

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

Erick Schultz Soares Araujo Caetano

**PROJETO DE UM MEDIDOR ULTRASSÔNICO DE NÍVEL E
MEDIDOR DE TURBIDEZ**

VIÇOSA
2013

ERICK SCHULTZ SOARES ARAUJO CAETANO

**PROJETO DE UM MEDIDOR ULTRASSÔNICO DE
NÍVEL E MEDIDOR DE TURBIDEZ**

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

Orientador: Prof. Dr. Denílson Eduardo Rodrigues

**VIÇOSA
2013**

ERICK SCHULTZ SOARES ARAUJO CAETANO

**PROJETO DE UM MEDIDOR ULTRASSÔNICO DE NÍVEL E
MEDIDOR DE TURBIDEZ**

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

Aprovada em 18 de abril de 2013. .

COMISSÃO EXAMINADORA

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

Prof. Ds. André Gomes Torres - Membro
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Ds. José Tarcisio de Rezende - Membro
Universidade Federal de Viçosa

“Eu não quero acreditar, eu quero conhecer”.
Carl Sagan

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à meus pais, José Protázio e Ana Maria, por todo apoio, confiança e carinho, à minha irmã, Tacyana por toda amizade e aos amigos que fiz ao longo desta graduação pelo companheirismo.

Ao Eduardo da empresa VETORIAL Engenharia & Projetos quem me proporcionou a oportunidade de um estagio e de realização deste trabalho bem como ao meu amigo e companheiro de trabalho Walter.

E finalmente ao meu orientador neste trabalho Denilson Eduardo Rodrigues.

Resumo

Este trabalho apresenta alguns tipos de medidores de nível e turbidez de líquidos e algumas de suas características. Com base nisso foi desenvolvido um conjunto de aquisição de dados. Este projeto foi desenvolvido como parte do estágio realizado na empresa VETORIAL Engenharia & Projetos, localizada na cidade de Viçosa. A metodologia abordada utiliza um microcontrolador para a coleta dos dados através de um sensor de nível por ultrassom e um sensor de turbidez infravermelho de feixe simples. São abordados conceitos das partes constituintes deste sistema e o tipo de comunicação utilizada pelo microcontrolador. O medidor de nível apresenta um erro médio de 1,46 cm.

Abstract

This paper presents some kinds of level meters and turbidity of liquids and some of its characteristics. Based on that, it was developed a data acquisition system. This project was developed as part of the stage held company VETORIAL Engenharia & Projetos, located in the city of Viçosa. The methodology discussed uses a microcontroller to collect data through an ultrasonic level meter and a single beam infrared turbidity meter. Some concepts of the constituent parts of this system and the type of communication used by the microcontroller are discussed. The level meter shows an average error of 1.46 cm.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

1 Introdução	1
2 Revisão bibliográfica	3
2.1 Medidores de nível de líquidos.	3
2.1.1 Medição direta.	3
2.1.1.1 Visores de nível.	3
2.1.1.2 Boias ou flutuadores.	4
2.1.2 Medição indireta.	5
2.1.2.1 Pressão hidrostática.	5
2.1.2.2 Medição por empuxo	6
2.1.2.3 Mediação por capacitância.	7
2.1.2.4 Mediação radiométrica de nível.	7
2.1.2.5 Mediação de nível por ultrassom.	8
2.2 Projetos para comparação do medidor de nível.	9
2.3 Medidores de Turbidez.	10
2.3.1 Nefelômetros.	11
2.3.1.1 Nefelômetro de feixe simples.. . . .	11
2.3.1.2 Nefelômetro em radiação espalhada	12
2.3.1.3 Disco de Secchi	12
2.4 Projetos para Comparação do medidor de turbidez desenvolvido	13
2.5 Objetivos Gerais.	14
3 Materiais e Métodos	15
3.1 Sistemas de mediação de nível e turbidez.	15
3.1.1 Mediação de nível por Ultrassom.	15
3.1.2 Mediador de turbidez.	16
3.2 Microcontroladores e aquisição de dados.	16
3.2.1 Microcontroladores.	16
3.2.2 Microcontroladores PIC.	17
3.2.2.1 Protocolos de comunicação SPI e I ² C.	18

3.2.2.2 Temporizador de segurança – WDT.	21
3.3 Aquisição de dados	23
3.4 Relógio DS 1307.	24
3.5 Fonte de Alimento.	27
4 Desenvolvimento do projeto	28
4.1 Desenvolvimento do medidor de nível Ultrassom.	28
4.2 Armazenamento de dados em cartão de memória.	30
4.3 Desenvolvimento do medidor de turbidez.	31
4.4 Montagem do relógio.	32
4.5 Criação da placa de circuito impresso.	33
5 Resultados e Discussões	36
5.1 Testes Iniciais.	36
5.2 Testes Finais.	36
6 Conclusão	39
Referências	40

Lista de figuras

Figura 1 – visor de nível.	4
Figura 2 – medidor tipo boia.	4
Figura 3 – medidor de nível por pressão hidrostática.	5
Figura 4 – medidor de empuxo.	6
Figura 5 – medidor de nível capacitivo.	7
Figura 6 – exemplo de um medidor radiométrico de nível.	8
Figura 7 – medidor de nível ultrassônico.	9
Figura 8 – amostras de água com diferentes níveis de turbidez.	10
Figura 9 – esquema de um nefelômetro de feixe simples.	11
Figura 10 – esquema de um nefelômetro de radiação espalhada.	12
Figura 11 – esquema do disco de Secchi.	13
Figura 12 – esquema do nefelômetro de radiação espalhada	13
Figura 13 – turbidímetro modulado de quatro feixes: (a) durante a fase 1, o emissor 1 é ligado, a luz transmitida atinge o sensor 1 e luz dispersa é recebida pelo sensor 2, (b) durante a fase 2, 2 emissor está ligado e os dois sensores apresentam suas funções trocadas com relação à fase 1.	14
Figura 14 – exemplo de reflexão de onda sonora.	16
Figura 15 – pinagem do PIC 16F88 de 18 pinos com encapsulamento tipo DIP.	17
Figura 16 – esquema de ligação para comunicação SPI	19
Figura 17 – barramento de comunicação I ² C	20
Figura 18 – definição dos bits de start e stop	20
Figura 19 – representação dos sinais típicos da comunicação I ² C.	21
Figura 20 – pinagem de um cartão SD.	34
Figura 21 – circuito de operação do DS1307.	21
Figura 22 – representação de um circuito de regulação de tensão com 7805.	27
Figura 23 – módulo de testes para o sensor de nível e comunicação com cartão de memória.	29
Figura 24 – HC-SR04.	29
Figura 25 – curva emissor/receptor.	32
Figura 26 – circuito de teste realizando as comunicações SPI e I ² C.	33
Figura 27 – esquema elétrico do projeto.	34
Figura 28 – esquema 3D do circuito a ser montado	35

Lista de tabelas

Tabela 1 – tempo de contagem do WDT.	22
Tabela 2 – sistema BCD.	25
Tabela 3 – registradores do DS1307..	26
Tabela 4 – separação de dados no cartão SD	31
Tabela 5 – dados dos testes com anteparo transparente área de 0,208 cm ²	36
Tabela 6 – relação de custo dos materiais.	37

1 Introdução

A erosão é um processo onde ocorre o deslocamento de terra ou rochas de uma superfície. Pode ser causada por fenômenos naturais ou pela ação humana.

As chuvas são exemplos de fenômenos naturais que causam erosão, pois podem provocar deslizamentos e infiltrações. Ventos e mudanças de temperatura são outros exemplos. O processo de erosão causado pela ação do homem pode dar-se através da remoção de cobertura vegetal de determinada região, sem esta cobertura o solo fica sujeito à infiltração.

Segundo [1], dos problemas causados pela erosão podem ser citados; empobrecimento e destruição do solo, danos à navegação, às represas usadas para geração de energia e abastecimento de água, canais de irrigação. Os danos causados pela erosão atingem toda uma nação.

Em terrenos que perderam sua cobertura natural os efeitos de chuvas e ventos causando erosão são bem maiores. Segundo [2], alguns dados sugerem que cerca de 20 cm de solo perdidos pela erosão desperdiçam de 140 a 700 anos de trabalho da natureza. Torna-se, portanto importante analisar e acompanhar o processo de erosão de forma a encontrar medidas de recuperação do solo ou mesmo de redução dos efeitos de perda de minerais e humos.

Um dos parâmetros que pode ser utilizado para se estudar os efeitos de erosão é a turbidez. Medindo a turbidez é possível determinar a quantidade de sedimentos acumulada em uma amostra de água. Coletando a água da chuva em uma região e analisando sua turbidez pode-se estimar a quantidade de sedimento que é transportada. Segundo informações retiradas de [3], “A erosão acelerada de solos é um problema mundial causador de impactos ambientais e econômicos relevantes e que tem origem tanto em causas naturais quanto em pressões antrópicas.” Por isso se torna necessária à elaboração de meios de determinação dos níveis de erosão e criação de métodos de conservação de solos.

Daí a necessidade de se obter dados referentes a erosão. Ainda em [2], foi utilizado um banco de dados com informações obtidas de varias fontes, tais como:

carta topográfica, fotografia aérea da área estudada, mapa de reconhecimento do solo, dentre outros. A análise de tal quantidade de informação permite a elaboração de um plano de conservação de solo muito mais eficiente do que este trabalho.

2 Revisão bibliográfica

Para este trabalho é importante saber qual a variação do nível de um reservatório a fim de monitorar os períodos de chuva e qual a capacidade de absorção do solo.

2.1 Medidores de nível de líquidos

Em [4], foram apresentados alguns sistemas de medição de nível. Estes medidores medem a posição da superfície de um líquido em relação a um ponto de referencia ou a altura da coluna de líquido. Existem vários métodos utilizados para a determinação das medidas de nível, e são classificados como: medição direta e medição indireta.

2.1.1 Medição direta

Medição direta é aquela cujo resultado é obtido diretamente dos dados experimentais. O valor da grandeza procurado é obtido diretamente com padrões ou através de instrumentos de medida graduados segundo as unidades respectivas. Neste tipo de medição tem-se como referencia a posição da superfície da substancia à qual se deseja obter o nível. Os tipos mais comuns de medidores diretos são: visores de nível e as boias ou flutuadores.

2.1.1.1 Visores de nível

Nestes instrumentos um tubo transparente é colocado a partir da base do reservatório até o seu ponto mais alto. Uma régua graduada é colocada ao lado do tubo para que se possa monitorar o nível do líquido ou monitorar a interface entre dois líquidos imiscíveis. Estes medidores podem operar de modo geral em condições de até 200°C e 30 atm. Mas existem medidores que suportam até 500°C e 350 atm. Como desvantagem para estes medidores apresentam um

escurecimento do visor com o passar do tempo e difícil manutenção. Um esquema de visor de medição se encontra na figura 1.

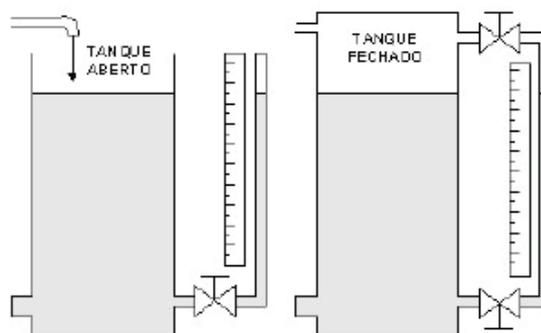


Figura 1 – visor de nível

2.1.1.2 Boias ou flutuadores

São sistemas bastante comuns e podem ser acionados através de um sistema de roldanas, uma seta indicadora ou por um sistema mecânico. Uma boia é colocada na superfície do líquido e a medida que o mesmo altera seu nível, um contrapeso ligado à boia indica o nível em uma escala assim como indicado na figura 2.

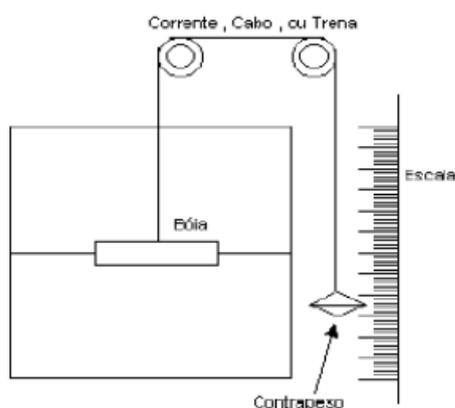


Figura 2 – medidor tipo boia

Este tipo de medidor é simples e eficaz, a altura que pode ser medida não é limitada e possui baixo custo de instalação e manutenção. No entanto por ser necessário contato com o líquido este tipo de medidor estão sujeitos a desgaste, corrosão e deposição de material dependendo da substância onde será colocado.

2.1.2 Medição indireta

A medida do nível é obtida através da medição de outras grandezas físicas ligadas por uma dependência conhecida com a desejada, tais como:

- Pressão hidrostática
- Empuxo
- Capacitância
- Medição radiométrica de nível
- Medição de nível por ultrassom

2.1.2.1 Pressão hidrostática

Neste tipo de medidor o nível pode ser inferido a partir da pressão exercida pela coluna de líquido dentro de um tanque baseado no teorema de Stevin:

$$P = \gamma * h \quad (1)$$

Onde:

P = pressão em mm de H₂O ou polegadas H₂O

h = nível em mm ou polegadas

γ = densidade relativa do líquido na temperatura ambiente

A figura 3 representa este tipo de medidor.

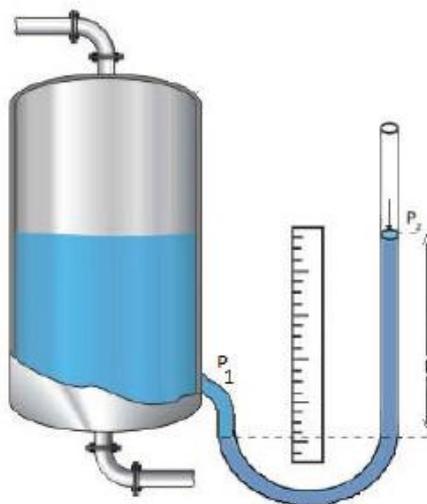


Figura 3 – medidor de nível por pressão hidrostática

Este tipo de medidor não é indicado para fluidos onde possa ocorrer variação de densidade.

2.1.2.2 Medição por empuxo

O empuxo é calculado do seguinte modo:

$$E = \gamma * V \quad (2)$$

Onde:

E = empuxo

V = volume de líquido deslocado

γ = densidade do líquido

Este medidor é formado por um flutuador comprido acoplado a um tubo de torção. O flutuador sofre a ação do empuxo do líquido e o transmite para o tubo de torção, onde seu valor é mostrado em uma escala assim como representado na figura 4.

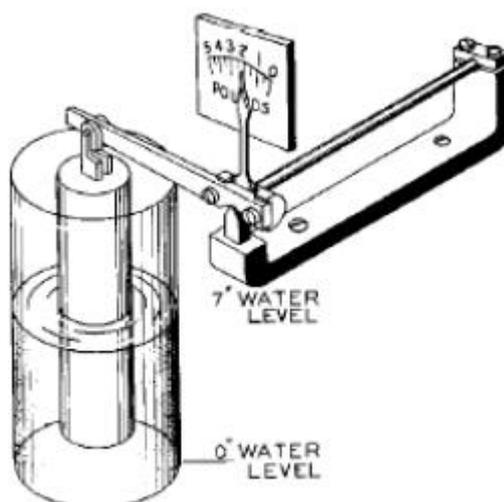


Figura 4 – medidor de empuxo

Como o empuxo depende da densidade do líquido este medidor não é indicado para aplicações onde se tenha um fluido com densidade variável.

2.1.2.3 Medição por capacitância

Este medidor mede a capacitância do capacitor formado por um eletrodo submerso no líquido e pelas paredes do reservatório. Essa capacitância depende do nível do líquido.

O eletrodo é instalado em paralelo com uma parede vertical do reservatório, que deve ser feito de material condutor. Se for necessária a instalação em tanques não condutores é necessário colocar um segundo eletrodo. Pode ser usado em aplicações com vários tipos de líquidos condutivos ou não condutivos. Apresenta longa duração e pouca necessidade de manutenção e opera em temperaturas e pressões altas.

A figura 5 mostra um esquema de montagem desse tipo de medidor.

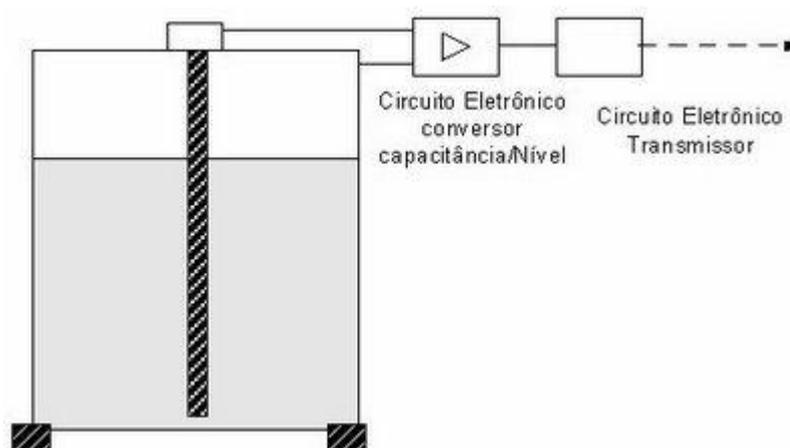


Figura 5 – medidor de nível capacitivo

2.1.2.4 Medição radiométrica de nível

Para este tipo de medição não é necessário nenhum tipo de contato do medidor com o líquido, podendo ser utilizados em casos de extremas condições de temperatura e pressão, além de medidas de líquidos corrosivos.

Uma fonte e um receptor de radiação são posicionados em lados opostos do reservatório. Quando o nível do líquido muda uma porção diferente do receptor fica protegida da radiação, desse modo quanto mais radiação recebida, menor é o nível. Este tipo de processo de medição é ilustrado na figura 6.

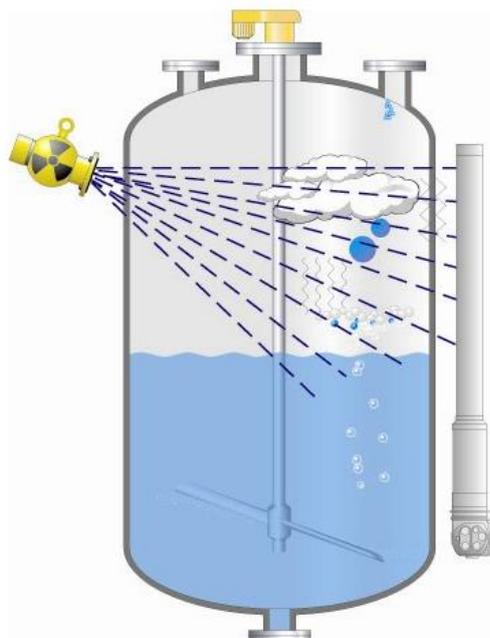


Figura 6 – exemplo de um medidor radiométrico de nível

Na indústria esses medidores são indicados para processos que não devem ser interrompidos, pois permitem a realização de manutenção a qualquer momento sem a necessidade de parar o processo. No entanto é um método caro de medição, por utilizar uma fonte de radiação é necessário ter uma licença de uso e as fontes de radiação devem ser trocadas após o fim de sua vida útil [5].

2.1.2.5 Medição de nível por ultrassom

Um sensor ultrassônico emite uma onda de alta frequência (acima do limite audível pelo ser humano), essa onda é refletida pela superfície do material do qual se deseja obter o nível e volta ao sensor. Através do tempo decorrido entre o pulso emitido e o pulso refletido é possível determinar a distância percorrida pelo mesmo, desse modo sabe-se também o nível de líquido.

Como principais vantagens destacam-se: baixo custo, não existe contato entre o sensor e o líquido, e podem ser utilizados sem restrição em locais abertos ou fechados. Uma desvantagem é a aplicações em lugares com altas temperaturas ou uma grande variação de temperatura a velocidade de transmissão se altera, pois como qualquer onda a velocidade de propagação do som depende das

características do meio. Outro problema ocorre para medição onde existem superfícies inclinadas, pois podem causar reflexo indireto [6].

Na figura 7 se encontra uma representação de um sistema de medição ultrassônico.

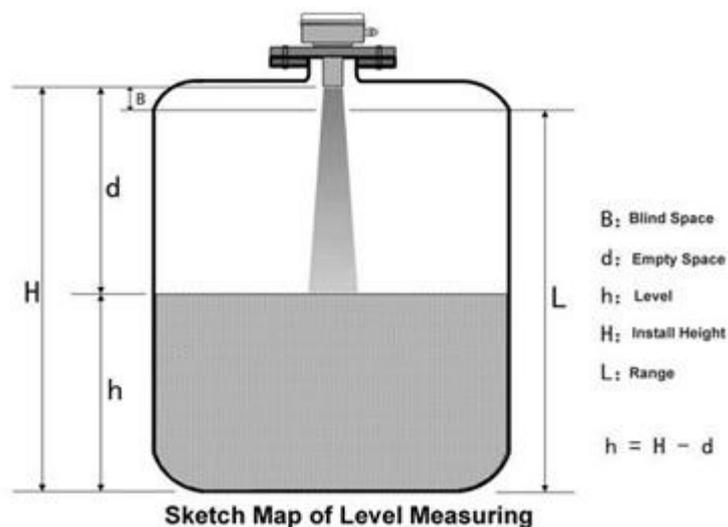


Figura 7 – medidor de nível ultrassônico

2.2 Projetos para comparação do medidor de nível

Em [7], é apresentado um método de medição de temperatura utilizando micro-ondas sonoras. Este tipo onda apresenta alta refletividade e baixa sensibilidade a variações de temperatura e umidade do ar.

Em [8], encontra-se o manual de instruções do medidor VEGASON 61, produzido PE VEGA. Trata-se de um medidor de nível por ultrassom de alta performance e precisão utilizado, principalmente, em plantas industriais onde precisão, estabilidade e resistência à condições ambientais diversas são necessárias.

2.3 Medidores de turbidez

Os medidores de turbidez medem a redução da sua transparência devido à presença de materiais em suspensão. Segundo [9] é a “característica física da água, decorrente da presença de substâncias em suspensão, ou seja, sólidos suspensos, finamente divididos ou em estado coloidal, e de organismos microscópicos”. A seguir, na figura 8 tem-se uma ilustração de amostras de água com diferentes níveis de turbidez.

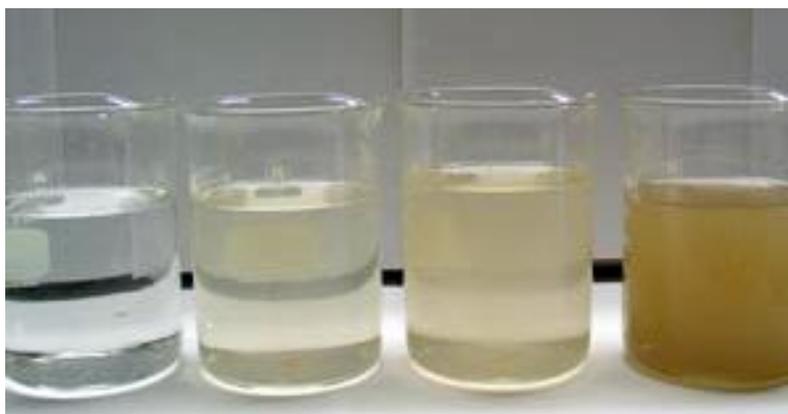


Figura 8 – amostras de água com diferentes níveis de turbidez

Normalmente a medida de turbidez é feita em amostras que devem ser analisadas logo após a coleta (feita em recipiente de vidro ou PVC bem limpos), devido ao fato de que a turbidez pode ter seu valor alterado após algum tempo. A medida de turbidez são normalmente expressa em Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) ou em mg/l de SiO₂ (miligramas por litro de Sílica). A solução de referência para a medição é uma solução padrão de formazina e possuiu (400 NTU) ele é obtida da seguinte maneira:

Em um balão de 100 mL, misturar 5 mL de uma solução 1 e 5 mL de uma solução 2 que são as a seguir e deixar repousar durante 24 horas a uma temperatura de 25°C +- 3°C e diluir até a marca do balão.

Solução 1: dissolver 1000 g de sulfato de hidrazina, (NH₂)₂H₂SO₄ em 1 L água destilada e diluir até 100 mL.

Solução 2: dissolver 1000 g de hexametenotetramina, (CH₂)₆N₄, em 1 L água destilada e diluir até perfazer 100 mL.

Informações retiradas de [10].

Os instrumentos que medem turbidez podem consistir de uma fonte luminosa, um recipiente de amostra e um receptor de luz (os chamados nefelômetros), ou de um equipamento regradado de medição. Para este trabalho é importante medir a turbidez da água em um reservatório para determinar a quantidade de solo que é erodido.

2.3.1 Nefelômetros

Em [11], encontra-se a descrição de alguns tipos de medidores de turbidez. O dispositivo que realiza a medição de turbidez chama-se turbidímetro ou nefelômetro, que compara o espalhamento de luz da amostra com o espalhamento de uma solução de referência. Maior espalhamento maior turbidez. Os turbidímetros são constituídos essencialmente por um ou mais emissores de luz e um ou mais receptores de luz.

2.3.1.1 Nefelômetro de feixe simples

Neste tipo de nefelômetro um emissor de luz envia um feixe que chega diretamente sobre o emissor após passar pela amostra de medição sem sofrer desvios. A turbidez é medida pela diferença de intensidade entre os feixes emitido e recebido. O esquema de montagem é mostrado na figura 9.

Suas principais características são: emissão de infravermelho, pouca luz dispersa e baixa interferência da cor da amostra, visto que o infravermelho se encontra fora do limite visível não é absorvido pela amostra.

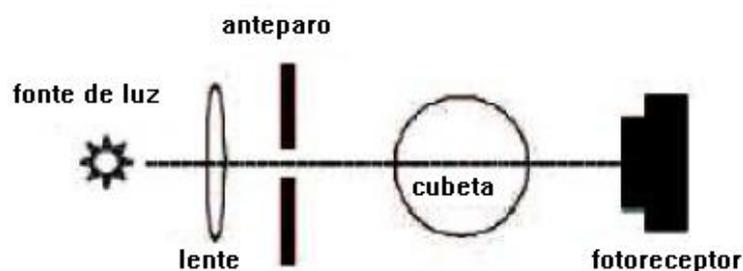


Figura 9 – esquema de um nefelômetro de feixe simples

2.3.1.2 Nefelômetro em radiação espalhada

Neste método a luz colide com partículas sólidas em suspensão e é espalhada na amostra. A turbidez é então medida por um sensor que recebe a luz dispersa em um ângulo de 90° tal qual mostrado na figura 10.

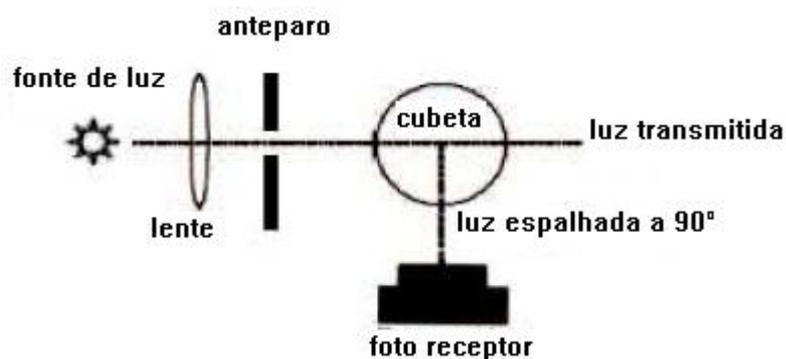


Figura 10 – esquema de um nefelômetro de radiação espalhada

O emissor é uma lâmpada de tungstênio, com radiação de comprimento de onda de 400 – 600nm. Para esta medição ocorre a interferência da cor, pois a luz branca contém todo o espectro visível, e a lâmpada precisa de um maior tempo para estabilizar sua temperatura.

2.3.1.3 Disco de Secchi

É um método indicado para a medição de turbidez em lagos, represas ou rios. Um disco marcado como o da figura 11 é imerso na água com uma linha calibrada, quando o disco não puder ser mais visto a profundidade é marcada. Depois o disco é levantado e quando ele se tornar visível anota-se a nova profundidade. A média dessas duas profundidades é usada para um cálculo aproximado da turbidez.

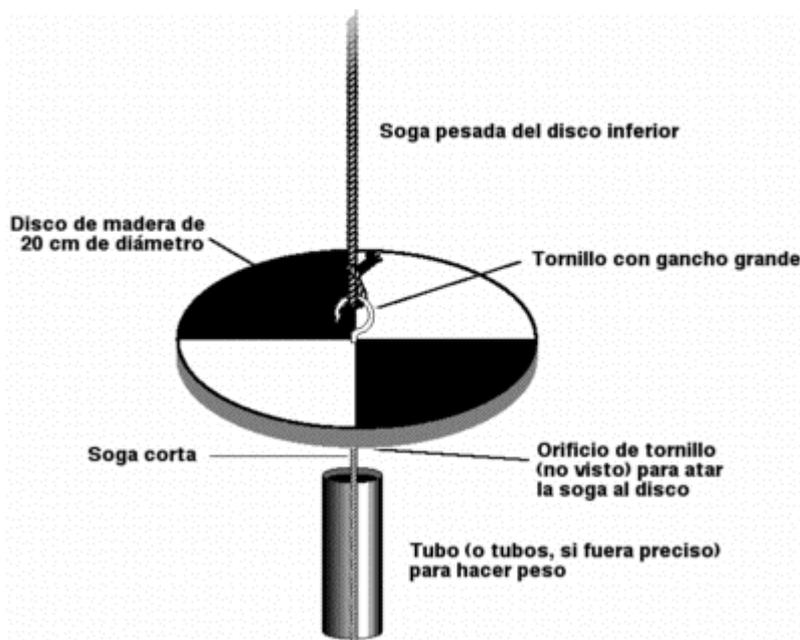


Figura 11 – esquema do disco de Secchi

2.4 Projetos para comparação do medidor de turbidez desenvolvido

Em [12], é apresentado um método de medida de turbidez que consiste em medir a intensidade de luz transmitida linearmente e a luz dispersada em uma região. Pela comparação das duas é possível uma melhor precisão do valor de turbidez. A figura 12 mostra o esquema desse medidor.

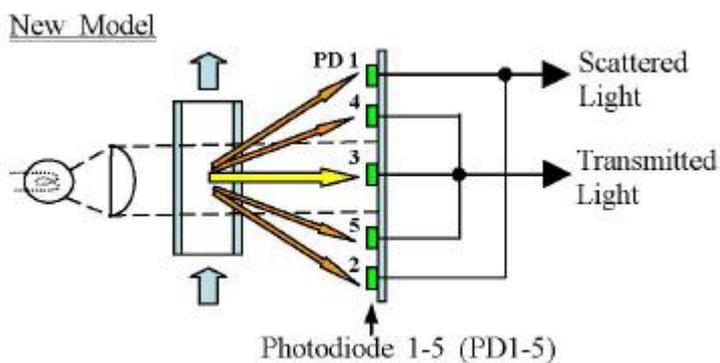


Figura 12 – esquema do nefelômetro de radiação espalhada

Em [13], é apresentado um medidor de turbidez que utiliza dois pares emissor/receptor de infravermelho para aumentar a precisão de medida. A figura 13 representa o esquema de funcionamento do mesmo.

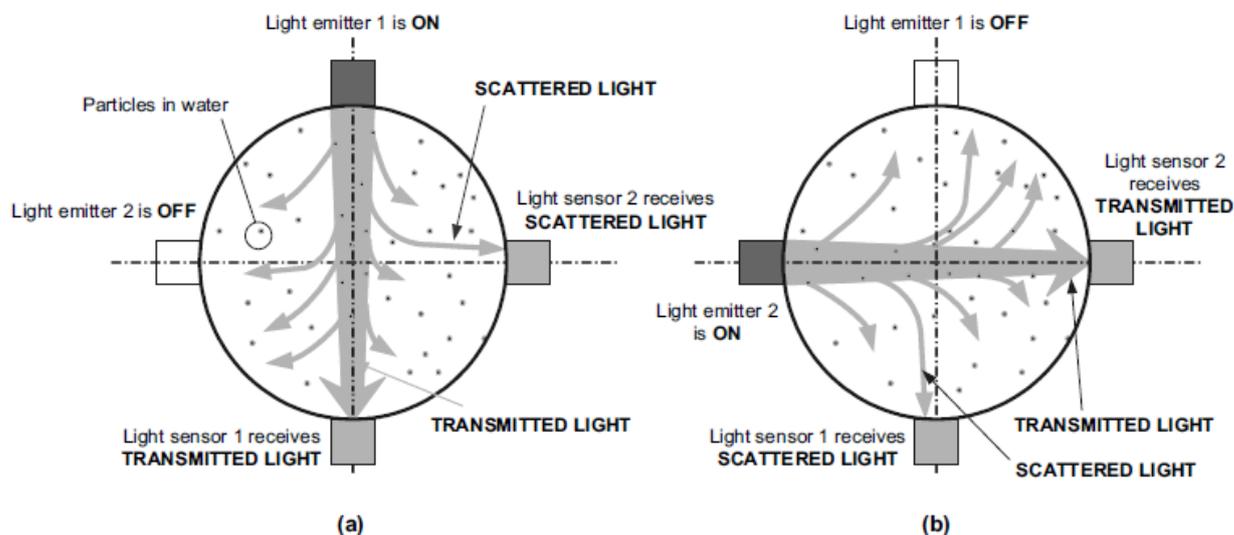


Figura 13 – turbidímetro modulado de quatro feixes: (a) durante a fase 1, o emissor 1 é ligado, a luz transmitida atinge o sensor 1 e luz dispersa é recebida pelo sensor 2, (b) durante a fase 2, 2 emissor está ligado e os dois sensores apresentam suas funções trocadas com relação à fase 1.

2.5 Objetivos gerais

Este projeto tem como objetivo geral desenvolver um sistema medidor de nível e turbidez eficiente e de baixo custo, para aquisição de dados de um tanque onde se armazena água proveniente de chuvas.

Como objetivos específicos se destacam o estudo e um melhor aprendizado de programação em linguagem C e a aplicação funções de um microcontrolador e alguns periféricos.

3 Materiais e métodos

O tipo de medidor de nível escolhido foi o medidor através de ultrassom, pois este não apresenta contato direto com o meio a ser medido e é um medidor de baixo custo e de fácil manutenção.

O sensor de turbidez escolhido foi um medidor utilizando infravermelho de feixe simples, pois não apresenta interferência de cor e é de fácil montagem e manutenção.

3.1 Sistemas de medição de nível e turbidez

3.1.1 Medição de nível por Ultrassom

O ultrassom é definido por qualquer onda sonora de frequência superior à audível pelo ser humano (20 KHz). Como ondas o ultrassom sofre os fenômenos de reflexão, refração, difração e interferência. Sons inaudíveis possuem diversas aplicações na engenharia, por exemplo: ao enviar um pulso ultrassônico em uma barra de aço pode-se detectar alguma falha ou fissura no interior do material através da onda refletida sobre o mesmo. Além disso, medindo-se o tempo decorrido entre os pulsos emitidos e refletidos, é possível determinar a localização e dimensões da falha.

A velocidade de propagação do som no ar é de 340m/s, em um sistema onde o emissor e o receptor estão na mesma posição o som precisa percorrer uma distância duas vezes maior do que aquela a ser medida, portanto:

$$velocidade = \frac{distancia}{tempo} \rightarrow v = \frac{2*d}{t} \rightarrow d = 170 * t \quad (3)$$

A Figura 14 a seguir ilustra o processo de reflexão de uma onda sonora.

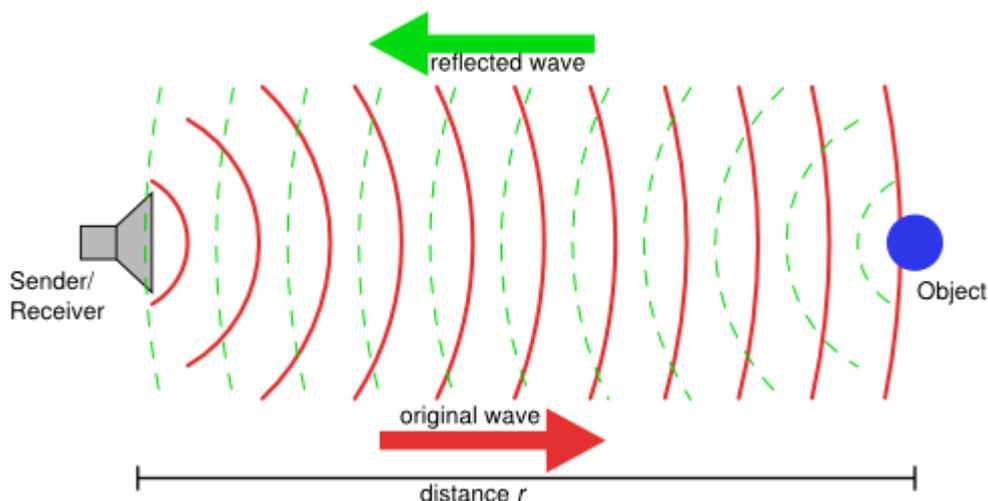


Figura 14 – exemplo de reflexão de onda sonora

3.1.2 Medidor de turbidez

Para desenvolver o sistema de sensoriamento capaz de medir a turbidez do lugar em questão foi utilizado um par transmissor/receptor de infravermelho. O sistema escolhido foi o de nefelômetro de feixe simples devido à sua simplicidade. Os dados obtidos são armazenados pelo microcontrolador.

3.2 Microcontroladores e aquisição de dados

3.2.1 Microcontroladores

Microcontroladores são sistemas computacionais completos, ou seja, possuem uma unidade central de processamento (CPU), memórias de dados e de programas, sistema de *clock* e variados periféricos tais como conversores A/D e temporizadores, todos em um mesmo componente. Segundo [14], “Podemos definir o microcontrolador como um ‘pequeno’ componente eletrônico, dotado de uma ‘inteligência’ programável, utilizado no controle de processos lógicos”.

3.2.2 Microcontroladores PIC

Hoje em dia convivemos com uma grande quantidade de aparelhos eletroeletrônicos que possuem microcontroladores. Basicamente qualquer sistema digital apresenta algum tipo de micro controlador; despertadores, micro-ondas, automóveis e principalmente na área industrial. Existem vários fabricantes de microcontroladores, dentre eles a Microchip. Os microcontroladores fabricados por ela são chamados de PIC's que é a sigla em inglês para Controlador Integrado de Periféricos.

Os PIC's possuem famílias de microcontroladores de 12, 14 e 16 bits e sua arquitetura chamada RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) possuem uma separação entre as memórias de dados e de programa, cada uma com o seu barramento de conexão com a CPU. Arquiteturas que seguem este modelo são chamadas de *Harvad* e tem como vantagem o ganho de velocidade ao executar instruções, pois quando uma instrução é executada outra é lida [15].

Dadas às necessidades do projeto realizado o microcontrolador escolhido foi o PIC 16F88. Esse microcontrolador possui os seguintes recursos principais essenciais para este projeto:

- Comunicação SPI e I²C
- Temporizador de segurança – WDT

A figura 15 obtida no datasheet do componente [16] MICROCHIP, mostra o diagrama do encapsulamento do PIC 16F88.

18-Pin PDIP, SOIC

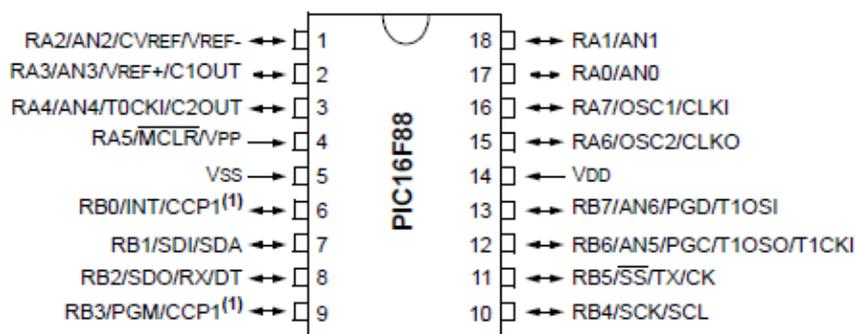


Figura 15 – pinagem do PIC 16F88 de 18 pinos com encapsulamento tipo DIP [15]

Note que o pino RB1 é responsável tanto pela comunicação SPI quanto pela I²C, portanto a princípio apenas uma das duas comunicações seria possível.

3.2.2.1 Protocolos de comunicação SPI e I²C

Em [17] e [18] encontram-se descrições das comunicações SPI e I²C que serão utilizados para controlar a comunicação com o cartão de memória e o módulo de relógio, respectivamente. A comunicação SPI (*Serial Peripheral Interface* – Interface Serial Periférica) é encontrada em vários modelos de microcontroladores e permite a comunicação serial entre dois ou mais dispositivos a grande velocidade e com fácil implementação. O SPI é um protocolo do tipo mestre/escravo. Neste tipo de sistema existe um único aparelho com a função de controlar a frequência de *clock* da linha de comunicação, este é o mestre. Os outros dispositivos são chamados de escravos e são controlados pelo comando de *clock* do mestre.

A sincronização é feita pelo sinal de *clock* do mestre que controla quando os dados devem ser transmitidos e lidos. O sinal de *clock* pode variar sem prejudicar os dados de modo que a taxa de transmissão mude juntamente com as mudanças de *clock*. Sendo, portanto ideal para sistemas onde se tem sinais de *clock* imprecisos como no caso de um oscilador RC (resistor / capacitor).

Os dados sempre são trocados entre os dispositivos (seja entre microcontrolador e periféricos ou entre microcontroladores), ou seja, ambos funcionam como transmissores e receptores. Existem duas linhas de transmissão: uma do mestre para o escravo e outra do escravo para o mestre, além da linha de *clock* que faz a sincronização da transmissão de dados, existe também o pino SS usado pelo mestre para habilitar e desabilitar os dispositivos escravos desejados. A Figura 16 representa o esquema de comunicação SPI entre um mestre e vários escravos.

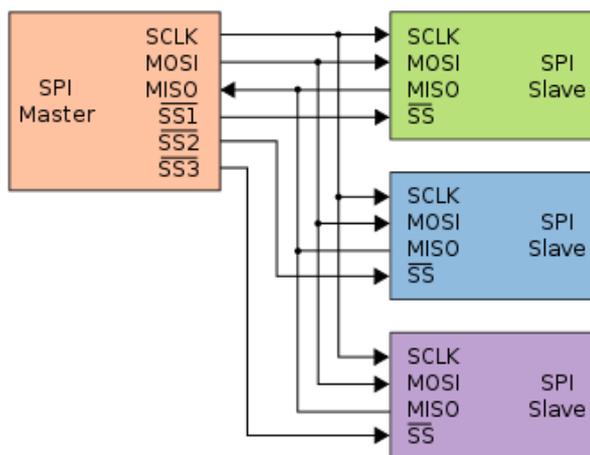


Figura 16 – esquema de ligação para comunicação SPI

O protocolo I²C permite teoricamente até 127 aparelhos comunicando entre si no sistema mestre escravo, utilizando apenas dois fios (na prática este limite é menor, pois depende de fatores como: características elétricas do sistema e endereços já reservados).

As linhas de comunicação são: SCL (linha de *clock*) e a DAS (linha de dados), como só existe uma linha de dados esta só pode estar enviando ou recebendo, nunca os dois ao mesmo tempo. A linha SCL é utilizada para o sincronismo dos aparelhos. Quando a SCL está em nível baixo, o sinal de DAS pode ser mudado, e quando está em nível alto o sinal de SDA não pode ser alterado. Portanto uma transição de bits do estado baixo para alto sinaliza um bit na linha de dados. Caso algum dos aparelhos que estejam comunicando não consiga acompanhar a frequência do sinal de *clock*, este pode controlar a linha mantendo-a em nível baixo pelo tempo necessário. Os aparelhos conectados a essa linha SCL somente podem coloca-la em estado baixo, nunca em estado alto.

Na Figura 17 a seguir está representado o barramento de ligação I²C.

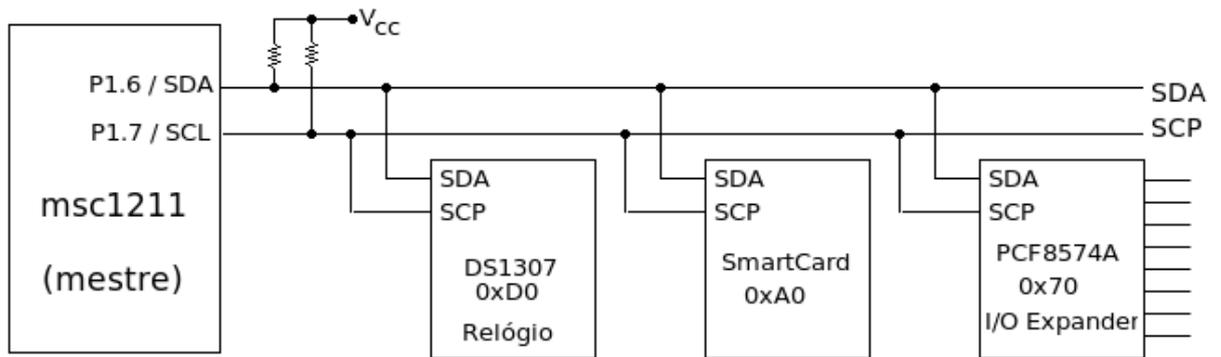


Figura 17 – barramento de comunicação I²C

Para obter o estado alto, colocam-se duas resistências de *pullup* entre o terminal positivo e a linha. Essa aplicação é útil pra que aparelhos que utilizam 5V de alimentação possam se comunicar com os de alimentação diferente como 3.3V.

Essa regra apresenta duas exceções: bits de início e fim de comunicação. Essas linhas do I²C nem sempre estão sendo usadas, então é necessário saber quando serão utilizadas. Se não estiver sendo utilizada, ambas SCL e SDA ficam em estado alto. O início da comunicação é sinalizado quando a linha SDA vai para estado baixo enquanto a linha SCL está em nível alto. Para sinalizar o fim da comunicação a linha SDA vai para estado alto enquanto SCL está também em estado alto. Na Figura 18 temos a representação do bit inicial e do bit final (*start* bit e *stop* bit respectivamente).

Start and Stop Definition

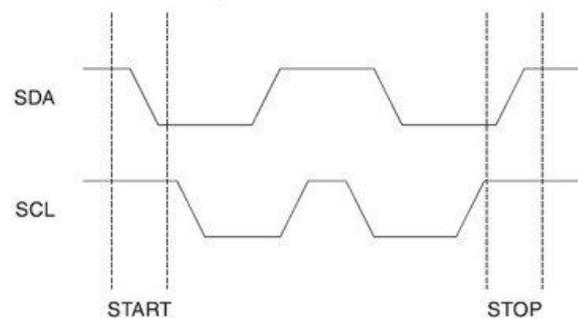


Figura 18 – definição dos bits de start e stop

Só podem existir dois dispositivos utilizando os canais de comunicação por vez, sendo um deles o mestre e o outro o escravo. O *general call* é um endereço especial que permite que o mestre se comunique com todos os escravos. Isto é útil para

configurar o endereço de algum aparelho com um endereço desconhecido, ou escrever um valor para vários aparelhos ao mesmo tempo.

O formato da mensagem transmitida no protocolo I²C é assim definido: um *start* bit (bit inicial descrito anteriormente) seguido do endereço do escravo e um bit *read/write* que indica se o mestre quer ler (bit = 1) ou escrever (bit = 0), ou seja, conforme o valor desse bit o mestre atua como receptor ou transmissor de dados. Após isso se tem um sinal ACK/NACK (ACK para continuar a comunicação e NACK para parar a comunicação) do escravo para indicar que recebeu a mensagem e se pode continuar a comunicação. Para todo byte enviado o aparelho deve enviar um ACK/NACK. Para sinalizar o fim da comunicação o mestre envia um bit de *stop*.

A representação da forma de comunicação bit a bit encontra-se na Figura 19.

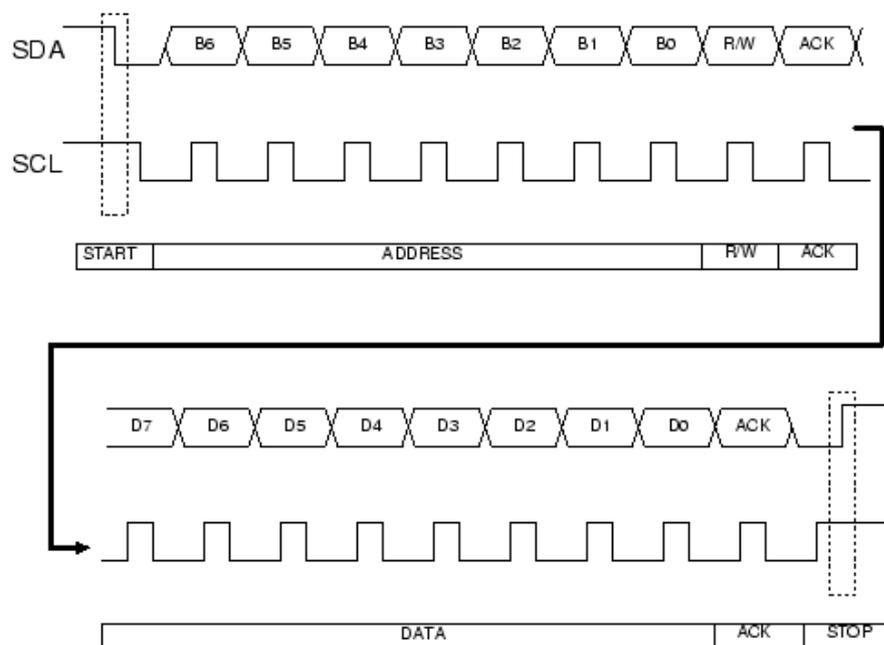


Figura 19 – representação dos sinais típicos da comunicação I²C

3.2.2.2 Temporizador de segurança – WDT

Em [19], são descritos o funcionamento e características do WDT (*watch dog timer* no inglês). O WDT é um sistema que impede que o processador fique bloqueado. O principal motivo para a implementação de um WDT é evitar que o programa bloqueie e surjam problemas, caso o microcontrolador estivesse

controlando um processo industrial. Seu funcionamento é baseado em um contador automático do PIC que ao atingir o final da contagem realiza um RESET da CPU.

Para ativar o WDT o bit 2 do registrador denominado “*Configuration Word*” deve ser colocado em nível 1. Com uma instrução de *software* pode ser feito o RESET do contador do WDT evitando o RESET do PIC;

O tempo para a contagem do WDT é dado pelo registrador de uma pré escala. Para cada combinação dos bits PS0, PS1 e PS2 do registrador obtém-se um tempo de contagem diferente. Os valores dos tempos de contagem encontram-se representados na tabela 1.

Tabela 1 – tempo de contagem do WDT

PS2	PS1	PS1	Período aproximado de contagem do WDT
0	0	0	18 ms
0	0	1	36 ms
0	1	0	72 ms
0	1	1	144 ms
1	0	0	288 ms
1	0	1	576 ms
1	1	0	1152 ms
1	1	1	2304 ms

Outra função do WDT é retirar o micro controlador do modo de espera que é um modo de hibernação de baixo consumo de energia do microcontrolador. Ao final da contagem de tempo o WDT “acorda” a CPU sem fazer o RESET.

3.3 Aquisição de dados

A coleta de dados é o meio pelo qual a informação desejada sobre uma ou mais variáveis é armazenada. Neste trabalho as variáveis são obtidas por sensores através de um microcontrolador e seus valores são armazenados em um cartão de memória em forma de arquivo no formato .txt, o qual pode ser posteriormente analisado em um computador.

A escolha de cartões de memória flash para o armazenamento de dados neste projeto se deve ao fato de que eles consomem pouca energia, ocupam pouco espaço físico no sistema e são fisicamente robustos.

Os cartões SD (*Secure Digital* - Segurança Digital em português) são uma inovação em armazenamento de dados. O termo Segurança Digital provém da capacidade dos mesmos em armazenar direitos autorais em seus arquivos. Eles estão presentes em máquinas fotográficas e celulares. São memórias *flash* altamente integradas com acesso serial e randômico, isto é, pode-se acessar um dado em qualquer posição. A figura 20 seguir mostra a configuração de pinos de um cartão SD.

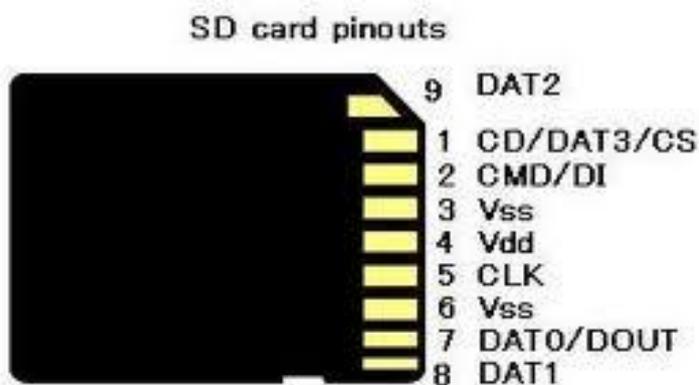


Figura 20 – pinagem de um cartão SD

Esses cartões possuem 9 pinos responsáveis pela interconexão elétrica e estão assim distribuídos:

- Pino 4 de alimentação (V_{dd}).
- Pinos 3 e 6 para terra (V_{ss}).
- Pino 5 *clock* externo (CLK).

- Pino de comando externo (CMD).
- Pinos 1, 7,8 e 9 são linhas de sinal (DAT de 0 a 3).

O processamento interno do cartão é gerenciado pelo *clock* interno, não relacionado com o *clock* externo que tem por finalidade sincronizar as informações de DAT e CMD. [20].

Um trem de pulsos regula os comandos que são dados, esse trem de pulsos é iniciado por um sinal de *start* e finalizado por um sinal de *stop*. Seu ritmo é regulado pelo sinal de *clock* e cada ciclo do mesmo representa a transferência de um bit de sinal.

3.4 Relógio DS1307

É necessário um acompanhamento do momento em que se realizaram as medidas para se realizar uma adequada avaliação da evolução da erosão. Para isso foi preciso acoplar um modulo de relógio que será responsável por fornecer a hora e a data de cada medida. Para tal foi escolhido o DS1307.

Esse dispositivo é um relógio de tempo real com comunicação serial, consome baixa potencia, trabalha com sistema numérico BCD (*Binary-coded decimal* – decimal codificado em binario). Os dados são transmitidos serialmente através do protocolo I²C de forma bidirecional. Fornece: segundos, minutos, horas, dia, dia da semana, mês e ano incluindo a correção de meses com menos de 31 dias e anos bissextos. Pode operar como relógio de 24 horas ou de 12 horas com indicador AM/PM e sempre q ocorrer essa mudança de 24 para 12 horas o valor da hora deve ser ajustado. Além disso conta com um sistema capaz de detectar falhas na alimentação e muda automaticamente para um modo de alimentação reserva que pode ser uma bateria ou pilha sem perder as informações de data e hora consumindo menos de 500nA [21].

A figura 21 a seguir mostra circuito de operação do DS1307.

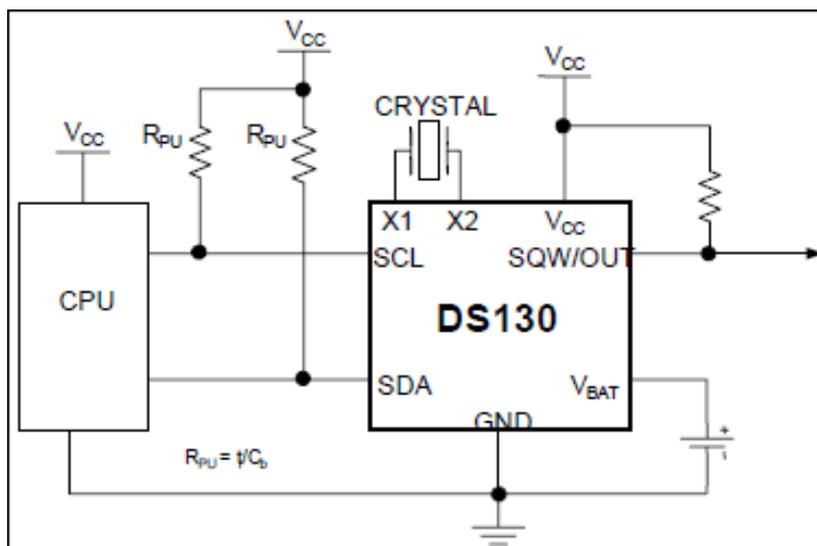


Figura 21 – circuito de operação do DS1307

A representação descrita em [22] o código BCD (decimal codificado em binário no português) trata de representar em binário cada algarismo isoladamente, de modo que o número original seja preservado. Isso é importante, pois a representação de números reais em ponto flutuante é adequada para realizar cálculos matemáticos, mas nessa representação pode ocorrer a perda de precisão do número a ser representado ou pode ocorrer uma situação onde o valor excede o número de bits do expoente (*overflow* no inglês). Essa codificação em BCD permite, portanto a representação números com precisão variável.

A tabela 2 mostra a representação BCD dos algarismos decimais.

Tabela 2 – sistema BCD

DECIMAL	BCD	DECIMAL	BCD
0	0000	8	1000
1	0001	9	1001
2	0010	inválido	1010
3	0011	inválido	1011
4	0100	inválido	1100
5	0101	inválido	1101
6	0110	inválido	1110
7	0111	inválido	1111

Desse modo o numero 254 é representado da seguinte forma:

2 = 00102

5 = 01012 e

4 = 01002, logo:

254 = 001001010100 (BCD).

Novamente de [21] o DS1307 utiliza um cristal externo de 32.768kHz e não requer nenhum resistor ou capacitor para operar. As informações referentes à hora e data são obtidas pelo registrador apropriado, esses registradores são setados pelo programados. Os registradores são mostrados na tabela 3. Na primeira inicialização os registradores são resetados para os seguintes valores:

01/01/00 01 00:00:00 (MM/DD/YY DOW HH:MM:SS)

Tabela 3 – registradores do DS1307

ENDEREÇO	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT 0	FUNÇÃO	RANGE
00h	CH	10 Segundos			Segundos			Segundos	00-59	
01h	0	10 Minutos			Minutos			Minutos	00-59	
02h	0	12	10	10	Horas			Horas	1-12 +AM/ PM 00- 23	
		24	AM / PM							
03h	0	0	0	0	0	DIA		Dia	1-7	
04h	0	0	10 data		Data			Data	01-31	
05h	0	0	0	10	Mês			Mês	01-12	
06h	10 Ano			Ano			Ano	00-99		
07h	OUT	0	0	SQW E	0	0	RS1	RS0	Controle	-
08h - 3Fh								RAM 56x8	00-FFh	

3.5 Fonte de alimentação

Para se alimentar um circuito eletrônico é necessária uma fonte de corrente contínua seja através de uma bateria ou um sistema de retificação. Em ambos a tensão de alimentação precisa ser estabilizada para fornecer um valor constante (5V para o micro controlador utilizado) para isso são usados reguladores de tensão.

Esses reguladores lineares podem ser montados com componentes discretos ou se utilizar um circuito integrado (CI). Os CI's apresentam formato compacto e maior estabilidade da tensão de saída, sendo comumente escolhidos para construção de fontes reguladas.

Dentre esses CI's destacam se os das series 78XX e 79XX, [23], para tensões positivas e negativas respectivamente. Para todos dessas series a tensão de entrada deve ser pelo menos 3V maior do que a tensão de saída. O 7805 apresenta as seguintes características elétricas:

- Máxima tensão de entrada de 35V
- Corrente máxima de saída de 1A
- Tensão de saída máxima de 5,2V
- Tensão de saída mínima de 4,8V

A figura 22 a seguir representa o esquema de circuito de regulação de tensão utilizando um 7805.

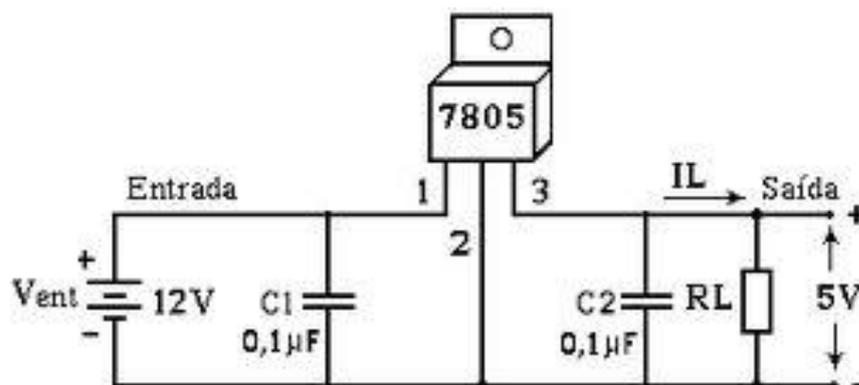


Figura 22 – representação de um circuito de regulação de tensão com 7805

4 Desenvolvimento do projeto

O desenvolvimento do projeto foi dividido nas seguintes etapas:

- Desenvolvimento do medidor de nível por ultrassom
- Armazenamento de dados em cartão de memória
- Desenvolvimento do medidor de turbidez
- Montagem do relógio
- Montagem da fonte de alimentação
- Criação da placa de circuito impresso
- Testes iniciais
- Testes finais

4.1 Desenvolvimento do medidor de nível por ultrassom

Para a realização dos testes deste medidor de nível foi utilizada uma placa montada como pode ser visto na figura 23, essa placa foi constituída pelos seguintes componentes principais:

- Um módulo HC SR04
- Um micro controlador PIC 16F877A (utilizado em todos os testes)
- Um display de LCD



Figura 23 – módulo de testes para o sensor de nível e comunicação com cartão de memória

O sensor ultrassônico HC-SR04 determina a distância até um objeto através de sonar, assim como os navios e submarinos. Este sensor permite medidas de 2cm – 400cm e seu módulo inclui transmissor, receptor e circuito de controle, o que o torna de fácil utilização. Na figura 24 pode-se observar o HC-SR04. Quanto a área da superfície à qual se deseja medir a distância é inferior a $0,5m^2$ os resultados serão afetados. [24].



Figura 24 – HC-SR04

Onde temos:

VCC = +5 V DC

Trig = gatilho do sensor (entrada)

Echo = eco do sensor (saída)

GND = terra .

Inicialmente o medidor de nível foi feito utilizando o programa de computador CCS, no entanto devido ao grande numero de bibliotecas e sua fácil utilização o projeto posteriormente foi feito utilizando o Mikro C Pro. Devido às diferenças no nível de programação algumas adaptações se fizeram necessárias no código do programa. Após as adaptações serem feitas seguiu-se uma nova bateria de testes afim de sanar os erros de comunicação. Quando não realiza medidas esse sensor consome uma corrente de aproximadamente 10 mA. Portanto para aplicações em sistemas alimentados à bateria, como o caso deste projeto, é interessante e fundamental adicionar um transistor à alimentação do sensor, de tal modo que o mesmo consuma corrente somente com o microcontrolador em funcionamento.

O esquema eletrônico da montagem deste sensor ao micro controlador foi gerado no programa de computador Proteus, juntamente, com todas as partes do projeto e será mostrado mais adiante.

4.2 Armazenamento de dados em cartão de memória

Todo o sistema ficará em campo aberto durante longos períodos de tempo, por isso a necessidade de um método de armazenamento de dados que permita uma análise futura dos mesmos. Escolheu-se então armazená-los em um cartão de memória. A biblioteca do Mikro C Pro permitiu a criação de um código capaz de realizar a comunicação com o cartão e a criação de uma tabela contendo os valores medidos bem como a data e hora de medição dos mesmos.

A seguir na tabela 4 tem-se um exemplo de como os dados são armazenados no cartão de memória.

Tabela 4 – separação de dados no cartão SD

Vetorial Engenharia e Projetos					
Nível	Minutos	Horas	Dia	Mês	Ano
46	26	17	4	3	13
15	26	17	4	3	13
6	26	17	4	3	13
43	37	16	8	3	13
9	37	16	8	3	13
5	37	16	8	3	13

A comunicação entre o cartão SD e o microcontrolador obedece o protocolo SPI .

4.3 Desenvolvimento do medidor de turbidez

Devido à falta de um *datasheet* do par emissor/receptor com as especificações e curvas de tensão entre transmissor receptor foi necessário a construção dessa curva de modo experimental.

Para isso foi criada uma rotina que controlava o valor da radiação emitida e armazenava esse valor juntamente com o valor lido no receptor.

Foram feitas 15 medidas utilizando esse método e tomou-se a media dos valores como sendo a curva emissor/receptor. Tal curva é mostrada no gráfico da Figura 25.

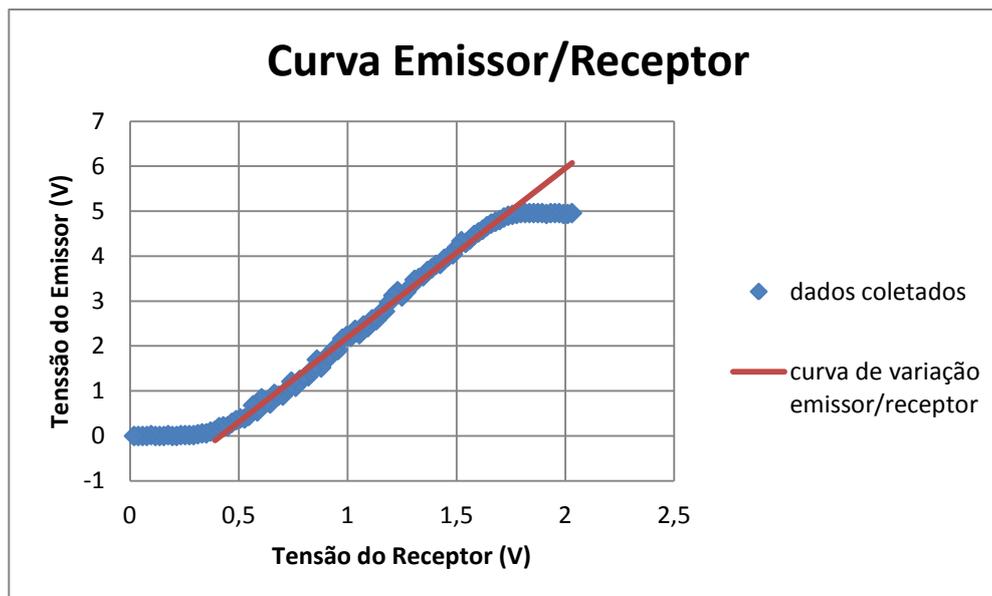


Figura 25 – curva emissor/receptor

O gráfico tem a forma linear, devido à isso uma escala pode ser obtida facilmente. Nesse projeto os valores serão ajustados para mostrar se a amostra encontra-se turva, transparente, ou em níveis intermediários em termos da porcentagem de radiação que chega ao receptor.

Para obter uma medida aproximada da turbidez deve ser criada uma escala com uma referencia adotada para tal medida e determinação dos limites de NTU que podem ser medidos. Essa escala será montada posteriormente quando a montagem final da placa estiver finalizada.

4.4 Montagem do relógio

A montagem do relógio é bastante simples. No entanto lembrando que o PIC16F88 utiliza os mesmos pinos para realizar as comunicações em SPI e I²C e que já esta se comunicando com o cartão de memória (através do protocolo SPI) fez-se necessário encontrar uma alternativa para a comunicação com o DS1307.

A solução encontrada foi à emulação da comunicação I²C utilizando algum dos pinos livres do microcontrolador. O programa de computador utilizado para a programação possui uma biblioteca para essa emulação chamada de *soft I²C*.

Após “criar” a comunicação em outras portas livres do 16F88 e atentando ao fato de converter os valores de set do relógio para o padrão BCD foi possível completar esta etapa e ajustar o relógio como o necessário. A seguir na figura 26 encontra-se uma foto do circuito do medidor de nível apresentado e do módulo de relógio, ambos funcionaram juntos sem nenhum problema na comunicação.

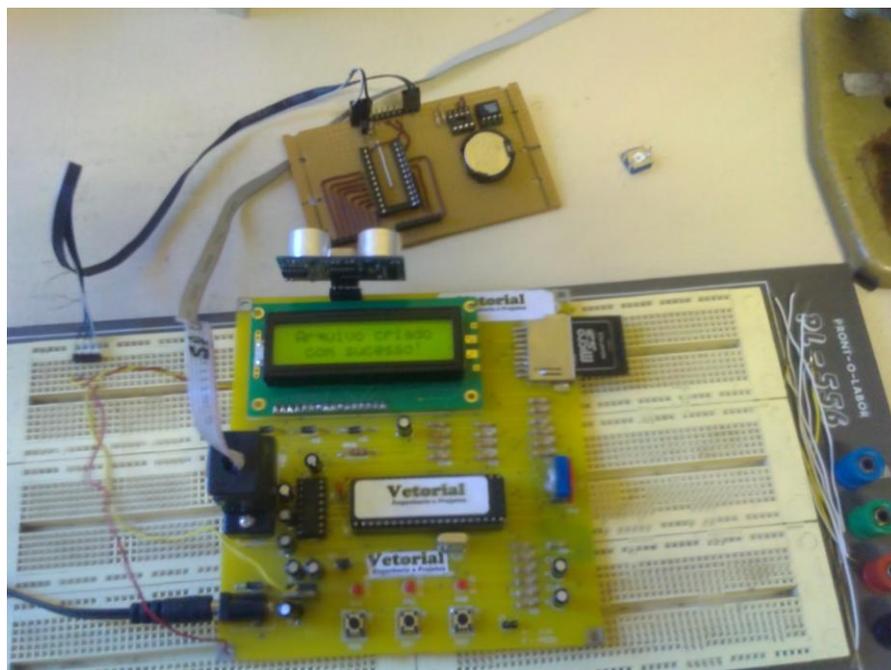


Figura 26 – circuito de teste realizando as comunicações SPI e I²C simultaneamente

4.5 Criação da placa de circuito impresso

Após o desenvolvimento das partes do projeto e verificação de sua funcionalidade, utilizamos a plataforma *ISIS* do Proteus para a montagem do esquema elétrico do circuito e a plataforma *ARES* para criar a placa a ser feita.

Nas figuras 27 e 28 se encontram, respectivamente, as representações elétricas e de como será o circuito impresso.

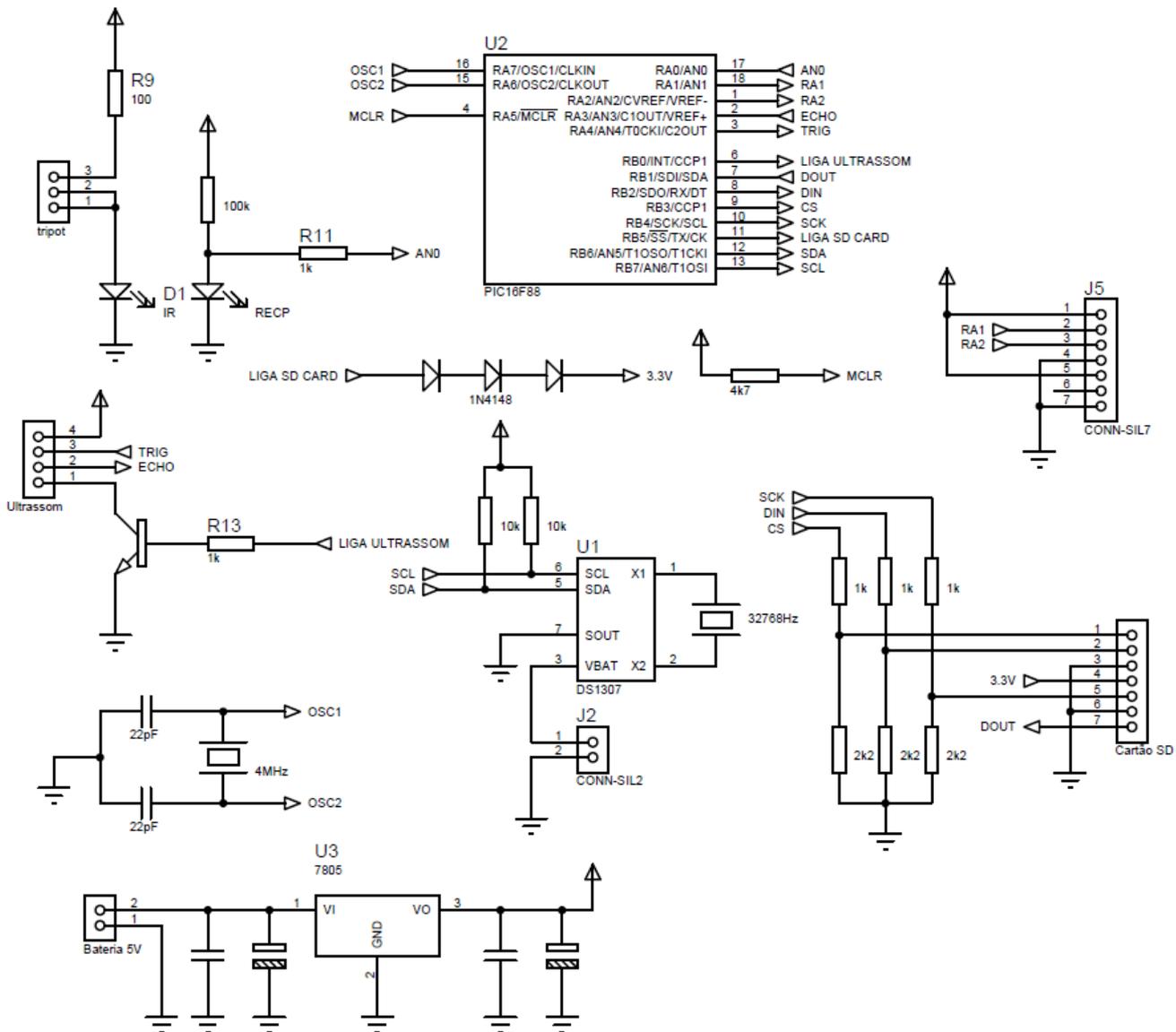


Figura 27 – esquema elétrico do projeto

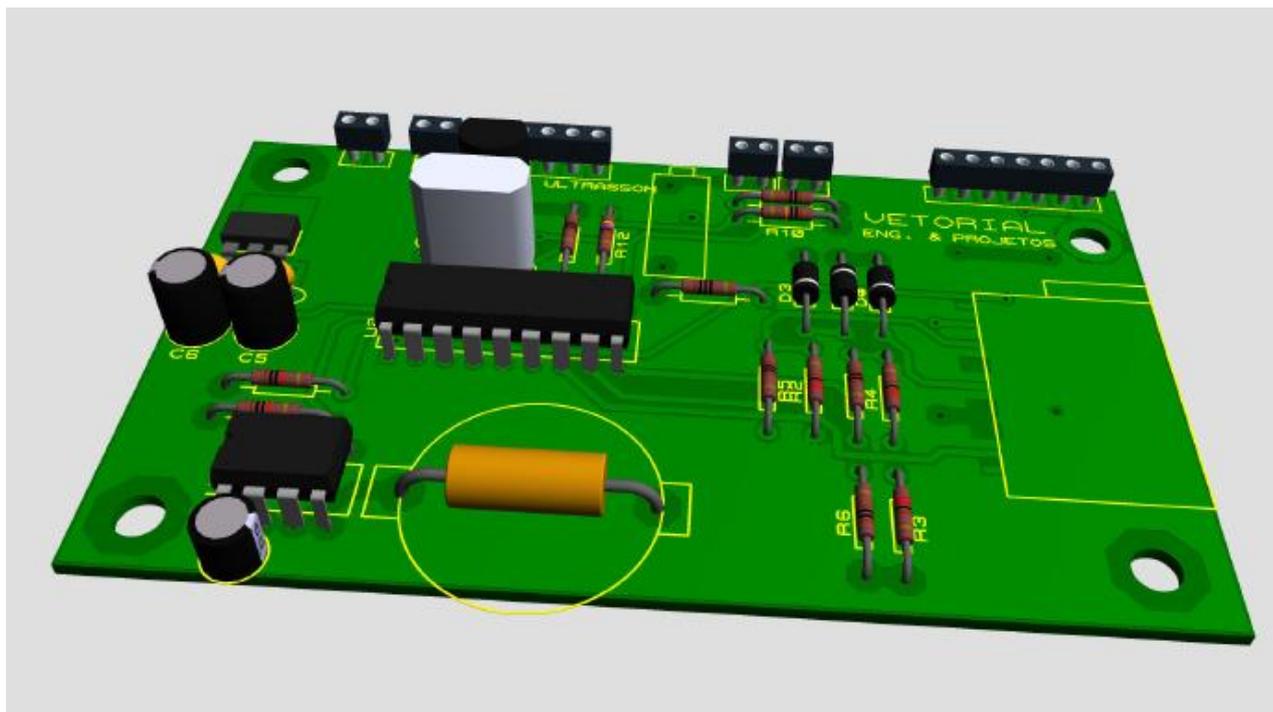


Figura 28 – esquema 3D do circuito a ser montado

Note que alguns componentes foram desenhados, isso ocorreu devido à falta dos seus modelos na biblioteca do ARES.

5 Resultados e discussões

5.2 Testes iniciais

Os testes do sensor de nível foram realizados com diversos anteparos posicionados a distancias variadas do sensor. Foram utilizados: um anteparo opaco, um anteparo transparente e também uma parede do laboratório. As medidas foram feitas em ordem crescente de distancia e posteriormente em ordem decrescente. Para obter uma maior precisão das medias esse processo foi repetido 5 vezes. Para comparação, as medidas foram aferidas por uma trena. A seguir na tabela 5 são mostrados os dados das medidas realizadas. A coluna de ultrassom representa o valor médio das medidas para cada distância.

Tabela 5 – dados dos testes com anteparo transparente área de 0,208 cm²

MEDIDA	ULTRASSOM (cm)	TRENA (cm)	ERRO (medido -real)
1	12.66	10	2.66
2	22.66	20	2.66
3	31.66	30	1.66
4	41.33	40	1.33
5	52	50	2
6	63.33	60	3.33
7	71.33	70	1.33
8	81.66	80	1.66
9	91.33	90	1.33
10	91.33	90	1.33
11	81.66	80	1.66
12	71.66	70	1.66
13	62.33	60	2.33
14	51.33	50	1.33
15	42.33	40	2.33
16	32.66	30	2.66
17	22.33	20	2.33
18	12.66	10	2.66

O erro médio obtido para esse teste foi de 2,01 cm e todos os valores de erro absoluto foram não negativos.

O mesmo experimento foi realizado para um anteparo transparente de área igual a 0,01 m². O erro encontrado foi de 2,73 cm. Finalmente um teste com o mesmo procedimento realizado medindo a distância do sensor a uma parede foi feito e o erro obtido foi de 1,46 cm.

O erro de medição nunca foi menor que zero. Isso pode ser devido às dimensões do sensor, se a leitura é feita a partir da base da placa impressa do mesmo, cerca de 1 cm é diminuído em cada medida.

A tabela 6 apresenta uma relação do custo do material envolvido no projeto. O custo da mão de obra será determinado ao final do desenvolvimento.

Tabela 6 – relação de custo dos materiais

MATERIAL	QUANTIDADE	CUSTO(R\$)
Resistores	13	1,69
Capacitores	6	0,50
Circuitos integrados	3	18,04
Transistores	1	0,06
Diodos	3	0,12
Outros	12	36,71
Custo total de material		57,12

5.2 Testes finais

Os testes práticos finais do medidor nível serão realizados em data posterior à apresentação deste trabalho. Já para o sensor de turbidez não foram realizados testes iniciais. Os testes restantes de que são: testes do medidor de turbidez com amostras de água com sedimentos e criação de uma escala confiável para medição de turbidez. Testes do medidor de nível em um tanque e testes de consumo de energia. Esse teste de consumo será realizado em modo de descanso (*sleep* no inglês) e em modo operante do sistema para determinação da durabilidade da

bateria de alimentação e devem ser realizados com o protótipo final da placa em mãos para garantir uma maior precisão e confiabilidade dos resultados.

Para os testes do medidor de nível serão coletadas medidas de variação no nível de um reservatório de água. A área desse reservatório deve ser maior que o limite de 0,5 m².

Para testar o sensor de turbidez, substâncias de valor conhecido de turbidez serão usadas para se criar a escala do turbidímetro e validar a eficiência do mesmo.

Nos testes de consumo finais o protótipo do circuito final será utilizado para se medir as correntes de operação em modo de descanso e em modo operante do sistema. E assim estimar o tempo de duração da bateria de alimentação.

6 Conclusão

Foi desenvolvido o código de programação do sistema proposto, bem como o protótipo do sistema desejado. A partir dos resultados preliminares foi concluído que o sensor de nível opera corretamente e não apresentou erros de medição capazes de comprometer as análises posteriores dos dados. Durante o desenvolvimento da parte do código para o medidor de turbidez foi determinada a curva de tensão do emissor por tensão do receptor. O medidor de nível apresentou uma faixa de erro de até 3 cm a cima do valor real e com um erro médio de 1,46 cm. Portanto, os objetivos gerais foram parcialmente concluídos.

Durante o desenvolvimento do projeto foi necessário o estudo e o aprendizado de algumas funcionalidades e aplicações de microcontroladores, bem como uma compreensão da linguagem de programação C. Sendo assim os objetivos específicos foram alcançados.

Referências

- [1] IMESON, Anton; CURFS, Michiel. *Erosão do Solo*. Land Care In Desertification Affected Areas – From Science Towards Application. Série do Fascículo: B, Numero: 1, [2006?].
- [2] FERNANDES, Antonio; DE LIMA, Herdjania. *Disciplina de Manejo e conservação do solo e da água, erosão do solo*. Universidade Federal da Amazônia – Instituto de Ciências Agrárias, Bélem PA, 2007.
- [3] ANAIS XII SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. INPE, p.2011-2018, 16-21 abril 2005, Goiânia, Brasil. *Avaliação do potencial à erosão dos solos: uma análise comparativa entre Lógica Fuzzy e o Método USLE*.
- [4] ALMEIDA, Andrei; PINTO, Mauricio. *Sensor Eletrônico de Nível*. Instituto de Estudos Superiores da Amazônia; Engenharia da Computação. Belém, 2005.
- [5] LOOKINK FORWARD VEGA. *Tecnologias, Soluções e Aplicações; Medição radiométrica de nível*.
- [6] BOJORGE, Ninoska. *Processos de Separação; Unidade 06. Sistemas de Medição de Nível*. Departamento de Engenharia Química e de Petróleo – UFF. [entre 2005 e 2012].
- [7] BOON, John; BRUBAKER, John. *Acoustic-Microwave Water Level Sensor Comparisons in an Estuarine Environment*. Virginia Institute of Marine Science, College of William and Mary. Gloucester Point, VA 23062 USA.
- [8] VEGA. *Manual de Instruções, VEGASON 61 – 4...20 mA/HART – dois condutores*. Document ID: 28775.
- [9] COLOMBO, Prof. Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba – Departamento de Química e Biologia Disciplina: ANÁLISE DE CONTAMINANTES AMBIENTAIS.
- [10] UNIVERSIDADE DO MINHO. Laboratório de tecnologias ambientais. *Analises físico-químicas cor, turbidez, PH, temperatura, alcalinidade e dureza*. MIEB,2007/08.
- [11] BOLETIM TECNICO POLICONTROL. *Turbidez em Águas*. Edição 2, julho 2006.
- [12] KITAOKUL, Kiyoyuki, et al. *Development of a Compact, High Precision Turbidimeter*. SCI – ICASE International Joint Conference. Korea, 2006.
- [13] GARCIA, A; PEREZ, M; GRILLO, G; TEJERINA, J. *A New Design of Low-Cost Four-Beam Turbidimeter by Using Optical Fibers*. IMTC 2005, Instrumentation and Measurement Technology Conference, Ottawa, Canada, 17-19 maio, 2005.
- [14] ANTONIO, Marco. *Apostila de: Programação de microcontroladores PIC usando linguagem C*. Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo, Vitória, agosto de 2006.

[15] PEREIRA, Fabio. *Microcontroladores PIC – Programação em C*. 7ª edição. Editora, Erica Ltda. São Paulo, 2012.

[16] MICROCHIP. *PIC16F87/88, Data Sheet 18/20/28-Pin Enhanced Flash Microcontrollers with nanoWatt Technology*

[17] MACIEL, Braian; SOARES, Luciane; AGUIAR, Ygor. *Barramento Serial I²C e SPI*. Engenharia de Automação – Universidade Federal do Rio Grande – Centro de Ciências Computacionais. Disponível em:
< <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAe7xoAL/barramento-serial-spi-i-c>>. Acesso em: 27 março 2013.

[18] SILVA, I; KASCHNY, J. *Aplicações do protocolo I²C em sistemas microcontrolados*. VII CONNEPI, Palmas, Tocantins, 2012.

[19] GOOLIGUM ELECTRONICS. *Introduction to PIC Programming, Programming Baseline PICs in C, Lesson 4: Sleep Mode and the Watchdog Timer*.

[20] TRENTIN, Paulo. *Data-Logger SD/MMC com Arduino*. Disponível em:<<http://www.paulotrentin.com.br/electronica/data-logger-sdmmc-com-arduino/>>. Acesso em: 29 março 2013.

[21] DALLAS SEMICONDUCTOR. *DS1307 64 x 8, Serial, I2C Real-Time Clock*.

[22] MANO, Rui. *Representação de Dados*. Curso de Tecnólogos em Processamento de Dados – TPD/P15. Disponível em: <<http://wwwusers.rdc.puc-rio.br/rmano/rd8bcd.html>>. Acesso em: 26 março 2013.

[23] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. MC78XX/LM78XX/MC78XXA.

[24] ELEC FREAKS. *Ultrasonic Ranging Module HC - SR04*.