

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

JOSÉ ISAAC DA SILVA CALGARO
BRUNO FERREIRA DE LIMA

SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE EM
MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA (MCH)

TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

PATO BRANCO

2013

**JOSÉ ISAAC DA SILVA CALGARO
BRUNO FERREIRA DE LIMA**

**SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE EM
MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA (MCH)**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso de Tecnologia em Automação Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Bertotti

**PATO BRANCO
2013**

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de diplomação intitulado “Sistema Regulação de Velocidade em Micro Central Hidrelétrica (MCH) “ foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° **153** de 2013.

Fizeram parte da banca os professores:

Fábio Luiz Bertotti

Professor Orientador

César Augusto Portolann

Johnny Werner

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos familiares, amigos, que sempre nos deram apoio com incentivos para aprimorar nosso conhecimento através dos estudos, as pessoas que duvidaram da nossa capacidade, com isso nos deram uma maior dedicação para a elaboração e conclusão desta monografia.

Agradecemos também aos professores da UTFPR que nos acompanharam na busca de novos conhecimentos e nos apoiaram para nossa formação profissional, em especial aos Professores Fabio Luiz Bertotti e César Augusto Portolann, que nos orientaram durante nossa pesquisa. Também às pessoas não mencionadas que de alguma forma nos auxiliaram, quando oportuno será dirigido o agradecimento.

RESUMO

CALGARO, José Isaac; LIMA, Bruno. **Sistema Regulação de Velocidade em Micro Central Hidrelétrica (MCH)**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Automação Industrial) – Programa de Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

As Micro Centrais Hidrelétrica (MCH) estão surgindo em pequenas e médias propriedades rurais onde existe potencial hídrico e há dificuldade das concessionárias levar linhas de transmissão até estes locais remotos. Nestas centrais são instalados geradores síncronos de energia em turbinas com capacidade de geração de até 120 KVA. Um dos problemas encontrados é manter a frequência estável em 60 Hz quando ocorrem variações de carga. Para manter a frequência constante, geralmente, um dos métodos consiste em manter a velocidade angular do eixo do gerador também constante. O presente trabalho propõe um sistema de regulação de velocidade onde a velocidade do gerador é mantida constante através do ajuste do fluxo de água que entra na turbina. O sistema de regulação de velocidade utiliza um sistema microcontrolado que obtém a velocidade do gerador através de um encoder e atua através de um circuito de acionamento para um motor elétrico, o qual se conecta a uma válvula tipo borboleta que ajusta a vazão de entrada da turbina. O sistema proposto foi implementado e testado em uma MCH, demonstrando regular adequadamente a velocidade do gerador e, conseqüentemente, a frequência da tensão gerada.

Palavras-chave: Micro Central Hidrelétrica, encoder, sistema microcontrolado, geração de energia, regulador de velocidade.

ABSTRACT

CALGARO, Joseph Isaac; LIMA, Bruno. Speed Regulation System in Micro Hydropower (MHC). In 2013. Labor Course Completion (Graduation in Technology in Industrial Automation) - Graduate Program in Technology, Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2013.

Micro Hydroelectric Central (MCH) are emerging in small and medium-sized farms, where there is no water potential and difficulty of dealerships carry transmission lines to these remote locations. These plants are installed synchronous generators in power generation turbines with a capacity of up to 120 KVA. One of the problems encountered is maintaining a stable frequency of 60 Hz when load changes occur. To maintain the constant frequency, usually, one method is to maintain the angular speed of the generator shaft also constant. This paper proposes a system of regulation where the speed of the generator speed is kept constant by adjusting the flow of water entering the turbine. The speed control system uses a microcontroller to get the speed of the generator through an encoder and operates through a drive circuit for an electric motor, which connects to a butterfly valve that adjusts the flow inlet turbine. The proposed system was implemented and tested on a MCH showing properly regulate the generator speed and hence the frequency of the generated voltage.

Keywords: Micro Hydropower, encoder, system microcontroller, power generation, speed regulator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de uma MCH.	15
Figura 2: Funcionamento de um encoder óptico.	22
Figura 3: Encoder incremental	22
Figura 4: Encoder absoluto	23
Figura 5: Diagrama em blocos do sistema.	25
Figura 6: Sistema de excitação	27
Figura 7: Microcontrolador MSP430G2553	28
Figura 8: Esquema de ligação do encoder incremental.	29
Figura 9: Válvula borboleta.....	30
Figura 10: Diagrama esquemático do sistema microcontrolado e do circuito de acionamento.....	32
Figura 11: Fluxograma regulador de velocidade.	33
Figura 12: Circuito de alimentação do microcontrolador.	35
Figura 13: Circuito de alimentação do encoder.	35
Figura 14: Circuito de alimentação do display.....	35
Figura 15: – Encoder incremental instalado.....	36
Figura 16: – Válvula elétrica implantada	37
Figura 17: – Display LCD 16 X 2.....	38
Figura 18 – Regulador de velocidade.....	39
Figura 19: - Sistema automatico em funcionamento.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características do display de LCD 16 X 2	29
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	<i>Amperes</i>
CI	<i>Circuito Integrado</i>
CISC	<i>Computador Com Set Complexo De Instruções</i>
DSPs	<i>Sinal Digital Processado</i>
F	<i>Frequência</i>
PWM	<i>Modulação Por Lugar De Pulso</i>
Q	<i>Quantidade De Carga</i>
RISC	<i>Computador Com Set De Instruções Reduzido</i>
ULA	<i>Unidade Lógica Aritemética</i>
V	<i>Tensão</i>

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	9
1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos Específicos.....	13
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 GERAÇÃO DE ENERGIA.....	16
2.2 MICRO CENTRAIS HIDRELÉTRICAS	17
2.2.1 MCH - Aspectos Legais	17
2.3 REGULAÇÃO DO PROCESSO DE GERAÇÃO	18
2.4 MICROCONTROLADOR	19
2.5 ENCODER.....	21
2.5.1 Encoder incremental.....	22
2.5.2 Encoder absoluto.....	23
2.6 DISPLAY DE LCD.....	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	26
3.1.1 Gerador síncrono.....	26
3.1.2 Sistema de excitação.....	26
3.1.3 Kit microcontrolador MSP430G2553	27
3.1.4 Display de LCD 16 x 2	28
3.1.5 Encoder Incremental.....	29
3.1.6 Válvula borboleta com atuador	30
3.1.7 Software Multisim	31
3.2 METODOLOGIA	31
3.2.1 Sistema microcontrolado e circuito de acionamento.....	31
3.2.2 Software para o sistema microcontrolado.....	32
3.2.3 Alimentação do sistema.....	34
4. RESULTADOS	36

4.1 ENCODER	36
4.2 SISTEMA DE AJUSTE DE FLUXO DE ÁGUA	37
4.3 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA	37
4.4 SISTEMA MICROCONTRADO	38
4.6 TESTES FINAIS	39
5 CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

A independência energética, a possibilidade de trazer lucros ao proprietário com a venda de energia elétrica e também agregando valor a propriedade rural através da geração de energia é ideal para o melhoramento das áreas rurais, como também o desenvolvimento equilibrado de um país que visa a qualidade de vida e necessita de eletricidade, seja para iluminação, funcionamento de eletrodomésticos ou entretenimento. Os locais onde ainda não possui energia elétrica, a solução é utilizar algum tipo de recurso que possa gerar energia ou para disponibilizar maiores ofertas de potência elétrica, incentivando comunidades rurais a investirem em suas atividades, permitindo inclusive a venda de energia.

Atualmente, nas indústrias, comércio, lares, a automação está sendo aplicada cada vez mais, trazendo praticidade e conforto para todos, e proporcionando mais comodidade às pessoas em inúmeras áreas de atividades e serviços que exigem trabalho manual ou muita atenção, permitindo assim um melhor desempenho e reduzindo a probabilidade de falhas.

O agricultor ou pecuarista pode contribuir para o desenvolvimento sustentável de sua região ofertando energia elétrica, que é um elemento chave para a manufatura de produtos e prestação de serviços. A industrialização visa agregar valor a produtos antes vendidos “in natura” e prestar serviços que demandem energia elétrica. Tipicamente, o produtor rural recebe eletricidade por meio de rede elétrica monofásica proveniente de concessionárias onde a potência é limitada e, muitas vezes, insuficiente para a manufatura. Assim, a partir de uma micro central hidrelétrica com a base já estabelecida (reservatório, tubulação, válvula para restringir o fluxo d’água, turbina e gerador), é possível agregar uma fonte de energia renovável para suprir as necessidades.

No setor de geração de energia, inclusive em micros centrais hidrelétricas, são utilizados sistemas automatizados para assegurar o funcionamento adequado do processo de geração, como a regulação de velocidade de um gerador síncrono, que é o fator determinante para manter a frequência nominal do gerador. Os sistemas hidráulicos de controle de velocidade são utilizados em turbinas do tipo Francis e Pelton, por exemplo. Estes sistemas atuam na inclinação das aletas da turbina para direcionar o fluxo da água de maneira a controlar a força hidráulica

sobre o rotor da turbina. Em turbinas do tipo roda da água as aletas são fixas e seu ajuste por um sistema hidráulico se tornaria inviável.

Uma solução para regular a velocidade do rotor de uma turbina do tipo roda da água consiste em ajustar o fluxo de água que entra na turbina. Isso poder ser feito ajustando a vazão de entrada através de uma válvula mecânica do tipo borboleta, por exemplo. Um sistema eletromecânico formado por um motor elétrico atuando na posição da válvula pode ser utilizado em conjunto com um sistema de controle eletrônico. Medindo-se a velocidade do rotor é possível atuar na válvula através do sistema eletromecânico, para ajustar o fluxo de água injetado na turbina.

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de regulação de velocidade de baixo custo aplicado a uma MCH que possibilita o monitoramento e ajuste da rotação do gerador, através do controle da vazão da água que entra na turbina, visando manter a frequência da tensão gerada constante quando há variações de carga. Neste sistema foi empregado um microcontrolador, um encoder e um circuito de acionamento com contadores para o motor da válvula tipo borboleta.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Regular a velocidade de uma turbina conectada ao eixo de um hidrogerador de 120KVA, baseado em microcontrolador, visando a viabilidade técnica e econômica do empreendimento, pois os fornecedores de equipamentos existentes neste mercado são escassos e priorizam potências maiores.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos compreendem:

- Implantar um ENCODER para medição da rotação do eixo do gerador;
- Utilizar um microcontrolador para realizar a medição da rotação, comparar com o set point desejado e mantê-lo através de uma

atuação de uma válvula alterando a vazão da água até um ponto que o sistema se torne estável.

- Instalar e adequar ao sistema o atuador de vazão desenvolvido pelo proprietário da MCH.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo refere-se à introdução ao sistema proposto, sua contextualização e da apresentação dos objetivos gerais e específicos. No segundo capítulo discute-se a fundamentação teórica que é o embasamento de informações necessárias a pesquisa e desenvolvimento da referente monografia, como os métodos de medição e equipamentos utilizados. No terceiro capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos empregados e os materiais necessários ao desenvolvimento. O resultado do desenvolvimento do projeto é mostrado no quinto capítulo. Por fim, o último capítulo apresenta as conclusões do trabalho, as dificuldades encontradas bem como ponderações sobre os resultados obtidos e referências.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com o crescimento do consumo de energia, aumentou também a popularização e o número de investidores no setor de geração de energia elétrica, utilizando como matéria prima a força dos ventos, a radiação solar, ou queima de combustíveis. Mas a fonte mais utilizada e responsável por cerca de 90% da energia elétrica do Brasil é a hidráulica (ELETROBRÁS, 1985).

O aproveitamento hídrico é uma boa solução para áreas rurais que tenham potencial para utiliza-los no desenvolvimento de uma Micro Central Hidrelétrica (MCH) visando o abastecimento local com geração descentralizada. Um exemplo típico deste tipo de unidade pode ser observado na Figura 1.

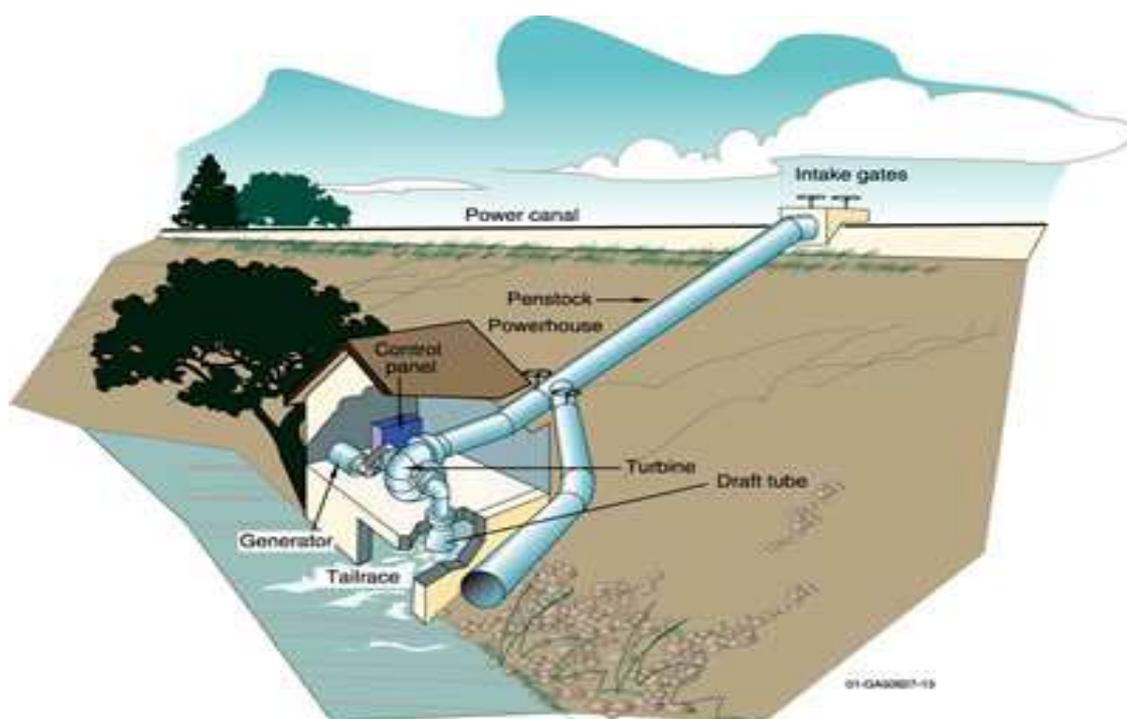


Figura 1: Exemplo de uma MCH.

Fonte: Engiobra (2013).

Uma Usina Hidrelétrica (UHE) é constituída basicamente por (ELETROBRÁS, 1985):

- a) Barragem - que tem por objetivo interromper parte ou todo o curso do rio para condicionar o fluxo de água e formar um reservatório;

- b) Sistema de captação e adução de água - são constituídos por túneis, canais ou condutos metálicos que têm a função de levar a água até as turbinas;
- c) Casa de força - instalações onde ficam os equipamentos como as turbinas, os geradores os transformadores e todo o sistema de proteção, controle e supervisão da geração e do consumo da energia;
- d) Vertedouro - responsável pela saída do excesso de água do reservatório.

Para todos os itens acima mencionados, os equipamentos, a mão de obra, e os softwares de supervisão e controle, tradicionalmente utilizados em UHE, são demasiadamente onerosos e superdimensionados quando implantados em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) e em MCH principalmente, como é o caso em destaque deste trabalho. Diante do exposto, este trabalho vislumbra uma oportunidade científica, tecnológica e econômica para aumentar a viabilidade do empreendimento de uma MCH, utilizando o conhecimento adquirido no curso de Tecnologia em Automação Industrial (ELETROBRÁS, 1985).

2.1 GERAÇÃO DE ENERGIA

Os primeiros sistemas de geração de energia foram produzidos, durante anos, por Thomas Edison o princípio utilizado era a geração de eletricidade em corrente contínua, possibilitando armazenar a energia gerada em baterias desenvolvidas. Com o passar do tempo, através de trabalhos com campos magnéticos rotacionais, Nikola Tesla desenvolveu o método de geração de energia por corrente alternada, proporcionando uma revolução no setor de geração, pois a geração e distribuição de energia em corrente contínua se tornava muito cara, devido a dificuldade de transformação e distribuição por longas distâncias (ELÉTROBRAS, 1985).

Existem diversos métodos para geração de energia, sendo que os primeiros sistemas de geração de energia utilizavam madeira como combustível.

Atualmente, há métodos de geração de eletricidade por petróleo, gás natural, hidroelétrico, carvão, nuclear, pequena escala a hidrogênio, solar e eólica. Desta forma, a disponibilização de diversos meios para geração de energia elétrica, na qual se adapta as diferentes regiões brasileiras, umas mais ricas em águas e ventos, e outras em deficiência, mas com opção solar e nuclear, pois ainda com todos esses métodos existem regiões sem energia elétrica no Brasil, por ser um custo muito elevado e burocrático (ELÉTROBRAS, 1985).

2.2 MICRO CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

No Brasil há grande incentivo para utilização das MCH, que se mostra viável para meio rurais, gerando diversos benefícios, tais como aumento na produtividade, baixo custo, independência energética e até venda de energia remanescente.

Apenas um pouco mais de 1 milhão de propriedades rurais recebem energia fornecidas das concessionárias, enquanto que os outros 4,5 milhões de propriedade rurais brasileiras tem como opção a geração de energia a diesel, solar, eólica, e por aproveitamento hídrico o que favorece a aceleração do desenvolvimento rural elétrico no país (ELETROBRÁS, 1985). Entretanto, é importante que seja feita o estudo da viabilidade da instalação da (MCH), sendo que são consideradas os micro aproveitamentos hidroenergéticos dos sistemas de potencial de 1 kW á 100 kW. Segundo Santos (2003), geralmente aqueles que fazem implementações de MCH são pessoas que não tem disponibilidade de energia por outro meio de fornecimento.

O processo de produção de energia envolve diversas variáveis como: potência do gerador (KVA), capacidade de geração (KW), velocidade de trabalho do gerador (RPM), tensão (V), corrente (A) e frequência (Hz) (ELETROBRÁS, 1985).

2.2.1 MCH - Aspectos Legais

As micros centrais hidroelétricas em aspectos legais possuem uma legislação para a exploração do potencial hidroelétrico e o registro do empreendimento. Segundo a resolução 395/1998 da ANEEL, no seu capítulo VI

artigo 22º, a geração de energia iguais ou inferiores a 1.000 kW (1MW), deverão ser informados em conformidade ao artigo 8º da lei nº 9.074 de 7 julho de 1995, seguindo formulário específico. O artigo 8º da mencionada lei afirma que o beneficiamento de potencial hidráulico igual ou inferior a 1.000 kW, e a implantação de usinas térmicas de potência igual ou inferior a 5.000 kW, estão descartadas de concessão, permissão ou autorização, com dever apenas de informar ao poder concedente para a efetuar o cadastro (ANEEL, 1995; ANEEL, 1998).

A partir de 1998, por portaria, houve a regulamentação destes dispositivos, diminuindo os procedimentos burocráticos para aprovação de projetos que tinha no antigo DNAEE (Departamento Nacional De Águas e Energia Elétrica), porém essas medidas simplificadas são somente destinadas aos potenciais hidráulicos, autorizados e fiscalizados pela união legislativa. Enquanto a recursos hídricos ou restrições ambientais, deve-se procurar à legislação estadual (ANEEL, 1998).

2.3 REGULAÇÃO DO PROCESSO DE GERAÇÃO

No processo de geração, são três os principais sistemas de regulação que atuam sobre o gerador síncrono:

1. Controle primário de velocidade;
2. Controle suplementar de carga-freqüência;
3. Controle da Excitação.

O controle primário de velocidade, que é local, basicamente monitora a velocidade do eixo do conjunto turbina-gerador e controla o torque mecânico da turbina de modo a fazer com que a potência elétrica gerada pela unidade se adapte às variações de carga. As constantes de tempo do controle primário são da ordem de alguns segundos (SIMÕES, 2000).

Como a atuação do controle primário normalmente resulta em desvios de frequência é necessário que se conte com a atuação de outro sistema de controle para restabelecer a frequência ao seu valor nominal. Este sistema é chamado controle suplementar que, no caso de sistemas interligados, tem ainda a incumbência de manter o intercâmbio de potência entre concessionárias vizinhas tão

próximo quanto possível dos valores previamente programados. Trata-se de um sistema de controle centralizado, executado no centro de operações das empresas, e cujas constantes de tempo são de ordem de minutos (SIMÕES, 2000).

Finalmente, os objetivos de controle da excitação, que é local, podem ser sumarizados como manter a tensão terminal do gerador dentro de tolerâncias especificadas e regular o fluxo de reativo entre máquinas e amortecer as oscilações do rotor da máquina quando da ocorrência de perturbações no sistema. Esta última função do regulador de tensão advém do fato de que a tensão do campo do gerador afeta significativamente o torque elétrico da máquina. As constantes de tempo do sistema de controle de excitação são da ordem de milisegundos (SIMÕES, 2000).

O processo de regulação atua de forma a manter equilibrado o sistema para adquirir o perfeito funcionamento e geração, prevenindo futuras falhas, instabilidades e até perdas na geração de energia elétrica.

2.4 MICROCONTROLADOR

O homem começou a desenvolver e dominar as máquinas no período da revolução industrial, buscando maior produtividade com praticidade e rapidez possíveis graças ao avanço dos estudos e aprimoramento de técnicas e desenvolvimentos de equipamentos que possibilitaram cada vez mais o surgimento de novas tecnologias (SOUZA, 2000).

O mundo passou por uma nova mudança com a invenção do transistor, as válvulas que tinham grande porte dimensional e consumo energético foram substituídas por transistores com pequenas dimensões e baixo consumo de energia, fazendo o mesmo trabalho das válvulas com muita maior rapidez e praticidade. Com o passar do tempo e com evolução tecnológica, surgiram circuitos integrando vários transistores em um único chip (SOUZA, 2000).

Dentre os chips desenvolvidos destacam-se os microcontroladores. Para Souza (2000), um microcontrolador é um “componente eletrônico com inteligência programável utilizado no controle de processos lógicos”, geralmente possuindo extensões como: Unidade lógica aritmética (ULA), memória de programa, memória de dados, portas de entradas e saídas (I/O), contadores, geradores de sinal PWM , entre outros. Dotado de suas características específicas, funções e facilidades fica

evidente que um microcontrolador é uma ferramenta indispensável para o desenvolvimento de novas tecnologias ou soluções de problemas cotidianos (MARTINS, 2005).

Sistemas de controle e automação são essenciais por possuir um grande poder de processamento, dispensada quando sistemas possuem uma lógica extremamente simples. Estes sistemas tem possibilidade de apresentar desde uma interface simples com o usuário por meio de um display LCD (Liquid Cristal Display) e teclado, até o complexo controle de um veículo aeroespacial. Com a definição do elemento processador, define-se a escolha das plataformas disponíveis, composta por CLPs (Controladores Lógico-Programáveis), FPGAs (Field-Programmable Gate Array), DSPs (Digital Signal Processing), PCs (embarcados ou não), entre outras (SOUZA, 2000).

Os microcontroladores, por ter custo reduzido quando comparado com processadores, se apresentam como uma das alternativas para uso em sistemas de controle, provendo confiabilidade, simplicidade, menor tempo de desenvolvimento e menor consumo de energia, apesar da capacidade limitada de processamento e memória. Os microcontroladores possuem um microprocessador encapsulados com memória, ou seja, agrupados em único circuito integrado com interface de entrada/saída de dados e dispositivos periféricos. Dentre os periféricos, estão conversores A/D (analógico/digital), temporizadores, contadores, interface para comunicação serial, watchdog programável, etc. Resumindo, são computadores encapsulados em um único invólucro (PEREIRA, 2002).

A escolha do sistema de controle a ser utilizado varia de acordo com as necessidades do projeto, tais como a capacidade de processamento necessária, memória, linguagem de programação, capacidade de atuar em sistemas de controle em tempo real, consumo de energia, custo, entre outros aspectos.

Atualmente, no mercado mundial, é possível encontrar diversos fabricantes de microcontroladores que fornecem chips específicos para cada tipo de aplicação. Dentre os fabricantes mais conhecidos, destacam-se as seguintes empresas: Analog Devices, Atmel, Cypress, On Semiconductor, Hitachi, Holtek Semiconductor, Intel, Microchip, Motorola, National Semiconductors, Renesas Technology e Texas Instruments (MARTINS, 2005).

2.5 ENCODER

Em processos de geração de energia, a velocidade é uma das principais variáveis a ser controlada. A medição desta variável é extremamente importante, pois tem que ser feita de maneira eficiente e precisa, uma vez que uma variação mesmo que mínima na velocidade pode gerar em uma deformidade na geração final.

Em um sistema elétrico, para se medir a velocidade é necessário utilizar um dispositivo que transforme a grandeza mecânica em uma grandeza elétrica. Um desses dispositivos existentes é conhecido como encoder e é largamente utilizado na indústria, possibilitando medir com precisão o deslocamento ou velocidade. (AUTONICS CORPORATION, 2007).

Um encoder é um dispositivo eletromecânico que conta ou reproduz pulsos elétricos a partir do movimento rotacional ou deslocamento linear em seu eixo. Pode ser definido também como um transdutor de posição angular ou linear, gerando um pulso para um determinado incremento de rotação do eixo ou um pulso para uma determinada distância linear percorrida. O encoder também é utilizado para medir velocidade, uma vez que medindo a distância total percorrida (através da contagem dos pulsos na saída do encoder) e o tempo necessário para esta distância ser percorrida, consegue-se calcular a velocidade (AUTONICS CORPORATION, 2007).

Existem diversos tipos de encoder, tais como magnético, de contato, resistivo, e óptico. O tipo de encoder mais utilizado é o óptico devido a sua precisão e confiabilidade. Os encoders ópticos operam por meio de um disco com ranhuras ou aberturas transparentes, que se move entre uma fonte de luz (seja visível ou infravermelha) e um detector, conforme mostra a Figura 2. Este disco é acoplado mecanicamente em um eixo. À medida que o eixo começa a girar, o disco passa entre a fonte e o detector, fazendo com que o feixe de luz seja interrompido quando encontra uma parte fechada e seja novamente liberado quando passar por uma abertura transparente, gerando assim um sinal pulsante. A fonte de luz pode ser um Diodo Emissor de Luz (LED), um diodo infravermelho ou uma pequena lâmpada incandescente. Já o detector normalmente é um fototransistor ou mais comumente um diodo fotovoltaico (OLIVEIRA, 2007).

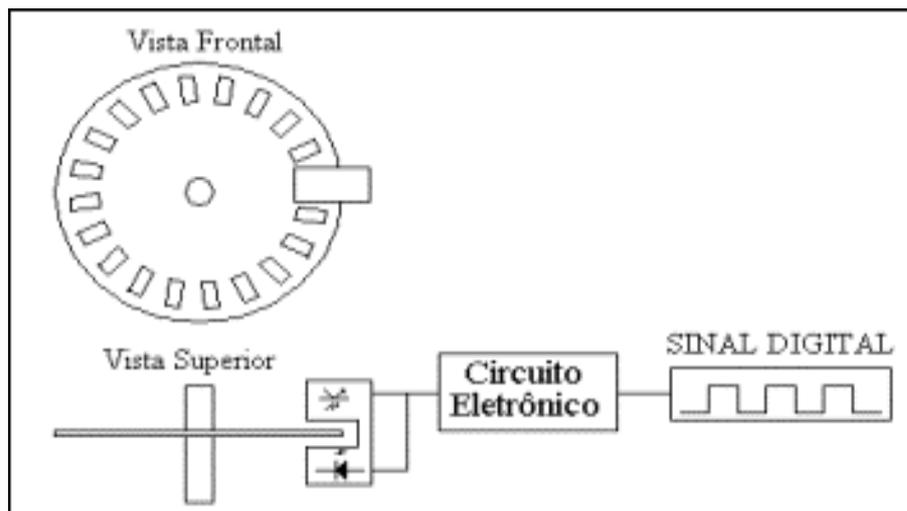


Figura 2: Funcionamento de um encoder óptico.
Fonte: UFRN (2013).

2.5.1 Encoder incremental

Com apenas uma trilha de dentes espaçados igualmente, o encoder óptico incremental determina a posição pela contagem dos números de dentes que passa na frente de um foto sensor, onde cada dente representa um ângulo conhecido, como mostra a Figura 3. O encoder possui usualmente dois canais (canal A e canal B) e fornece dois pulsos quadrados defasados em 90° . A leitura de somente um canal fornece apenas a velocidade, enquanto que a leitura dos dois canais fornece também o sentido do movimento. O outro sinal chamado de Z ou zero responsável por indicar a posição absoluta "zero" do encoder (OLIVEIRA 2007).

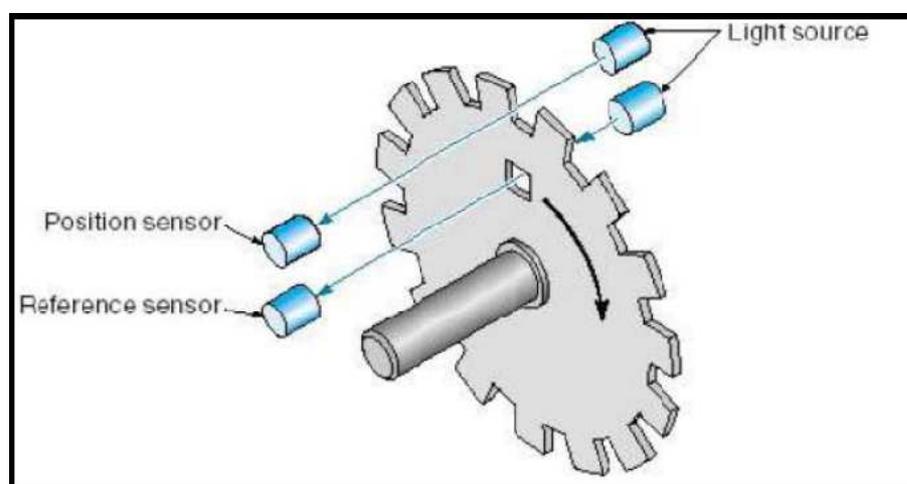


Figura 3: Encoder incremental
Fonte: IFMT (2013).

2.5.2 Encoder absoluto

O princípio básico de funcionamento de um encoder absoluto e de um encoder incremental é similar, porque ambos utilizam o princípio das janelas transparentes e opacas, com estas interrompendo um feixe de luz e transformando pulsos luminosos em pulsos elétricos. O encoder absoluto se diferencia do encoder incremental por conter diversos sensores óticos que combinados entre si geram um código binário, conforme mostra a Figura 4. A leitura efetuada gera um código único para cada posição do seu curso e, conseqüentemente, os encoders absolutos não perdem a real posição no caso de uma eventual queda da tensão de alimentação (OLIVEIRA, 2007).

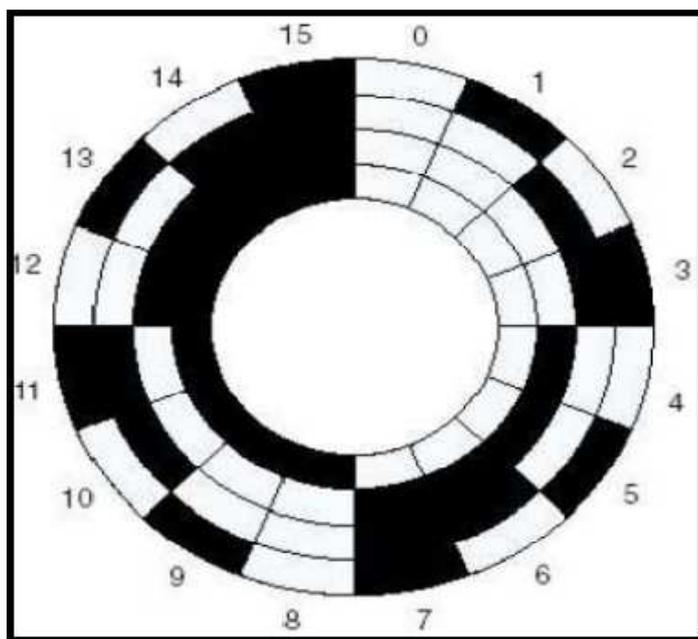


Figura 4: Encoder absoluto
Fonte: IFMT (2013).

2.6 DISPLAY DE LCD

Display de LCD (display de cristal líquido) tem como função a exibição de textos, imagens, vídeos recebidas na forma de pulsos elétricos, seu funcionamento consiste em um líquido polarizador de luz controlado eletricamente, por possuir muitas aplicações, a partir de calculadoras até televisores.

Em sistemas microprocessados os módulos LCD são interfaces de saída muito viáveis e utilizados, podendo ser gráficos e a caractere, com resoluções de 122x32, 128x64, 240x64 e 240x128 pixel os módulos LCD gráficos são encontrados e geralmente estão disponíveis com 20 pinos para conexão. Os LCD comuns (tipo caractere) são especificados em número de linhas por colunas (BARBACENA, 1996 p. 2).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 5 apresenta um diagrama de blocos simplificado com os sistemas de regulação de velocidade de um gerador síncrono. O sistema possui uma fonte de alimentação que converte a tensão de entrada CA no valor de 90-240V para uma tensão de saída CC no valor 15V, após, passa por circuitos reguladores de tensão que reduzem a tensão para alimentar o Display no valor de 5V, Microcontrolador no valor de 3.6V, e o encoder com alimentação no valor de 12V.

No sistema microcontrolado possui periféricos conectados, tal como o dispositivo encoder que efetua o trabalho de leitura da velocidade da turbina, o display disponibiliza as informações visuais de velocidade nominal requerida e a velocidade atuante no sistema, podendo ser alterados o estado nominal de trabalho do gerador via teclado pelo usuário. Os dispositivos de acionamento são formado por relés e contadores que efetuem o acionamento do motor que comanda a válvula do tipo borboleta.

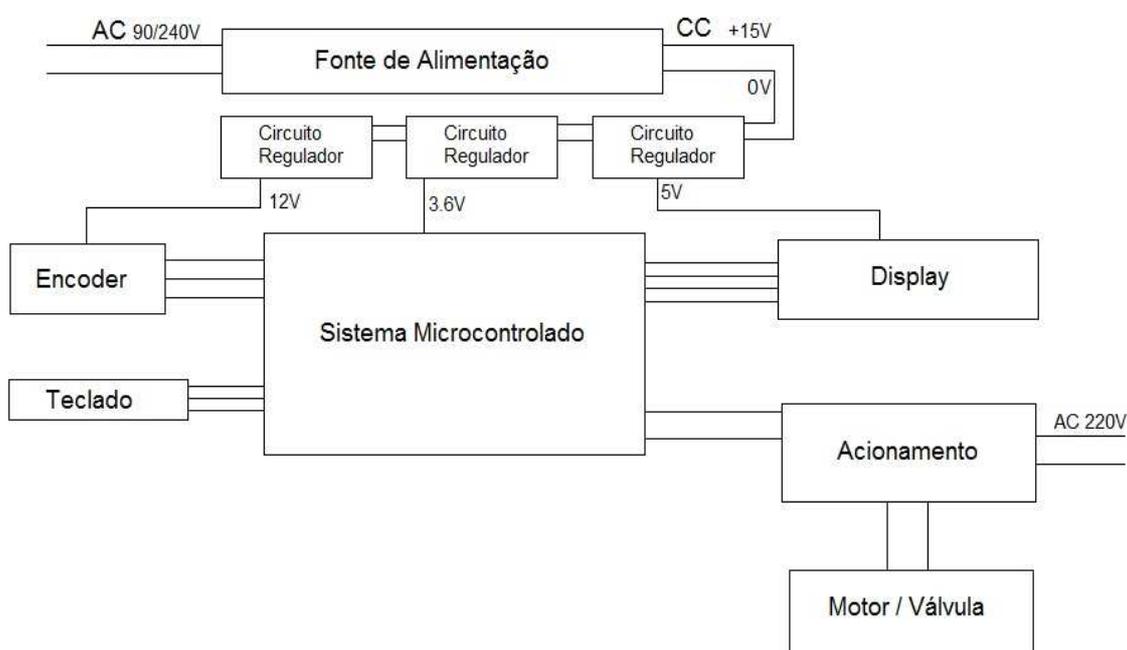


Figura 5: Diagrama em blocos do sistema.

Fonte: Autoria própria.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1 Gerador síncrono

O gerador elétrico é um dispositivo que transforma energia mecânica, química ou outra forma de energia em energia elétrica, gerador elétrico mais comum é o dínamo (gerador de corrente contínua) de bicicleta. O funcionamento dessas máquinas se baseia em fenômenos eletrostáticos (gerador Van de Graaff), ou na indução eletromagnética disco de Faraday. Aos geradores mecânicos de corrente alternada, que também são denominados de alternadores (SIMÕES, 2000).

O gerador síncrono possui enrolamento no estator do mesmo tipo da máquina assíncrona e o rotor é envolvido por enrolamentos que produzem polos magnéticos, de certa forma, necessita de um circuito de excitação de corrente contínua para produzir energia, este chamado de excitatriz (SIMÕES, 2000).

Os geradores síncronos rodam com uma velocidade de rotação igual à velocidade do campo girante (velocidade de sincronismo) e os assíncronos rodam com uma velocidade superior à velocidade de sincronismo, existindo o escorregamento do rotor em relação ao campo girante (SIMÕES, 2000).

3.1.2 Sistema de excitação

Sistema de excitação tem como função estabelecer a tensão interna do gerador síncrono, em consequência, o sistema de excitação é responsável não somente pela tensão de saída da máquina, mas também pelo fator de potência e pela magnitude da corrente gerada (SIMÕES, 2000). O diagrama de blocos apresentado na Figura 6 mostra a configuração física de um sistema de excitação típico.

O regulador de tensão tem como função controlar a saída da excitatriz, tal que a variação da tensão gerada e a potência reativa sejam de maneira desejada. Antigamente, quem fazia regulagem de tensão era o operador, observando a tensão de saída e ajustando o reostato de campo da excitatriz para obter as condições de saída desejadas. Atualmente, o regulador de tensão é um controlador que monitora

a tensão, potência ativa e corrente de saída do gerador e atua fazendo a correção através de variações do controle da excitatriz (SIMOES, 2000).

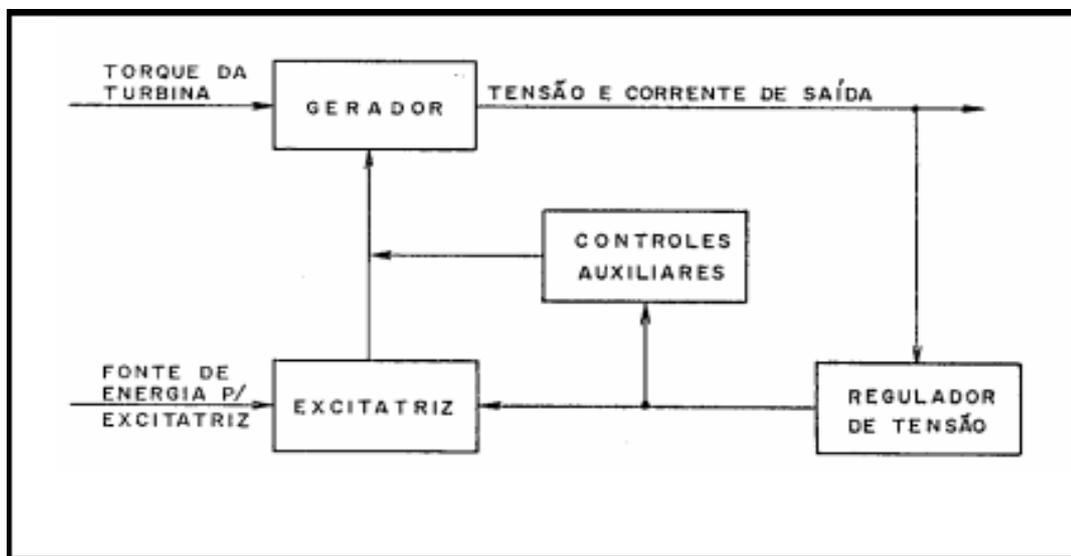


Figura 6: Sistema de excitação
Fonte: Simões (2000).

3.1.3 Kit microcontrolador MSP430G2553

Para o desenvolvimento do sistema foi utilizado o kit MSP430 LaunchPad para desenvolvimento de sistemas microcontrolados, que emprega o microcontrolador MSP430G2553 da família MSP430, por possuir um baixo consumo de energia e por vários dispositivos com diferentes conjuntos de periféricos orientados para várias aplicações (TEXAS INSTRUMENTS, 2011).

A arquitetura dos microcontroladores MSP430 combinada com cinco modos de consumo de energia é otimizado para alcançar vida útil da bateria em aplicações de medição portáteis. O dispositivo apresenta uma CPU RISC de 16 bits com registradores de 16 bits, e geradores constantes que contribuem para a máxima eficiência do código. O oscilador controlado digitalmente (DCO) permite acordar dos modos de baixo consumo de energia para o modo ativo em menos de 1 us (TEXAS INSTRUMENTS, 2011). A Figura 7 mostra os pinos do microcontrolador MSP430G2553.

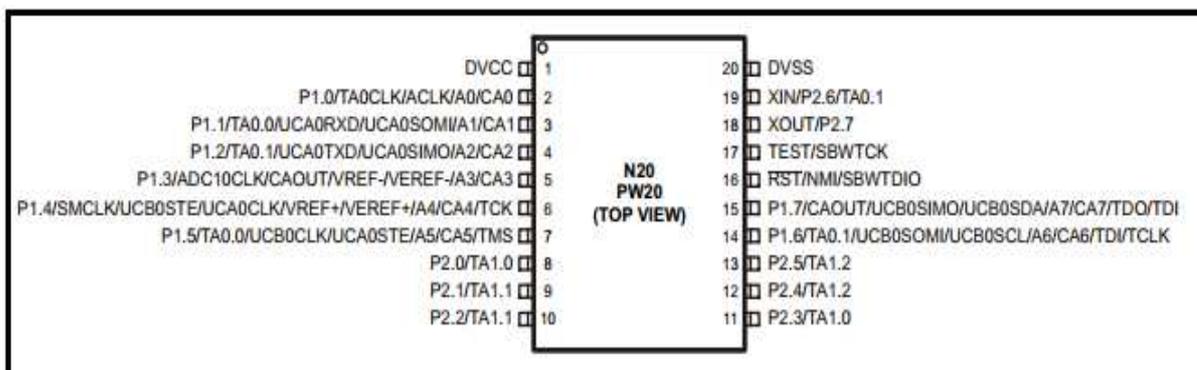


Figura 7: Microcontrolador MSP430G2553

Fonte: Datasheet Texas instrument

O microcontrolador MSP430G2553 possui 2 timers de 16 bits, até 24 pinos de I/O habilitados para toque capacitivo, um comparador analógico versátil, interface de comunicação serial universal, conversor Analógico-para-Digital (A/D) de 10 bits. As aplicações típicas incluem sensores de baixo custo que captam os sinais analógicos, convertem estes sinais para valores digitais e, em seguida, processam os dados para exibição ou para a transmissão para um sistema hospedeiro (TEXAS INSTRUMENTS, 2011).

3.1.4 Display de LCD 16 x 2

O display é um dos elementos mais comuns de uma Interface homem maquina (IHM) e tem como finalidade fornecer a comunicação e visualização de dados entre o homem e a máquina do sistema automatizado. Através de um display é possível efetuar leituras gráficas ou a caracter, com resoluções de 122x32, 128x64, 240x64 e 240x128 pixels. Normalmente são disponibilizados com 20 pinos de conexão, pois apresentam barramento paralelo, conforme mostra a Tabela 1 (ENGINEERS, 2013).

Tabela 1: Características display de LCD 16 X 2

Pino	Função	Descrição
1	Alimentação	Terra ou GND
2	Alimentação	VCC ou +5V
3	V0	Tensão para ajuste de contraste (ver Figura 1)
4	RS Seleção:	1 - Dado, 0 - Instrução
5	R/W Seleção:	1 - Leitura, 0 - Escrita
6	E Chip select	1 ou (1 → 0) - Habilita, 0 - Desabilitado
7	B0 LSB	Barramento de Dados
8	B1	
9	B2	
10	B3	
11	B4	
12	B5	
13	B6	
14	B7 MSB	
15	A (qdo existir)	Anodo p/ LED backlight
16	K (qdo existir)	Catodo p/ LED backlight

Fonte: Engineers (2013).

3.1.5 Encoder Incremental

Para medir a velocidade do eixo do gerador foi utilizado um encoder incremental fabricado pela empresa Autonics Inc., tipo acopla-eixo, série E50S, que trabalha na faixa de tensão de 12-24VDC, visando atender as diversas aplicações do usuário, oferecendo um ótimo custo e benefício, além de uma boa solução para aplicações em máquinas industriais e outras em geral (AUTONICS CORPORATION, 2007). A Figura 8 mostra o esquema de ligação deste encoder.

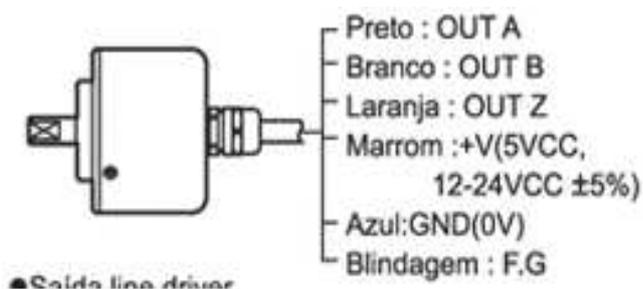


Figura 8: Esquema de ligação do encoder incremental.

Fonte: data sheet encoder

Como é relevante obter somente a velocidade do eixo gerador, foi utilizado apenas um canal do encoder (um pulso volta), pois a utilização de ambos os canais permite outras medições como medição de ângulo, posição, revolução, aceleração e distância ajustável (Autonics corporation, 2007).

3.1.6 Válvula borboleta com atuador

Neste sistema o volume de água é responsável pela variação da velocidade da roda de água, tendo como consequência variação de rotação do gerador que está acoplado ao eixo da roda de água. O controle desse fluxo de água que entra na roda da água é efetuado por meio de uma válvula do tipo borboleta, conforme mostra a (VALACO, 2013).

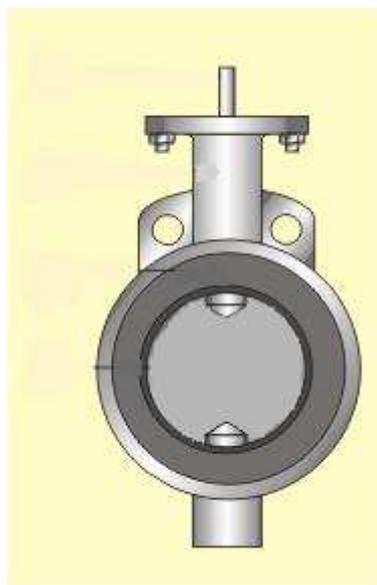


Figura 9: Válvula borboleta.
Fonte: Valaco (2013).

A válvula possui um sistema de controle por comando elétrico constituído por um motor monofásico (CA) de $\frac{1}{4}$ CV com reduções que efetua o processo de abertura e fechamento do fluxo da água.

3.1.7 Software Multisim

O software Multisim é uma ferramenta para projeto e simulação de circuitos eletrônicos, projeto de placas e testes integrados. Com o software Multisim possibilita-se desenvolver placas de circuito impressos (PCBs) personalizados, além de comparar dados simulados com dados medidos em componentes reais, diminuindo a necessidades de correções na implementação física de projetos e eliminando alguns erros na criação de protótipos (SOISSON, 2002). Com este recurso foi possível realizar a simulação do funcionamento do circuito regulador de tensão, medindo a tensão de saída dos reguladores de tensão.

3.2 METODOLOGIA

Esta seção apresenta a metodologia empregada no desenvolvimento do sistema de regulação de velocidade. Primeiramente, o sistema microcontrolado, incluindo display e teclado, e o circuito de acionamento são explicado em detalhes. Em seguida, os circuitos das fontes de alimentação são apresentados e comentados.

3.2.1 Sistema microcontrolado e circuito de acionamento

O sistema microcontrolado, basicamente, é formado por um kit MSP430 LaunchPad, um display de LCD e um teclado, conforme mostra o diagrama esquemático da Figura 10. A porta 1 do microcontrolador foi configurada como saída, onde foi conectada o display e as duas saídas para o circuito de acionamento. Para o envio de dados para o display foi utilizado o modo de 4 bits, onde um byte é enviado ao display através de um conjunto de dois nibbles (4 bits).

O circuito de acionamento é formado por dois relés e dois contatores que efetuam o acionamento do motor CA (Figura 10). Devido a corrente fornecida pelas portas de I/O do microcontrolador não ser suficiente para acionar diretamente os relés, foi utilizado um transistor NPN e um diodo para cada relé.

A leitura do sinal do encoder e do teclado foi feita através da Porta 2 do microcontrolador (Figura 10), sendo esta configurada como entrada e com resistores

de pull-up habilitados. Como a amplitude do sinal do encoder atinge 12 V e o microcontrolador é alimentado com 3,6 V, para compatibilizar os níveis de tensão foi empregado um divisor de tensão na saída do encoder.

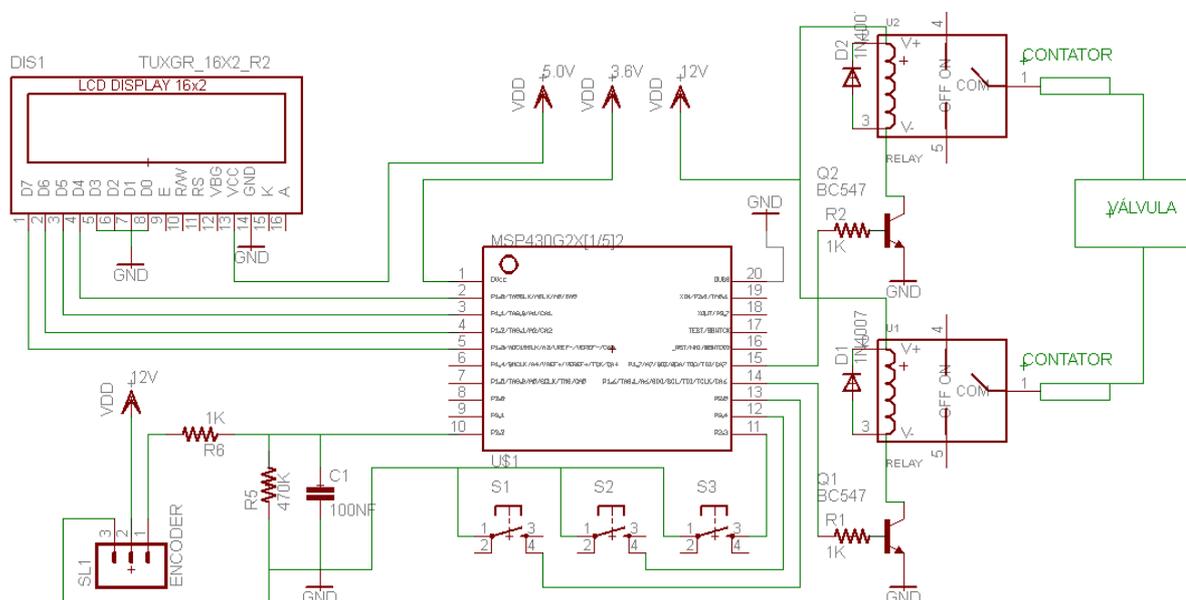


Figura 10: Diagrama esquemático do sistema microcontrolado e do circuito de acionamento.

Fonte: Autoria própria.

3.2.2 Software para o sistema microcontrolado

A lógica de funcionamento do código implementado no microcontrolador é representada através do fluxograma mostrado na Figura 11. O programa desenvolvido inicia com a configuração básica do microcontrolador, configurando o canal 0 do timer A para 1s, habilitando se sua interrupção para o sistema efetuar a comparação da velocidade obtida pelo encoder com o valor de *set point* inserido pelo o usuário. A interrupção da porta 2 que pode ser acionada com um sinal alto do encoder ou do teclado. Logo após, é feita a inicialização e configuração do display. O programa principal (função main) fica em loop infinito. Quando é gerada uma interrupção, seja pelo timer ou pela porta 2, a execução do código é desviada para a Rotina de Tratamento de Interrupção (RTI) dos destes periféricos. O software desenvolvido para o microcontrolador é apresentado no Anexo 1.

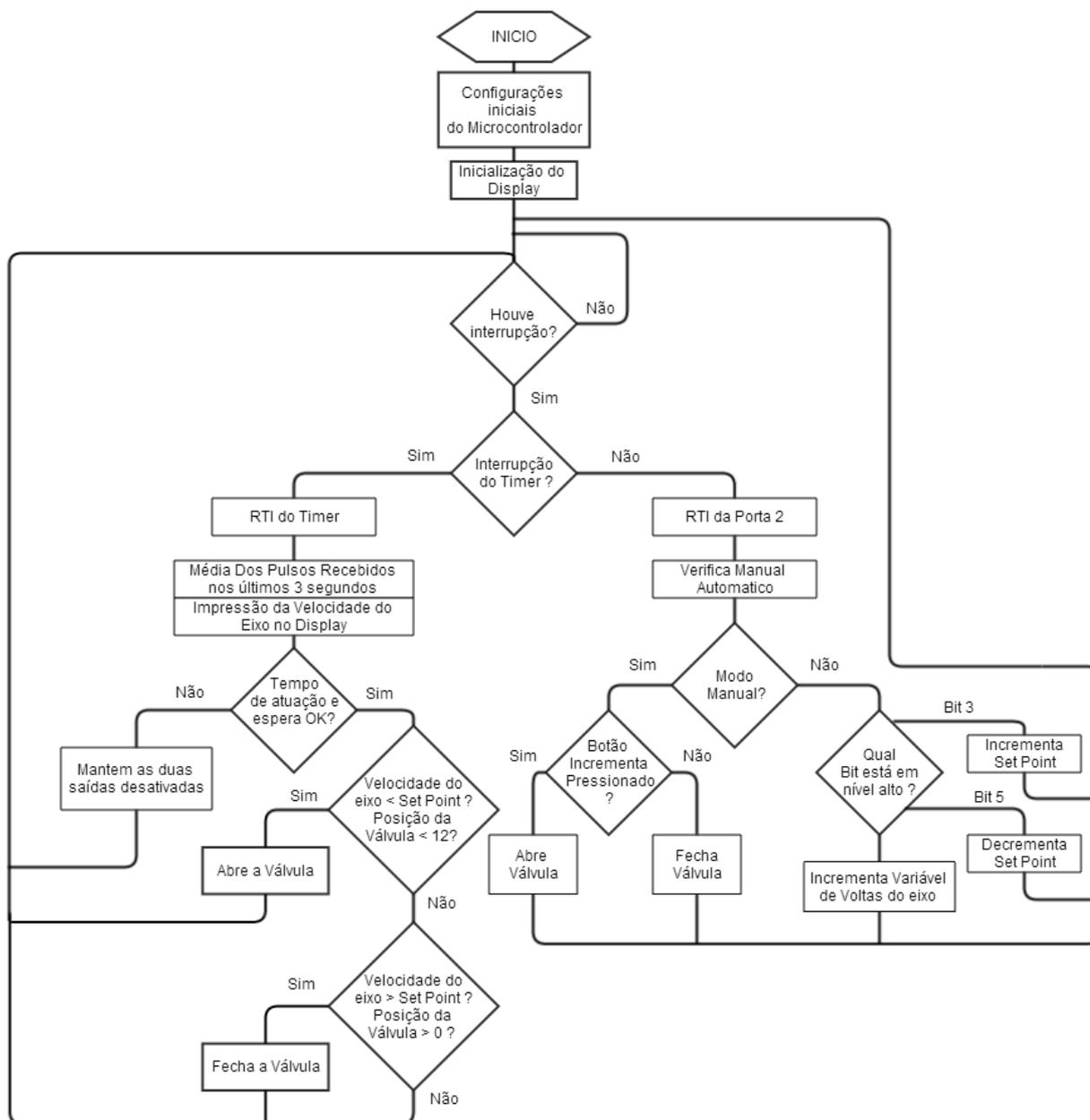


Figura 11: Fluxograma regulador de velocidade.

Fonte: própria.

De acordo com as configurações do timer, a cada 1 segundo é executada a RTI do timer A, onde é calculado o número de pulsos recebidos e, conseqüentemente, a velocidade instantânea em RPM. Após serem obtidos 3 valores de velocidade, a média deles é calculada. Em seguida, efetua-se a impressão do valor recebido no display. O valor da média obtido a cada 3 segundos é comparado com o set point. Se o valor for menor, aciona a saída para abertura da válvula, provocando o aumento no fluxo de água na turbina. Quando o valor é maior, a saída é acionada para fechamento da válvula, provocando a diminuição do fluxo

de água. O período de acionamento da válvula é de 1 segundo, ou seja, a cada intervalo de 3 segundos a válvula pode acionada por um período de 1 segundo.

Quando a tecla “modo” é pressionada, ocorre uma interrupção na porta 2. Na RTI é feita a seleção entre o modo manual e automático. No modo manual, o ajuste da válvula é feito manualmente, enquanto que o modo automático o ajuste é feito automaticamente com base no set point. Se modo seleciona for o manual, quando a tecla de incremento é pressionada, uma interrupção é gerada e o motor é acionado para abertura da válvula, ao passo que quando a tecla de decremento é pressionado o motor é acionado para fechamento da válvula. No caso do modo automático estar selecionado, ao pressionar as teclas de incremento ou decremento, o valor do set point é ajustado.

O acionamento do motor da válvula possui um limite de acionamentos de doze vezes, seja para incremento ou decremento, implementado como um modo de segurança, prevenindo possíveis danos para o sistema no caso de falta de água na adução ou falhas de leitura do encoder.

3.2.3 Alimentação do sistema

Para alimentação do microcontrolador, encoder e display foi utilizada uma fonte de alimentação com transformador, retificador e filtro fornecendo uma tensão CC de 15 V que entra em circuitos com reguladores de tensão integrados. A Figura 12, a Figura 13 e a Figura 14 mostram os circuitos de alimentação do microcontrolador, do encoder e do display, respectivamente. Observa-se que o circuito envolvendo o transformador, a ponte retificadora e o capacitor são o mesmo para todos os circuitos apresentados.

Na alimentação do microcontrolador é necessária uma tensão de 3,6 V que é conseguida através de um regulador ajustável de tensão modelo LM 317, onde a tensão é ajustada através resistores R1 e R2, conforme mostra a Figura 12. O encoder foi alimentado com uma tensão de 12 V que foi obtida através de um regulador de tensão com saída fixa de 12 V, sendo utilizado o dispositivo LM7812. No caso da alimentação do display, foi necessário utilizar um regulador com tensão de saída fixa de 5 V, através de um regulado modelo LM7805.

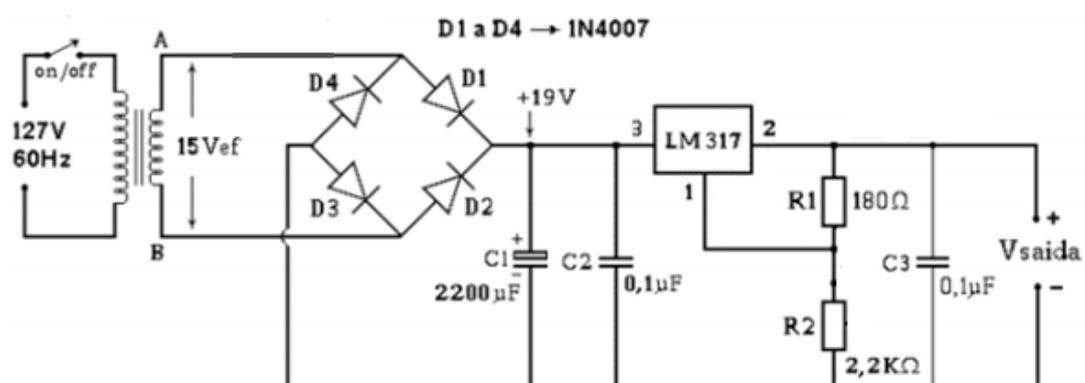


Figura 12: Circuito de alimentação do microcontrolador.

Fonte: Própria

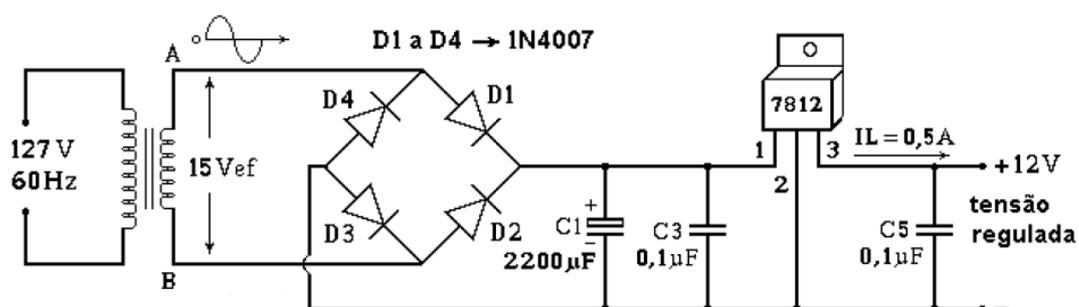


Figura 13: Circuito de alimentação do encoder.

Fonte: Própria

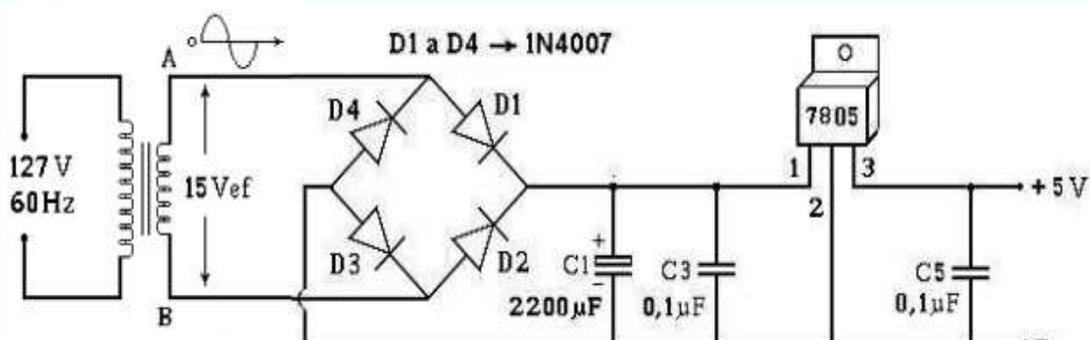


Figura 14: Circuito de alimentação do display.

Fonte: Própria

4. RESULTADOS

No decorrer deste capítulo haverá a apresentação dos resultados obtidos com o desenvolvimento deste trabalho. Primeiramente, será apresentado o encoder instalado do eixo do gerador, o sistema de ajuste do fluxo de água, a interface homem-máquina e o sistema microcontrolado. Por fim, a MCH com o sistema de regulação implementado é mostrada.

4.1 ENCODER

Para efetuar a leitura da velocidade foram feitas pesquisas de dispositivos que façam a transformação de movimentos lineares ou angulares em informações elétricas.



Figura 15: – encoder incremental instalado

Fonte: própria

Como se pode observar na Figura 15, Neste sistema utilizamos o sensor encoder incremental, alimentado por uma carga, gera uma saída em pulsos elétricos, interpretados pelo microcontrolador que realiza a conversão disponibilizando no display o valor da rotação do gerador.

4.2 SISTEMA DE AJUSTE DE FLUXO DE ÁGUA

Para o fechamento e abertura do fluxo d' água, foi desenvolvida uma válvula do tipo borboleta, acionada por motor elétrico, como pode-se observar na Figura 16 abaixo:



Figura 16: – válvula elétrica implantada

Fonte: própria

Devido ao torque necessário para movimentação, elaboramos um sistema de redução para aumentar o torque do motor e diminuir a velocidade de movimento da válvula, como este motor é acionado pelo comando do microcontrolador o mesmo deve ser preciso e atuar lentamente visando obter o fluxo necessário para efetuar a abertura exigida pelo sistema de geração.

4.3 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

Para visualizar o processo usamos um display LCD, onde é possível fazer alterações do set point, através de três botoeiras uma de acesso ao menu e as

outras duas para incrementar ou decrementar valores de velocidade, como pode-se observar na Figura 17 abaixo:



Figura 17: – display LCD 16 X 2

Fonte: própria

Através do display é possível a visualização da velocidade do eixo(VE) e frequência(F) e do set point, ou seja a velocidade programada de trabalho.

4.4 SISTEMA MICROCONTRADO

Para fazer o processo de regulação utilizamos um microcontrolador MSP430G2553, responsável por receber e enviar informações ao sensor e atuador, através de um código implementado age de forma de manter equilibrado o sistema, como pode-se observar na Figura 18 abaixo:

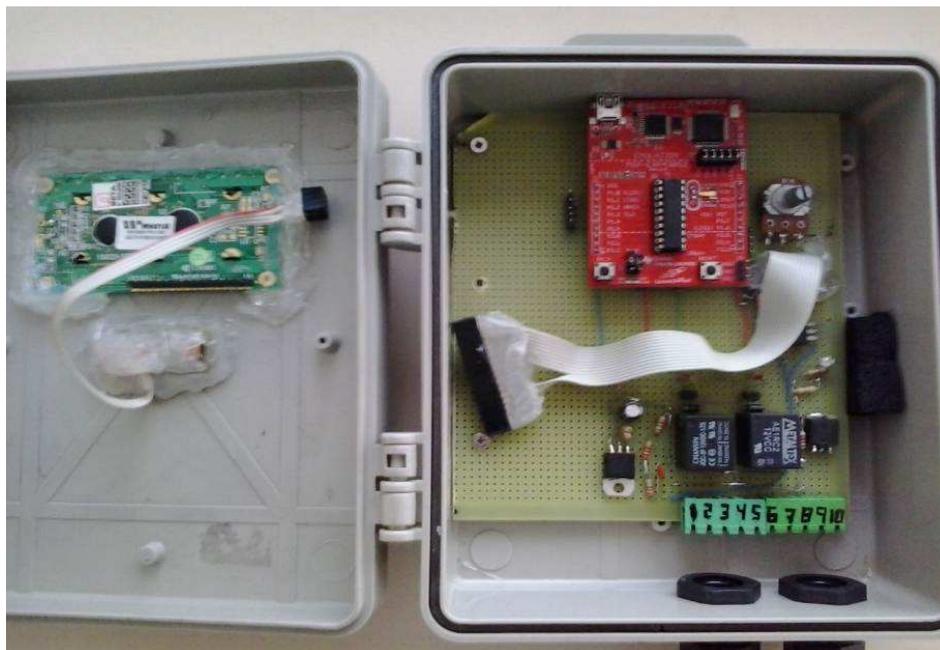


Figura 18 – regulador de velocidade
Fonte: própria

Neste encapsulamento está disposto a placa de circuito impresso (PCI) o sistema de regulação de velocidade completo encapsulado numa caixa com proteção à umidade e poeira, composto por:

- Kit microcontrolador MSP430GX53, “citado no capítulo 3.1.3”.
- Reguladores de tensão, “citado no capítulo 4”.
- Visor LCD, “citado no capítulo 3.1.4”.
- Entrada e saída de alimentação e dados.

4.6 TESTES FINAIS

Para uma análise final, fizeram-se testes finais na própria instalação desenvolvida para simular a atuação em conjunto dos implementados. Com isso, foi possível verificar situações adversas de variações de frequência que podem ocorrer em um sistema de geração de uma MCH. A Figura 19 demonstra a micro central em si, onde foram feitas a realização destes testes e conclusão deste trabalho.



Figura 19: - Sistema automatico em funcionamento
Fonte: própria

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do regulador de velocidade exigiu uma área de estudo muito ampla, enfatizando o caráter multidisciplinar do trabalho, o qual envolveu diversas subáreas, tais como circuitos elétricos, eletrônica digital, eletrônica de potência, teoria de controle, geração de energia elétrica e sistemas elétricos de potência.

Durante o desenvolvimento, surgiram algumas dificuldades começando pelo desenvolvimento do código do programa em si, a maior dificuldade foi desenvolver o programa ao ponto de equilíbrio, pois o recebimento de informações a cada determinado tempo do encoder deveria se comparado com o set point e atuar na válvula e determinar um tempo de espera de estabilidade da vazão ocorrida pela atuação da válvula para fazer a leitura novamente de forma ate atingir o valor desejado de trabalho e quando alcançasse esse valor o manteria de forma estável. Depois de muitas formas diferentes testadas chegamos a uma solução para o problema, atingindo o tempo necessário de atuação e de espera para atuar novamente.

Após a conclusão da parte do programa surgiram alguns problemas com interferências ocasionando o travamento do sistema, mas a utilização de componentes anti- interferência(filtro, ferrite) e mudanças no circuito resolveram os problemas.

De todas as dificuldades encontradas a maior foi referente à programação do microcontrolador, pois o curso disponha apenas de um semestre efetivamente com ele, sendo que não havia muitos conhecimentos sobre essa área, porém, a solução veio consultando livros e material de apoio na internet.

Com os resultados obtidos fica claro que o projeto pode ser aprimorado, como a aplicação de um sistema microcontrolado para monitorar a faixa de variação da frequência do gerador quando ocorrerem aplicações de carga ao gerador e futuramente podendo ser aplicado em MCH de outras propriedades rurais como forma de valorização da propriedade, diminuição de custos a gastos energéticos pagos a terceiros e também a possibilidade de lucratividade com a venda de energia elétricas, trazendo maior confiabilidade, rentabilidade para o produtor agrícola.

Atualmente, a automação industrial é uma realidade e que os seus benefícios são incontestáveis, e para os realizadores deste trabalho foi de grande satisfação, pois foi possível evidenciar como é o dia a dia de uma empresa, que trabalha no setor de automação. As dificuldades encontradas em cada processo com soluções nem sempre convenientes, caras ou adaptadas onde um projeto pode beneficiar no crescimento, fortalecimento de seus funcionários em conhecimento técnico, possui a possibilidade de ser realizados trabalhos futuros, utilizando este sistema melhorando componentes de atuação, leitura, até mesmo o sistema de controle para uma melhor regulação de velocidade nessa micro central hidrelétrica e também em outras demais centrais.

REFERÊNCIAS

BOLTON, Willian. Instrumentação e Controle. Curitiba: Editora Hemus, 2002.

BRAGA, 2013. disponível em:

<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/artigos/67-historia-da-eletronica/407-a-historia-do-transistor.html>

BIM, MAQUINAS ELÉTRICAS E ACIONAMENTOS. disponível em:

<http://books.google.com.br/books?id=DXH46jB9SJgC&pg=PT445&dq=GERADOR+SINCRONO&hl=pt-BR&sa=X&ei=uognUtSGG4i-9gT-0lDwCg&ved=0CEgQ6AEwBA#v=onepage&q=GERADOR%20SINCRONO&f=false>

CORPORATION AUTONICS, 2007, disponível em:

http://br.autonics.com/products/products_detail.php?catecode=01/06/01&db_uid=59

ENGINEERS, 2013. disponível em: <

<http://www.engineersgarage.com/sites/default/files/LCD%2016x2.pdf> >

ENGIOBRA, 2013. disponível em: < <http://engiobra.com/micro-usinas-hidreletricas/> >

ELETROBRÁS. Manual de Micro Central Hidroelétricas. Brasília 1985

HELFRICK, Albert D. Instrumentação Eletrônica Moderna e Técnicas de Medição. Rio de Janeiro: Editora Prentice Hall do Brasil LTDA, 1994.

.IFTM, 2013. disponível em:

<http://redeprof.cba.ifmt.edu.br/~mario/Encoder%20%5BModo%20de%20Compatibilidade%5D.pdf>>

MARTINS, A. Nardênio. Sistemas microcontrolados. São Paulo: Novatec Editora, 2005,

OLIVEIRA, Mario, UFSC, 2007. disponível em:

<http://redeprof.cba.ifmt.edu.br/~mario/Encoder%20%5BModo%20de%20Compatibilidade%5D.pdf>

PEREIRA, Fábio. Microcontroladores PIC - Técnicas Avançadas. São Paulo: Érica, 2002.

SANCHES, Durval. Eletrônica Industrial: Montagem. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2000.

SEARS, Francis Weston. Física III Eletromagnetismo. São Paulo: Editora Pearson, 2009.

SOISSON, Harold E. Instrumentação industrial. Curitiba: Editora Hemus, 2002.

SIMÕES, 2000. disponível em: <http://www.labspot.ufsc.br/~simoes/dincont/dc-cap1.pdf>

TEXAS, Microcontrolador disponível em:
<<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430g2553.pdf>>

UFRN, 2013. disponível em: < www.dee.ufrn.br/medida_de_velocidade.pdf>

VALACO, 2013. disponível em: <
http://www.valaco.com.br/produtos/val_borboleta_wafer.html>

ANEXO 1

Software desenvolvido para o Microcontrolador

```

#include "msp430g2553.h"
#include "signal.h"

#define LCD_DATA          P1OUT
#define LCD_RS_1         SBIT(P1OUT,5)
#define LCD_RS_0         CBIT(P1OUT,5)
#define LCD_ENABLE_1     SBIT(P1OUT,4)
#define LCD_ENABLE_0     CBIT(P1OUT,4)

#define SBIT(r,b) (r|=(1<<(b)))
#define CBIT(r,b) (r&=~(1<<(b)))
#define lcd_type 2      // 0=5x7, 1=5x10, 2=2 lines

void Delay(int tempo);
void lcd_send_nibble( unsigned char n );
void lcd_send_byte( unsigned char address, unsigned char n );
void init();
void writecom( char c);
void writedata(unsigned char c);
void printnum(unsigned int num);

volatile int veixo=0;
volatile int spoint=0;
volatile int atua=0;
volatile int limite=0;

//int RPM=0;
//int min=60;

unsigned char const LCD_INIT_STRING[4] = {0x20 | (lcd_type << 2), 0xc, 1,
6};

void main(void)
{
    WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;

    DCOCTL |= DCO0 + DCO1;
    BCSCTL1 |= XT2OFF + RSEL0 + RSEL1 + RSEL2 + RSEL3;
    BCSCTL2 |= SELS;
    BCSCTL3 |= XCAP0 + XCAP1 + LFXT1OF;
    //while(BCSCTL3 & LFXT1OF);    // Sai do loop quando LFXT1 estiver
estavel
    __enable_interrupt();

    TACTL = TASSEL_2 + MC0; // clock ACLK, UP
    TACCTL0 = CCIE; // Habilita interrupcao para canal 0 (CCR0) do TA
    TACCR0 = 32767;

```

```

P1DIR = 0xFF;
P2DIR = 0x00;
//P2SEL = 0x00;

P2REN = 0x3c;
P2OUT = 0x3c;

    P2IE = 0x3c;
    P2IES = 0x3c;           //interrupção na borda de descida
    P2IFG = 0x00;         // Garante que a flag P2IFG esteja resetada,
para entrada do encoder

    init();

    CBIT(P1OUT,6);
    CBIT(P1OUT,7);

while(1)
{

}

}

#pragma vector=TIMER0_A0_VECTOR
__interrupt void TIMERA_A0(void)
{
    veixo=veixo*60;

    writecom(0x81);
    writedata('R');
    writedata('P');
    writedata('M');
    writecom(0xC1);
    printnum(veixo);

    if(atua<1)
        {
            if(veixo<spoint)
                {
                    if(limite<12) // limite de atuações
                        {
                            SBIT(P1OUT,6); // aciona rele
                            CBIT(P1OUT,7);
                            writecom(0xC6);
                            writedata('A');
                            limite++;
                        }
                }
            if(veixo>spoint)

```

```

        {
            if(limite>0)
            {
                SBIT(P1OUT,7); // aciona o rele
                CBIT(P1OUT,6);
                writecom(0xC6);
                writedata('F');
                limite--;
            }
        }
    }
else
    {
        CBIT(P1OUT,6);
        CBIT(P1OUT,7);
        writecom(0xC6);
        writedata('*');
    }
    atua++;
    veixo=0;
    if(atua>=3)
    {
        atua=0;
    }
}

#pragma vector=PORT2_VECTOR // por enquanto botões na p2.3
p2.4 p2.5, encoder p2.2
__interrupt void Port_2(void)
{

    if(P2IFG &BIT3)
    {
        spoint=spoint+5;
        //SBIT(P1OUT,6); // aciona rele
        P2IFG = 0x00; // clear interrupt
    }
    if(P2IFG &BIT5)
    {
        spoint=spoint-5;
        //SBIT(P1OUT,7); // aciona o rele
        P2IFG = 0x00;
    }
    if(P2IFG &BIT4)
    {

        CBIT(P1OUT,6); // desliga os dois rele
        CBIT(P1OUT,7);
        writecom(0xC6);
        writedata('0');
        writecom(0xCF);
        writedata('0');
        P2IFG = 0x00;
    }
    if(P2IFG &BIT2)
    {
        veixo++;
    }
}

```

```

        P2IFG = 0x00; // clear interrupt
    }

    writecom(0xC9);
    printnum(spoint);
}

void Delay(int tempo) {
    unsigned int dly = tempo;
    while(--dly); {
    }
}

void lcd_send_nibble( unsigned char n )
{
    //lcd.data = n;
    LCD_DATA &= 0xF0;
    LCD_DATA |= (n & 0x0F);
    Delay(10);
    LCD_ENABLE_1;
    Delay(20);
    LCD_ENABLE_0;
}

void lcd_send_byte( unsigned char address, unsigned char n )
{
    LCD_RS_0;
    Delay(100);
    if(address)
    {
        LCD_RS_1;
    }
    else
    {
        LCD_RS_0;
    }
    Delay(100);
    Delay(100);
    LCD_ENABLE_0;
    lcd_send_nibble(n >> 4);
    lcd_send_nibble(n & 0xf);
}

void init()
{
    unsigned char i;

    LCD_RS_0;
    //lcd.rw = 0;
    LCD_ENABLE_0;
    Delay(1500);
    for(i=1;i<=3;++i) {
        lcd_send_nibble(3);
        Delay(500);
    }
    lcd_send_nibble(2);
}

```

```
    for(i=0;i<=3;++i)
        lcd_send_byte(0, LCD_INIT_STRING[i]);
}

void writedata(unsigned char c)
{
    lcd_send_byte(1,c);
}

void writecom( char c)
{
    lcd_send_byte(0,c);
}

void PrintStr (char *cString)
{
    while (*cString)
    {
        writedata(*cString);
        cString++;
    }
}

void printnum(unsigned int num)
{
    //writedata((num / 10000) + 48);
    //num %= 10000;

    //writedata((num / 1000) + 48);
    //num %= 1000;

    writedata((num / 100) + 48);
    num %= 100;

    writedata((num / 10) + 48);
    writedata((num % 10) + 48);
}
```