1 - Mecanismos desenvolvidos para geração de eletricidade.....	42
TABELA 4.2 - Componentes do estágio inversor.....	48
TABELA 4.3 - Componentes do transformador.....	51
TABELA 4.4 - Componentes do medidor de tensão.....	51
TABELA 4.5 - Componentes do estágio retificador.....	53
TABELA 4.6 - Componentes do estágio de armazenamento de energia.....	56
TABELA 4.7 - Características técnicas do MCT.....	57
TABELA 5.1 - Testes de iluminação da luz led.....	58
TABELA 5.2 - Medições das tensões e correntes de entrada e saída do GEE.....	61
TABELA 5.3 - Relação de materiais, ferramentas, softwares e hardware.....	62

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - RPM x Tamanho do Raio x Horário.....39

Gráfico 4.2 - RPM x Tamanho do Raio x Temperatura.....39

## RESUMO

Este trabalho aborda a utilização de energia eólica por meio do aproveitamento das correntes de convecção existentes em prédios, casas, etc que utilizam exaustores eólicos do tipo "cogumelo rotativo". A partir da rotação desses exaustores, que é causada pelo vento e, na maioria das vezes, por correntes de convecção internas às edificações, a energia cinética é transformada através de um gerador elétrico que gera energia elétrica provendo corrente contínua. Essa energia gerada é utilizada para acionamento de luzes *LED* (*Ligth Emissor Diode*, diodo emissor de luz em tradução livre), como por exemplo as existentes nos aparelhos conhecidos como "luz de emergência", deixando-os constantemente energizados devido à quase ininterrupta rotação do exaustor eólico. Essa energia gerada poderá ser utilizada não só em casos de emergência por falha no fornecimento de energia elétrica das empresas distribuidoras, mas também no dia-a-dia das pessoas, seja para uso em residências, comércios ou indústrias que utilizem exaustores eólicos em suas edificações. O resultado deste trabalho visa a economia de energia elétrica através do desenvolvimento sustentável de um gerador de energia limpa e renovável.

**Palavras Chave:** energia, eólica, correntes de convecção, geração de eletricidade

## ABSTRACT

This article approaches the use of wind energy through the use of convection currents in existing buildings, homes, etc. that use wind hoods like "mushroom rotary." From the rotation of these hoods, which is caused by the wind and, most often, by currents of internal convection to the buildings, the kinetic energy is transformed through an electric generator that generates electricity providing DC. The energy generated will be used to drive LED (Lighth Emissor Diode) lights, such as those existing in devices known as "emergency light", leaving them constantly energized due to the rotation of the hood almost uninterrupted. A solution not only used in emergencies for failure to supply electric power by utilities, but also in day to day lives, whether for use in homes, businesses or industries that use wind hoods in their buildings. The result of this article will be saving electricity through sustainable development of a generator of clean, renewable energy.

**Keywords:** energy, wind, convection currents, electricity generation

# 1 INTRODUÇÃO

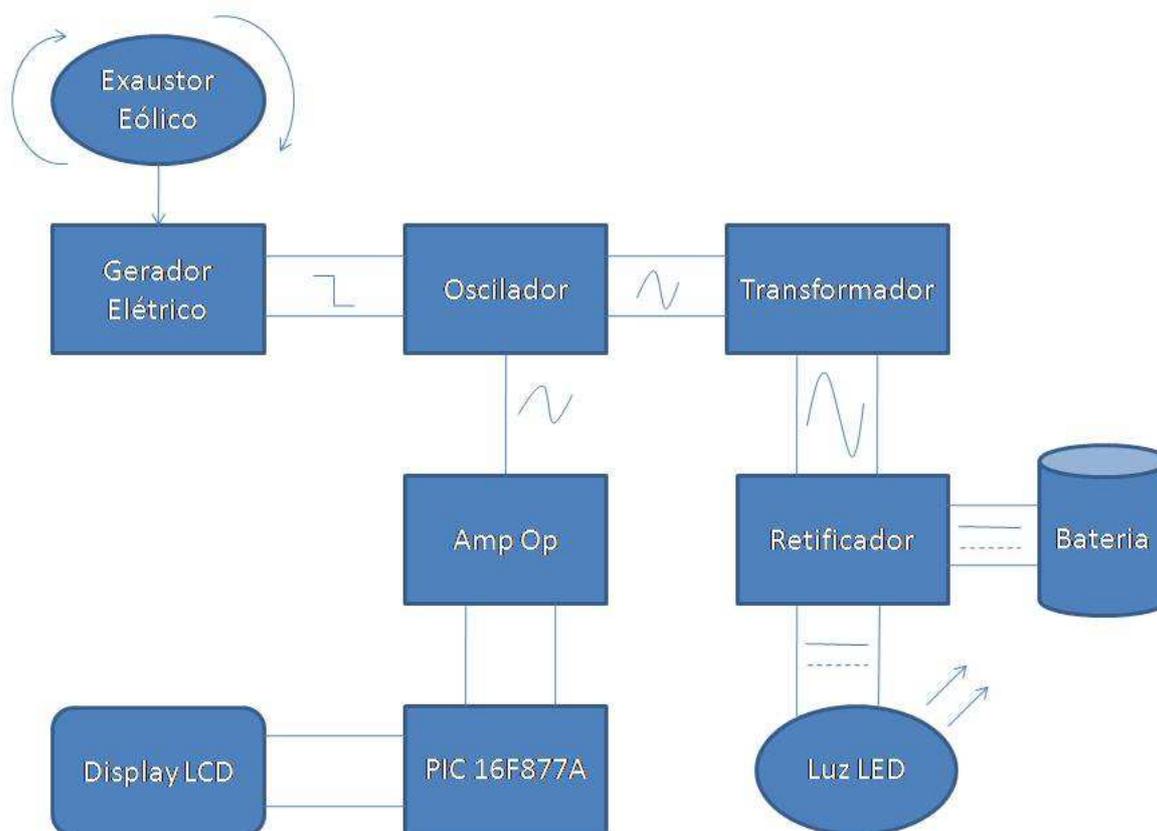
## 1.1 Apresentação

Atualmente, em cidades mais desenvolvidas economicamente, nota-se a presença de soluções tecnológicas que transformam a energia, como por exemplo, a utilização de células fotovoltaicas – ainda muito pouco utilizadas devido a seu alto custo financeiro, que transformam a luz solar em eletricidade, e o sistema de aquecimento solar da água presente nos telhados de alguns condomínios residenciais, que tem como função transferir a energia térmica do sol para o reservatório de água de alguns prédios.

Esses dois exemplos de soluções de transformação e utilização de energia têm reduzido consideravelmente as despesas com consumo da energia elétrica fornecida pelas concessionárias de energia, que distribuem a eletricidade gerada, em quase sua totalidade atualmente no Brasil, pelas usinas hidrelétricas. Dados de 1990 revelam que a distribuição de energia elétrica abrangeu mais de 90% do território nacional. Outra forma de geração de energia elétrica, que vem ganhando espaço no mundo todo por ser de fonte limpa e renovável, é a geração de eletricidade por meio da energia eólica (REIS, 2011).

O alto custo envolvido na implantação das soluções citadas é um problema a ser resolvido. O presente trabalho propõe e implementa uma solução de baixo custo para se minimizar os gastos financeiros com geração de energia elétrica por meio da utilização da energia eólica.

A figura 1.1 a seguir ilustra o diagrama de blocos contendo todos os mecanismos e circuitos utilizados no projeto para a geração de energia elétrica.



**Figura 1.1** Diagrama de blocos do gerador elétrico eólico – GEE.

A geração de energia elétrica é feita por meio do gerador elétrico acionado pela rotação do exaustor eólico causada pela corrente de convecção do ar. A eletricidade é gerada em corrente alternada e é convertida em corrente contínua pulsante por meio do oscilador, transformada novamente em alternada e elevada pelo transformador. A tensão elétrica alternada, por sua vez, é transformada em contínua por meio do retificador e, então, alimenta um conjunto de luzes *led*. A carga elétrica é armazenada em baterias recarregáveis.

A tensão elétrica que entra no circuito oscilador é tratada pelo amplificador operacional que envia o sinal elétrico para o microprocessador PIC, e este converte as informações elétricas em caracteres e dígitos que representam a tensão no circuito de entrada. O PIC processa os sinais elétricos por meio de um programa, escrito e

compilado na linguagem C, que foi gravado em sua memória. O resultado do processamento é mostrado num visor de cristal líquido (LCD).

Os detalhes de funcionamento de cada bloco do diagrama são descritos no capítulo 4.

## **1.2 Objetivos do Trabalho**

O objetivo geral deste trabalho é promover a economia da energia elétrica por meio da utilização de gerador de eletricidade de baixa potência em tensão contínua produzida com o aproveitamento da energia eólica para prover energia de forma ininterrupta, contribuindo assim para a manutenção do meio ambiente com geração de energia por meio de fonte renovável e inesgotável.

Os seguintes objetivos específicos permitem a consecução do objetivo geral deste trabalho:

- Desenvolver um gerador de energia elétrica em tensão contínua com utilização da força eólica gerada pelas correntes de convecção existentes em prédios residenciais, comerciais etc;
- Promover a diminuição no consumo de energia elétrica com geração de energia limpa e renovável.

## **1.3 Justificativa e Importância do Trabalho**

A solução para geração de energia elétrica proposta neste trabalho não tem a pretensão de resolver os problemas que envolvem o alto custo da geração de energia

elétrica, mas apresentar uma proposta de geração de energia elétrica por meio do aproveitamento do movimento rotacional de exaustores eólicos, que vêm sendo utilizados em diversas edificações como condomínios, pequenos comércios e residências.

#### **1.4 Escopo do Trabalho**

Este trabalho contempla os seguintes itens:

- Especificação de uma solução para integrar componentes eólicos, mecânicos, elétricos e eletrônicos;
- Especificação de uma forma de armazenamento da energia elétrica;
- Construção de um protótipo detalhando técnicas e teoria da geração da energia;
- Medição da tensão gerada.

Este trabalho não entra em detalhes referentes à forma de funcionamento de transformadores e de geradores de energia elétrica. Não é tratada, também, a formulação (modelagem) matemática das correntes de convecção de ar.

#### **1.5 Resultados Esperados**

Os seguintes resultados são esperados com a consecução deste projeto:

- Geração de energia elétrica em tensão contínua capaz de acionar um conjunto de luzes *LED*;

- Demonstração da medição da tensão contínua sendo gerada.

## 1.6 Estrutura do Trabalho

A estrutura deste trabalho é apresentada a seguir, e contém os comentários de cada capítulo visando facilitar a sua leitura.

O Capítulo 2 apresenta uma exposição detalhada e fundamentada do problema e o motivo da escolha do exaustor eólico tipo “cogumelo” para ser utilizado na geração da energia elétrica. Nele também é apresentado o referencial teórico com o desenvolvimento do tema sobre energia eólica e geração de energia elétrica. Este capítulo inclui uma breve teoria sobre estabilização de tensão, amplificador em coletor comum, inversor, medidor de tensão e carregador de bateria. Esses conteúdos são insumos básicos para se poder desenvolver e construir um protótipo para geração de energia elétrica eólica de baixa potência (até 3,5 *Watts*).

No Capítulo 3 são apresentados os métodos, as técnicas, metodologias e ferramentas utilizadas no desenvolvimento do trabalho. Foi dada ênfase na pesquisa de campo efetuada para a mensuração da velocidade média de rotação do exaustor eólico escolhido. A técnica de prototipação foi utilizada para se implementar o modelo proposto no Capítulo 4 e é detalhada neste capítulo.

No Capítulo 4 é apresentado o modelo proposto e a descrição das etapas para a implementação dos módulos do gerador elétrico eólico. Neste capítulo, o processo de medição das rotações (RPM) do exaustor eólico foi detalhado, e os resultados levantados são discutidos com apresentação de gráficos para facilitar as suas análises. Os módulos geração de energia Elétrica (GEE) e medidor e controlador da tensão (MCT) foram definidos e descritos em detalhes neste capítulo.

No Capítulo 5 é apresentada a aplicação prática do modelo proposto no capítulo 4. Neste capítulo, foi feita a descrição, os resultados, os custos e as ferramentas de

software e hardware necessárias para a implementação do modelo. No final do capítulo, é feita uma avaliação global do modelo.

No Capítulo 6 encontram-se as conclusões do trabalho realizado com a apresentação dos resultados alcançados e suas avaliações, vantagens e limites do modelo proposto. Neste capítulo, são feitas sugestões para projetos futuros voltados para os alunos de graduação de engenharia de computação.

## **2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA**

Atualmente, existem muitas tecnologias que se utilizam de diferentes fontes para a geração de energia elétrica. Dentre elas, podemos citar as que são mais noticiadas na mídia mundial como a energia térmica, a eólica e a solar. Apesar de utilizarem fontes limpas e renováveis, os custos de instalação dessas tecnologias para geração de energia elétrica ainda são muito altos para os consumidores domésticos, podendo chegar à casa de milhares de dólares, como é o caso da geração de eletricidade com a energia eólica (IAN, 2009).

As tecnologias de geração de energia elétrica atuais destinam-se, geralmente, aos pequenos (condomínios, associações de moradores etc.), médios (fazendas, cooperativas empresariais etc.) e grandes investidores (empresas, indústrias etc.), que demandam um alto consumo de energia elétrica cuja potência necessária para seus empreendimentos vai desde milhares de watts (quilowatts - KW) a até milhões de watts (megawatts – MW).

Para os consumidores domésticos, que consomem alguns poucos quilowatts por mês, e estão a mercê dos elevados custos da conta de luz e da tarifação regulada pelo governo, o que pode ser feito para se reduzir os seus gastos com a energia elétrica? Como fazer para minimizar o seu consumo com uma solução alternativa de baixo custo e que seja acessível a qualquer pessoa?

O problema não é só a carestia da energia elétrica, mas a falta de mais concorrência entre as empresas distribuidoras de energia. Nas regiões brasileiras, poucas empresas detêm a concessão da distribuição de energia, o que eleva sobremaneira o seu custo para o consumidor doméstico. É o que temos constatado diariamente por meio de notícias nos jornais, rádio e televisão.

Não há relatos no mercado de produtos de geração de energia sobre a utilização de correntes de convecção do ar para gerar energia elétrica devido à baixíssima potência energética disponibilizada por essa forma de produção de energia (estimada em menos de 10 Watts/hora, produção constatada por meio de pesquisa de campo realizada neste trabalho), o que não atrai os grandes investidores a produzir equipamentos para esse fim.

Assim sendo, o produto gerado neste trabalho tem principalmente um cunho acadêmico e é uma proposta para utilização de forma inovadora das correntes de convecção do ar na produção de energia elétrica, mesmo que seja em baixa escala.

Neste contexto, este trabalho vem a contribuir de forma a ser mais uma opção para o consumidor de energia elétrica poupar seus recursos financeiros com a utilização de um mecanismo que gere energia elétrica por meio de correntes de convecção do ar existentes nos ambientes residenciais, comerciais e etc. Ademais, a utilização de disciplinas da engenharia de computação para a produção do gerador elétrico eólico (GEE) vem a corroborar com a finalidade do curso de graduação dessa área, que é desenvolver o futuro engenheiro.

## **2.1 Referencial Teórico**

A solução desenhada, projetada e implementada neste trabalho está baseada em conhecimentos sobre a fonte e a geração de energia elétrica a partir da energia eólica. Este capítulo dá ao leitor noções básicas sobre a fonte de energia eólica e geração de energia elétrica, bem como é o referencial teórico utilizado no desenvolvimento de circuitos eletrônicos utilizados na solução.

O referencial teórico presente neste trabalho não tem o objetivo de se aprofundar em cada assunto descrito, pois se considera que o leitor tenha noções de circuitos eletroeletrônicos e tenha uma base de conhecimento acadêmica.

### 2.1.1 Energias Alternativas

Em geral, as energias alternativas são energias renováveis e sustentáveis provenientes da natureza em fontes que são inesgotáveis. São exemplos de energias alternativas as energias solar, eólica, hidroelétrica, biomassa, geotérmica e solar fotovoltaica. Incluem-se nas energias que não são renováveis o carvão, óleo, gás natural, dentre outros combustíveis fósseis e a energia nuclear.

A vantagem de se utilizar energias alternativas é que elas favorecem a diminuição da poluição do meio ambiente, pois substituem aqueles classificados como poluentes (combustíveis fósseis, por exemplo). O maior benefício é que as energias alternativas são limpas e de custos geralmente mais baixos em relação às energias não-renováveis.

A figura 2.1 a seguir ilustra alguns exemplos de energias alternativas.



**Figura 2.1** Exemplos de energias alternativas: água, vento, solar e geotérmica (GRUPO5).

### 2.1.2 Energia Eólica

A energia eólica atualmente é uma das fontes alternativas de geração de energia elétrica que pode gerar grande quantidade de energia sem prejudicar o meio ambiente, o que não é o caso da maior parte das fontes convencionais. Ela já vem sendo utilizada há milhares de anos na navegação com os barcos à vela. (REIS, 2011)

Há aproximadamente 3.000 anos, a energia eólica começou a ser utilizada em moinhos de vento. Ao final do século XVIII, a Holanda, o país dos moinhos de vento, tinha cerca de 20.000 moinhos em funcionamento. Países como Alemanha, Dinamarca e Inglaterra possuíam juntos mais de 30.000 moinhos instalados no final do século XIX, contudo, com a Revolução Industrial, houve um declínio no uso dessa tecnologia na Europa devido ao uso de máquinas a vapor (REIS, 2011).

A energia eólica é proveniente da energia cinética dos ventos da atmosfera, produzidos pelo movimento de rotação da Terra e principalmente pelo aquecimento do ar pelo sol. A velocidade dos ventos é utilizada para estimar a energia cinética a ser gerada. A potência do vento depende da sua área de captação, sendo proporcional ao cubo de sua velocidade. A potência total  $P$  de uma massa de ar com velocidade  $V$ , atravessando uma área  $A$ , pode ser calculada com (REIS, 2011):

$$P = \frac{d \times A \times v^3}{2} \quad \text{Equação (2.1)}$$

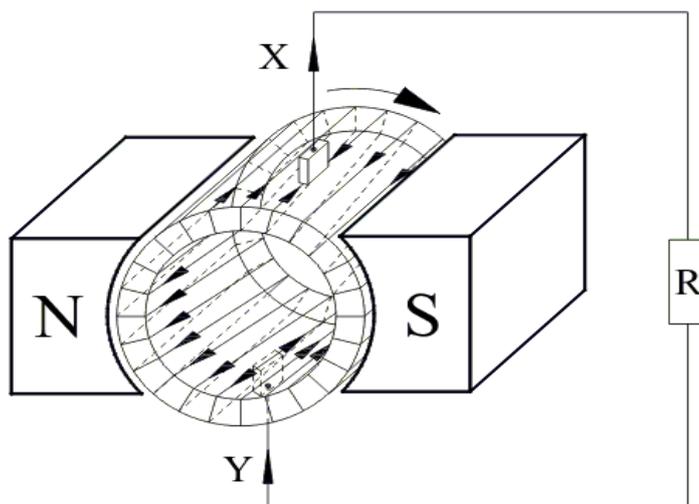
onde  $d$  é a densidade do ar no local.

No Brasil, a energia eólica tem crescido nos últimos anos, principalmente na região Nordeste, onde foram instaladas fazendas eólicas. Este crescimento deveu-se aos programas de incentivo do governo e aos custos competitivos. Com isso, houve aumento na geração de energia de aproximadamente 17,5 MW, no final de 2003, para 598 MW em agosto de 2009, e ainda se encontram alguns sistemas eólicos em instalação (REIS, 2011).

### 2.1.3 Dínamo

É um aparelho que converte energia mecânica em energia elétrica por meio de indução magnética. Ele é composto por um ímã, geralmente com formato de um tubo, com uma bobina disposta num eixo em seu interior. A energia mecânica provoca a rotação da bobina dentro do tubo imantado, o que gera uma tensão elétrica alternada por indução magnética.

A figura 2.2 ilustra a composição de um dínamo.



**Figura 2.2** Composição de um dínamo

fonte: <http://mavgmisideias210.blogspot.com.br/2011/02/los-dinamos-como-grandes-genradores-de.html>

#### 2.1.4 Inversor

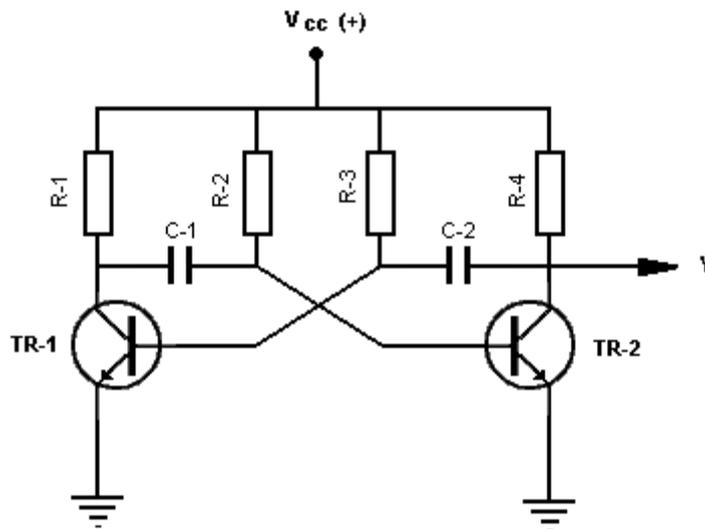
Um inversor ou conversor DC/AC é um circuito que transforma baixa tensão contínua em uma alta tensão alternada. Ele é composto pelos estágios oscilador, transformador e retificador, conforme ilustrado no diagrama da figura 2.3.



**Figura 2.3** Diagrama de blocos do circuito inversor.

O estágio oscilador é o responsável por converter a tensão contínua em tensão contínua pulsante numa frequência que é gerada por meio de circuitos resistor-capacitor

(RC). A figura 2.4 ilustra um multivibrador astável simétrico em uma configuração típica utilizada como oscilador.



**Figura 2.4** Multivibrador astável simétrico

Fonte: internet, <http://www.eletronica-pt.com/index.php/content/view/105>

Para se calcular a frequência ( $f$ ) de um circuito, sabemos que ela é igual ao inverso de um período em segundos e que sua unidade é o Hertz (ciclos por segundo). Assim, podemos escrever a equação da frequência da seguinte forma:

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Equação (2.2)}$$

Na equação (2.2),  $f$  é a frequência em Hertz e  $T$  o período em segundos.

O período ( $T$ ) do circuito oscilador da figura 2.4 é calculado a partir do tempo total de carga e descarga dos circuitos resistor-capacitor (RC), que é determinado pelo produto dos valores dos pares desses componentes eletrônicos (*Ohm x Farad*). O cálculo do período do multivibrador astável da figura 2.4 é calculado utilizando-se a seguinte equação:

$$T = \{0,69 \times [(R2 \times C1) + (R3 \times C2)]\} \quad \text{Equação (2.3)}$$

Na equação (2.3), o período total de oscilação é igual a 69% da soma dos produtos ( $R2 \times C1$ ) e ( $R3 \times C2$ ). O percentual 69% é o tempo que um capacitor leva para atingir a sua carga total. Substituindo-se a Equação (2.3) na Equação (2.2), temos:

$$f = \frac{1}{\{0,69 \times [(R2 \times C1) + (R3 \times C2)]\}} \quad \text{Equação (2.4)}$$

Nos circuitos de fontes de alimentação de diversos equipamentos, geralmente a frequência esta entre 50 Hz e 60 Hz, que são frequências de uso padrão comercial.

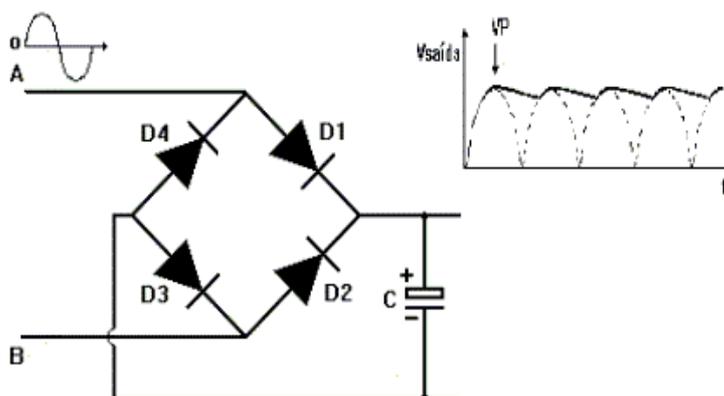
O estágio transformador do inversor é o responsável por elevar a tensão elétrica contínua pulsante gerada pelo circuito oscilador elevando-a e transformando-a em tensão alternada. A tensão contínua pulsante é necessária porque o transformador só pode operar com correntes que variam, e uma corrente contínua pura não passaria por ele.

O fator de elevação ou rebaixamento de tensão em transformadores é calculado com a seguinte equação:

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S} \quad \text{Equação (2.5)}$$

Na equação (2.5),  $V_p$  é a tensão elétrica no primário do transformador e  $V_s$  a no secundário,  $I_p$  é a corrente elétrica do primário e  $I_s$  a do secundário e  $N_p$  é o número de espiras do primário e  $N_s$  a do secundário (MALVINO, cap.4, pp.98-102).

O estágio retificador é responsável por regular uma tensão alternada senoidal proveniente do estágio transformador em uma tensão contínua pura. O retificador de onda completa é o comumente utilizado nos circuitos inversores. Ele é composto por uma ponte de diodos seguidos de um capacitor (figura 2.5) que transformam uma tensão alternada de onda completa com ciclos negativos e positivos em uma tensão pulsante com ciclos somente positivos.



**Figura 2.5** Retificador de onda completa (ponte de diodos) com capacitor de filtro

O diodo Zener disposto em paralelo com um capacitor é responsável por manter a tensão contínua num nível máximo definido por suas características estruturais de fábrica. Ele é um componente principal nos reguladores de tensão. Existem vários valores de tensão de regulação nos diodos Zener como, por exemplo, 12 V, 4V e 3V. Ele é geralmente utilizado em circuito de fonte de alimentação como limitador de tensão em sua saída.

O capacitor no estágio retificador funciona como um filtro para manter a tensão pulsante o mais próximo possível do valor de pico transformando-a em uma tensão contínua pura e diminuindo ao máximo a pequena ondulação (*ripple*) causada por sua carga e descarga nos ciclos positivos da tensão alternada.

As seguintes equações são comumente utilizadas para dimensionamento de circuitos retificadores de onda completa (MALVINO, cap.4, p.142):

- Tensão média (CC):

$$V_{CC} = 0,636 \times V_P \quad \text{Equação (2.6)}$$

Onde  $V_{CC}$  é a tensão média que é igual a 63,6% da tensão de pico.

- Frequência da Tensão de saída:

$$f_{saída} = 2 \times f_{entrada} \quad \text{Equação (2.7)}$$

- Tensão de Ondulação:

$$V_R = \frac{I}{(f \times C)} \quad \text{Equação (2.8)}$$

Onde  $V_R$  é a tensão pico a pico que é igual à corrente contínua na carga dividida pelo produto da frequência  $f$  pela capacitância  $C$  do filtro.

- Corrente no Diodo:

$$I_D = 0,5 \times I_L \quad \text{Equação (2.9)}$$

Onde  $I_D$  é a corrente no diodo que é igual 50% da corrente da carga  $I_L$ .

### **3 BASES METODOLÓGICAS**

Este capítulo trata da aplicação dos conteúdos vistos nas disciplinas pertinentes ao curso de engenharia de computação e visam à resolução do problema proposto na introdução e fundamentado no Capítulo 2 deste trabalho.

A seguir estão descritas as técnicas, métodos, metodologias e ferramentas que foram utilizadas na formulação do modelo de resolução do problema proposto no Capítulo 4. Foram apresentados os motivos e justificativas que levaram à escolha de tais métodos e ferramentas no presente trabalho. Após a justificativa da escolha por determinada ferramenta, foi feita uma breve descrição da mesma, de forma a permitir sua compreensão e funcionamento, bem como a maneira pela qual a mesma foi empregada na resolução do problema central do trabalho.

#### **3.1 Técnicas, Métodos, Metodologias e Ferramentas**

##### **3.1.1 Métodos e metodologias**

Os seguintes métodos e metodologias foram utilizados para o desenvolvimento deste trabalho:

- Engenharia de sistemas;
- Projeto de sistema com reuso;
- Gerência de projetos;
- Soldagem de componentes eletrônicos;
- Manipulação de ferramentas e materiais; e

- Metodologia científica.

### 3.1.2 Ferramentas

A seguir encontram-se as descrições e formas de utilização de todas as ferramentas utilizadas na execução das etapas para a construção do modelo proposto no capítulo 4 deste trabalho:

- Software para compilação de programas em linguagem C (mikroC Pro for PIC, versão 6): software utilizado para a compilação do programa fonte, escrito na linguagem de programação C, responsável pela leitura e apresentação das tensões elétricas geradas pelos circuitos do GEE ;
- Software de simulação de circuitos elétricos e eletrônicos (ISIS, versão 6.2 SP5): software utilizado para se fazer protótipos gráficos virtuais com o propósito de simular o funcionamento dos circuitos eletrônicos do projeto GEE;
- Dispositivos eletrônicos para medição: os seguintes aparelhos foram utilizados para se efetuar as medições necessárias ao projeto GEE:
  - Multímetro: aparelho composto por várias funções para medição de grandezas físicas em circuitos eletrônicos, como por exemplo, medição da resistência ôhmica de resistores, medição da tensão nos circuitos (voltímetro), medição da corrente elétrica (amperímetro), medição da temperatura (termômetro), dentre outras.
  - Tacômetro: aparelho que mede o número de rotações por minuto (RPM) de objetos que sofrem revoluções em torno de um eixo. Este aparelho foi utilizado na medição do RPM do exaustor eólico na pesquisa de campo realizada e descrita no capítulo 4.
  - Termômetro: parte integrante do multímetro descrito anteriormente. É responsável pela mensuração da temperatura ambiente em graus Celsius (°C);

- Software para gravação de microcontrolador PIC (PICKit2): software utilizado para gravar o programa de medição de tensão compilado no chip de um microcontrolador PIC, que foi utilizado no desenvolvimento do hardware módulo medidor e controlador de tensão (MCT);

## 4 MODELO PROPOSTO

O processo de geração de energia elétrica eólica se inicia a partir da rotação de um exaustor eólico devido à força da corrente de convecção do ar que adentra por suas aletas. O vento serve como força motriz de todo o processo e pode ser proveniente de ambiente interno (convecção do ar) ou externo às edificações, sejam residenciais, comerciais ou industriais que possuam um exaustor eólico instalado. No caso de ambiente interno, a diferença de temperatura dentro e fora da cúpula do exaustor promove uma troca de ar frio (ar que entra no ambiente pelo exaustor) pelo ar quente (ar que sai do ambiente) gerando as correntes de convecção de ar.

A energia cinética gerada pela rotação do exaustor eólico propulsionado pelo vento é transformada através da rotação de uma polia em energia elétrica por meio do acoplamento direto da mesma num gerador elétrico – a escolha de uma polia acoplada ao gerador elétrico será justificada no capítulo 4 deste trabalho. A energia elétrica gerada é utilizada para alimentar uma ou mais luzes *LED* (*Ligth Emissor Dyode* – Diodo Emissor de Luz em tradução livre) que pode ser usada na iluminação de pequenos ambientes (menores que 4 m<sup>2</sup>), sendo armazenado o excedente de energia produzida pelo gerador elétrico eólico (GEE) em baterias recarregáveis. Esse tipo de iluminação pode ser utilizado não só em emergências por “falta de luz”, mas também como fonte de iluminação diária para pequenos ambientes como banheiros, lavabos, *closets* etc. A produção ininterrupta de energia elétrica pelo GEE pode promover a redução no gasto com a conta de luz.

Devido à existência de variação de tensão elétrica na geração da energia pelo GEE, em decorrência da variação de força das correntes de convecção de ar interno e externo ao ambiente onde o exaustor está instalado, o circuito que alimenta as luzes *LED* é protegido através de um estabilizador de tensão contínua. O monitoramento e o controle da geração de energia elétrica são feitos por meio de um medidor e controlador de tensão (MCT). O MCT, utilizando um circuito medidor de tensões, indica a tensão da energia elétrica gerada pelo GEE e a armazenada no banco de baterias recarregáveis. As sobrecargas elétricas geradas são detectadas e estabilizadas pelo MCT visando a proteção desse circuito e de aparelhos energizados por ele (cargas do circuito).

A solução utiliza os seguintes componentes de terceiros:

- Exaustor eólico tipo cogumelo, com dimensões de 60 cm de altura e região aletada de 80 cm de diâmetro, fabricado pela empresa Órion Exaustores;
- Aparelho de iluminação de luz *LED* com alimentação de 4,5 V;
- Motor elétrico DC de 12 V (reaproveitado de uma impressora inutilizada), com dimensões de 4 cm de comprimento e 2,5 cm de diâmetro, usado como gerador de energia elétrica contínua. Possui impedância interna (medida) de 40 ohms, corrente máxima (calculada) de 300 mA e potência máxima (calculada) de 3,6 Watts;

As figuras 1, 2 e 3 apresentam os componentes de terceiros utilizados na implementação do protótipo do modelo.



Fig. 4.1  
Exaustor  
eólico tipo  
cogumelo  
(foto  
ilustrativa)

Fig. 4.2  
Aparelho de  
iluminação  
com luz  
*LED* de 4,5  
V (foto real)

Fig. 4.3:  
Motor  
elétrico  
DC de  
12V (foto  
real)

#### 4.1 Apresentação Geral do Modelo Proposto

A figura 4.4 ilustra o funcionamento de todo o processo de geração de energia elétrica utilizando a corrente de convecção de ar interna a uma edificação residencial.

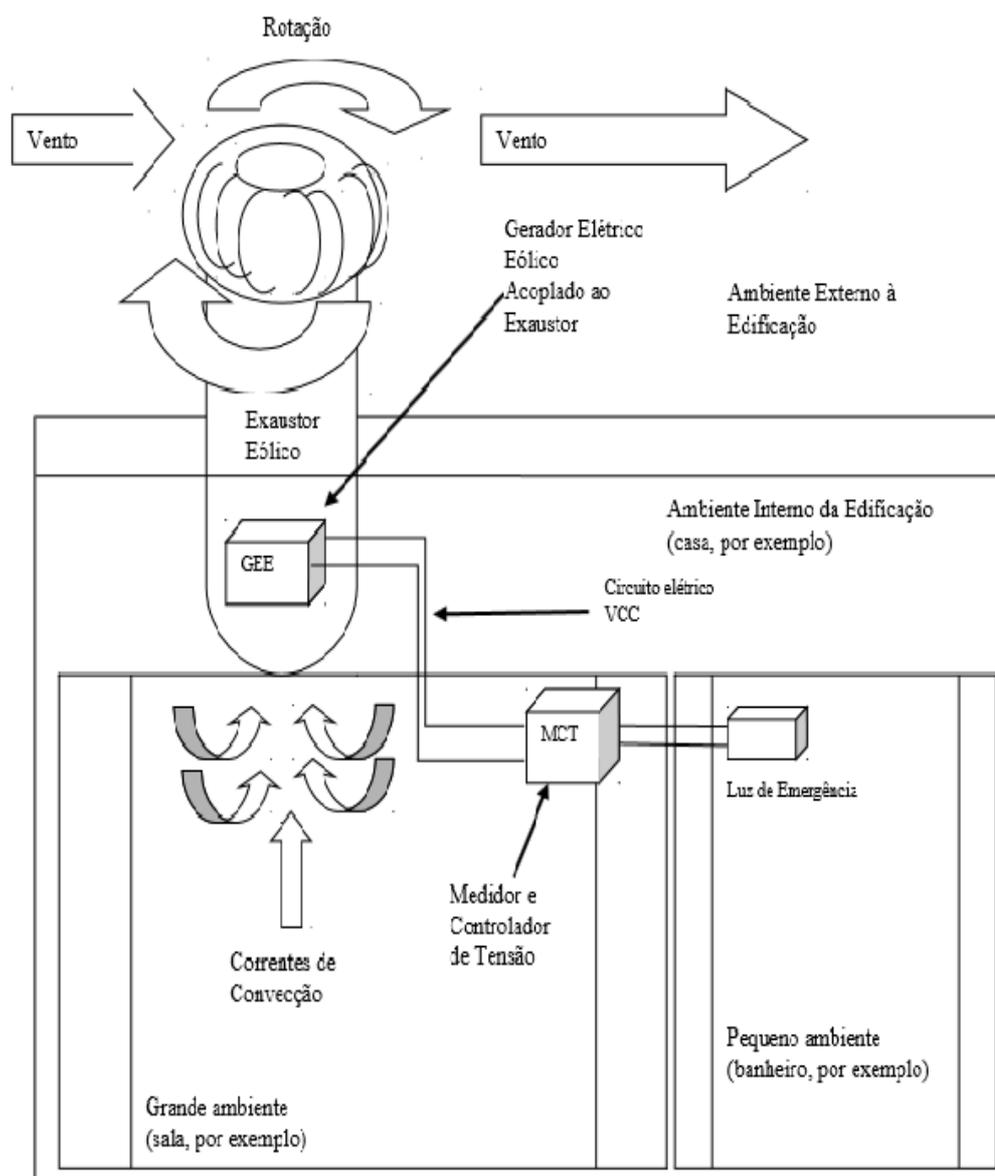


Fig. 4.4

Esquema de funcionamento do modelo proposto.

## 4.2 Descrição das Etapas do Modelo

Visando a minimização de gasto com energia, foi desenvolvido o projeto para a geração de energia elétrica por meio de energia eólica. Neste projeto, as seguintes etapas foram definidas visando à implementação do modelo proposto:

1. Definição do tipo de exaustor eólico;
2. Realização de uma pesquisa de campo para medição da velocidade média de exaustores eólicos;
3. Desenho, projeto e implementação do Gerador Elétrico Eólico (GEE);
4. Desenho, projeto e implementação do Medidor e Controlador de Tensão (MCT). Esta etapa foi subdividida em duas:
  1. Desenvolvimento do Módulo Medidor de Tensão (MT);
  2. Desenvolvimento do Módulo Controlador de Tensão (CT);
5. Montagem e teste do protótipo com o exaustor eólico.

Nos tópicos que se seguem são encontradas as descrições detalhadas de cada uma das etapas que foram definidas para a execução do projeto.

#### 4.2.1 Definição do tipo de exaustor eólico

Um dos tipos de exaustores eólicos mais comumente utilizados em prédios residenciais ou comerciais é o exaustor do tipo cogumelo. Por ser comercialmente acessível e amplamente utilizado, este exaustor foi escolhido para ser utilizado no projeto como fonte de força motriz para a geração de energia elétrica. A figura 4.4 apresentada no modelo proposto ilustra o exaustor eólico escolhido para implementação do projeto.

A utilização de um exaustor eólico exige o conhecimento de seu princípio de funcionamento. Um exaustor eólico é impulsionado pela força do vento ou pela corrente de convecção de ar promovido pelo efeito chaminé, “fenômeno que consiste na movimentação vertical de uma massa gasosa localizada ou de fluxo de gases devido à diferença de temperatura ou pressão com o meio” (SILVA et al., 2004). O equacionamento utilizado na demonstração matemática do efeito chaminé, citado por SILVA et al. (2004, p.2), não é o foco deste trabalho, portanto não será apresentado.

Após a definição do tipo de exaustor (vide figura 4.1), foi necessário o levantamento de dados sobre sua rotação média em RPM, pois o movimento rotatório de um exaustor eólico varia com o transcorrer do tempo e a mudança da temperatura do ambiente interno e externo à edificação na qual está instalado (SILVA et al., 2004). Esta informação é de fundamental importância para a obtenção do valor mínimo de RPM necessário para a geração de energia elétrica pelo gerador (que se encontra na faixa entre 300 e 600 RPM conforme foi constatado nos testes em laboratório). Para se obter o RPM médio do exaustor, foi realizada uma pesquisa de campo cujo detalhamento encontra-se no tópico a seguir.

## **4.2.2 Pesquisa de Campo**

Esta etapa do projeto consiste na realização de uma pesquisa de campo visando o levantamento de informações sobre o RPM (Rotação Por Minuto) médio do exaustor eólico tipo cogumelo utilizado no desenvolvimento do protótipo do projeto do GEE. Para tanto, foi realizado o procedimento de medição de RPM do exaustor eólico do tipo cogumelo, feita análise dos dados coletados e detalhamento das conclusões dessa análise, conforme descrito a seguir.

### **4.2.2.1 Processo de Medição de RPM do Exaustor Eólico**

No processo de medição de RPM do exaustor eólico foram utilizados os seguintes recursos:

- Um tacômetro digital Minipa, utilizado para a medição de RPM maior, menor e médio, com adaptadores de contato e de superfície (figura 4.5);
- Multímetro digital Minipa com termômetro para medição da temperatura ambiente em graus Celsius (figura 4.6);
- Doze exaustores eólicos tipo “cogumelo”, instalados no terraço de uma edificação com 12 metros de altura;
- Duas pessoas para medição e anotação das informações coletadas;
- Autorização de acesso às dependências da edificação;
- Termo de isenção de responsabilidade quanto à ferimentos, invalidez ou morte que porventura ocorresse com as pessoas que efetuaram a pesquisa.

As figuras 4.5 e 4.6 ilustram o tacômetro e multímetro digitais utilizados nas medições.



Fig. 4.5: Tacômetro Digital Minipa



Fig. 4.6: Multímetro Digital Minipa

Para a realização da pesquisa de campo, foi necessária uma autorização para a entrada nas dependências do prédio escolhido para se fazer a medição e assinar um termo de isenção de responsabilidade (referente a danos físicos) e entregá-lo para o responsável pela edificação (vide modelo do termo de isenção no Apêndice II). A autorização de acesso foi preenchida (vide modelo da autorização no Apêndice I) e colhida a assinatura do responsável.

O processo de medição foi executado em dois turnos, manhã e tarde, no dia 09/03/2013 (sábado). O clima estava ensolarado de manhã, com variação de temperatura entre 27°C e 41°C, e nublado à tarde, com variação de temperatura entre 26°C e 31°C, o que foi apurado com o termômetro digital. A temperatura interna da edificação foi medida no subsolo do prédio de manhã, por volta das 11h, no duto de exaustão de ar, que se estendia do subsolo até o terraço onde se encontravam os exaustores eólicos, tendo alcançado 31°C. Não foi possível medir a temperatura do subsolo a tarde, que foi estimada em 26°C.

Foram utilizados como amostras da pesquisa doze exaustores eólicos do tipo cogumelo dispostos em duas fileiras ao longo do terraço, com distância estimada de dois metros entre elas e de um metro entre os exaustores. A figura 4.7 ilustra o terraço do prédio, onde foi realizada a medição, com os exaustores eólicos instalados.



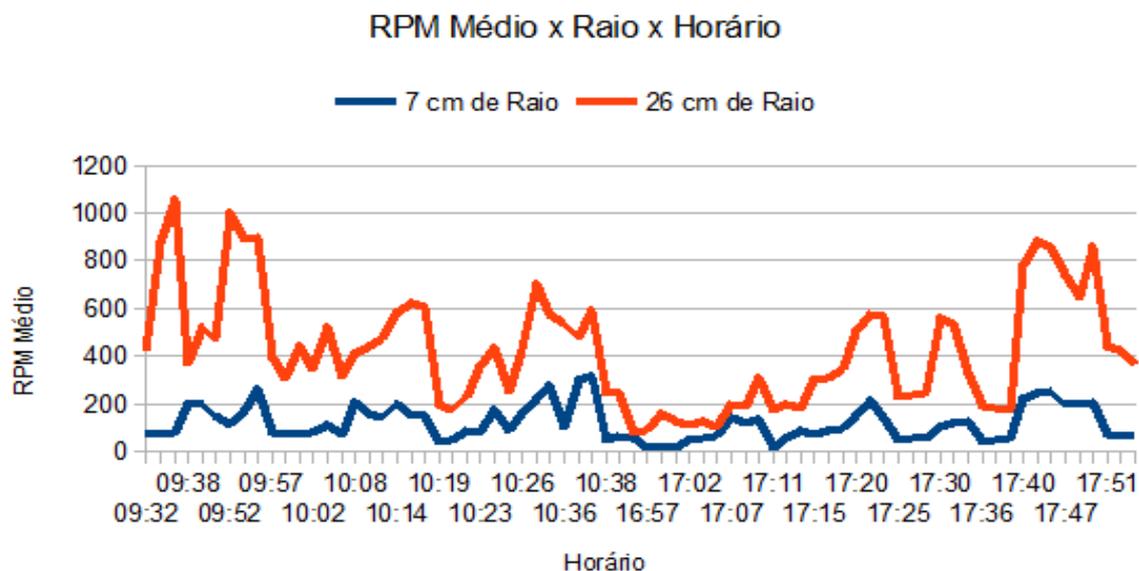
Fig. 4.7: Foto do terraço do prédio onde foi realizada a medição com os exaustores eólicos

A medição da RPM foi realizada em cada exaustor em duas etapas e a superfície de contato, utilizada para os adaptadores do tacômetro, foi medida em duas trilhas interna e externa de circunferências concêntricas dispostas no topo do exaustor, respectivamente, de 7 cm e 26 cm de raio. Em cada medição de RPM, foram extraídas 20 amostras durante 20 segundos e anotadas as horas de início e término da medição e a temperatura ambiente. O resultado das amostras de RPM foi processado automaticamente pelo tacômetro, que disponibilizou o RPM maior, menor e médio em seu visor, sendo anotado em planilhas para posterior tratamento das informações.

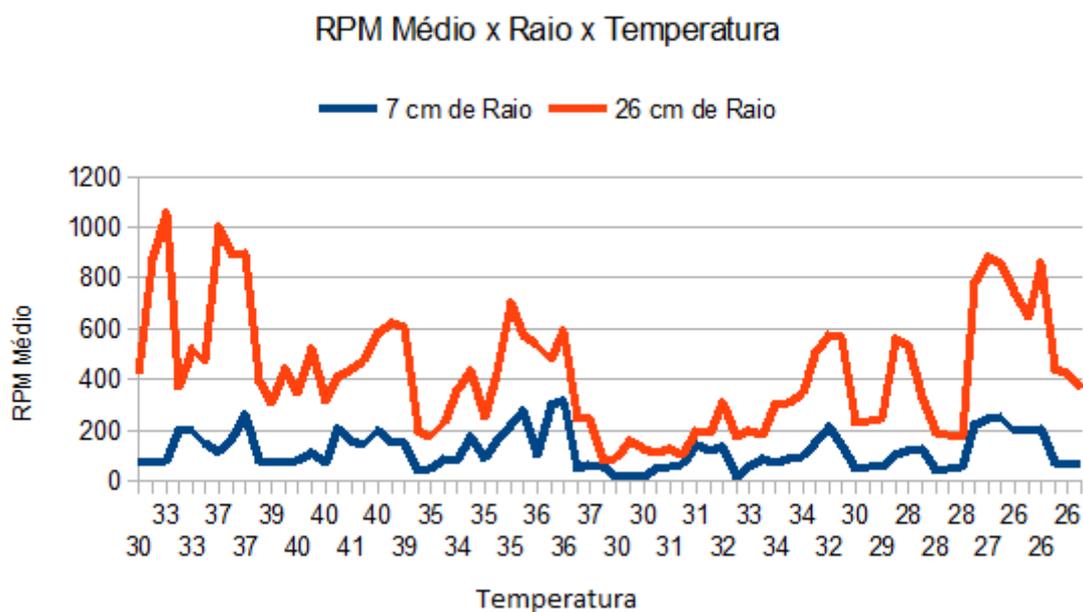
Na primeira etapa da medição, foram extraídas amostras de RPM na circunferência interna e externa do exaustor em movimento, usando-se o adaptador de contato no tacômetro, que foi levemente pressionado sobre o topo do exaustor num ângulo de aproximadamente  $25^\circ$  em relação à sua superfície. Na segunda etapa, foi usado o adaptador de superfície no tacômetro e repetido o processo de medição. As duas

etapas de medição foram repetidas em 3 (três) exaustores pela manhã e 3 (três) exaustores à tarde.

As informações de RPM maior, menor e médio, hora e temperatura ambiente foram dispostas em uma planilha eletrônica (vide anexo) cujas amostras coletadas encontram-se plotadas nos gráficos a seguir.



**Gráfico 4.1** RPM x Tamanho do Raio x Horário



**Gráfico 4.2** RPM x Tamanho do Raio x Temperatura

#### **4.2.2.2 Análise dos gráficos**

Conforme apresentado no gráfico 4.1, as maiores velocidades de rotação (RPM) são encontradas nas medições feitas no topo do exaustor eólico nas trilhas com 26 cm e 7 cm de raio, cujas velocidades média de rotação são, respectivamente, 350 RPM e 134 RPM.

O gráfico 4.2 apresenta as velocidades de rotação distribuídas conforme a variação de temperatura do ambiente externo ao exaustor eólico com o passar do tempo.

#### **4.2.2.3 Conclusão**

A maior velocidade média de rotação do exaustor eólico medida foi de 350 RPM na trilha de 26 cm de raio, sendo esta trilha a escolhida para o acoplamento do gerador elétrico do GEE por gerar maior tensão elétrica devido à maior velocidade de rotação.

A variação da temperatura do ambiente externo ao exaustor teve pouca influência na velocidade de rotação do exaustor eólico, pois temperaturas iguais em horários diferentes se relacionaram com velocidades relativamente alta, registrada em 642 RPM às 09h51min horas, e baixa, em 22 RPM às 10h35min horas, dentre outras amostras com resultados semelhantes.

Visto que a quantidade de 6 exaustores é muito baixa em relação à quantidade instalada em condomínios, galpões, etc. na cidade de Brasília, onde fora feita a pesquisa de campo, o erro na medição da média de RPM pode ser alto, pois o valor médio de rotações obtido com as amostras suplantou o valor de 150 RPM informado por um fabricante do exaustor eólico e o valor médio alcançado por SILVA et al. (2011).

### 4.2.3 Desenho, Projeto e Implementação do Gerador Elétrico Eólico (GEE)

Com a velocidade média de 350 RPM obtido na etapa anterior, verificou-se a viabilidade da geração de energia elétrica, pois o número de rotações mínimas de 300 RPM para se gerar a eletricidade foi alcançado para se acionar as luzes *Led*. Passou-se, então, para a etapa de desenho, projeto e implementação do GEE.

O maior desafio enfrentado no desenho do GEE foi o de se criar um mecanismo capaz de transferir o máximo possível de potência gerada pela rotação do exaustor eólico para um gerador elétrico. Para tanto, três mecanismos foram desenvolvidos: o polia-polia, o coroa-catraca e o engrenagem-gerador, porém todos sem sucesso, pois não houve possibilidade de seus acoplamentos ao exaustor eólico e, conseqüentemente, não foram capazes de gerar energia elétrica.

Após algumas tentativas e fracassos, optou-se por se acoplar uma polia de borracha diretamente a um gerador elétrico de 12 V DC sobre a superfície externa do exaustor eólico, conforme mostrado na figura 4.8. Este mecanismo, denominado polia-gerador, obteve resultado satisfatório na geração de energia elétrica, pois alcançou uma potência mínima de 6,25 mW a uma rotação de 300 RPM. Esta potência, após ser elevada por um circuito inversor, foi suficiente para se acionar as luzes *LED* de 4,5V.

Observou-se, com o resultado obtido, a necessidade de se desenvolver um circuito de retificação e armazenamento da energia gerada visando manter potência transferida para a carga. Este circuito, que é parte integrante do estágio retificador, está descrito no tópico de implementação do módulo medidor e controlador de tensão (MCT) neste capítulo.



**Fig. 4.8** Mecanismo polia-gerador composto por uma polia de borracha acoplada num motor de 12 V DC de uma impressora jato de tinta (gerador elétrico).

Perdeu-se muito tempo e dinheiro nos mecanismos desenvolvidos até que se conseguisse alcançar um resultado mínimo satisfatório para a geração de energia elétrica. Assim sendo, não serão descritas neste trabalho as etapas dos processos de construção desses mecanismos eletromecânicos.

Na tabela 4.1, a seguir, estão relacionados os mecanismos que foram construídos, suas descrições, valores gastos no desenvolvimento, problemas enfrentados na construção e os resultados obtidos.

Tabela 4.1 Mecanismos desenvolvidos para geração de eletricidade

<b>Mecanismo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Valor Gasto</b>	<b>Problemas</b>	<b>Resultados</b>
<b>Polia-Polia</b>	Mecanismo que interliga uma polia de poliestireno de tamanho grande a uma menor, na proporção de 2:1 de tamanho de diâmetro, por meio de uma correia de borracha, com a polia menor acoplada diretamente a um dínamo de 6 V para bicicleta.	R\$ 60,00	Dificuldade na instalação dentro do exaustor;  Difícil alinhamento das polias;  Dificuldade de se obter uma correia do tamanho ideal.	Mecanismo foi descartado, pois não foi possível acoplá-lo de forma a gerar energia elétrica.
<b>Coroa-Catraca</b>	Mecanismo que interliga uma coroa de bicicleta a uma catraca por meio de uma corrente, com a catraca acoplada diretamente a um dínamo de 6 V para bicicleta.	R\$ 70,00	Dificuldade em soldar uma rolimã no centro da coroa para afixá-la dentro do exaustor;  Dificuldade na instalação dentro do exaustor;  Difícil alinhamento entre coroa e catraca;  Peso excessivo do mecanismo.	Mecanismo foi descartado, pois seu peso excessivo atrapalhava a rotação do exaustor, freando-o.
<b>Engrenagem-Gerador</b>	Mecanismo que interliga um gerador de 12V DC (motor de impressora) diretamente a uma caixa de engrenagens.	Não houve gasto.	Dificuldade na instalação dentro e fora do exaustor;  Dificuldade na construção e alinhamento das engrenagens.	Mecanismo foi descartado, pois não foi possível acoplá-lo ao exaustor.
<b>Polia-Gerador</b>	Mecanismo que acopla o gerador de 12V DC (motor de impressora) diretamente a uma polia de borracha que rola através de atrito sobre a superfície superior do exaustor eólico.	Não houve gasto.	Dificuldade na localização do ponto ideal na superfície do exaustor para se obter a maior velocidade de rotação (RPM) do gerador elétrico;	Mecanismo foi adotado, pois obteve-se êxito no acoplamento ao exaustor e na geração de eletricidade com acionamento de uma pequena lâmpada incandescente de 6 V em um quarto de sua potência.
<b>Valor total das despesas</b>		<b>R\$ 130,00</b>		

Com a finalização da implementação do GEE, a próxima etapa do projeto foi o desenho, projeto e implementação do módulo medidor e controlador de tensão elétrica (MCT), que está descrito no próximo tópico deste capítulo.

#### 4.2.4 Desenho, Projeto e Implementação do Medidor Controlador de Tensão (MCT)

Solucionado o problema da geração de energia elétrica com o exaustor eólico por meio da construção do módulo GEE, passou-se, então, para etapa de desenho, projeto e implementação de um circuito que deveria ter as seguintes características:

- Converter uma corrente contínua de baixa potência em corrente alternada;
- Medir a tensão de entrada e de saída do circuito apresentando seus valores num *LCD (Liquid Crystal Display – Visor de Cristal Líquido em tradução livre)*;
- Retificar a tensão de saída do circuito; e
- Aumentar a potência de entrada aplicando-a na saída do circuito.

Algumas pesquisas em bibliografias e na internet foram realizadas para se definir os estágios que atendessem as características desse circuito, que foi denominado medidor e controlador de tensão (MCT).

### 4.3 Descrição da Implementação

A implementação do projeto foi dividida em dois módulos, a saber:

- **Módulo de Geração de Energia Elétrica (GEE):** módulo responsável por gerar a corrente elétrica a partir da corrente de convecção do ar interna ou externa às edificações. É composto pelo exaustor eólico, disco de rotação, mecanismo polia-gerador (descrito mais adiante) e suporte do mecanismo.

- **Módulo Medidor e Controlador de Tensão (MCT):** módulo responsável pela mensuração e controle da tensão gerada pelo módulo GEE. É composto pelos estágios inversor, medidor, retificador e transformador de tensão e armazenamento de energia.

O diagrama a seguir, que está ilustrado pela figura 4.9, apresenta o circuito completo do MCT. As siglas dos componentes eletrônicos têm o seguinte formato

“<Letras>+<Estágio>+<Sequência>”, onde:

<Letras>: são caracteres que representam um componente eletrônico. Exemplos: R para resistor, C para capacitor, D para diodo, DL para diodo *led*, RV para resistor variável, BT para bateria e Q para transistor.

<Estágio>: caracter que representa o estágio do circuito. Exemplos: I para inversor, R para retificador, C para chaveamento e M para medidor.

<Sequência>: número seqüencial que identifica o componente num circuito.

Os demais componentes são representados por mnemônicos de fácil compreensão, como o TRAF0 para transformador, TRIAC para resistor controlado de silício, LCD para visor de cristal líquido e PIC16F877 para o microcontrolador.

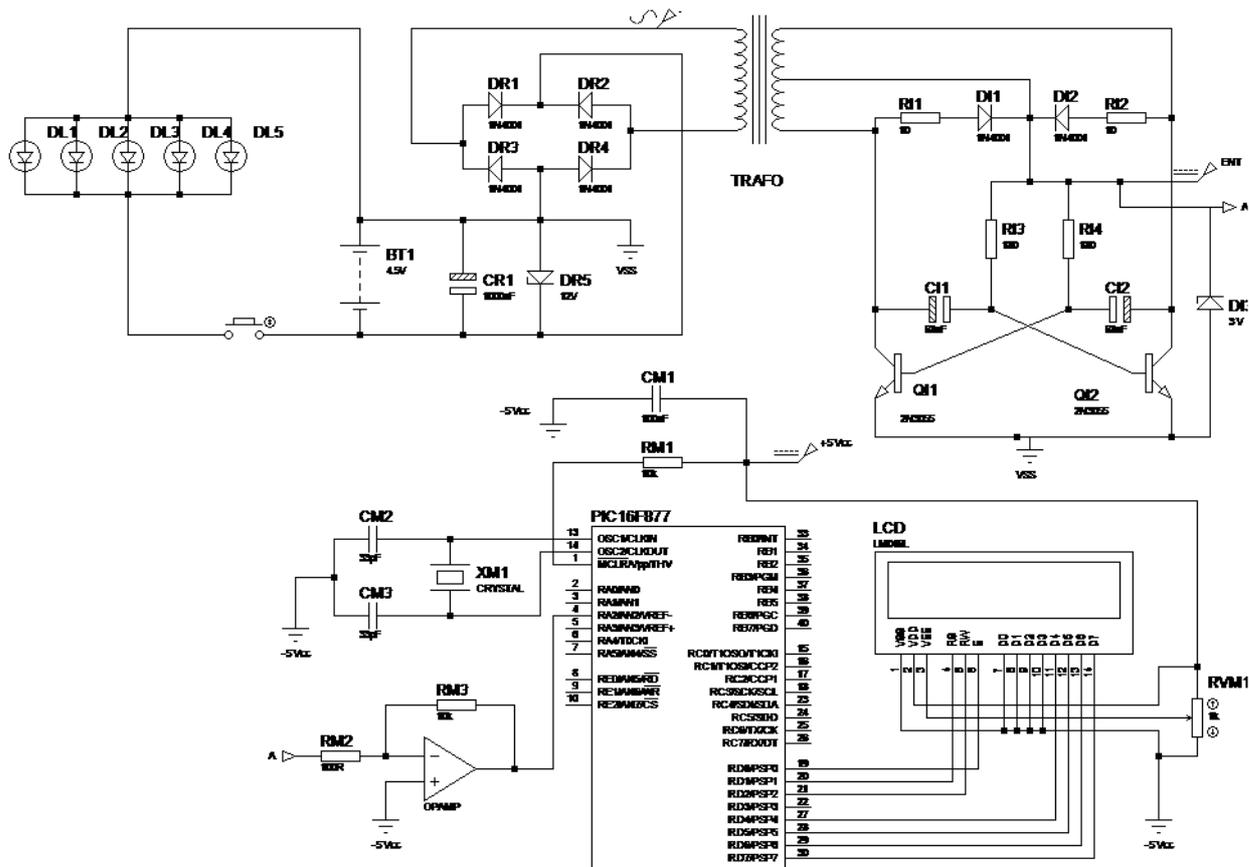


Fig. 4.9 – Circuito completo do MCT

### 4.3.1 Módulo de Geração de Energia Elétrica - GEE

Para a implementação do módulo GEE, primeiramente foi necessária a realização de uma prova de conceito visando a viabilidade da construção do modelo proposto. Esta prova de conceito envolveu o desenvolvimento dos mecanismos citados no tópico 4.2.3 e, como resultado final, adotou-se o mecanismo polia-gerador descrito anteriormente.

O acoplamento do mecanismo polia-gerador à superfície do exaustor eólico foi feito através de um disco de madeira fina (tipo eucatex), com dimensões de 60,5 cm de diâmetro e 0,50 cm de espessura, que foi afixado num suporte de 4 tubos de plástico, cada um com dimensões de 2 cm de altura e 1 cm de diâmetro, transpassados por parafusos que foram presos com porcas, por dentro e fora do exaustor, dando sustentação ao disco.

A escolha de se utilizar um disco afixado no exaustor eólico deveu-se à necessidade de se obter o maior caminho percorrido pela polia do mecanismo polia-gerador, obtendo-se, por consequência, um maior número de RPM, o que elevou a tensão elétrica gerada pelo gerador elétrico. A opção de se fazer um disco de madeira deveu-se à falta de tempo hábil para se produzir outro em acrílico, o que elevaria o custo do projeto, pois haveria a necessidade da contratação de empresa especializada para fabricá-lo.

As figuras 4.10 e 4.11 a seguir ilustram o disco de madeira afixado sobre o exaustor eólico, junto com o mecanismo polia-gerador acoplado através de um suporte de metal galvanizado que, por sua vez, foi preso num suporte de metal em formato de U com um parafuso no ponto central do exaustor. Para a fixação desse suporte, foi utilizada uma furadeira elétrica, com uma broca de 2 mm de diâmetro, e fez-se um furo no centro do eixo de aço inoxidável do exaustor eólico.



**Fig. 4.10:** Exaustor eólico e GEE



**Fig. 4.11:** Mecanismo polia-gerador

O disco de rotação foi construído a partir de duas lâminas retangulares de madeira com dimensões de 60,5 cm x 30,5 cm x 0,5 cm. Para se formar o disco com 60,5 cm de diâmetro, foi necessário utilizar uma serra tico-tico e, com ela, cortar dois semicírculos com raio de 30,5 cm em cada lâmina.

Logo após, os dois semicírculos de madeira foram unidos para formar o disco. Para tanto, foram utilizadas 18 lâminas de ferro retangulares (reaproveitadas de um transformador queimado) com dimensões de 10 cm x 1,5 cm x 0,10 cm cada. Nestas lâminas de ferro foram feitos dois buracos, um em cada extremidade, com uma furadeira elétrica com uma broca para ferro de 2 mm de diâmetro. Assim, as lâminas perfuradas foram dispostas em ambos os lados dos semicírculos, ao longo de seus diâmetros, e fixadas com rebites e parafusos com porcas.

O comprimento da circunferência do disco de rotação resultou em 190 cm, que é, aproximadamente, o caminho a ser percorrido pela polia do mecanismo polia-gerador quando o exaustor estiver em movimento de rotação. Esta rotação varia com o tempo, pois o exaustor eólico é impulsionado com as correntes de convecção do ar interno à edificação que são geradas pela diferença de temperatura existente entre o ambiente externo e interno ao exaustor.

A rotação do exaustor aciona o mecanismo polia-gerador que, por sua vez, gera eletricidade em tensão contínua de 0 Volt (exaustor parado) até aproximadamente 1 Volt (exaustor a 890 RPM), conforme levantado em testes de laboratório.

O mecanismo polia-gerador é preso a um suporte feito de lâminas de ferro e que foi acoplado a uma haste de latão e fixada com um parafuso e uma porca através de um furo feito com uma furadeira elétrica. A haste com o mecanismo polia-gerador são

sustentados por um suporte de aço em forma de U que foi fixado por cima do eixo do exaustor com um parafuso. Para tanto, foi necessário utilizar a furadeira elétrica para se fazer um furo no eixo do exaustor. Este furo foi feito com a mesma dimensão da bitola do parafuso para que o mesmo fosse fixado.

Para balancear o peso do mecanismo polia-gerador exercido por sobre o disco de madeira, foi acoplada uma haste de aço inoxidável ao final da haste de latão servindo como contrapeso. Isto foi necessário para que o mecanismo polia-gerador não exerça muito atrito no disco de madeira, o que reduz a rotação do exaustor eólico, reduzindo, assim, a tensão elétrica do gerador.

#### **4.3.2 Módulo Medidor e Controlador de Tensão (MCT)**

O módulo MCT (medidor e controlador de tensão) tem a função de elevar uma tensão contínua menor numa maior e mostrá-la num visor. Para tanto, ele possui um circuito composto pelos estágios inversor, transformador, retificador e medidor de tensão.

##### **4.3.2.1 Estágio Inversor**

Estágio responsável por converter a tensão contínua (gerada pelo módulo GEE no mecanismo polia-gerador) com cerca de 13 Hz em tensão alternada de 60 Hz. A tabela 4.1 a seguir contém a relação dos componentes eletrônicos utilizados no circuito do estágio inversor.

Tabela 4.2 Componentes do estágio inversor

Componente	Tipo/Código	Quant.	Valor/Unidade	Tensão/ Potência Máxima	Corrente Máxima
Diodo	Zener	1	-	3 V	
Diodo	1N4001	2	-	50 V	1 A
Resistor	-	2	180 $\Omega$	$\frac{1}{2}$ W	-
Resistor	-	2	10 $\Omega$	$\frac{1}{2}$ W	-
Capacitor	Eletrolítico	2	68 $\mu$ F	60 V	
Transistor	NPN / MJE3055T	2	$V_{ce}$ 30 V $V_{eb}$ 5 V		$I_{ce}$ 700 $\mu$ A $I_{eb}$ 5mA

A figura 4.12 ilustra o diagrama do circuito do estágio inversor com os seus componentes eletrônicos que foram especificados na tabela 4.2.

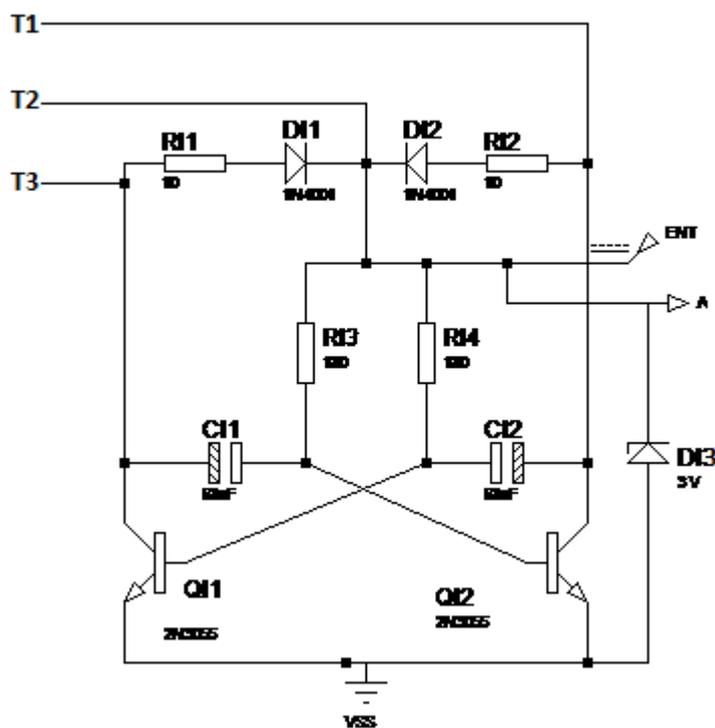


Fig. 4.12 Circuito do estágio inversor

O funcionamento do circuito se inicia quando uma tensão contínua, que foi gerada pelo mecanismo polia-gerador do GEE, é aplicada à entrada do circuito inversor (ENT). O diodo Zener DI3 limita a tensão de entrada em 3 V, que é o limite de operação especificado para o circuito. Considerando que a tensão de entrada é de 3 V, esta é aplicada ao multivibrador astável simétrico constituído pelos componentes RI3, RI4, CI1, CI2, QI1 e QI2. Os resistores RI1 e RI2 são polarizadores das bases dos transistores, respectivamente, QI1 e QI2. O valor de RI1 e RI2 é calculado em 10% (aproximadamente) do valor dos respectivos resistores RI3 e RI4. Como RI3 e RI4 é 180  $\Omega$ , os valores de RI1 e RI2 deveria ser de 18  $\Omega$ . Mas a resistência ôhmica dos diodos DI1 e DI2 são, aproximadamente, 8  $\Omega$  (considerando uma corrente de 87,2 mA), que somados com o valor de 10  $\Omega$  dos resistores, resulta nos 18 $\Omega$  de polarização de base dos transistores.

A frequência de oscilação do multivibrador é obtida através dos circuitos RC formado pelos componentes RI3-CI1 e RI4-CI2 e é calculada utilizando-se as equações (2.2) e (2.3) da seguinte forma:

Primeiro, calcula-se o período de oscilação ( $T$ ) com a equação (2.3):

$$\begin{aligned} T &= \{0,69 \times [(RI3 \times CI1) + (RI4 \times CI2)]\} \\ &= \{0,69 \times [(180 \times 68 \times 10^{-6}) + (180 \times 68 \times 10^{-6})]\} \\ &= 0,0168912 \text{ s} \end{aligned}$$

Depois, calcula-se a frequência ( $f$ ) com a equação (2.4), substituindo-se o valor do período ( $T$ ) encontrado:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,0168912} = 59,2021219 \text{ , que é aproximadamente igual a 60 Hertz.}$$

Os transistores Q1 e Q2 atuam no circuito para a geração da oscilação. Quando o transistor Q1 entra em corte, devido à descarga completa do capacitor C2, o Q2 entra em condução devido à carga completa do capacitor C1 e vice-versa.

### 4.3.2.2 Estágio Transformador

Estágio que transforma a tensão alternada, gerada no estágio inversor, em uma mais elevada. O transformador converte uma tensão de 220 V no primário em 3 V no secundário, tendo um fator de rebaixamento de aproximadamente 73:1. No circuito do MCT, o transformador é utilizado de forma invertida, onde seu secundário é usado como entrada para elevação da tensão e seu primário como saída de tensão elevada. A tabela 4.3 a seguir contém os componentes do estágio transformador.

**Tabela 4.3** Componentes do transformador

<b>Componente</b>	<b>Tipo/Código</b>	<b>Quant.</b>	<b>Valor/Unidade</b>	<b>Tensão/ Potência Máxima</b>	<b>Corrente Máxima</b>
Primário	P	-	110 – 220 V	220 V	-
Secundário	S	-	3 – 0 – 3 V	3 V	-

Considerando, por exemplo, uma tensão contínua pulsante de 3 V gerada no estágio inversor, e que é aplicada no secundário do transformador, a saída no primário é elevada numa escala de 1:73, resultando, assim, em 219 V teoricamente em seus terminais.

### 4.3.2.3 Estágio Medidor de tensão

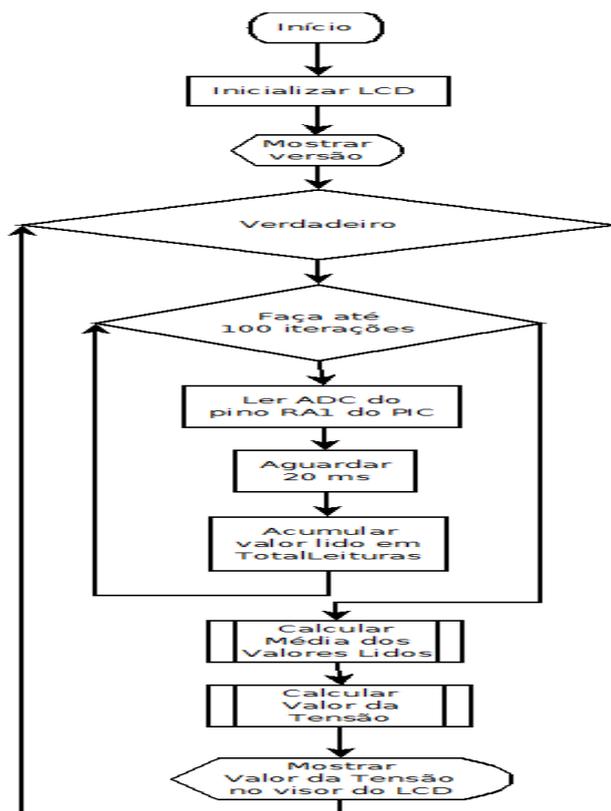
Estágio responsável por processar a tensão elétrica na entrada do inversor, convertê-la em uma informação inteligível na forma de caracteres alfanuméricos e apresentá-la num visor de cristal líquido (LCD). A tabela 4.4 a seguir contém os componentes do estágio medidor de tensão.

**Tabela 4.4** Componentes do medidor de tensão

<b>Componente</b>	<b>Tipo/Código</b>	<b>Quant.</b>	<b>Valor/Unidade</b>	<b>Tensão/ Potência Máxima</b>	<b>Corrente Máxima</b>
Microcontrolador	PIC16F877A	1	-	5 V	-
Capacitor	Cerâmica	2	33 pF	-	-
Capacitor	Cerâmica	1	100 nF	-	-
LCD	LCD-016M002L	1	-	5 V	1,5 mA
Amplificador Operacional	LM324	1	-	5 V	-
Cristal	SKJ4.000	1	4 MHz	-	-
Resistor	Resistência fixa	2	10 K $\Omega$	¼ w	-
Potenciômetro	Linear	1	1 K $\Omega$	-	-

O funcionamento do MCT se inicia quando o microcontrolador PIC é alimentado em 5 V, o que faz com que o cristal SKJ4.000 oscile num clock de 4 MHz. Esta energização faz com que o PIC inicie seu processo de execução do programa binário (vide código fonte do programa no Apêndice IV) – gravado em sua memória com o PicKit2 (circuito gravador de PIC), e que contém os procedimentos para a leitura da tensão elétrica da entrada do estágio inversor e representação dessa tensão sob a forma de caracteres numéricos no visor de cristal líquido.

O fluxograma da figura 4.13 a seguir contém as etapas e iterações executadas pelo programa medidor de tensão escrito em linguagem C e compilado com o compilador Mikro C Pro Versão 6.



**Fig. 4.13** Fluxograma do programa medidor de tensão escrito na linguagem C (vide Anexo V)

A leitura da saída do conversor analógico digital (AD) interno do PIC é um número binário proporcional à tensão medida, tendo como tensão de referência ( $V_{ref}$ ) a tensão de alimentação do PIC que é de 5 V. Assim sendo, para se calcular o valor equivalente à saída ADC, utiliza-se a técnica de escalonamento (PEREIRA, 2007).

O escalonamento é feito considerando a resolução de 10 Bits e referência de 5 V do conversor AD do PIC. Assim, conclui-se que cada bit é igual a  $5 / (2^{10} - 1) = 4,8876 \dots$  mV. Para um resultado de leitura no pino ADC do PIC igual a 100 (decimal), tem-se uma tensão de  $100 * 4,8876$  mV que resulta em 0,48876 V. Este cálculo é utilizado para se obter a tensão de entrada do MCT e mostrá-la no visor LCD.

A tensão de entrada do PIC é obtida através do amplificador operacional LM324, que é utilizado como seguidor de tensão (*buffer*) da entrada do estágio inversor e serve para o casamento de impedância entre esse circuito e o PIC. Com esta configuração do LM324, tem-se um ganho unitário, ou seja, a tensão de entrada do estágio inversor é a mesma aplicada na entrada do pino AD do PIC.

#### 4.3.2.4 Estágio Retificador

Estágio responsável por converter a tensão alternada, que foi elevada no estágio transformador, em uma contínua pulsante, atenuando ao máximo a variação de pico (*ripple*) para torná-la o mais próximo possível de uma tensão contínua pura. A tabela 4.5 a seguir contém os componentes do estágio retificador.

**Tabela 4.5** Componentes do estágio retificador

Componente	Tipo/Código	Quant.	Valor/Unidade	Tensão/ Potência Máxima	Corrente Máxima
Diodo	1N4002	4	-	100 V	1 A
Diodo	Zener	1	-	12 V	
Capacitor	Eletrolítico	1	1.000 $\mu$ F	10 V	

O circuito do estágio retificador está ilustrado na figura 4.14. As entradas Ent1 e Ent2 do circuito coletam a tensão alternada de onda completa proveniente do estágio transformador. A ponte de diodos formada pelos pares de componentes DR1-DR2 e DR3-DR4 filtram a tensão alternada fazendo com que os semiciclos positivos e negativos de seu sinal senoidal sejam polarizados.

Os semiciclos positivos dos sinais elétricos das entradas Ent1 e Ent2 passam diretamente pelo par de diodos DR1-DR2 que bloqueiam os negativos por estarem inversamente polarizados em relação a eles. Da mesma forma, os semiciclos negativos da tensão nas entradas passam diretamente pelo par DR3-DR4 que bloqueiam os positivos por estarem inversamente polarizados em relação a eles.

O diodo Zener DR5 limita a tensão elétrica pulsante, resultante da retificação da ponte de diodos, em 12 V. Esta tensão retificada é aplicada no capacitor CR1 que diminui ao máximo a variação de pico (*ripple*) convertendo a tensão elétrica pulsante em uma contínua pura, quando de sua carga e descarga, servindo de filtro para a regulação da tensão. O capacitor CR1 carrega-se duas vezes e descarrega-se na metade do tempo, o que torna a ondulação menor e a tensão CC na saída mais próxima da de pico.

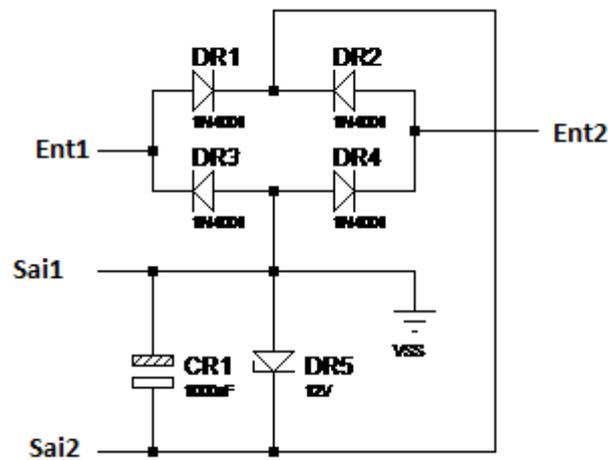


Figura 4.14 Circuito do estágio retificador

Considerando uma tensão de pico ( $V_p$ ) 36 V aplicada nas entradas Ent1 e Ent2, o resultado do sinal de onda completa nos terminais do diodo DR5 é:

$$V_p = 36 V - (2 \times 0,7 V) = 36 V - 1,4 V = 34,6 V$$

Onde o valor 1,4 V é a queda de tensão de dois diodos em série que deve ser considerada.

A tensão média CC ( $V_{cc}$ ) resultante da ponte de diodos é calculada utilizando-se a equação (2.6):

$$V_p = 0,636 \times V_p = 0,636 \times 34,6 V = 22 V$$

A frequência da tensão de saída do estágio transformador é calculada utilizando-se a equação (2.7):

$$f_{saída} = 2 \times f_{entrada} = 2 \times 60 Hz = 120 Hz$$

Onde  $f_{\text{entrada}}$  é a frequência gerada na saída do estágio inversor e entrada do transformador.

A tensão resultante pico a pico ( $V_R$ ) de saída da ponte de diodos, considerando uma resistência de carga ( $R_C$ ) de  $100 \Omega$ , é calculada com a equação (2.8), mas antes se calcula a corrente ( $I$ ) da seguinte forma:

$$I = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{22V}{100 \Omega} = 22 \times 10^{-2} A = 0,22 A = 220 mA$$

Com o valor da corrente obtido, aplica-se a equação (2.8):

$$V_R = \frac{I}{(f_{\text{saída}} \times CR1)} = \frac{220 \times 10^{-3} A}{(120 Hz \times 10^3 \times 10^{-6} F)} = 1,83 V$$

A tensão resultante de saída é aplicada nos terminais Sai1 e Sai2 que alimenta o estágio de armazenamento de energia e a luz *LED*.

#### 4.3.2.5 Estágio de Armazenamento de Energia

Estágio responsável pelo armazenamento das cargas elétricas retificadas pelo estágio retificador. A tabela 4.6 apresenta os componentes do estágio de armazenamento de energia.

**Tabela 4.6** Componentes do estágio de armazenamento de energia

Componente	Tipo/Código	Quant.	Valor/Unidade	Tensão/ Potência Máxima	Corrente Máxima
Bateria	Recarregável	1	-	3,6 V	300 mA

A carga elétrica proveniente do estágio retificador é armazenada na bateria de 3,6V, que leva em torno de 10 horas para ser totalmente carregada quando é alimentada com uma tensão de 36 V retificados. Enquanto o módulo GEE gera eletricidade, o MCT eleva a tensão elétrica proveniente dessa geração, retifica-a, armazena-a na bateria e o excedente alimenta a luz *LED*. A bateria mantém a carga constante na luz *LED*, transferindo potência para que ela permaneça acesa durante a geração da eletricidade e nos momentos em que o exaustor eólico para seu movimento de rotação devido à ausência de corrente de convecção do ar.

A tabela 4.7 a seguir contém as características elétricas do circuito do módulo MCT, contendo as correntes, as tensões e as potências mínimas e máximas de entrada e saída do circuito.

**Tabela 4.7** Características técnicas do MCT

Parâmetro	Condições de Teste	Mínimo	Máximo	Unidade
$V_{ent}$ - tensão de entrada	Exaustor entre 480 e 890 RPM. Mínimo a 480 RPM e Máximo a 890 RPM, com luz <i>led</i> <b>desligada</b> e bateria <b>ligada</b> .(1)	0,36	0,99	V
$I_{ent}$ - corrente de entrada	Idem (1)	12,5	72,1	mA
$P_{ent}$ - potência de entrada	Exaustor entre 480 e 890 RPM. Mínimo a 480 RPM e Máximo a 890 RPM, com luz <i>led</i> <b>desligada</b> e bateria <b>ligada</b> .	4,5	71,38	mW
$V_{sai}$ - tensão de saída	Exaustor parado, com luz <i>led</i> <b>ligada</b> e bateria <b>ligada</b> .e carregada após 110 minutos de carga(2)	2,26	3,38	V
$I_{sai}$ - corrente de saída	Idem (2)	9,9	20,00	mA
$P_{sai}$ - potência de saída	Exaustor parado, com luz <i>led</i> <b>ligada</b> e bateria <b>ligada</b> .	22,37	67,6	mW

## **5 APLICAÇÃO PRÁTICA DO MODELO PROPOSTO**

### **5.1 Apresentação da área de Aplicação do modelo**

O modelo proposto neste trabalho pode ser aplicado em condomínios verticais, residências, galpões diversos, etc. desde que o mínimo de 350 RPM seja alcançado pelo exaustor eólico ao qual a solução GEE será instalada, tornando, assim, satisfatória a geração de energia elétrica.

### **5.2 Descrição da Aplicação do Modelo**

Para fins de demonstração acadêmica, o modelo pode ser aplicado em um ambiente fechado (numa sala, por exemplo) sem a necessidade de instalação do exaustor eólico, pois suas aletas podem ser movimentadas sobre sua própria base com a simulação da corrente de convecção do ar por meio de um ventilador elétrico. As velocidades de rotações (RPM) necessárias para a geração de energia elétrica pelo módulo GEE podem ser obtidas com a variação da velocidade do ventilador.

A tabela 5.1 contém os resultados obtidos nos testes de iluminação da luz led. O percentual de percepção de intensidade luminosa (PPIL) foi obtido por meio da elaboração de uma escala de percepção subjetiva da intensidade luminosa (vide apêndice IV). As condições iniciais dos testes foram Bateria carregada com 3,38V após 110 minutos de carga com o funcionamento do GEE.

**Tabela 5.1** Testes de iluminação da luz *led*

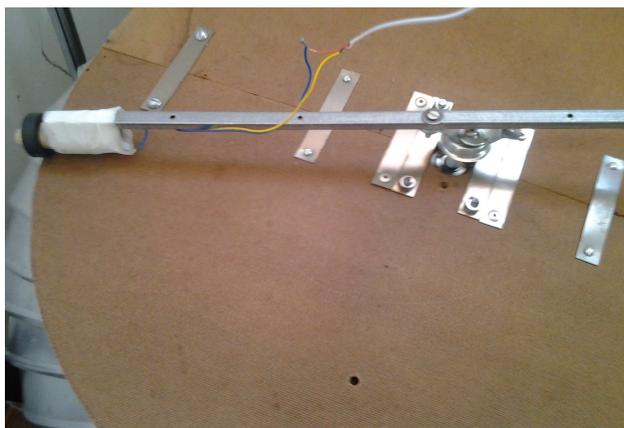
No. amostra	TDAM (min)	TD (min)	Is(mA)	Ts(V)	PPIL
1	0	0	20,00	3,38	101%
2	0	0,25	5,90	2,78	30%
3	0,5	0,75	3,60	2,71	18%
4	1	1,75	1,10	2,58	6%
5	1	2,75	0,80	2,56	4%
6	1	3,75	0,70	2,55	4%
7	1	4,75	0,60	2,54	3%
8	1	5,75	0,50	2,53	3%
9	1	6,75	0,50	2,53	3%
10	1	7,75	0,40	2,52	2%
11	1	8,75	0,40	2,52	2%
12	1	9,75	0,40	2,51	2%
13	1	10,75	0,40	2,51	2%
14	1	11,75	0,30	2,50	2%
15	1	12,75	0,30	2,50	2%

Legenda:

TDAM(min)	Tempo em minutos decorrido antes da medição
TD(min)	Tempo em minutos decorrido depois da primeira medição
Ts(V)	Tensão elétrica em Volts medida na saída do MCT
PPIL	Percentual de percepção subjetiva do observador da intensidade luminosa da luz LED.
	Considerou-se a maior Is(mA) como 100% de intensidade luminosa.

### 5.3 Resultados da Aplicação do Modelo

As figuras 5.1 e 5.2 a seguir ilustram o mecanismo GEE e o circuito MCT em funcionamento.



**Fig. 5.1** Foto do Mecanismo GEE



**Fig. 5.2** Foto do Circuito MCT

A tabela 5.2 a seguir contém o resultado das medições das tensões de entrada e saída efetuadas com o funcionamento do GEE.

**Tabela 5.2** Medições das tensões e correntes de entrada e saída do GEE

RPM	No. amostra	TDAM (min)	TD (min)	Te(V)	Ie(mA)	Ts(V)	Is(mA)	Bat. Lig.	LED Aceso	Inter. Lig	PPIL
480	1	0	0	0,42	15,5	2,20	0,00	S	N	N	0%
480	2	2	2	0,45	13,7	7,35	0,00	N	N	N	0%
480	3	2	4	0,40	13,1	1,58	0,05	N	N	S	0,3%
480	4	2	6	0,36	12,9	1,50	0,05	N	S	S	0,3%
480	5	2	8	0,40	13,5	2,20	0,00	S	N	N	0%
480	6	2	10	0,38	9,9	2,26	0,07	S	S	S	0,4%
480	7	2	12	0,39	12,8	1,48	0,08	N	S	S	0,4%
480	8	2	14	0,38	12,8	2,36	0,03	S	S	S	0,2%
480	9	10	24	0,39	12,5	2,39	0,00	S	N	N	0%
480	10	10	34	0,38	12,7	2,44	0,00	S	N	N	0%
480	11	10	44	0,38	12,8	2,41	0,05	S	S	S	0,3%
480	12	5	49	0,39	9,5	2,31	0,00	S	N	N	0%
480	13	10	59	0,36	9,7	2,42	0,00	S	N	N	0%
800	1	0	0	0,63	40,8	2,40	0,00	S	N	N	0%
800	2	2	2	0,72	36,2	10,19	0,00	N	N	N	0%
800	3	2	4	0,66	43,3	1,21	0,43	N	S	S	2%
800	4	3	7	0,70	40,2	1,19	1,42	N	S	S	7%
800	5	2	9	0,72	45,7	2,97	0,00	S	N	N	0%

800	6	5	14	0,73	50,2	2,57	0,59	S	S	S	3%
800	7	3	17	0,75	48,2	1,12	0,50	N	S	S	3%
800	8	3	20	0,76	48,5	2,54	0,58	S	S	S	3%
800	9	3	23	0,74	47,7	2,18	0,00	S	N	N	0%
800	10	10	33	0,72	49,3	2,59	0,84	S	S	S	4%
800	11	5	38	0,73	48,2	2,50	0,54	S	S	S	3%
800	12	5	43	0,78	52,2	2,68	0,00	S	N	N	0%
800	13	10	53	0,72	50,0	3,35	0,00	S	N	N	0%
890	1	0	0	0,99	72,1	2,55	0,00	S	N	N	0%
890	2	2	2	1,06	68,8	14,22	0,00	N	N	N	0%
890	3	3	5	0,99	69,0	1,01	0,80	N	S	S	4%
890	4	2	7	0,96	70,9	1,00	0,83	N	S	S	4%
890	5	5	12	0,93	68,5	3,34	0,00	S	N	N	0%
890	6	3	15	0,93	70,0	2,59	1,02	S	S	S	5%
890	7	3	18	0,96	69,0	0,99	0,74	N	S	S	4%
890	8	3	21	0,95	71,1	2,58	0,99	S	S	S	5%
890	9	10	31	0,96	68,3	3,30	0,00	S	N	N	0%
890	10	5	36	0,93	70,2	2,64	1,89	S	S	S	10%
890	11	5	41	0,94	66,3	2,57	1,03	S	S	S	5%
890	12	10	51	0,93	69,2	3,27	0,00	S	N	N	0%
890	13	10	61	0,95	71,2	3,43	0,00	S	N	N	0%
0	1	0	0	0,00	0,0	3,38	0,00	S	N	N	0%
0	2	110	110	0,00	0,0	3,38	0,00	S	N	N	0%
0	3	0,25	110,25	0,00	0,0	2,78	5,90	S	S	S	30%
0	4	0,5	110,75	0,00	0,0	2,71	3,60	S	S	S	18%
0	5	1	111,75	0,00	0,0	2,58	1,10	S	S	S	6%
0	6	1	112,75	0,00	0,0	2,56	0,80	S	S	S	4%
0	7	1	113,75	0,00	0,0	2,55	0,70	S	S	S	4%
0	8	1	114,75	0,00	0,0	2,54	0,60	S	S	S	3%
0	9	1	115,75	0,00	0,0	2,53	0,50	S	S	S	3%
0	10	1	116,75	0,00	0,0	2,53	0,50	S	S	S	3%
0	11	1	117,75	0,00	0,0	2,52	0,40	S	S	S	2%
0	12	1	118,75	0,00	0,0	2,52	0,40	S	S	S	2%
0	13	1	119,75	0,00	0,0	2,51	0,40	S	S	S	2%
0	14	1	120,75	0,00	0,0	2,51	0,30	S	S	S	2%
0	15	1	121,75	0,00	0,0	2,50	0,30	S	S	S	2%
0	16	1	122,75	0,00	0,0	2,50	0,30	S	S	S	2%

Legenda:

RPM	Quantidade média de rotações por minuto do exaustor eólico
TDAM(min)	Tempo em minutos decorrido antes da medição
TD(min)	Tempo em minutos decorrido depois da primeira medição
Te(V)	Tensão elétrica em Volts medida na entrada do MCT
Ie(mA)	Corrente elétrica em miliAmpéres medida na entrada do MCT
Ts(V)	Tensão elétrica em Volts medida na saída do MCT
Is(mA)	Corrente elétrica em miliAmpéres medida na saída do MCT

Bat Lig	Bateria ligada no circuito do MCT
LED Aceso	Luz LED acesa
Inter. Lig	Interruptor da luz LED ligado
PPIL	Percentual de percepção subjetiva do observador da intensidade luminosa da luz LED. Considerou-se a maior $I_s$ (mA) igual a 19,8 mA como 100% de intensidade luminosa. (vide Apêndice IV)

Conforme os resultados da tabela 5.2, o módulo GEE operou com rotações entre 480 e 890 RPM gerando uma tensão média com carga de 2,54 V, quando a luz *led* e a bateria estão ligadas, e 2,74 V com somente a bateria ligada, e sem carga (bateria e luz *led* desligadas) gerando 10,59 V. O gerador elétrico (mecanismo polia-gerador) produziu nas mesmas condições uma tensão elétrica entre 0,3 V e 1 V.

Durante os testes de medições das tensões e correntes de entrada e saída dos módulos GEE e MCT observou-se que, quando o gerador elétrico foi desconectado da entrada do MCT, mantendo-se o exaustor eólico em rotação constante, o seu RPM foi medido em 560 RPM. Concluiu-se, assim, que existe um fenômeno de auto-indução no gerador que afeta as rotações do exaustor. Notou-se também que a variação do atrito da polia do mecanismo polia-gerador com o disco faz variar a tensão elétrica gerada pelo módulo GEE. Quanto mais atrito houve, maior foi a tensão elétrica gerada, porém a velocidade de rotação do exaustor diminuiu proporcionalmente.

Para se resolver o problema da auto-indução do gerador elétrico, utilizou-se um diodo polarizado diretamente no pólo positivo da entrada do módulo MCT. Porém, a tensão de saída deste módulo caiu à metade devido à queda de tensão de 0,6 V que o diodo ocasionou na sua entrada.

Desta forma, optou-se por não se utilizar o diodo na entrada do MCT, pois, mesmo com a auto-indução do gerador elétrico, obteve-se maior tensão elétrica na saída desse módulo, aumentando-se por consequência a sua potência e rendimento.

#### 5.4 Custos do modelo proposto

Esta seção apresenta os recursos de software, hardware e ferramentas com seus respectivos custos. Buscou-se ao máximo a minimização dos custos do projeto por meio de reaproveitamento de peças e utilização de softwares de domínio público. O custo total do projeto foi de R\$2.427,00.

A tabela 5.3 contém a relação de materiais, ferramentas, softwares e hardwares utilizados no desenvolvimento do projeto. Junto com a descrição dos itens, são apresentados os valores e quantidades. Foram incluídos comentários em cada item para dar mais informações ao leitor sobre onde foi adquirido o item, se seu valor foi estimado e se foi um recurso reaproveitado.

**Tabela 5.3** Relação de materiais, ferramentas, softwares e hardware.

Item	Qtd.	Valor em Reais	Observação
Exaustor eólico	1	R\$250,00	Adquirido em 2011 da empresa Órion Exaustores (Órion, 2011)
Multímetro digital Minipa	3	R\$136,00	Adquirido em 2011 na loja Contato Eletrônica, em Brasília/DF.
Tacômetro digital Minipa	1	R\$500,00	Adquirido em 2011 na Contato Eletrônica.
Luz de emergência	1	R\$30,00	Adquirida em supermercado.
Alicate de bico	1	R\$10,00	Adquirido na Contato Eletrônica.
Furadeira elétrica	1	R\$69,00	Adquirida em supermercado.
Serra tico-tico	1	R\$89,00	Adquirida em supermercado.
Materiais diversos utilizados nos protótipos (coroa, corrente e catraca de bicicleta, polia de poliestireno, rolimã, correia de borracha)	1 de cada	R\$100,00	Valor total estimado. Esses materiais foram utilizados nos protótipos que não tiveram resultado satisfatório na geração de eletricidade com dínamo.
Dínamo de 6 Volts para bicicleta	1	R\$30,00	Material utilizado em protótipo que não teve resultado satisfatório.
Motor elétrico de 12 Volts DC	1	-	Material reaproveitado de impressora inutilizada.

Materiais diversos (chaves de fenda, parafusos, porcas, arruelas, rebites, etc)	-	R\$40,00	Valor estimado.
Caixa de engrenagens	1	-	Material reaproveitado de ventilador inutilizado.
Componentes eletrônicos diversos (resistores, capacitores, transistores e diodos)	-	R\$ 5,00	Alguns diodos foram reaproveitados de circuitos eletrônicos inutilizados.
Transformador 1P2S 110-220 V/ 3-0-3 V	1	R\$12,00	Adquirido em 2013 na Contato Eletrônica.
Notebook Gateway	1	R\$890,00	Adquirido em 2013 por meio de site de compra na internet.
Protoboard	3	R\$36,00	Adquirido em 2013 na Contato Eletrônica. Utilizado para construção dos módulos eletrônicos.
Fios elétricos	-	-	Reaproveitados de cabos de rede.
Software Proteus 6.0	1	-	Utilizada a versão de demonstração para simulação da parte eletroeletrônico do projeto.
Soldador elétrico 30 Watts / 220 V	1	R\$20,00	Adquirido na Contato Eletrônica.
Rolo de Solda	1	R\$20,00	Valor estimado.
Placa de circuito impresso genérica	1	R\$12,00	Adquirido na Contato Eletrônica. Placa para construção de protótipo de circuito eletrônico.
Software PICKit v2.6 e Gravador de PIC.	1	R\$138,00	Adquirido em 2013 por meio do site <a href="http://www.roboticasimples.com">http://www.roboticasimples.com</a>
Software microC Pro for PIC	1	-	Adquirido junto com o pacote do PICKit2.
Microcontrolador PIC16F877A	2	R\$40,00	Adquirido em 2013 na Contato Eletrônica.
Libre Office	1	-	Software livre para desenvolvimento da documentação do projeto.
<b>Valor total do Projeto</b>		<b>R\$2.427,00</b>	Não foram incluídos os gastos com utilização de transporte automotivo até as lojas.

## 5.5 Avaliação global do modelo

Um problema detectado na implementação do GEE foi a deteriorização rápida que o disco de rotação sofrerá devido às intempéries climáticas, pois fora feito de madeira. Porém, para a aplicação do modelo proposto, focou-se na implementação de um protótipo que não foi exposto às ações das intempéries da natureza.

Caso o protótipo venha a ser instalado em um ambiente aberto, num prédio de um condomínio, por exemplo, seu disco de rotação deverá passar por uma adequação, devendo ser alterado o material de que é feito para um mais resistente, como o acrílico ou a folha de latão inoxidável, por exemplo. Sendo que este último é o material ideal por ser o mesmo utilizado na fabricação do exaustor eólico.

Outro problema identificado no GEE foi a ausência de proteção do mecanismo polia-gerador contra as intempéries climáticas. Uma solução para isto é a implementação de uma cúpula de acrílico (tipo guarda-chuva) que pode ser afixada no centro do eixo do exaustor. Assim, o mecanismo ficará protegido. Esta solução não foi adotada porque não houve tempo hábil para pô-la em prática.

Um ponto forte do GEE é seu baixo custo de implementação e a possibilidade de utilizá-lo como fonte de alimentação para recarga de dispositivos móveis como celulares, *iPods*, *tablets* etc e como carregador de baterias, limitadas à tensões de até 4,5 V.

O principal ganho advindo da realização deste trabalho é a aplicação prática dos conhecimentos teóricos adquiridos durante o curso de graduação em engenharia de computação.

## 6 CONCLUSÃO

### 6.1 Conclusões

Gerar energia elétrica por meio de correntes de convecção não é uma tarefa simples e fácil. Isto foi constatado com a verificação da limitação da velocidade de rotação do exaustor eólico, o que é fator relevante a se considerar na geração de energia elétrica. Apesar desta limitação, a implementação do modelo proposto demonstrou que é possível utilizar as correntes de convecção do ar existentes nos ambientes internos das edificações para a geração de energia elétrica para iluminação de pequenos ambientes.

O objetivo principal deste trabalho que é desenvolver um gerador de energia elétrica em tensão contínua com utilização da força eólica gerada pelas correntes de convecção existentes em prédios residenciais, comerciais, etc., foi parcialmente atingido, pois o GEE foi desenvolvido e testado em laboratório utilizando-se correntes de ar provenientes de um ventilador elétrico, porém não foi instalado numa edificação para a verificação de seu funcionamento com correntes de convecção.

O outro objetivo, que é a promoção da diminuição no consumo de energia elétrica com geração de energia limpa e renovável, foi atingido por meio da implementação do modelo proposto neste trabalho, o qual se demonstrou factível.

Com os resultados apresentados na tabela 5.1, conclui-se que o exaustor eólico deve atingir entre 800 e 890 RPM para se obter um percentual de iluminação satisfatório, pois há maior carga elétrica gerada pelo módulo GEE. As rotações do exaustor abaixo de 600 RPM não se demonstraram satisfatórias para a intensidade luminosa da luz *led* ser adequada, mas proporcionaram carga elétrica para armazenamento na bateria, cuja carga total próxima da nominal de 3,6 Volts é atingida após 10 horas de sua energização.

A implementação do protótipo GEE mostrou a viabilidade de geração de energia elétrica em tensão contínua devido ao seu custo-benefício. Ademais, uma edificação como a que foi utilizada na pesquisa de campo do exaustor eólico com 12 exaustores tem um potencial de geração de  $12 \times 3,6$  Volts, ou seja, cerca de 43,2 Volts caso sejam utilizados 12 módulos MCT de geração em série.

## 6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestão para trabalhos futuros as seguintes melhorias são indicadas para serem realizadas nos módulos mecânico, elétrico e eletrônico do GEE:

- Parte mecânica: pode-se criar um mecanismo de engrenagens a fim de aumentar a velocidade de rotação do mecanismo polia-gerador do GEE. É interessante projetar um mecanismo que seja acoplado internamente ao exaustor eólico, o que evitaria problemas com as intempéries climáticas.
- Módulo elétrico: o gerador elétrico pode ser substituído por um de maior potencial elétrico, desde que seu torque não interfira na rotação do exaustor elétrico.
- Módulos eletrônicos (MCT): o módulo inversor pode ser melhorado para tratar uma faixa maior de tensão elétrica em sua entrada que seja acima de 3 Volts e o transformador pode ser substituído por um com uma relação de transformação maior; o módulo medidor de tensão pode ser alterado para medir não só a tensão de entrada, mas também a tensão de saída e a corrente, calculando-se quantos watts estão sendo produzidos.

## REFERÊNCIAS

- (IAN, 2009) WOOFENDEN, Ian. *Wind Power For Dummies*, Editora Jonh Wiley Consumer, 1ª edição, 2009, p.155.
- (REIS, 2011) REIS, Lineu Bélico dos. *Geração de Energia Elétrica*. 2ª edição rev. atu. Editora Manole, 2011, pp. 14-20; pp. 241-244.
- (SILVA et al., 2004) SILVA, P.B.L.; MAULER JÚNIOR, J.; CALÇADA, L.A., SCHEID, C.M. Levantamento das curvas características de um exaustor eólico II. *Revista Universidade Rural: Série Ciências Exatas e da Terra, Seropédica, RJ: EDUR*, v.23, n.1-2, pp. 69-75, jan.- dez., 2004
- (MALVINO, 1995) MALVINO, Albert Paul; *Eletrônica: volume 1*; tradução Romeu Abdo; 4a. ed. São Paulo: Makron Books, 1995. cap. 4 p.102, cap.12 p. 495.
- (MALVINO, 1995) MALVINO, Albert Paul; *Eletrônica: volume 2*; tradução Romeu Abdo; 4a. ed. São Paulo: Makron Books, 1995. cap. 18.
- (PEREIRA, 2007) PEREIRA, Fábio; *Microcontroladores PIC: Programação em C / Fábio Pereira*. -- 7. Ed. -- São Paulo: Érica, 2007. cap. 12 pp. 318 - 322.
- Páginas de internet:
- <http://www.arnatural.com.br/exaustor-exaustores-eolicos.php> Disponível em 21/09/2011.
- <http://www.arnovo.com.br/intr.htm> Disponível em 21/09/2011.
- <http://www.calhasipanema.com.br/eolico.html> Disponível em 21/09/2011.
- <http://www.liderexaustores.com.br/apresentacao.htm> Disponível em 21/09/2011.
- <http://www.ferroarte.com.br/old/info.htm> Disponível em 21/09/2011.
- <http://fluxoarventilacao.kit.net/index3.html> Disponível em 21/09/2011.
- <http://rotiv.com.br/pt/produto/1/exaustor-eolico> Disponível em 21/09/2011.

(Órion, 2011) [http://www.wix.com/jenini\\_nina/orionexaustores/tipos-de-instalacao-eolica#!\\_\\_tipos-de-instalacao-eolica](http://www.wix.com/jenini_nina/orionexaustores/tipos-de-instalacao-eolica#!__tipos-de-instalacao-eolica) Disponível em 21/09/2011.

<http://www.casaautonoma.com.br/pages/SOLUCOES.htm> Disponível em 28/09/2011.

<http://www.acsgeradores.com.br/produtos.htm> Disponível em 28/09/2011.

<http://www.exaustoreolico.com.br/especif.htm> Disponível em 28/02/2013.

<http://www.exaustoreolico.com.br/caracteritica.htm> Disponível em 28/02/2013.

<http://www.luftmaxi.com.br/index.php?pg=exaustoreolico> acessado em 28/02/2013.

<http://www.editora.ufrj.br/revistas/exatas/rce/v%2023%201-2/8.pdf> Disponível em 28/02/2013.

<http://www.arnovo.com.br/intr.htm> Disponível em 28/02/2013.

[http://minerva.ufpel.edu.br/~egcneves/biblioteca/caderno\\_elet/cap\\_08.pdf](http://minerva.ufpel.edu.br/~egcneves/biblioteca/caderno_elet/cap_08.pdf) Disponível em 25/04/2013.

**APÊNDICES****APÊNDICE I - Autorização de Acesso****AUTORIZAÇÃO DE ACESSO**

Autorizo o senhor CASSIUS CLAY ALVES DOS SANTOS, portador da R.G. 862608 SSP/DF, e de seus acompanhantes/assistentes, devidamente identificados nesta autorização, a adentrarem nas áreas públicas e no telhado/terraço do

\_\_\_\_\_

para fins de levantamento de dados para sua pesquisa sobre exaustores eólicos. A sua entrada será no período de \_\_\_\_\_ horas até \_\_\_\_\_ horas do dia \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_, devendo ser acompanhada pelo zelador ou funcionário responsável pela vigilância da edificação.

Brasília, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2013.

\_\_\_\_\_  
SÍNDICO ou RESPONSÁVEL

DADOS DE ACOMPANHANTES:

NOME: \_\_\_\_\_

R.G: \_\_\_\_\_

NOME: \_\_\_\_\_

R.G: \_\_\_\_\_

**APÊNDICE II - Termo de Isenção de Responsabilidade****TERMO DE ISENÇÃO DE RESPONSABILIDADE**

Eu, CASSIUS CLAY ALVES DOS SANTOS, portador da R.G 862608, SSP/DF, aluno do curso de Engenharia de Computação do Uniceub, residente no Condomínio Jardins do Lago Q.2, Conjunto E, casa 1 Brasília/DF, isento de qualquer responsabilidade o síndico e os moradores do

---

no caso de ocorrência de ferimentos, invalidez ou morte decorrentes de minha permanência no edifício do endereço citado para efetuar pesquisa de campo para fins de desenvolvimento de meu projeto final de graduação no Curso de Engenharia de Computação no ano de 2013. Assumo toda responsabilidade sobre minha integridade física enquanto eu estiver efetuando levantamento para pesquisa sobre exaustores eólicos que, geralmente, se localizam no telhado das edificações. A minha permanência no local da pesquisa será de \_\_\_\_\_ horas até as \_\_\_\_\_ horas do dia \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

Brasília, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2013.

---

CASSIUS CLAY ALVES DOS SANTOS

Aluno de Eng. de Computação do Uniceub

### APÊNDICE III – Planilha com a coleta de informações sobre RPM

Tabela III.1 Medições do RPM do Exaustor Eólico

Identificador do Exaustor	Raio (cm)	Maior RPM	Menor RPM	RPM Médio	Temperatura Ambiente (°C)	Horário da medição	Sequencial da Medição	Tipo do Adaptador
Exaustor 1	26	478,8	347,8	347,8	30	09:20	1	MC
Exaustor 1	26	862,9	768,8	806	32	09:22	2	MC
Exaustor 1	26	1012	834,2	976	33	09:24	3	MC
Exaustor 1	26	247,8	95,7	178,7	33	09:26	4	VS
Exaustor 1	26	400,5	321,9	321,9	33	09:28	5	VS
Exaustor 1	26	379,9	318,5	318,5	33	09:30	6	VS
Exaustor 1	7	88,9	61,9	72,9	34	09:32	7	VS
Exaustor 1	7	87,1	71,7	71,7	35	09:34	8	VS
Exaustor 1	7	84,4	64,4	82,4	36	09:36	9	VS
Exaustor 1	7	277,4	175,5	194,9	36	09:38	10	MC
Exaustor 1	7	252,2	191,2	195,1	36	09:40	11	MC
Exaustor 1	7	169,4	130,6	152,7	36	09:42	12	MC
Exaustor 2	26	969,8	858,6	893,4	37	09:50	1	MC
Exaustor 2	26	936	636,9	721,1	37	09:50	2	MC
Exaustor 2	26	900,4	642,6	642,6	37	09:51	3	MC
Exaustor 2	7	149,8	85,8	109,9	37	09:52	4	MC
Exaustor 2	7	183,3	135,6	172,4	38	09:52	5	MC
Exaustor 2	7	335,8	178,0	258,2	39	09:53	6	MC
Exaustor 2	26	427,2	312,0	312,0	39	09:54	7	VS
Exaustor 2	26	312,6	237,1	238,7	39	09:55	8	VS
Exaustor 2	26	438,3	326,4	372,2	40	09:56	9	VS
Exaustor 2	7	104,4	79,8	79,8	41	09:57	10	VS
Exaustor 2	7	76,0	65,7	67,4	41	09:57	11	VS
Exaustor 2	7	68,4	54,3	68,2	41	09:58	12	VS
Exaustor 3	26	338,2	186,1	267,7	40	10:00	1	VS
Exaustor 3	26	412,2	355,6	403,9	40	10:00	2	VS
Exaustor 3	26	360,5	244,3	244,3	40	10:01	3	VS
Exaustor 3	7	85,9	69,7	81,9	40	10:02	4	VS
Exaustor 3	7	118,8	103,4	114,2	40	10:03	5	VS
Exaustor 3	7	107,5	68,3	68,3	40	10:04	6	VS
Exaustor 3	26	472,4	204,3	204,3	40	10:05	7	MC
Exaustor 3	26	540,5	280,2	280,2	41	10:06	8	MC
Exaustor 3	26	565,8	327,2	327,3	41	10:07	9	MC
Exaustor 3	7	208,9	157,9	202,7	41	10:08	10	MC
Exaustor 3	7	196,5	153,9	159,0	41	10:09	11	MC
Exaustor 3	7	154,7	128,5	143,0	41	10:10	12	MC
Exaustor 4	26	531,1	349,2	384,6	40	10:12	1	MC
Exaustor 4	26	614,7	462,8	472	40	10:12	2	MC

Exaustor 4	26	523,2	403	451,7	39	10:13	3	MC
Exaustor 4	7	235,7	198,3	198,3	38	10:14	4	MC
Exaustor 4	7	194,3	148,4	148,4	37	10:14	5	MC
Exaustor 4	7	165,7	142,4	152,4	36	10:15	6	MC
Exaustor 4	26	232,6	154,7	154,7	36	10:16	7	VS
Exaustor 4	26	147,4	124,8	124,8	35	10:17	8	VS
Exaustor 4	26	168,2	146,6	146,6	34	10:18	9	VS
Exaustor 4	7	52,2	38,2	43,2	34	10:19	10	VS
Exaustor 4	7	58,1	44,4	44,9	34	10:19	11	VS
Exaustor 4	7	83,6	60,6	83,6	34	10:20	12	VS
Exaustor 5	26	326,7	278,9	278,9	34	10:22	1	VS
Exaustor 5	26	389,6	252,3	255,9	34	10:22	2	VS
Exaustor 5	26	224,3	154,5	160,1	35	10:23	3	VS
Exaustor 5	7	76,5	56,5	76,5	35	10:23	4	VS
Exaustor 5	7	195,4	167,5	176,1	35	10:24	5	VS
Exaustor 5	7	123,4	73,4	88,3	35	10:24	6	VS
Exaustor 5	26	669,9	273,4	274,9	35	10:25	7	MC
Exaustor 5	26	792,1	478,3	478,3	35	10:25	8	MC
Exaustor 5	26	421,5	297,0	297,6	35	10:26	9	MC
Exaustor 5	7	185,9	137,3	154,1	36	10:26	10	MC
Exaustor 5	7	228,2	172,5	220,5	36	10:27	11	MC
Exaustor 5	7	278,1	201,3	276,9	36	10:27	12	MC
Exaustor 6	26	830,6	437,6	437,6	36	10:32	1	MC
Exaustor 6	26	349,9	174,8	181,1	36	10:32	2	MC
Exaustor 6	26	275,8	194,5	275,8	36	10:33	3	MC
Exaustor 6	26	202,9	140,5	199,6	37	10:33	4	MC
Exaustor 6	26	238,1	174,9	181,2	37	10:34	5	MC
Exaustor 6	26	274,0	215,8	22,7	37	10:35	6	MC
Exaustor 6	7	228,1	101,7	101,7	38	10:36	7	VS
Exaustor 6	7	295,7	175,0	295,7	38	10:37	8	VS
Exaustor 6	7	401,5	314,1	314,1	38	10:37	9	VS
Exaustor 6	7	65,8	43,0	43,7	38	10:38	10	VS
Exaustor 6	7	58,3	40,3	66,1	39	10:39	11	VS
Exaustor 6	7	82,8	54,9	55,9	39	10:40	12	VS

## APÊNDICE IV – Escala de percepção subjetiva de luminância

**Tabela IV.1** Percentual de Percepção de Intensidade Luminosa - PPIL

Tempo Decorrido (segundos)	Is(mA)	Ts(V)	PPIL
1	19,80	3,17	100%
2	15,40	3,15	78%
3	11,00	2,92	56%
4	9,10	2,88	46%
5	8,00	2,85	40%
6	7,30	2,83	37%
7	7,00	2,80	35%
8	6,80	2,81	34%
9	6,40	2,80	32%
10	5,90	2,79	30%
11	5,90	2,78	30%
12	5,50	2,77	28%
13	5,10	2,76	26%
14	4,90	2,75	25%
15	4,60	2,74	23%
16	4,20	2,73	21%
17	4,00	2,72	20%
18	3,60	2,71	18%
19	3,30	2,70	17%
20	3,10	2,69	16%
21	2,80	2,68	14%
22	2,60	2,67	13%
23	2,40	2,66	12%
24	2,10	2,65	11%
25	2,00	2,64	10%
26	1,80	2,63	9%
27	1,60	2,62	8%
28	1,40	2,61	7%
29	1,10	2,58	6%
30	0,80	2,56	4%
31	0,70	2,55	4%
32	0,60	2,54	3%
33	0,50	2,53	3%
34	0,40	2,52	2%
35	0,40	2,51	2%
36	0,30	2,50	2%

37	0,30	2,49	2%
38	0,20	2,48	1%
39	0,20	2,47	1%
40	0,20	2,46	1%
41	0,10	2,45	1%
42	0,08	2,44	0,4%
43	0,07	2,43	0,4%
44	0,05	2,42	0,3%

Observações:

Bateria inicialmente carregada com 3,17V e, logo após, foi ligado o interruptor da luz led.

Os valores foram lidos por meio de um vídeo gravado durante a descarga da bateria.

## APÊNDICE V – Listagem do código fonte do programa do MCT em linguagem C

```

/* Autor: Cassius Clay A Santos
   Data: 19/04/2013
   Desc: Este programa utiliza um PIC16F877A para fazer a leitura da
         tensão nos canais RA2 e RA1, tendo o comportamento de um
         voltímetro com faixa de leitura de 0 a 5V. Para ampliar essa
         faixa, os valores de entrada são divididos por 10 e
         apresentados na escala de 0 a 50V.
*/

// Lcd pinout settings
sbit LCD_RS at RB4_bit;
sbit LCD_EN at RB5_bit;
sbit LCD_D7 at RB3_bit;
sbit LCD_D6 at RB2_bit;
sbit LCD_D5 at RB1_bit;
sbit LCD_D4 at RB0_bit;

// Pin direction
sbit LCD_RS_Direction at TRISB4_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISB5_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISB3_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISB2_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISB1_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISB0_bit;

// Defines
#define ADC_RA0 0
#define ADC_RA1 1
#define ADC_RA2 2
#define versao "v1.59"

// Protótipos das funções
unsigned long leMediaADC(unsigned char channel, unsigned int qtReads);
void mostraSaidaF( unsigned long valor);
// Variáveis globais
unsigned long uiValADC;

// Corpo principal do programa
void main()
{
    Lcd_Init();
    ADC_Init();

    ADCON1 = 0x0B ;    // ADC convertors will be used with AN2 and AN3
    CMCON  = 0x07 ;    // turn off comparators
    PORTA  = 255;
    TRISA  = 255;      // Define os pinos da PORTA como entradas.
    Lcd_Cmd( _LCD_CURSOR_OFF );

```

```

    Lcd_Out( 1, 1, "E:");
    Lcd_Out( 2, 1, versao);
    Delay_ms(2000);
    while(1){
        uiValADC = leMediaADC( ADC_RA2, 50 );
        mostraSaidaF( uiValADC );
    }
}
/*
* Converte a saida para string e mostra no display LCD
*/
void mostraSaidaF(unsigned long valor){
    char sSaida[12];
    char sEnt[7];
    float tensaoVolt;
    // Saída é calculada com escala de 5000 mV divididos por 1024 bits.
    // Cada milivolt lido pelo ADC é multiplicado por 5000/1024 ou
    //4,8828125 (fator).
    // O resultado é multiplicado por 0,001 para ser visualizado em Volts.
    // tensaoVolt = (( (valor + 1 ) * 4 + ((valor + 1) * 113) ) ) / 128;
    tensaoVolt = valor * 0.0048828125;
    FloatToStr( tensaoVolt , sSaida );
    Lcd_Out( 1, 3 , sSaida);
    Lcd_Out( 1, 9 , " V");
    IntToStr( valor , sEnt );
    Lcd_Out( 2, 1, sEnt);
    Delay_ms(100);
}
/*
* Faz uma quantidade qtReads de leituras no canal channel,
* calcula a média das leituras e retorna o valor médio lido.
*/
unsigned long leMediaADC(unsigned char channel,
                        unsigned int qtReads){
    int i;
    unsigned long ret;
    unsigned long totalLeituras = 0;
    // Faz qtReads leituras
    for( i = 0; i < qtReads; i++){
        ret = ADC_Read( channel );
        Delay_ms(20);
        totalLeituras += ret;
    }
    ret = (totalLeituras / qtReads);
    return ret;
}

```

## ANEXOS

ANEXO A – *Datasheet do PIC16F877*


---



---

**28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers**


---



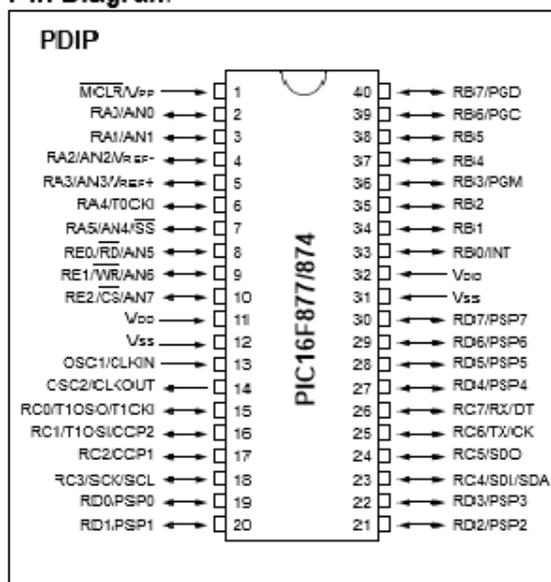
---

**Devices Included in this Data Sheet:**

- PIC16F873                      • PIC16F876
- PIC16F874                      • PIC16F877

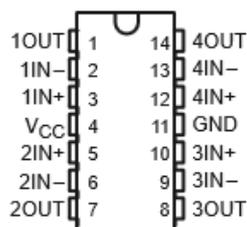
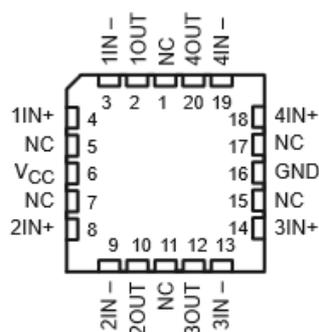
**Microcontroller Core Features:**

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input  
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,  
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)  
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and  
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC  
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM  
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two  
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature  
ranges
- Low-power consumption:
  - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz

**Pin Diagram****Peripheral Features:**

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,  
can be incremented during SLEEP via external  
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period  
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master  
mode) and I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver  
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address  
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with  
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for  
Brown-out Reset (BOR)

ANEXO B – *Datasheet* do amplificador operacional LM324
**LM124, LM124A, LM224, LM224A  
LM324, LM324A, LM324Y, LM2902, LM2902Q**  
**QUADRUPLÉ OPERACIONAL AMPLIFIERS**

 LM124, LM124A . . . J OR W PACKAGE  
 ALL OTHERS . . . D, DB, N OR PW PACKAGE  
 (TOP VIEW)

 LM124, LM124A . . . FK PACKAGE  
 (TOP VIEW)


NC – No internal connection

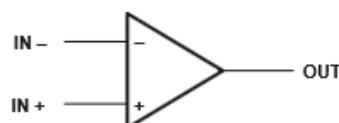
- **Wide Range of Supply Voltages:**  
Single Supply . . . 3 V to 30 V  
(LM2902 and LM2902Q  
3 V to 26 V), or Dual Supplies
- **Low Supply Current Drain Independent of Supply Voltage . . . 0.8 mA Typ**
- **Common-Mode Input Voltage Range Includes Ground Allowing Direct Sensing Near Ground**
- **Low Input Bias and Offset Parameters:**  
Input Offset Voltage . . . 3 mV Typ  
A Versions . . . 2 mV Typ  
Input Offset Current . . . 2 nA Typ  
Input Bias Current . . . 20 nA Typ  
A Versions . . . 15 nA Typ
- **Differential Input Voltage Range Equal to Maximum-Rated Supply Voltage . . . 32 V (26 V for LM2902 and LM2902Q)**
- **Open-Loop Differential Voltage Amplification . . . 100 V/mV Typ**
- **Internal Frequency Compensation**

**description**

These devices consist of four independent high-gain frequency-compensated operational amplifiers that are designed specifically to operate from a single supply over a wide range of voltages. Operation from split supplies is also possible when the difference between the two supplies is 3 V to 30 V (for the LM2902 and LM2902Q, 3 V to 26 V) and  $V_{CC}$  is at least 1.5 V more positive than the input common-mode voltage. The low supply current drain is independent of the magnitude of the supply voltage.

Applications include transducer amplifiers, dc amplification blocks, and all the conventional operational amplifier circuits that now can be more easily implemented in single-supply-voltage systems. For example, the LM124 can be operated directly from the standard 5-V supply that is used in digital systems and easily provides the required interface electronics without requiring additional  $\pm 15$ -V supplies.

The LM2902Q is manufactured to demanding automotive requirements.

**symbol (each amplifier)**

ANEXO C – *Datasheet do LCD-016M002L***LCD-016M002L**

Vishay

16 x 2 Character LCD



PIN NUMBER	SYMBOL	FUNCTION
1	Vss	GND
2	Vdd	+ 3V or + 5V
3	Vo	Contrast Adjustment
4	RS	H/L Register Select Signal
5	R/W	H/L Read/Write Signal
6	E	H → L Enable Signal
7	DB0	H/L Data Bus Line
8	DB1	H/L Data Bus Line
9	DB2	H/L Data Bus Line
10	DB3	H/L Data Bus Line
11	DB4	H/L Data Bus Line
12	DB5	H/L Data Bus Line
13	DB6	H/L Data Bus Line
14	DB7	H/L Data Bus Line
15	A/Vee	4.2V for LED(RA = 0Ω)/Negative Voltage Output
16	K	Power Supply for B/L (OV)

**DIMENSIONS** in millimeters