



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UniCEUB

CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

THAIANY GUILHERME CARDOSO

SENSOR DE TURBIDEZ PARA ANÁLISE DE AMOSTRAS DE ÁGUA

Orientadora: Maria Marony Sousa Farias

Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica

BRASÍLIA- DF

1º SEMESTRE DE 2011

THAIANY GUILHERME CARDOSO

SENSOR DE TURBIDEZ PARA ANÁLISE DE AMOSTRAS DE ÁGUA

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

Orientador: Prof^ª. MSc. Maria
Marony S. F. Nascimento

Brasília

Julho, 2011

THAIANY GUILHERME CARDOSO

SENSOR DE TURBIDEZ PARA ANÁLISE DE AMOSTRAS DE ÁGUA

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

Orientador: Prof^ª. MSc. Maria
Marony S. F. Nascimento

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

Prof. Abiezer Amarília Fernandez

Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof^ª. Maria Marony Sousa Farias, Mestre em Engenharia Elétrica

Orientador

Prof. Thiago Miranda Leão Toribio - Mestre em Física Teórica

UniCeub – Centro Universitário de Brasília

Prof^ª. Karin Astrid Marques dos Santos, Doutora

UniCeub – Centro Universitário de Brasília

DEDICATÓRIA

Aos meus pais que sempre se esforçaram para proporcionar uma educação digna, incentivando-me e apoiando-me em todos os momentos da minha vida; a minha irmã pela ajuda e pelo companheirismo.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos em minha vida e aos meus pais pelo apoio e investimento nos meus estudos. A minha irmã, Thalita e a minha amiga Isabella Eiko. Agradeço a Jéssica, Henrique e Claudiney pela ajuda e companheirismo ao longo do curso. Do mesmo modo, agradeço ao monitor José Carlos, e aos professores Thiago Toribio e Karin Santos, pela paciência e ajuda. A minha orientadora, Maria Marony, aos meus colegas, Daniel e Sergio, e a todos que de alguma maneira me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	x
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	14
1.1 – Apresentação do problema	14
1.2 – Motivação	14
1.3 – Objetivo do Trabalho.....	15
1.3.1 – Objetivo Geral	15
1.3.2 – Objetivo Específico	15
1.4 – Justificativa e Importância do Trabalho	15
1.5 – Escopo do Trabalho	16
1.6 – Resultados Esperados	16
CAPÍTULO 2 – APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	18
2.1 - Visão do Projeto.....	18
2.2 - Legislação.....	20
2.3 - Conclusão.....	22
CAPÍTULO 3 – REFERENCIAL TEÓRICO E TECNOLÓGICO	24
3.1 - Turbidez	24
3.2 - Sensor de Turbidez.....	25
3.3 - Calibração do Sensor.....	29
3.5 - Comunicação entre o microcontrolador e o computador	33
3.5.1 - Interface TIA/EIA-232	34
3.5.2 - MAX 232.....	35
3.6 - Fototransistor.....	36
3.7 - Microsoft Visual Studio e linguagem de programação C#	38
CAPÍTULO 4 – DESENVOLVIMENTO.....	39
4.1 – Estrutura Geral do Projeto	39
4.2 – Funcionamento do Projeto.....	40

4.3 – Apresentação do circuito	41
4.4 - Software	43
CAPÍTULO 5 – TESTES E RESULTADOS.....	47
5.1 – Testes	47
5.2 - Calibração.....	48
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO	54
6.1- Dificuldades encontradas	54
6.2- Sugestões para Trabalhos Futuros.....	55
APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO DO PIC 16F877A	59
APÊNDICE B – VISUALIZAÇÃO DO HISTÓRICO DE DADO COLETADOS	61
APÊNDICE C – COMUNICAÇÃO SERIAL	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Turbidímetro analógico de bancada.....	19
Figura 2.2 – Turbidímetros digitais	20
Figura 3.1 – Fatores que influenciam a atenuação da luz na água.....	25
Figura 3.2 – Funcionamento do Turbidímetro de Jackson.....	26
Figura 3.3 – Princípio de funcionamento dos turbidímetros	27
Figura 3.4 – Medição da transparência da água com o Disco de Secchi.....	29
Figura 3.5 – Pinagem do microcontrolador.....	33
Figura 3.6 – Pinos e nomenclatura do conector DB9.....	34
Figura 3.7 – Visão superior do MAX232.....	35
Figura 3.8– Funcionamento do MAX232.....	36
Figura 3.9 – Princípio de funcionamento o símbolo elétrico do fototransistor.....	37
Figura 4.1 – Etapas do Projeto.....	39
Figura 4.2 – Sensor de Turbidez Desenvolvido.....	40
Figura 4.3 – Processo de funcionamento do sensor.....	41
Figura 4.4 – Fluxograma de funcionamento do software.....	41
Figura 4.5 – Diagrama esquemático.....	42
Figuras 4.6 – Placa do Circuito com identificação dos principais componentes.....	42
Figura 4.7 – Fluxograma de funcionamento da interface gráfica.....	45
Figura 4.8 - Tela do software de visualização dados.....	46
Figura 5.1 – Teste da comunicação serial realizada no software PIC C Compiler.....	41
Figura 5.2 – Disposição entre o LED e o fototransistor adotada.....	48
Figura 5.3 – Exaustor utilizado para diluir a Poluição Padrão de Formazina.....	49

Figura 5.4 – Diagrama de Dispersão Tensão x Turbidez.....	51
Figura 5.5 – Análise da regressão e equação da reta.....	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Limites de turbidez para destinação de água doce.....	21
Quadro 3.1 – Conversão das Unidades de Turbidez.....	27
Quadro 3.2 – Comparativo dos turbidímetros existentes no mercado.....	28
Quadro 3.3 – Características do PIC 16F87XA.....	32
Quadro 4.1 – Designação dos pinos do PIC 16F877A utilizados.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1- Formazina diluída e sua equivalência em UNT.....	49
Tabela 5.2 – Amostra de água com formazina e a tensão coletada	50
Tabela 5.3 – Aplicação da equação da reta	52

RESUMO

O presente trabalho versa sobre um sensor que monitora um dos parâmetros físicos para averiguação da qualidade da água, a turbidez. Para isso foi construído um protótipo com o objetivo de verificar a atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar uma amostra de água com substâncias suspensas. Os principais componentes do sensor desenvolvido são um microcontrolador (PIC16F877), um LED (Light Emitting Diode) infravermelho e um fototransistor. O microcontrolador recebe os dados e os transmite de forma serial para um computador, que mostra por meio de uma interface os valores coletados e a sua conversão na unidade de turbidez.

Palavras Chave: Turbidez, PIC16F877 e fototransistor.

ABSTRACT

This paper describes a sensor that monitors a physical parameter of water quality, turbidity. For this propose was built a prototype in order to verify the attenuation that a light undergoes when passing through a water sample with substances suspended. The main components for the sensor developed were a microcontroller (PIC16F877), a LED (Light Emitting Diode) infrared and a phototransistor. The microcontroller receives data and transmits them serially to a computer. An interface shows the values collected and the conversion in turbidity unit.

Keywords: Turbidity, PIC16F877 and phototransistor.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Nas próximas seções deste capítulo são abordados, de forma sucinta os principais aspectos desenvolvidos no decorrer do trabalho, apresentando os objetivos, a importância, os resultados esperados, a estrutura do projeto e da monografia.

1.1 – Apresentação do problema

Os principais parâmetros utilizados para caracterizar fisicamente a águas são a cor, turbidez, temperatura, sabor e odor. Além de serem indicadores imprescindíveis para verificar a qualidade da água, fornecem indicações importantes para a caracterização química da água (PIVELI e KATO, 2005).

O foco deste projeto é a verificação de uma destas características, a turbidez que pode ser definida como a redução da intensidade de um feixe de luz atravessar uma amostra de água devido à presença de sólidos em suspensão.

Diante do exposto questiona-se: Como é possível verificar a turbidez e quais os parâmetros utilizados para aferi-la?

1.2 – Motivação

A ideia para realização deste projeto surgiu a partir do artigo *Sensor de Turbidez* (SOUZA, 2009), sugerido pela orientadora deste projeto, e pela observação da existência de muitos lugares que não são assistidos pela rede pública de abastecimento de água, em que a captação de água é muitas vezes é feita por meio de poços artesianos, sem haver nenhum tipo de tratamento prévio. Portanto, faz-se necessário a verificação e monitoração da água para saber se esta adequada para o consumo, uma vez que a pode ocorrer a contaminação dos

lençóis subterrâneos por depósitos de lixo, esgoto, agrotóxico, aterros industriais, dentre outros.

1.3 – Objetivo do Trabalho

1.3.1 – Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sensor que identifique a redução da intensidade de um feixe de luz ao atravessar amostras de água com diferentes tipos de substâncias.

1.3.2 – Objetivo Específico

Com base no objetivo geral e visando o êxito do mencionado projeto foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver um protótipo de um turbidímetro que consiga coletar dados quantitativos em relação à turbidez a partir de amostra de água;
- Traduzir os dados e informar ao usuário via software os resultados obtidos;
- Realizar a comunicação serial entre o sensor e o computador;
- Calibrar o sensor para obter dados com a maior precisão possível.

1.4 – Justificativa e Importância do Trabalho

A verificação e monitoração da turbidez são necessárias para proporcionar um meio rápido de se determinar o grau de pureza da água, indicando qualidade estética para abastecimento público.

Nas estações de tratamento, a turbidez, juntamente com a cor, é um parâmetro operacional de extrema importância para o controle dos processos de coagulação-floculação,

sedimentação e filtração. Existe ainda uma preocupação adicional referente à turbidez em águas submetidas à desinfecção pelo cloro. Nas fases iniciais do tratamento da água para que a qualidade biológica seja garantida é necessário detectar-se a presença de partículas grandes de cloro, pois elas podem abrigar microorganismos, protegendo-os contra a ação de agentes desinfetantes. Por isso a cloração de esgotos tem seus efeitos limitados (PIVELI e KATO, 2005).

Já nas águas naturais, a turbidez provoca a redução de intensidade dos raios luminosos que penetram na água, influenciando decididamente nas características do ecossistema. Além disso, prejudicam a fotossíntese das algas, quando as partículas sedimentadas formam bancos de lodo onde a digestão anaeróbica leva à formação de gases malcheirosos (PIVELI e KATO, 2005).

1.5 – Escopo do Trabalho

O protótipo desenvolvido limita-se a verificação e monitoração da turbidez a partir de diversas amostras de água com diferentes tipos de substâncias. Para auxiliar a coleta de dados foi desenvolvido um software com a finalidade de mostrar os dados coletados de maneira clara e tangível para o usuário.

É importante ressaltar que o projeto não tem como objetivo tratar a turbidez nem verificar as demais características físicas, tampouco químicas e biológicas. Sendo assim o projeto visa verificar a qualidade da água de um ponto de vista específico.

1.6 – Resultados Esperados

Com o desenvolvimento do presente projeto espera-se aferir a turbidez da água de acordo com os padrões adotados pela legislação brasileira, mostrando os resultados por meio de uma interface gráfica, a fim de facilitar a visualização dos resultados ao usuário.

Há ainda uma dificuldade a ser superada na implementação do protótipo, que é a calibração do sensor, para que este funcione adequadamente e os dados coletados sejam condizentes com a turbidez da amostra.

1.7 – Estrutura do Trabalho

A estrutura deste trabalho consiste em seis capítulos que são descritos a seguir:

Capítulo 1 – Introdução: Neste capítulo são aprestados os objetivos e uma breve explicação do projeto bem como os resultados que são esperados em sua realização;

Capítulo 2 - Apresentação do Problema: Explica de forma detalhada o problema que o projeto busca resolver justificando a sua importância com embasamento legal e relatando as soluções existentes no mercado;

Capítulo 3 – Referencial Teórico e Tecnológico: Descreve as técnicas, bases metodológicas e os componentes eletrônicos utilizados para solução do problema proposto, e desenvolvimento do projeto;

Capítulo 4 – Modelo Proposto: Expõe de forma detalhada a implementação de software e hardware utilizados;

Capítulo 5 – Testes e Resultados: Neste capítulo são apresentadas as análises dos testes realizados, bem como os resultados obtidos com a implementação do protótipo;

Capítulo 6 – Conclusão: São relatadas as considerações finais embasadas nas dificuldades e nos resultados obtidos. Também são sugeridas melhorias para serem aplicadas em trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A importância da água para a sobrevivência humana e para o desenvolvimento da sociedade é amplamente divulgado e de conhecimento geral. Apesar da crescente conscientização em relação à relevância da água, sabe-se que a sua disponibilidade tem diminuído e a escassez já é realidade em alguns países. A falta de água não se deve apenas a redução da sua quantidade na natureza, mas também à poluição da água disponível para o consumo humano e animal, principalmente nos aglomerados urbanos. Essa situação provoca desequilíbrio da cadeia alimentar do meio aquático e pode ser maléfica a saúde humana e animal.

Poluição da água pode ser definida como a adição de substâncias ou presença de impurezas de forma que altere a natureza do corpo d'água e que não permita ou prejudique a sua utilização para consumo humano, agrícola ou industrial (LORA, 2002).

A utilização da água potável para abastecimento da população deve ser prioridade sobre os demais usos dos recursos hídricos. A água é considerada potável quando livre de contaminação microbiológica e toxicológica, em níveis que possam alterar a saúde humana (NÚCLEO DE INFORMAÇÕES DE SAÚDE AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2005).

2.1 - Visão do Projeto

Existe um padrão de qualidade para os diversos usos da água, como o consumo humano e a irrigação de hortaliças. Cada uso demanda uma qualidade específica. Com o monitoramento, é possível saber se o padrão está adequado para a destinação feita. Para caracterizar a água são analisados alguns parâmetros, os quais representam suas características físicas, químicas e biológicas. Esses parâmetros são utilizados para verificar a qualidade da água e quando alcançam valores superiores aos estabelecidos do uso, indicam impureza (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2009).

Dentre os parâmetros físicos destacam-se a cor, turbidez, temperatura, sabor e odor. A turbidez refere-se à propriedade de desviar raios luminosos e decorre da presença de materiais em suspensão na água. A turbidez acentuada impede a penetração dos raios solares, tornando a zona eufótica menos profunda, além de imprópria para o consumo humano. Os principais causadores de turbidez são as algas, minerais, microorganismos e matérias suspensas. (BRAGA, HESPANHOL, *et al.*, 2005)

A Portaria nº 518/00 do Ministério da Saúde que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, é imprecisa em relação à unidade de turbidez utilizada pelo Brasil. Porém a Resolução nº 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) esclarece que a Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT) é adotada pelo Brasil.

O aparelho utilizado para mediar a turbidez denomina-se sensor de turbidez ou turbidímetro. O funcionamento dos turbidímetros encontrados no mercado faz uso de um detector situado em um ângulo fixo em relação ao raio incidente, que mede a reflexão da luz pelas partículas (PÁDUA e LUIZ, 2006).

Os turbidímetros são classificados quanto ao método de medição e a mobilidade. Em relação ao método de medição são divididos em analógicos e digitais. Os turbidímetros analógicos são de difícil acesso, pois não são mais vendidos, enquanto os digitais são encontrados no mercado e utilizados atualmente. Já em relação à mobilidade são classificados como turbidímetros portáteis e de bancada. Nas figuras 2.1 e 2.2 são ilustrados os diferentes tipos de turbidímetros (LABOR, 2010).



Figura 2.1 – Turbidímetro analógico de bancada modelo FUGIWARA THN 100 A

Fonte: (LOPES, 2008)



(a)

(b)

Figura 2.2 – Turbidímetros digitais (a) De bancada Hanna Instruments HI 88713 , (b) Portátil modelo Digimed DM-TU.

Fonte: (LABOR, 2010)

A proposta deste trabalho é desenvolver o protótipo de um turbidímetro de bancada com base no artigo *Sensor de Turbidez* (SOUZA, 2009). O protótipo desenvolvido é um ensaio acadêmico e tem como objetivo monitorar e verificar dados relativos à turbidez da água.

2.2 - Legislação

A seguir é apresentada de forma sucinta a legislação aplicada no Distrito Federal referente ao limites de turbidez aceitáveis para a destinação de água doce segundo os órgãos competentes.

O Quadro 2.1 apresenta os limites de turbidez estabelecidos segundo a Resolução nº357 do COMANA de acordo com a destinação da água doce. Para uma melhor avaliação da qualidade da água, a resolução enquadra em classes as diferentes destinações para água.

Quadro 2.1 – Limites de turbidez para destinação de água doce

Destinação da água	Turbidez (UNT)
Classe 1: - Consumo humano, após tratamento simplificado; - Proteção das comunidades aquáticas; e - Irrigação de hortaliças e frutas consumidas cruas.	Até 40
Classe 2: - Consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; - Comunidades aquáticas; - Recreação de contato primário (exemplos: natação e mergulho); - Irrigação de hortaliças, frutas, jardins e campos, com os quais o público possa a vir ter contato direto; e - Aqüicultura e atividades de pesca.	Até 100
Classe 3: - Consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; - Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; - Pesca amadora; - Recreação secundária; e - Dessedentação de animais.	Até 100

Fonte: CONAMA,2005

A Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, no seu artigo 12, dispõem sobre o padrão de turbidez relativo às Normas de Qualidade da Água para consumo humano e seu padrão de potabilidade:

Art. 12. Para a garantia da qualidade microbiológica da água, em complementação às exigências relativas aos indicadores microbiológicos, deve ser observado o padrão de turbidez expresso na Tabela 2, abaixo:

Tabela 2

Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção

TRATAMENTO DA ÁGUA	VMP ⁽¹⁾
Desinfecção (água subterrânea)	1,0 UT ⁽²⁾ em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	1,0 UT ⁽²⁾
Filtração lenta	2,0 UT ⁽²⁾ em 95% das amostras

NOTAS:

(1) Valor máximo permitido.

(2) Unidade de turbidez.

§ 1º Entre os 5% dos valores permitidos de turbidez superiores aos VMP estabelecidos na Tabela 2, o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser de 5,0 UT, assegurado, simultaneamente, o atendimento ao VMP de 5,0 UT em qualquer ponto da rede no sistema de distribuição.

§ 2º Com vistas a assegurar a adequada eficiência de remoção de enterovírus, cistos de *Giardia spp* e oocistos de *Cryptosporidium sp.*, recomenda-se, enfaticamente, que, para a filtração rápida, se estabeleça como meta a obtenção de efluente filtrado com valores de turbidez inferiores a 0,5 UT em 95% dos dados mensais e nunca superiores a 5,0 UT.

§ 3º O atendimento ao percentual de aceitação do limite de turbidez, expresso na Tabela 2, deve ser verificado, mensalmente, com base em amostras no mínimo diárias para desinfecção ou filtração lenta e a cada quatro horas para filtração rápida, preferivelmente, em qualquer caso, no efluente individual de cada unidade de filtração.

2.3 - Conclusão

Nesse capítulo, foram apresentados os tipos de Turbidímetros existentes, a importância de verificar e monitorar a turbidez da água e as consequências negativas que a negligência desta

monitoração pode acarretar. Para ratificar a necessidade de um sensor de Turbidez foi apresentada a legislação brasileira vigente que discorre sobre tal assunto.

No próximo capítulo é descrita toda a fundamentação e a base tecnológica que possibilitou o desenvolvimento do Sensor de Turbidez para análise de amostras de água.

CAPÍTULO 3 – REFERENCIAL TEÓRICO E TECNOLÓGICO

3.1 - Turbidez

A turbidez é uma das principais características da água e a expressão da propriedade óptica que causa espalhamento e absorção da luz, por partículas e moléculas em amostras de água, em lugar de sua transmissão em linhas diretas. Deste modo pode-se dizer que a turbidez é representada pela redução de transparência na água. As principais causas da turbidez são matérias suspensas, partículas em estado coloidal, matérias orgânicas e inorgânicas, organismos microscópicos. Esses materiais originam-se de diversas fontes como solo, esgoto, mineração e indústria (EPA, 1999).

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETEB), a turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação da intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la. Esta redução dá-se por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam a turvação nas águas são maiores que os comprimentos de onda da luz branca (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011).

Na Figura 3.1 são observados fatores que influenciam a reflexão da luz do sol, que tem sua intensidade atenuada ao atravessar a água. A seqüência de “a” até “e”, ilustra respectivamente a dispersão de matéria inorgânica, dispersão das moléculas de água, absorção de matéria orgânica dissolvida, reflexão do fundo e dispersão de organismos microscópios (IOCCG, 2000).

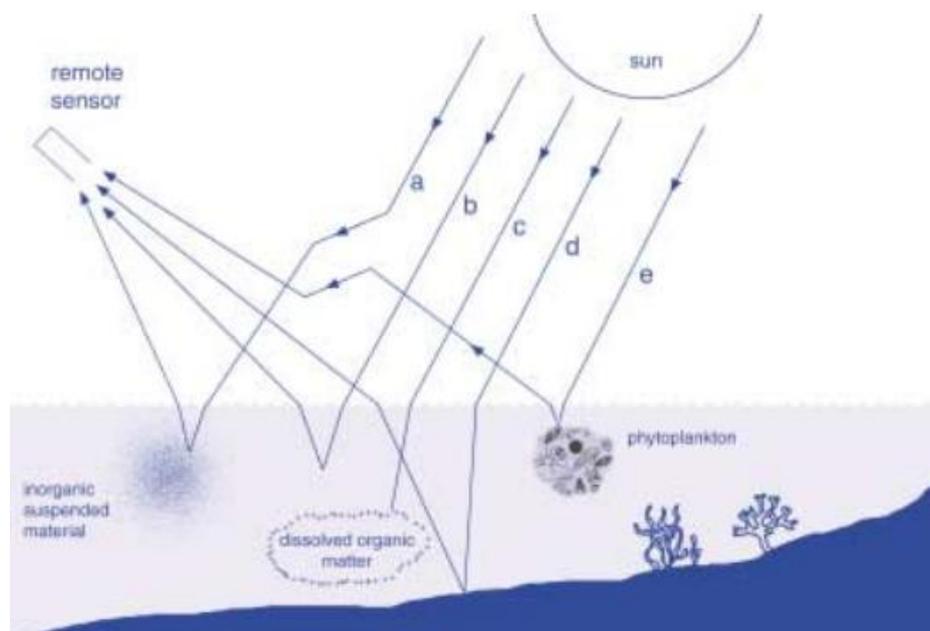


Figura 3.1 – Fatores que influenciam a atenuação da luz na água.

Fonte: IOCCG, 2000

Portanto pode-se definir turbidez como um indicador de atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar a água devida sua absorção e dispersão causada pelos sólidos em suspensão como areia, alga e detritos. O aumento da turbidez cria a necessidade do acréscimo de uma maior quantidade de produtos químicos nas estações de tratamento, além de afetar a preservação dos organismos aquáticos, o uso industrial e as atividades de recreação. Entre as principais fontes de turbidez estão as atividades de mineração, erosão dos solos, efluentes industriais e esgoto (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2009).

3.2 - Sensor de Turbidez

O sensor de turbidez, também conhecido com turbidímetro, é o equipamento utilizado para medir a turbidez de um líquido. A aferição compara o espalhamento de um feixe de luz ao passar pela amostra, com o de um feixe de igual intensidade, ao passar por uma suspensão padrão (EPA, 1999).

O primeiro turbidímetro feito, chamado de Turbidímetro Jackson, ilustrado na Figura 3.2, é composto por uma vela envolta por um tubo de vidro. O seu funcionamento consiste em

uma amostra de água colocada no tubo de vidro até que a imagem da chama da vela, olhando-se do topo do tubo, difunda-se em um brilho uniforme. Quando a intensidade da luz espalhada igualava-se à intensidade da luz transmitida, a imagem desaparece e a profundidade da amostra do tubo é comparada com uma escala partes por milhão de sílica. A unidade de medida é a Unidade de Turbidez de Jackson (UTJ). Posteriormente surgiram outros métodos, porém ainda eram muito imprecisos, pois dependiam do julgamento humano (EPA, 1999).

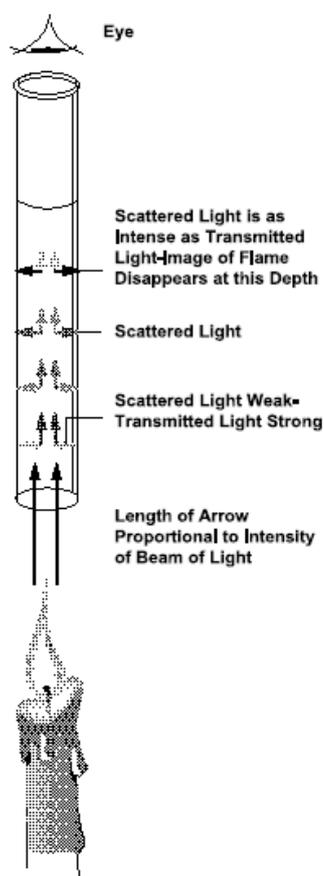


Figura 3.2 – Funcionamento do Turbidímetro de Jackson.

Fonte: (EPA, 1999)

Surgiram então os detectores fotoelétricos, que são sensíveis a sutis mudanças na intensidade da luz, proporcionando uma maior precisão. Porém apenas em 1970 foi desenvolvido o turbidímetro nefelométrico, que é o sensor de turbidez utilizado atualmente (EPA, 1999).

O princípio de funcionamento dos turbidímetros atuais, ilustrado na Figura 3.3, baseia-se na emissão de um feixe luminoso e na detecção da luz refletida pelas partículas em

suspensão ou diferença de intensidade entre a luz emitida e recebida, a qual é convertida em sinal elétrico e mostrada no equipamento. Nos instrumentos comerciais o detector é disposto em ângulos de 45°, 90° ou 180°. A emissão de luz normalmente é obtida por meio de lâmpadas de mercúrio, lâmpadas de tungstênio, laser ou diodos de emissão (PÁDUA e LUIZ, 2006).

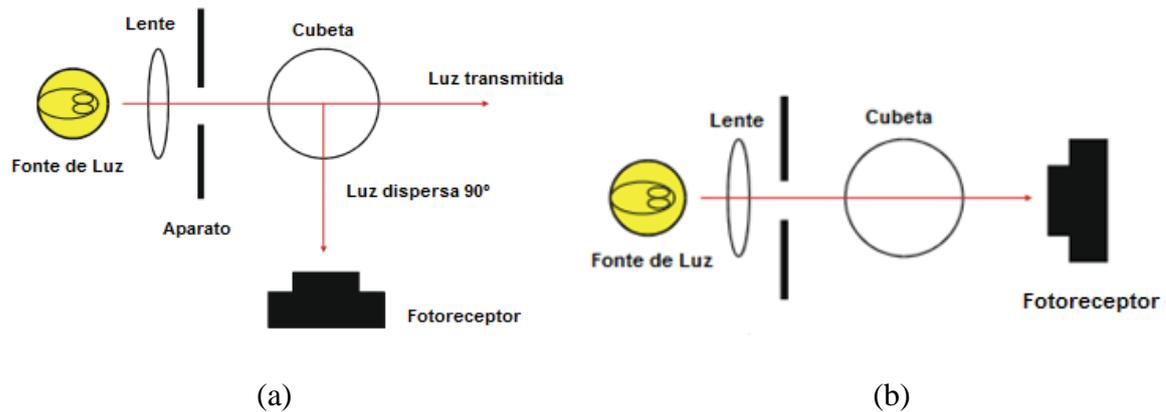


Figura 3.3 – Princípio de funcionamento dos turbidímetros (a) Fotoreceptor disposto em 90° em relação à fonte luminosa, (b) Fotoreceptor disposto 180° em relação à fonte luminosa.

Fonte: (WTW)

Para este projeto foi adotado o padrão aceito pelas normas ISO7027 e EN 27027, que tem como principais características: um *Light Emitting Diode Infrared* (LED IR) como fonte de emissão, não sofre influência de temperatura pela fonte de luz e o ângulo de medição de 180°. Conforme ilustrado na Figura 3.3 (b), a turbidez é medida pela diferença entre a intensidade da luz emitida e recebida pelo sensor (POLICONTROL, 2006).

A turbidez normalmente é medida em UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez), Unidade de Turbidez e Jackson (JTU) e a Unidade Sílica (SiO₂) (EMBRAPA, 2004). O Quadro 3.1 mostra a conversão das diferentes unidades de turbidez.

Quadro 3.1 – Conversão das Unidades de Turbidez

	UT de Jackson	UT Nefelométrica	SiO ₂ (mg/L)
UT de Jackson	1	19	2,5
UT Nefelométrica	0,053	1	0,13
SiO ₂ (mg/L)	0,4	7,5	1

Fonte: (Embrapa, 2004)

Atualmente são encontrados diversos modelos de sensores de turbidez no mercado com variados preços. Quanto maior a precisão do aparelho mais alto é o seu valor. Normalmente vendidos em empresas especializadas em equipamentos de laboratório, os turbidímetros podem chegar até 99% de precisão. No quadro 3.2 são apresentando e comparados alguns modelos comparando-os alguns aspectos.

Quadro 3.2 – Comparativo dos turbidímetros existentes no mercado.

Marca – Modelo	Bancada/ Portátil	Margem de erro	Escala (NTU)	Fonte Luminosa	Detector	Preço (R\$)
Instrutherm - Mi415	Portátil	± 5%	◦ 0,00 a 50,00 ◦ 50 a 1000	Led IR	Foto diodo	2.137,00
Instrutherm - TD-200	Bancada	± 1%	◦ 0 a 0,1 ◦ 0 a 1000	Lâmpada de Tungstênio	Fotovoltáico de Silício	2.393,00
TecnoPON - TB-1000P	Portátil	<5%	◦ 0 a 10NTU ◦ 0 a 100 ◦ 0 a 1000	LED de alta intensidade	Fotovoltáico de Silício	2.580,00
Hanna - TB-1000P	Portátil	± 5%	◦ 0 a 50 ◦ 50 a 1000	LED IR	Fotocélula de Silício	-
Merck - 1500T WTW	Bancada	Entre ± 2% e ± 3%	◦ 0 a 100 ◦ 100 a 1000	Lâmpada de Tungstênio	-	-

Fonte: (SONAMBRA IMPORTS), (SOLOSTOCKS), (IN SUTO ANALÍTICA), (PRÓ- ANÁLISE)

Existe outro método de verificação da transparência da água, o Disco de Secchi. O aparato é de simples manuseio e pouca precisão comparando-o com o sensor de turbidez. O instrumento consiste em um disco com cerca de 20 cm, que pode ser inteiramente branco ou alternando partes pretas e brancas, preso a uma fita com aproximadamente dois metro (POMPÊO, 1999).

A Figura 3.4 ilustra o funcionamento do disco que é afundado, e após seu desaparecimento completo é anotado o valor marcado pela fita. Posteriormente o disco é levantado até a sua completa visualização e anotado o valor da fita. A profundidade do desaparecimento visual do Disco de Secchi é igual à média aritmética das duas profundidades aferidas. Para esse procedimento deve-se dar preferência aos horários entre 10 e 14 horas (POMPÊO, 1999).

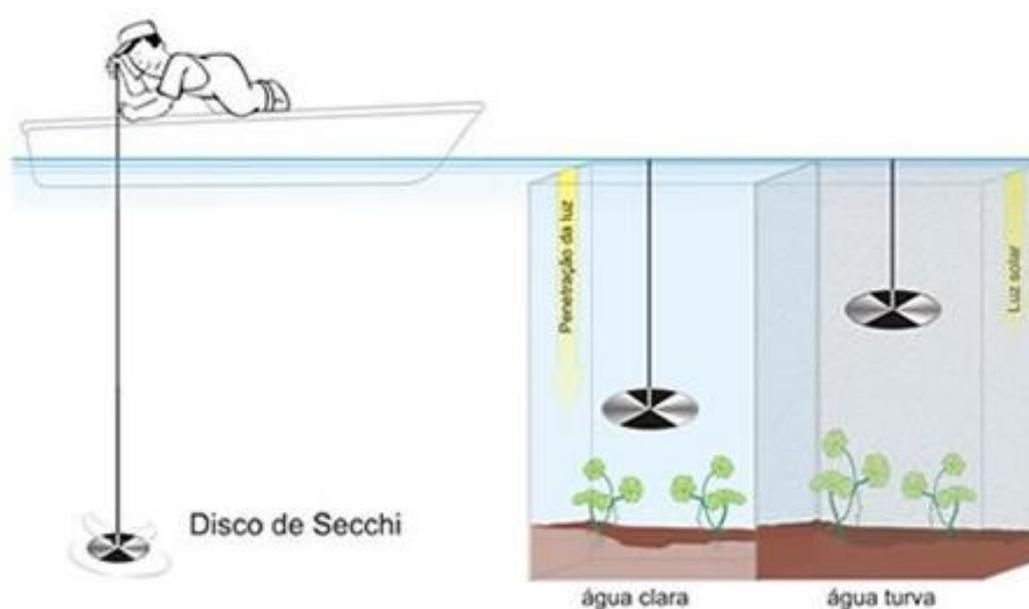


Figura 3.4 – Medição da transparência da água com o Disco de Secchi

Fonte: (CMB CONSULTORIA, 2008)

3.3 - Calibração do Sensor

Calibração é um conjunto de procedimentos realizados sob condições específicas que estabelece a relação entre valores indicados por um instrumento de medição e os valores

correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões. A calibração de equipamentos é de suma importância, pois se verifica a medida obtida por um equipamento e se é compatível com o esperado, minimizando o erro (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2001).

Há basicamente três tipos de calibração para o sensor de turbidez:

- Calibração direta: a grandeza padrão de entrada é aplicada ao Sistema de Medição, a Calibrar e as medidas são comparadas com valores padrão. Para a calibração do turbidímetro é utilizada uma solução padrão de formazina (EMBRAPA, 2004).

- Calibração Indireta: a grandeza que deseja ser medida é fornecida por um meio externo, como um equipamento previamente calibrado, que atua simultaneamente no Sistema de Medição em Calibração e no Sistema de Medição Padrão, e é feita uma comparação com os resultados obtidos (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2001).

- Via Software: a calibração é feita por um software que pode ser feito no próprio aparelho ou em um computador quando o equipamento for conectado.

Existem ainda empresas especializadas em calibrar equipamentos de laboratório como o turbidímetro. Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) é recomendado à calibração trimestral do turbidímetro com a solução padrão de Formazina.

3.4 - PIC 16F877A

O microcontrolador (MCU) é um circuito integrado (CI), que integra todas as partes básicas de um microcomputador como, por exemplo, o microprocessador, portas de entrada e saída, memórias voláteis e memórias não-voláteis. Geralmente é limitado em termos de quantidade de memória no que diz respeito a memória de dados, e é utilizado para aplicações específicas como automação residencial, predial e industrial (GIMENEZ, 2002). Segundo David José de Souza, em seu livro “Desbravando o PIC”, o microcontrolador pode ser definido como um pequeno componente eletrônico, dotado de uma “inteligência” programável (SOUZA, 2005).

As operações do sistema baseadas em ações lógicas executadas e sujeitas ao estado dos periféricos de entrada e/ou saída são chamadas de controles lógicos. O microcontrolador é programável, pois toda a lógica de operação é estruturada na forma de um programa e é

gravada dentro do componente. O programa interno é executado toda vez que o microcontrolador for alimentado. Em relação à inteligência do componente, associa-se a Unidade Lógica Aritmética (ULA), responsável pelas operações lógicas e matemáticas executadas (SOUZA, 2005).

Uma das características fundamentais que diferencia o microcontrolador do microprocessador é o fato dos microcontroladores possuírem todos seus componentes necessários para o controle de um processo, como memória de dados, contadores, comunicação serial e etc., unido em uma única pastilha de silício encapsulada, popularmente conhecida como CHIP ou CI (SOUZA, 2005).

Atualmente existem vários tipos de microcontroladores no mercado, diferenciados por diversas características como: quantidade de pinos, arquitetura e tensão de alimentação. O microcontrolador escolhido para este projeto foi o PIC16F877A, fabricado pela Microchip Technology. O PIC utilizado possui 40 pinos que exercem diversas funções como entrada ou saída de dados digitais e analógicos.

Os microcontroladores fabricados pela empresa Microchip Technology utilizam arquitetura Reduced Instruction Set Computer (RISC), o que permite que eles tenham um set de instruções reduzido, e podem funcionar em uma frequência de até 40MHz. Eles são divididos em três grupos, diferenciados pela capacidade de armazenamento em cada localidade de sua memória de programas: 12 bits, 14 bits e 16 bits. (ZANCO, 2005)

O microcontrolador PIC 16F877A possui uma memória de programa de 14 bits do tipo FLASH, uma memória regravável eletronicamente com escrita rápida. No Quadro 3.3 são apresentadas algumas das principais características deste MCU.

Quadro 3.3 – Características do PIC 16F87XA

Characteristic	PIC16F87XA
Pins	28/40
Timers	3
Interrupts	14 or 15
Communication	PSP, USART, SSP (SPI, I ² C Master/Slave)
Frequency	20 MHz
Voltage	2.0V-5.5V
A/D	10-bit, 7 conversion clock selects
CCP	2
Comparator	2
Comparator Voltage Reference	Yes
Program Memory	4K, 8K Flash (Erase/Write on four-word blocks)
RAM	192, 368 bytes
EEPROM Data	128, 256 bytes
Code Protection	On/Off
Program Memory Write Protection	Segmented, starting at beginning of program memory
Other	In-Circuit Debugger, Low-Voltage Programming

Fonte: (MICROCHIP TECHNOLOGY IN, 2001)

A comunicação entre o microcontrolador e os demais componentes do circuito é feita pelos pinos do MCU através do envio de sinais elétricos. A pinagem do PIC 16F877A é apresentada na Figura 3.5.

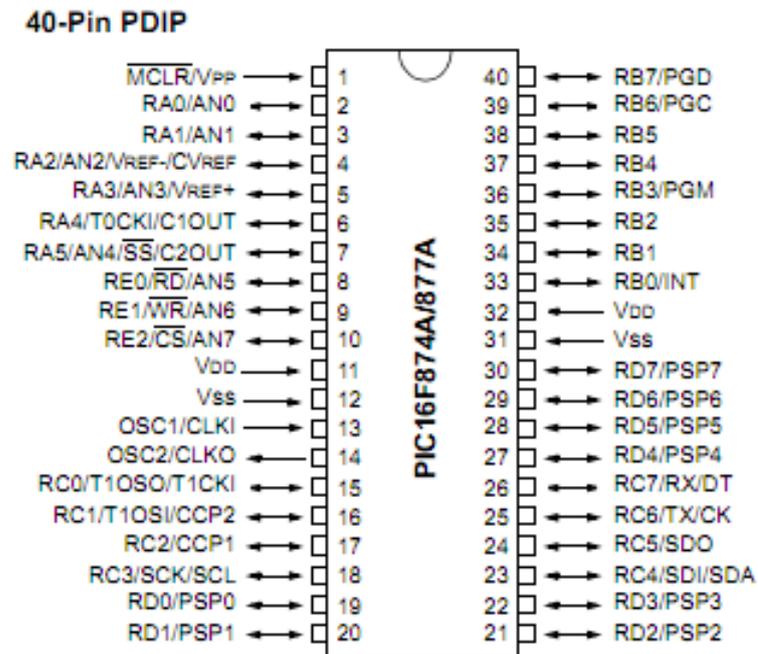


Figura 3.5 – Pinagem do microcontrolador

Fonte: (MICROCHIP TECHNOLOGY IN, 2001)

3.5 - Comunicação entre o microcontrolador e o computador

Em muitas aplicações microcontroladas, pode ser necessário realizar a comunicação entre o MCU e um ou mais dispositivos externos, que podem ou não estarem na mesma placa do circuito. As técnicas de comunicação podem ser divididas em duas características: serial e paralela. (PEREIRA, 2009)

Para aplicação proposta neste projeto foi utilizada a comunicação serial, em que a informação a ser transmitida é fracionada em pequenas partes (bits) e são enviadas ao equipamento receptor uma após a outra.

A seguir trata-se do protocolo de comunicação serial utilizado e da interface entre o microcontrolador e outros dispositivos que fazem uso deste protocolo.

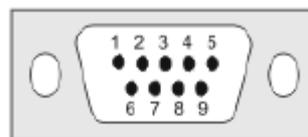
3.5.1 - Interface TIA/EIA-232

TIA/EIA-232 é uma padronização de uma interface elétrica criada na década de 60 para a comunicação de dados entre equipamentos terminais de dados (DTEs) e equipamentos de comunicação de dados (DCEs). Este padrão já foi modificado diversas vezes e atualmente encontra-se na revisão F, que é compatível com as normas V.24, V.28 e ISO 2110 (PEREIRA, 2009).

Também conhecido como RS-232, o protocolo TIA/EIA-232 não utiliza mais a sigla RS, abreviação de “Recommended Standard”, como prefixo, pois as últimas padronizações especificam que a sigla RS deve ser usada para abreviação a expressão em inglês Radio Sector (PEREIRA, 2009).

O protocolo TIA/EIA-232 especifica conectores de 25 pinos do tipo “D”, chamados de DB25, em que o DCE possui a pinagem do tipo fêmea e o DTE possui a pinagem do tipo macho. Ao longo do tempo o conector de 25 pino cedeu lugar para os conectores de 9 pinos, chamados de DB9 ou DB-9, sendo estes últimos mais usados atualmente (PEREIRA, 2009).

A figura 3.6 especifica a pinagem e respectiva nomenclatura do conector DB9.



- 1 = DCD data carrier detect
- 2 = RX received data
- 3 = TX transmitted data
- 4 = DTR data terminal Ready
- 5 = GND ground
- 6 = DSR data set ready
- 7 = RTS request to Send
- 8 = CTS clear to send
- 9 = Ring

Figura 3.6 – Pinos e nomenclatura do conector DB9

Fonte: (SILVA, 2006)

Na interface TIA/EIA-232 os níveis de tensão estão compreendidos de +5 a +15V para o sinal de saída e de +3 a +15V para o sinal de entrada, para o nível lógico 0. Já para o nível lógico 1 os níveis de tensão são -5 a -15V para o sinal de saída e -3 a 15V para o sinal de entrada. Porém este padrão diverge dos níveis utilizados atualmente nos circuitos modernos, logo se faz necessário um circuito conversor de níveis TTL/RS-232 (PEREIRA, 2009).

3.5.2 - MAX 232

Os níveis de tensão usados pelo Computador e o PIC são incompatíveis. Enquanto o computador utiliza o padrão TIA/EIA-232, o PIC utiliza o TTL, uma classe de circuitos digitais que se baseia em transistores de junção bipolar. Para realizar a comunicação entre PC e o MUC faz-se necessário a utilização de um conversor. (SOUZA)

Para realizar a conversão entre os padrões TIA/EIA-232 e TTL, foi utilizado o CI MAX232, que é um duplo driver/receptor que inclui um gerador capacitivo de tensão para prover os níveis de tensão do TIA/EIA-232 a partir de uma fonte de 5V (TEXAS INSTRUMENTS, 2002).

Nas figuras 3.7 e 3.8 são mostradas a vista superior do MAX232 com a pinagem e uma típica aplicação sugerida pelo fabricante.

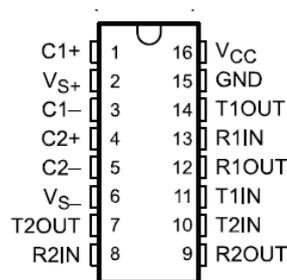


Figura 3.7 – Visão superior do MAX232

Fonte: (TEXAS INSTRUMENTS, 2002)

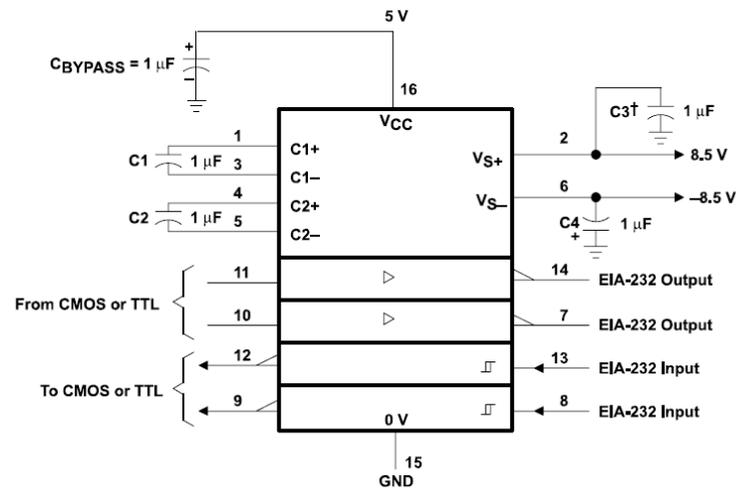


Figura 3.8– Funcionamento do MAX232

Fonte: (TEXAS INSTRUMENTS, 2002)

3.6 - Fototransistor

O sensor é um transdutor, um dispositivo que recebe uma resposta de saída, da mesma espécie ou diferente, produzindo certas características do sinal de entrada, a partir de uma relação definida (ROSÁRIO, 2005).

Pode-se dizer que a maioria dos sensores são transdutores elétricos, já que convertem a grandeza de entrada característica de um fenômeno como som, luz ou pressão em uma grandeza elétrica, que pode ser medida por um circuito eletrônico. As grandezas elétricas que apresentam variações proporcionais as grandezas que estão sendo medidas e indicadas pelos sensores são: tensão, corrente e resistência elétrica (ROSÁRIO, 2005).

Portanto o transdutor pode ser definido ainda como um dispositivo que converte um estímulo ou variável física, tal como temperatura, força ou pressão, em uma forma mais conveniente, normalmente um sinal elétrico como a tensão, com propósito de medir o estímulo. Os sensores são classificados como analógicos ou discretos (GROOVER, 2011).

Existem vários tipos de sensores como, por exemplo, magnéticos, indutivos e óticos. Neste projeto foi desenvolvido um sensor ótico, com dois componentes: um transmissor e um receptor. Foi utilizado um Light Emitting Diodo Infravermelho, (LED) como transmissor e um fototransistor como receptor.

O fototransistor é um transdutor ótico que através da modulação de luz, converte luz monocromática em sinal elétrico. Este dispositivo semiconductor normalmente é utilizado na configuração emissor comum, ficando com a base em aberto, com a junção base-emissor diretamente polarizada e a coletor-base exposta à luz. Ele funciona baseado no fenômeno da fotocondutividade e pode tanto detectar a incidência de luz como fornecer um ganho dentro do componente. Assim como o transistor convencional, o fototransistor é uma combinação de dois diodos de junção, porém associado ao efeito fotoelétrico (MARQUES, CRUZ e CHOUERI JÚNIOR, 2002).

O princípio de funcionamento do fototransistor descrito no parágrafo anterior e o símbolo elétrico são ilustrados na figura 3.9.

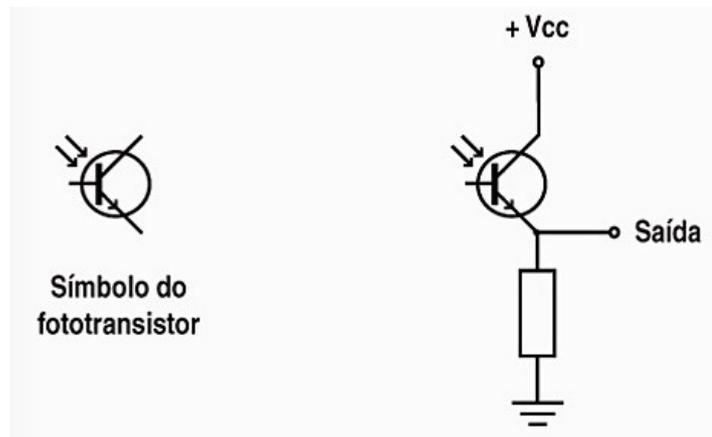


Figura 3.9 – Princípio de funcionamento o símbolo elétrico do fototransistor

(ROSÁRIO, 2005)

O fototransistor pode ser utilizado em dois regimes de funcionamento: comutação e linear. No regime de comutação o dispositivo é utilizado apenas para detecção da existência ou ausência de um feixe luminoso. Já no regime linear quando a base está eletricamente acessível é possível escolher um ponto de funcionamento aproximadamente linear (COELHO, 2004/2005).

3.7 - Microsoft Visual Studio e linguagem de programação C#

O Visual Studio um IDE (*Integrated Development Environment* – ambiente integrado para desenvolvimento) utilizado para desenvolvimento de interface e permite a criação programas em várias linguagens, incluindo Visual C#, para o .NET Framework. A finalidade de uma IDE é ser um ambiente único de trabalho para o desenvolvedor. A linguagem de programação utilizada foi C#(C Sharp), uma linguagem orientada a objeto, simples, mas poderosa, que permite criação de aplicativos para o Windows, Web services, ferramentas de bancos de dados, componentes e controles (MICROSOFT CORP, 2011).

Algumas características dessa linguagem são: a não-existência de herança múltipla, suporte a sobrecarga de métodos e de operadores, criação de novos tipos de dados a partir dos já existentes e passagem de valor por valor, referência e por saída (MICROSOFT CORP, 2011).

CAPÍTULO 4 – DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é detalhada a implementação do protótipo desenvolvido, mostrando desde o planejamento até a execução do hardware e software. O projeto foi desenvolvido em cinco etapas. A primeira etapa foi a pesquisa, o planejamento do projeto e seu estudo bibliográfico. A segunda etapa foi marcada pelo início da escrita da monografia e pela compras de materiais necessários para a montagem do protótipo. A terceira etapa se iniciou com o desenvolvimento do hardware e calibração. A quarta etapa começou com o desenvolvimento do software e finalizou com os testes. Por fim, a quinta foi a redação final desta monografia. A Figura 4.1 ilustra essas cinco etapas.

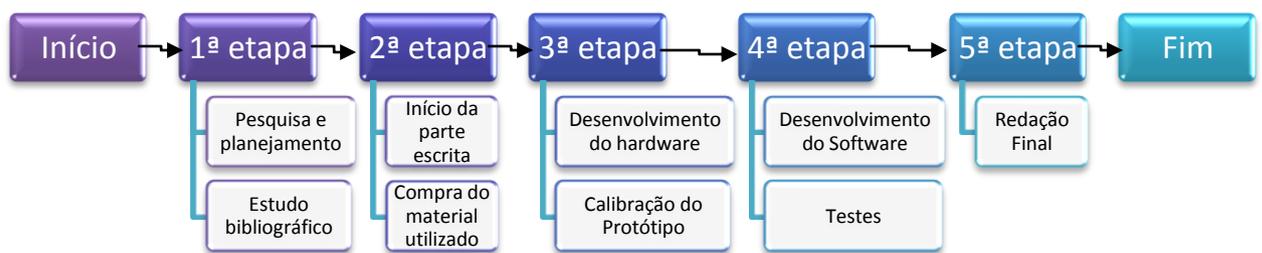


Figura 4.1 – Etapas do Projeto

4.1 – Estrutura Geral do Projeto

Para o desenvolvimento deste projeto foram definidos os equipamentos e software utilizados no projeto. Desta forma, toda a estrutura física do projeto foi previamente definida e, em seguida, verificou-se a linguagem de programação utilizada.

Este projeto apresenta um protótipo de um sensor de Turbidez, mostrado na Figura 4.2, para análise de amostras de água. Os dados coletados são convertidos na unidade de turbidez e mostrados em uma interface no computador. O protótipo tem os componentes listados abaixo:

- Microcontrolador 16F8677A;
- Placa desenvolvida pela autora;
- Sensor Infravermelho;
- Tubo de ensaio.

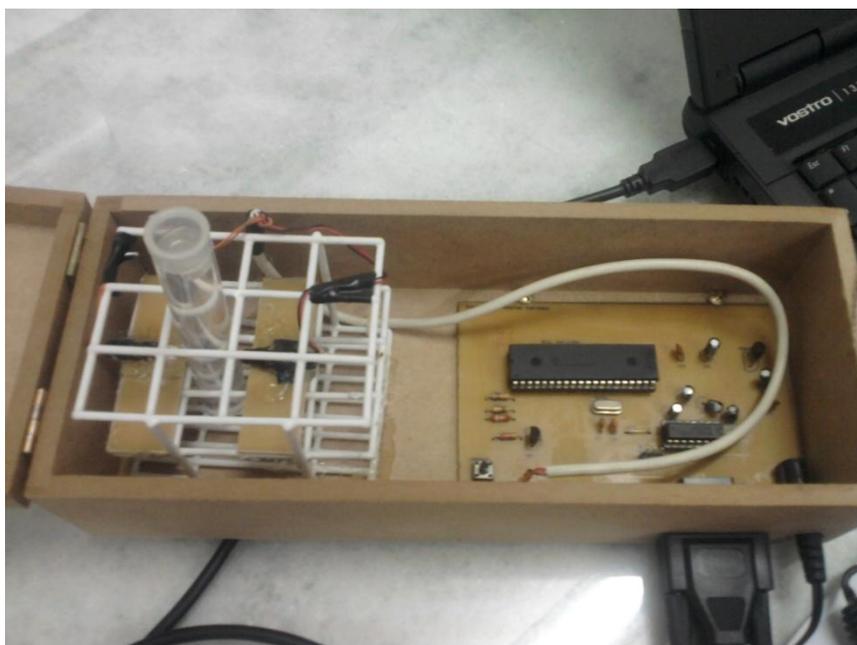


Figura 4.2 – Sensor de Turbidez Desenvolvido

Para o desenvolvimento do software que mostra os dados coletados pelo hardware, foi utilizada a linguagem de programação C# e o banco de dados MySQL.

4.2 – Funcionamento do Projeto

O funcionamento básico deste projeto é apresentado no fluxograma ilustrado na Figura 4.3, que mostra o processo de funcionamento do sensor em quatro etapas. A primeira etapa refere-se à conexão do computador que é feita por meio de um conversor SERIAL/USB. A segunda etapa é ligar o sensor a uma fonte de alimentação de 9V. Já na terceira etapa é iniciado o software de coleta de dados, descrito detalhadamente na Figura 4.4. E por fim na quarta etapa é inserida na abertura superior da caixa em que o sensor está instalado a amostra contendo água turva.



Figura 4.3 – Processo de funcionamento do sensor

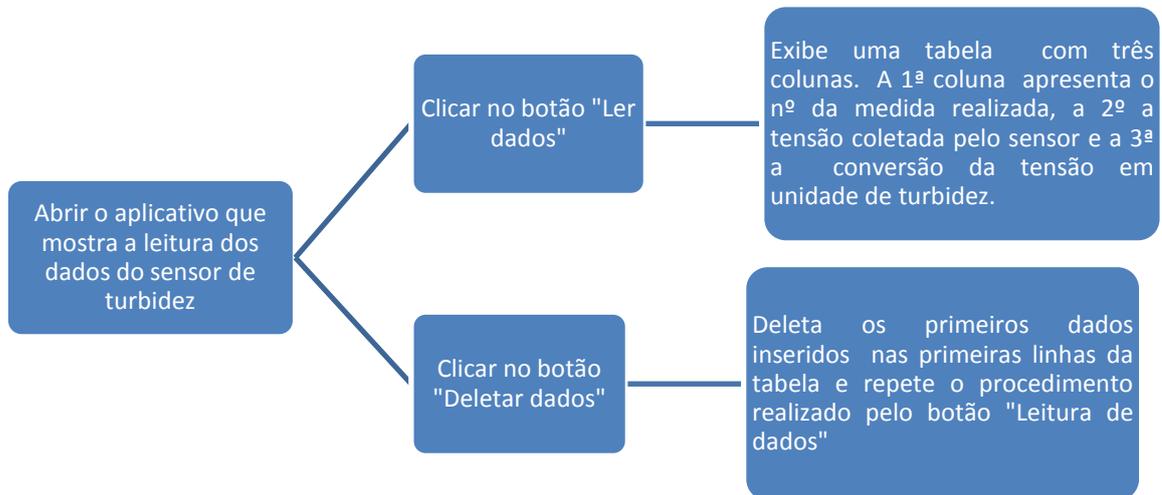


Figura 4.4 – Fluxograma de funcionamento do software

4.3 – Apresentação do circuito

Após o estudo e a pesquisa foram feitas simulações no software Proteus e no protoboard, paralelamente ao desenvolvimento do programa a ser gravado no PIC. O protótipo foi desenvolvido começando pela gravação do programa, escrito na linguagem C, compilado para hexadecimal no programa PIC C Compiler, e gravado microcontrolador utilizando a gravadora MultiProG e o software MPLAB.

As Figuras 4.5 e 4.6 ilustram o circuito desenvolvido no software Proteus e a placa do circuito com os principais componentes respectivamente.

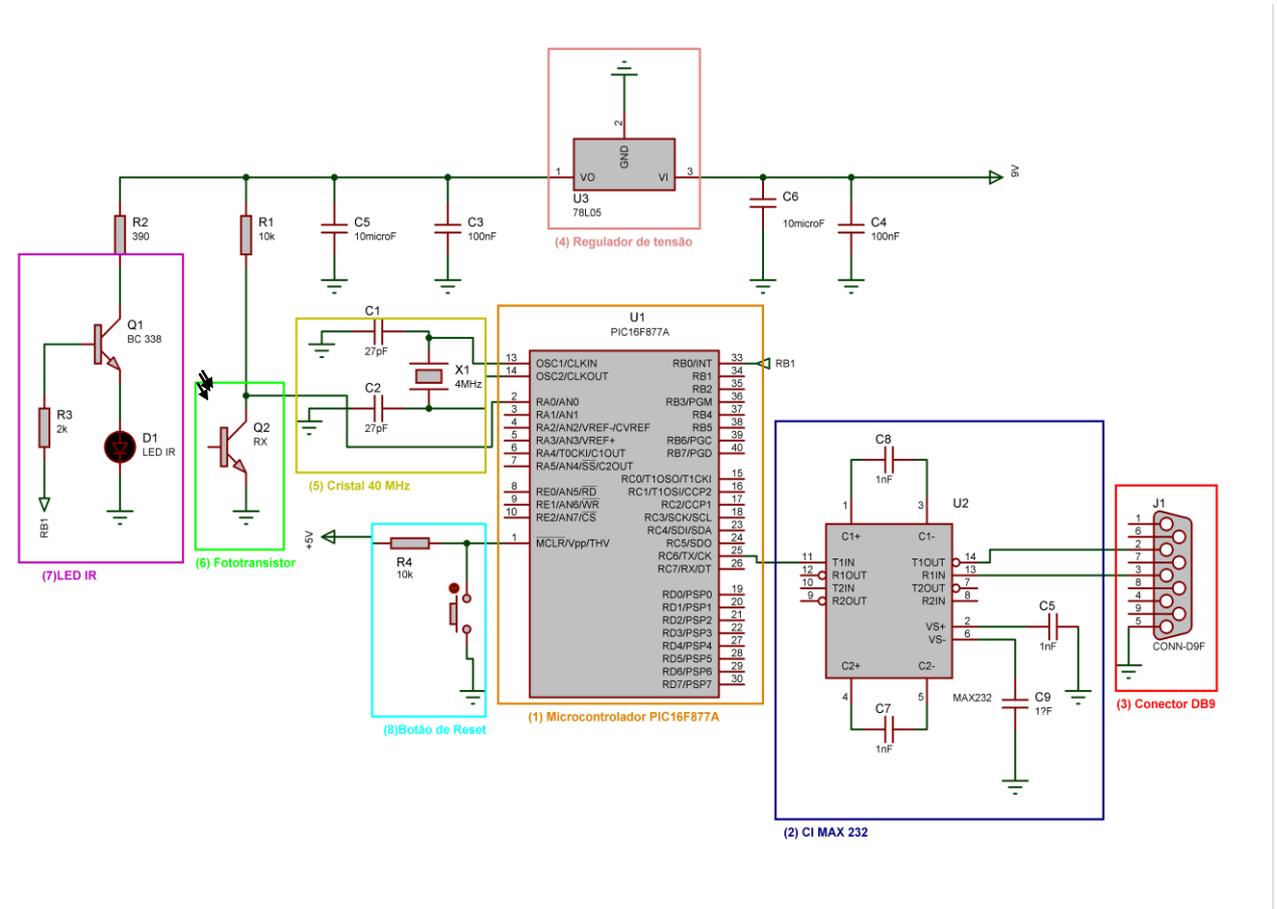
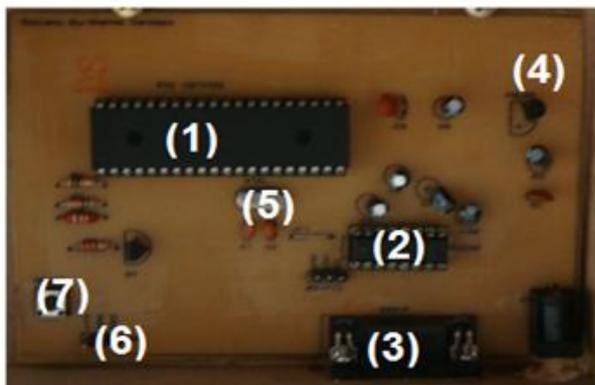


Figura 4.5 – Diagrama esquemático



(1)	PIC 16F877A
(2)	CI MAX232
(3)	Conector DB9
(4)	Regulador de Tensão 78L05
(5)	Crital 40 MHz
(6)	Pinos onde são conectados o TX e RX
(7)	Botão Reset

Figuras 4.6 – Placa do Circuito com identificação dos principais componentes

Conforme mostrado nas Figuras 4.5 e 4.6, o microcontrolador utilizado para o desenvolvimento deste projeto foi o 16F877A, pois este possui um conversor A/D integrado

facilitando a implementação do projeto. O Quadro 4.1 mostra a designação dos pinos utilizados do microcontrolador PIC 16F877A, que estão ligados direta ou indiretamente aos demais componentes utilizados.

Quadro 4.1 – Designação dos pinos do PIC 16F877A utilizados

Nº do Pino	Nome do Pino	Descrição
1	MCLR/VP	Botão Reset
2	RA0/NA	Conexão com o Receptor
12	VDD	Terra
13	OSC1/CLKI	Cristal
14	OSC2/CLKOU	Cristal
25	RC6/TX/C	Comunicação com o CI MAX232
31	VSS	Fonte de alimentação +5V
33	RB0/IN	Comunicação com o Transmissor

Para realizar a comunicação serial faz-se necessário o uso do CI MAX 232 e do conector DB9, indicados na Figura 4.5 e 4.6 com a numeração 2 e 3 respectivamente. O princípio de funcionamento destes dois componentes foi explicado anteriormente no Capítulo 3 seção 5.

O Regulador de tensão 78L05, numeração 4 das Figuras 4.5 e 4.6, foi usado devido ao fato da fonte de alimentação utilizada fornecer a tensão de 9 volts e o PIC, segundo o fabricante, suportar no máximo a tensão de 5 volts. Já o cristal, indicado pela numeração 5 na Figura 4.5, é responsável pelo clock externo. O botão reset, numeração 8, é utilizado apenas caso o microcontrolador trave e quando pressionado força um reset no PIC.

Para coletar a turbidez da amostra de água foi desenvolvido um sensor infravermelho, utilizando um emissor e um receptor. Conforme mostra a Figura 4.5, utilizou-se um LED IR como emissor e um fototransistor como receptor.

4.4 - Software

O software desenvolvido para o projeto é dividido em duas partes: o código gravado no MCU e o programa para visualização dos dados coletados. Para a programação do PIC foi utilizado a linguagem de programação C e para a visualização dos dados C#. A visualização dos dados foi realizada usando a IDE Visual Studio 2010 e para o armazenamento dos dados o banco de dados MySQL 2008.

A programação do MCU é responsável por acionar o LED, enviar pela porta serial o valor coletado pelo fototransistor e fazer a conversão A/D dos dados, uma vez que o circuito trabalha com dados analógicos e os computadores dados digitais. As funções do código-fonte responsáveis pela coleta de dados e conversão dos valores analógicos em digitais são comentados abaixo:

```
void init_adc(void) //Configura Canal 0 em RA0 como entrada A/D.
{
    setup_adc_ports(ALL_ANALOG); //Configura pinos do port A/D como
analógicos.
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //Clock A/D interno.
    set_adc_channel(0); //Recebe os dados coletados pelo fototransistor
}

do
{
    output_high(PIN_B0); //liga o LED IR
    delay_ms(10); //Delay de 10ms.
    ad0 = read_adc();// inicia e aguarda conversão A/D
    volts = ad0 * (5.0/1023.0); //Converte 10 bits e o resultado em ponto flutuante
    printf("%1.2f;",volts);

    delay_ms(2500);
}while(TRUE);
```

A visualização dos dados é composta por um software de computador para o sistema operacional *Microsoft Windows*. Foram criados dois formulários, um para a visualização do histórico (“Form1.cs”) e outro para a configuração da porta de comunicação serial (“ReadSerialPort.cs”). Os códigos-fonte encontram-se no Apêndice B e Apêndice C. A Figura 4.7 mostra o fluxograma com a lógica de funcionamento do sensor, que para melhor entendimento foi subdividida em três blocos.

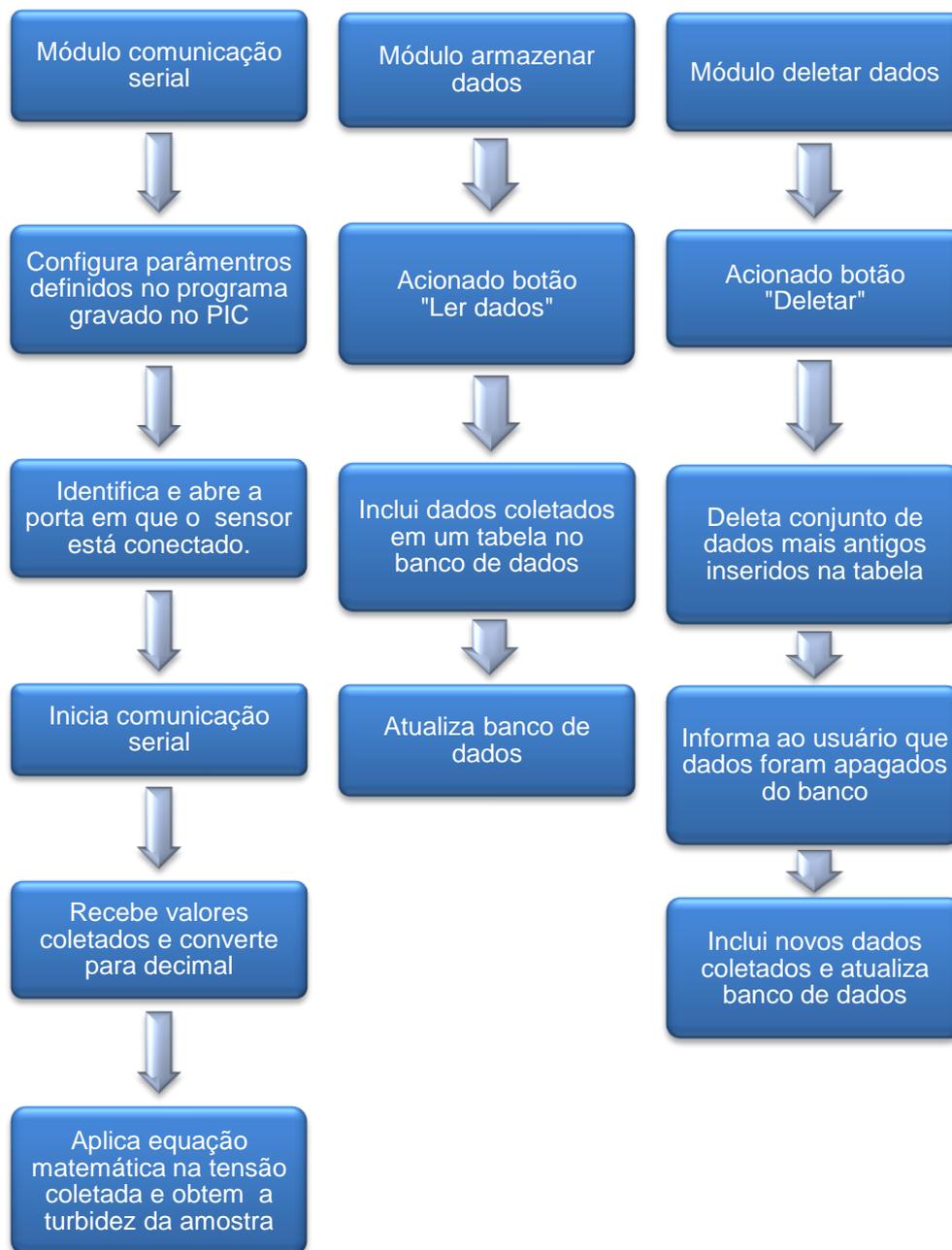


Figura 4.7 – Fluxograma de funcionamento da interface gráfica

O software funciona abrindo a porta utilizada para a recepção de dados, e os enviando para uma tabela previamente criada no banco de dados MySQL. Essa tabela de dados apresenta três colunas: ItemID, Tensão e Turbidez. A Figura 4.8 mostra a tela do software de visualização de dados. Abaixo segue a programação para salvar os valores coletados no banco de dados e mostrá-los em um quadro.

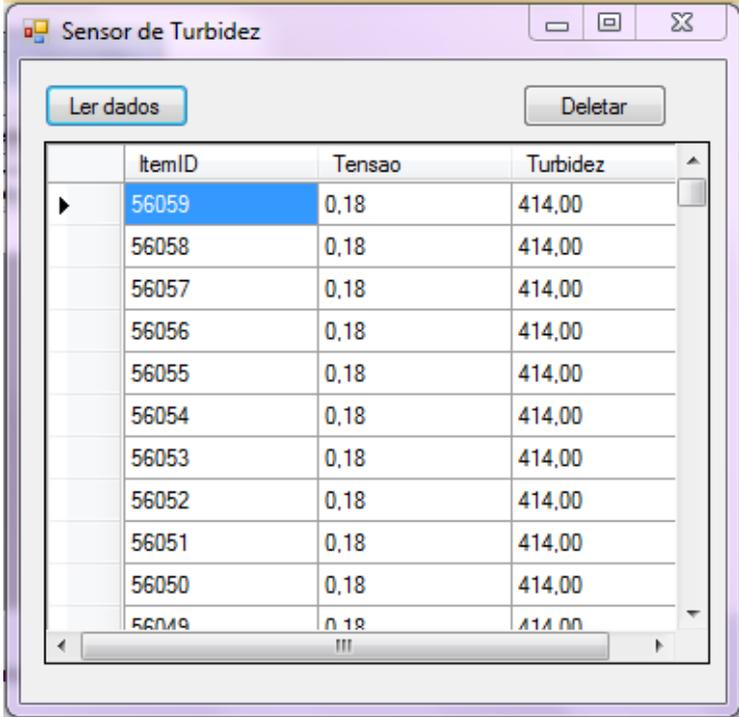
```

private void btnAdd_Click(object sender, EventArgs e)
{
    using (SensorTurbidezEntities entity = new SensorTurbidezEntities())
    {
        dtLista.DataSource = entity.ValorTurbidez.OrderByDescending(a =>
a.ItemID);
        dtLista.Refresh();
    }
}

public void incluirRegistro(ValorTurbidez valorTubidez)
{
    using (SensorTurbidezEntities entity = new SensorTurbidezEntities())
    {
        entity.AddToValorTurbidez(valorTubidez);
        entity.SaveChanges();
    }
}

private void dataGridView1_CellContentClick(object sender,
DataGridViewCellEventArgs e)
{
}

```



	ItemID	Tensao	Turbidez
▶	56059	0,18	414,00
	56058	0,18	414,00
	56057	0,18	414,00
	56056	0,18	414,00
	56055	0,18	414,00
	56054	0,18	414,00
	56053	0,18	414,00
	56052	0,18	414,00
	56051	0,18	414,00
	56050	0,18	414,00
	56049	0,18	414,00

Figura 4.8 - Tela do software de visualização dados

O próximo teste executado foi à disposição, nos ângulos de 90° e 180°, entre o fototransistor e o LED. Foi escolhida a opção 180°, pois conforme esclarecido no em 3.2, a opção de 90° mostrou-se inviável, uma vez que o fototransistor quando utilizado no regime de funcionamento de comutação limita-se a verificar se há ou não presença de luz.

Para construção do protótipo proposto foi adotado o padrão utilizado na Europa com base nas normas EN 27027 e ISO 7027, em que é utilizado um LED IR disposto a 180° do receptor e preferencialmente utilizado para turbidez superior a 40 UNT (CHEMTRONIC WALTEMORE GMBH, 2010).

Depois de decidido a disposição entre o transmissor e o receptor, estes foram fixados em uma estrutura de metal, onde é inserido o tubo de ensaio com a amostra de água, conforme ilustrado na Figura 5.2.

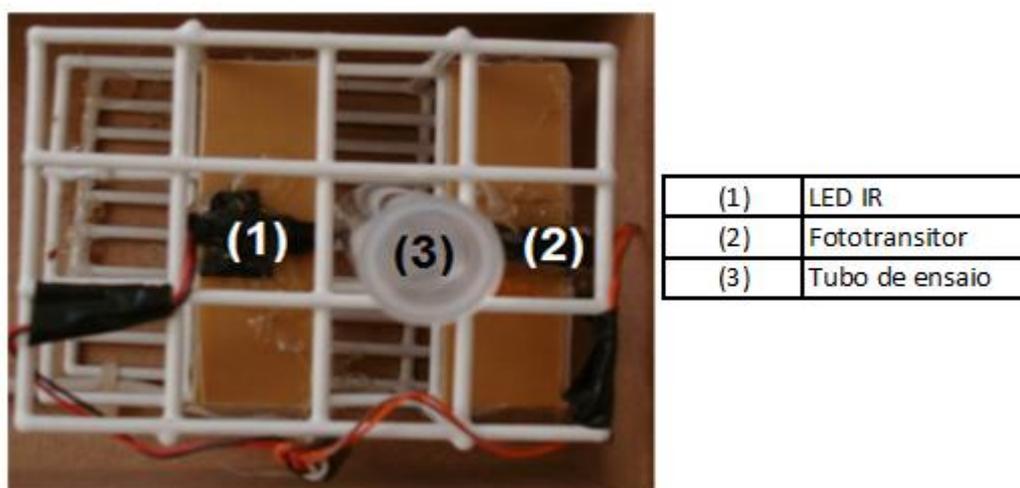


Figura 5.2 – Disposição entre o LED e o fototransistor adotada

5.2 - Calibração

Para que os valores coletados sejam convertidos em UNT e validados, faz-se necessária a calibração do sensor. O método utilizado para calibrar o sensor foi o direto, utilizando assim a solução padrão de formazina conforme explicado anteriormente 3.3. A solução de formazina é composta de sulfato de hidrazina ($N_2H_4H_2SO_4$), hexametileno-tetramina pura e água destilada. Foi comprada uma solução com 4.000 UNT e diluída para em

diferentes concentrações. Depois de diluída a solução deve ser utilizada em até 72 horas, pois depois deste período o padrão torna-se instável (HAFFMANS, 2003).

A diluição foi realizada em um laboratório de química LABOCIEN - UniCEUB, pois necessáécitou-se o uso de um exaustor, conforme ilustrado da Figura 5.3, uma vez que a hexametileno-tetramina pode causar irritação nos olhos, sistema respiratório e rosto, enquanto o Sulfato de hidrazina é tóxico e cancerígeno (HAFFMANS, 2003).



Figura 5.3 – Exaustor utilizado para diluir a Solução Padrão de Formazina

Para diluição da solução de Formazina com concentração de 4000 UNT foi adicionado 100 ml de água destilada a um balão volumétrico e com o auxílio de uma pipeta volumétrica retirou-se do frasco de formazina o volume a ser diluído. A Tabela 5.1 apresentou os volumes em mililitros utilizados da solução concentrada e sua equivalência em unidade de turbidez. Em seguida transferiu-se a solução de formazina para o balão volumétrico, contendo água destilada e agitou-se. Após a diluição transferiu-se a solução para um tubo de ensaio para ser utilizada no sensor desenvolvido.

Tabela 5.1 Quantidade de Formazina diluída e sua equivalência em UNT

Quantidade da Solução de Formazina diluída em 100ml de água destilada (ml)	Concentração de Formazina depois da diluição (UNT)
1	40
2	80
3	120
4	160
5	200
5,5	220
6,5	260
7,5	300
8	320
8,5	340
10	400

Com o intuito de verificar a existência de um grau de relacionamento entre a tensão coletada e a medida de UNT das amostras testadas, verificou-se a correlação linear simples. A correlação averiguada é linear porque é feita por uma função de primeiro grau e simples, porque foi considerada uma única variável independente. Tal verificação foi realizada pelo método de análise da regressão linear, uma vez que há uma variável dependente, a tensão coletada, e uma variável independente, a turbidez da solução de formazina (CASTANHEIRA, 2008).

Para descobrir a forma aproximada da relação entre as duas variáveis analisadas foi aplicado o diagrama de dispersão nos dados da Tabela 5.2, conforme ilustrado pela Figura 5.4.

Tabela 5.2 – A quantidade em UNT na amostra de água com formazina e a respectiva tensão coletada pelo sensor

UNT	Tensão
0	0,14
40	0,15
80	0,15
120	0,15
160	0,16
160	0,15
200	0,16
220	0,17
220	0,16
260	0,16
260	0,17
300	0,17
320	0,18
320	0,17
340	0,18
340	0,17
400	0,18
400	0,2
400	0,19
400	0,18

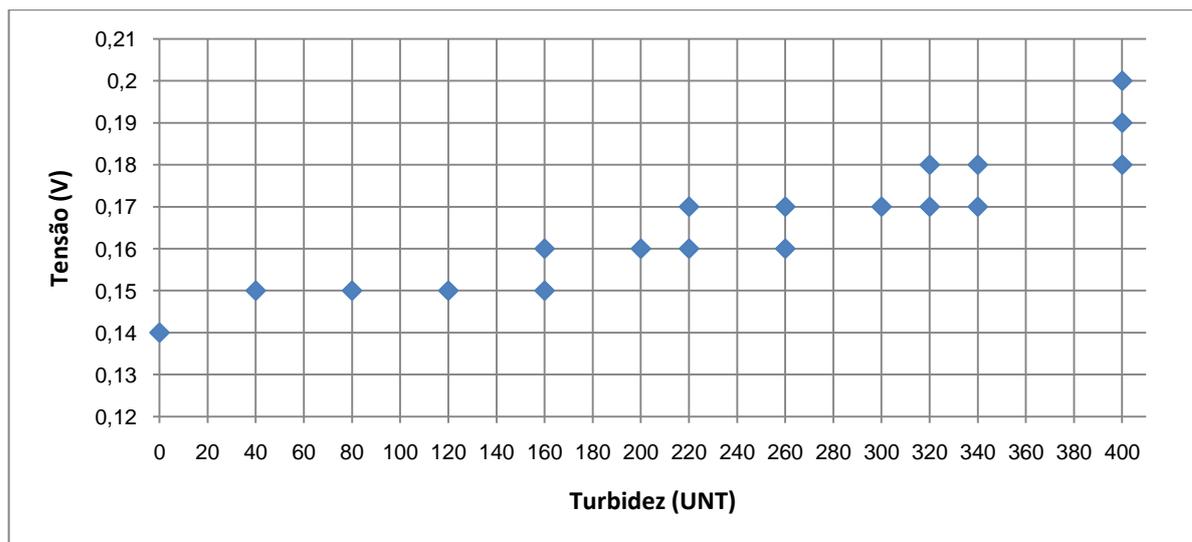


Figura 5.4 – Diagrama de Dispersão Tensão x Turbidez

Posteriormente realizou-se uma análise da regressão traçando-se uma reta que passou próxima da maioria dos pontos do diagrama de dispersão e obtendo-se assim a equação da reta, conforme ilustrado na Figura 5.5. O software utilizado para construção dos gráficos expostos nas Figuras 5.4 e 5.5 e cálculo da equação da reta foi o Microsoft Excel.

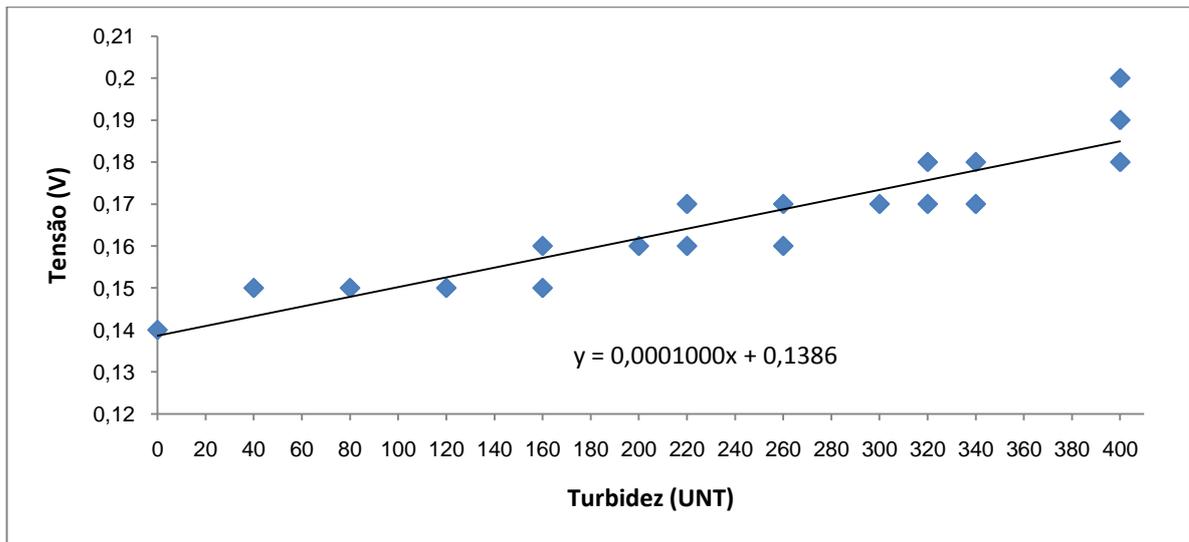


Figura 5.5 – Análise da regressão e equação da reta

Para avaliar o grau de ajuste dos valores em torno da reta calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson, chamada de r . A Equação (1) apresenta a fórmula utilizada para realizar o cálculo .

$$r = \frac{\sum(X - \bar{X}) * (Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 * \sum(Y - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

Os valores do coeficiente de relação r variam de acordo com sua intensidade e direção. A intensidade aumenta à medida que os pontos do gráfico de dispersão tendem para uma reta diagonal. Já a direção pode ser positiva, indicando que os valores dos eixos x e y são proporcionais, ou negativos, indicando proporcionalidade inversa, quanto maior o valor de x menor será o de y . Os valores do coeficiente variam entre -1 e $+1$, em que -1 indica forte correlação negativa, 0 ausência de correlação e $+1$ forte correlação positiva . Portanto quanto mais próximo de 1 , maior é a intensidade da correlação (JACK LEVIN, 2004).

Aplicando a fórmula (1) nos dados do gráfico de dispersão o valor obtido foi $r = 0,9193$. Ao elevar o coeficiente ao quadrado é obtido o valor de $r^2 = 0,8451$, portanto pode-se concluir que 84,51% dos valores da tensão são explicados por uma relação linear com os valores da turbidez (JACK LEVIN, 2004).

Para converter a tensão coletada pelo sensor em unidade de turbidez foi aplicada a equação da reta obtida na calibração do sensor. A função descrita abaixo mostra como a conversão foi inserida no software.

```
private decimal ConvertoParaTurbidez(decimal tensao)// recebe o valor da tensão
coletada pelo sensor.
{
    return (tensao - 0.1386m) / 0.0001m;// retorna o valor convertido da
tensão em UNT após a aplicação da equação da reta
}
```

Após a realização da calibração foi aplicado a equação da reta nos valores da tensão aferida com as amostras de formazina e observou-se que o sensor apresenta uma maior precisão para amostras com a turbidez superior a 100 UNT, conforme mostrado na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Aplicação da equação da reta na Tensão coletada das amostras de Formazina

UNT das Amostras de Formazina diluída	Tensão coletada pelo sensor	UNT obtido após aplicação da equação da reta na tensão aferida
0	0,14	14
40	0,15	114
80	0,15	114
120	0,15	114
160	0,16	214
200	0,16	214
220	0,17	314
220	0,16	214
260	0,16	214
300	0,17	314
320	0,18	414
320	0,17	314
340	0,18	414
340	0,17	314
400	0,18	414
400	0,19	514

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

Com este trabalho ratifica-se a importância da verificação e monitoração do parâmetro físico turbidez para garantir a qualidade da água respeitando a legislação vigente para as diferentes destinações. Após a análise estatística dos dados obtidos na calibração do sensor, foi verificada a linearidade da relação Tensão X Turbidez.

Com base nos testes realizados observou-se que o sensor desenvolvido neste projeto comporta-se melhor para níveis de turbidez acima de 100 UNT. Uma maneira que poderia melhorar a aferição para baixos valores de turbidez é a redução da corrente, para isso seria necessário aumentar a tensão do circuito por meio de um amplificador operacional. Porém isto poderia acarretar na diminuição da precisão para altos valores, uma vez que a tensão máxima recebida pelo microcontrolador limita-se a 5 volts.

O projeto conseguiu cumprir objetivo proposto de desenvolver um sensor para identificar a redução da intensidade de um feixe de luz ao atravessar uma amostra de água contendo substâncias suspensas e mostrar em uma interface os valores medidos.

Como as informações são armazenadas em Banco de Dados, pode-se guardar um histórico da turbidez da água em diferentes estações, verificar se houveram mudanças e investigar potenciais causas dessas mudanças. Desta forma é possível monitorar a qualidade da água a fim de evitar poluições criminosas.

6.1- Dificuldades encontradas

Para a realização desse projeto, várias dificuldades tiveram que ser superadas. Primeiramente a confecção da placa, que devido à qualidade o material utilizado inicialmente apresentou várias falhas nas trilhas do circuito. Outra dificuldade foi projetar um invólucro para o sensor que protegesse a placa e não permitisse a interferência de luz externa na amostra de água. Após vários esboços e pesquisas foi comprada uma pequena caixa de MDF e feitas as adaptações necessárias.

Inicialmente o software utilizado seria o Visual Basic 6, porém devido a incompatibilidade com o Sistema Operacional Windows 7 e a virtualização do Windows XP foi escolhido a interface Visual Studio.

Por fim para realizar a calibração foi feito uma pesquisa de preço, em laboratórios do Brasil, da solução concentrada de formazina. Os preços variam de 80 a 198 reais. Infelizmente não foi possível ratificar os valores coletado do protótipo construído por meio da calibração indireta devido ao elevado valor de um turbidímetro e ao fato não ser sido possível o empréstimo do aparelho pela UNB e pela Caesb.

6.2- Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestão para projetos futuros na área de verificação e monitoração da qualidade da água pode-se substituir a transmissão serial por wireless transformando-o em um turbidímetro portátil. Podem ser feita melhorias também no modo de aferir as amostras ao analisar as faixas de frequência da luz coletadas pelo sensor adicionando um filtro no sinal, coletando assim dados mais precisos, e utilizando um sensor calibrado para ratificar a conversão em UNT dos valores coletados. Outro aperfeiçoamento que pode ser aplicado é na interface de visualização dos dados que pode ser aprimorada, mostrando outras funcionalidades como, por exemplo, a exibição de gráficos e a utilização de uma ferramenta mais robusta para análise de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Portal da Qualidade das Águas. **ANA - Agência Nacional de Águas**, 2009. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx>>. Acesso em: 1 abril 2011.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, v. único, 2005.

CASTANHEIRA, N. P. **Métodos Quantitativos**. 20ª. ed. Curitiba: IBPEX, 2008.

CHEMTRONIC WALTEMORE GMBH. Standardized Guidelines and valuable Information regarding Turbidity measurement. **Chemtronic Waltemore GmbH**, 2010. Disponível em: <<http://www.monitek.de/basics/turbidimetry.html>>. Acesso em: 2011 Junho 17.

CMB CONSULTORIA. Ecovillas do Lago. **CMB Consultoria**, Fevereiro 2008. Disponível em: <<http://www.cmbconsultoria.com.br/servicos/monitoramento/ecovillas/fevereiro-2008/>>. Acesso em: 17 Abril 2011.

COELHO, J. P. Sensores e Actuadores, Bragança, 2004/2005. Disponível em: <http://www.ipb.pt/~jpcoelho/Misc/SeA_.pdf>. Acesso em: 17 Junho 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Variáveis de qualidade das águas. **CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**, 12 Janeiro 2011. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 1 Maio 2011.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Metrologia: Conhecendo e aplicando na sua empresa. **Equipamentos Laboratório**, Brasília, 2001. ISSN 85-88566-04-. Disponível em: <<http://www.equipamentoslaboratorio.blog.br>>. Acesso em: 24 abril 2011.

EMBRAPA. Embrapa Agrobiologia. **Embrapa**, Janeiro 2004. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pupunha/PalmitoPupunheira/glossario.htm>>. Acesso em: 24 Abril 2011.

EPA. EPA Guidance Manual: Turbidity Provisions. **United Stated Enviromental Protection Agency**, Viçosa, abril 1999. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 23 abril 2011.

GIMENEZ, S. P. **Microcontroladores 8051**. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda, 2002.

GROOVER, M. P. **Automação Industrial e Sistemas de Manufatura**. Tradução de Jorge RITTER; Luciana do Amaral TEIXEIRA e Marcos VIEIRA. 3ª edição. ed. São Paulo: Pearson prentice, 2011.

HAFFMANS. **Manual de Operação: Turbidímetro laboratorial VOS ROTA 90/25**. Haffmans. [S.l.], p. 59. 2003.

IN SUTO ANALÍTICA. **In Suto Analítica: Produtos para Laboratórios, Hospitalares e Odontológicos**. Disponível em: <http://www.insutuanalitica.com.br/turbidimetros_98.html>. Acesso em: 22 Maio 2011.

IOCCG. **Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal, and Other Optically-Complex, Water**. International Ocean Colour Coordinating Group. Canadá. 2000.

JACK LEVIN, J. A. F. **Estatística para Ciências Humanas**. 9ª Edição. ed. São Paulo: Pearson, 2004.

LABOR, S. Equipamentos. **SP Labor: Equipamentos para laboratório**, 2010. Disponível em: <<http://www.splabor.com.br>>. Acesso em: 3 Maio 2011.

LOPES, G. J. R. Avaliação da Turbidez e do tamanho de partículas como parâmetros indicadores da remoção de oocistos de CRYPTOSPOIDIUM SPP. nas etapas de clarificação no tratamento da água em ciclo completo, Viçosa, Setembro 2008. Disponível em: <http://www.factorelevante.pt/loja/product.php?id_product=959>. Acesso em: 27 março 2011.

LORA, E. E. S. **Prevenção e Controlo da Poluição no Setores Energético, Industrial e de Transporte**. 2ª Edição. ed. Rio Janeiro: Interciência, 2002.

MARQUES, A. E. B.; CRUZ, E. C.; CHOUERI JÚNIOR, S. **Dispositivos Semicondutores: Diodos e Transistores**. 7ª edição. ed. São Paulo: Érica, 2002.

MICROCHIP TECHNOLOGY IN. PIC 16F87XA - Data Sheet. **Microchip**, 2001. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/30292c.pdf>>. Acesso em: 6 Abril 2011.

MICROSOFT CORP. Bibliotecas. **Microsoft**, 2011. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/pt/br/>>. Acesso em: 6 junho 2011.

NÚCLEO DE INFORMAÇÕES DE SÚDE AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Saneamento, Saúde e Ambiente**. São Pulo: Manole Ltda, v. único, 2005.

PÁDUA, V. L. D.; LUIZ, D. B. **Comparação entre Turbidez e Distribuição de tamanhos de partículas**. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. [S.l.]: ABES - Trabalhos Técnicos. 2006.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC: Programação em C**. 7ª. ed. São Paulo: Èrica, v. único, 2009.

PIVELI, D. R. P.; KATO, M. T. **Qualidade da água e poluição: aspectos físicos-químicos**. São Paulo: ED-ABES, 2005.

POLICONTROL. Boletim Técnico Policontrol : Turbidez em águas. **Universidade Federal do Recôncavo da Bahia**, Julho 2006. Acesso em: julho 2011.

POMPÊO, D. M. L. M. O Disco de Secchi, 1999. Disponível em: <<http://mpompeo1.sites.uol.com.br/>>. Acesso em: 25 abril 2011.

PRÓ- ANÁLISE. Pró-Análise: Produtos e Equipamentos para Laboratório. **Pró-Análise: Produtos e Equipamentos para Laboratório**. Disponível em: <Lâmpada de Tungstênio>. Acesso em: 22 Maio 2011.

REIS, L. B. D.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**. Barueri: Manole Lta, v. único, 2005.

ROSÁRIO, J. M. **Princípios de mecatrônica**. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

SILVA, R. A. **Programando Microcontroladores PIC: Linguagem "C"**. São paulo: Ensino Profissional, 2006.

SOLOSTOCKS. **SoloStocks: The Marketplace 2B**. Disponível em: <<http://www.solostocks.com.br/venda-produtos/instrumentos-medicao-analise/medidores/turbidimetro-digital-microprocessado-bancada-td-200-189386>>. Acesso em: 15 Maio 2011.

SONAMBRA IMPORTS. **Sonambra Imports: Instrumentos de Medição de Alta Qualidade**. Disponível em: <<http://www.sonambraimports.com.br/turbidimetro-digital-portatil-modelo-mi415>>. Acesso em: 20 Maio 2011.

SOUZA, C. R. D. S. Sensor de Turbidez, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.infobrasil.inf.br/userfiles/26-05-S3-4-65657-Sensor%20de%20Turbidez.pdf>>.

SOUZA, D. J. **Desbravando o PIC: ampliado e atualizado para PIC 16F628A**. São Paulo: Érica LTDA, v. único, 2005.

SOUZA, V. A. Interface R232. **Cerne: Conhecimento para o Desenvolvimento**. Disponível em: <http://www.cerne-tec.com.br/interface_rs232.pdf>. Acesso em: 2011 abril 21.

TEXAS INSTRUMENTS. Texas Instruments, Dallas, 2002. Disponível em: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/max232.pdf>>. Acesso em: 15 Abril 2001.

WTW. Determination of Turbidity. **OMNILAB**. Disponível em: <http://www.omnilab.de/hpb/export/2/TURB_E.PDF>. Acesso em: 2011 Junho 10.

ZANCO, W. D. S. **Microcontroladores PIC16F628A/648A: Uma abordagem prática e objetiva**. São Paulo: Érica, v. único, 2005.

APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO DO PIC 16F877A

```

#include <16f877A.h> //Inclui as biblioteca p/ o microcontrolador PIC16F877A.
#define adc=10
#include delay (clock=4000000) //Cristal oscilador 4Mhz.
#include fuses xt, nowdt, put, brownout, nolvp
#include use_RS232(baud=4800,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7)

/*
velocidade de transmissão 4800 bps, sem paridade, 8 bits de dados.
*/

void init_adc();

void main() //Função principal.
{

unsigned long ad0 = 0;
float volts = 0;
output_b(0x00);
output_d(0x00); //Limpa o Port D.
init_adc(); //Configura A/D.

do
{
output_high(PIN_B0);
delay_ms(10); //Delay de 10ms.
ad0 = read_adc();// inicia e aguarda conversão A/D *
volts = ad0 * (5.0/1023.0); //Converte 10 bits e o resultado em ponto flutuante.
printf("%1.2f;",volts);
delay_ms(2500); //Tempo de amostras entra as conversões.

}while(TRUE);

```

```
}  
void init_adc(void) //Configura Canal 0 em RA0 como entrada A/D.  
{  
    setup_adc_ports(ALL_ANALOG); //Configura pinos do port A/D como  
analogicos.  
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //Clock A/D interno.  
    set_adc_channel(0); //Configura Canal AN0.  
}
```

APÊNDICE B – VISUALIZAÇÃO DO HISTÓRICO DE DADO COLETADOS

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.Threading;

namespace SensorTurbidez
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        ReadSerialPort portaSerial = null;

        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            portaSerial = new ReadSerialPort();
        }

        private void btnAdd_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            using (SensorTurbidezEntities entity = new SensorTurbidezEntities())
            {
                dtLista.DataSource = entity.ValorTurbidez.OrderByDescending(a =>
a.ItemID);
                dtLista.Refresh();
            }
        }

        public void incluirRegistro(ValorTurbidez valorTubidez)
        {
            using (SensorTurbidezEntities entity = new SensorTurbidezEntities())
            {
                entity.AddToValorTurbidez(valorTubidez);
                entity.SaveChanges();
            }
        }

        private void dataGridView1_CellContentClick(object sender,
DataGridViewCellEventArgs e)
        {
        }

        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            this.ValorTurbidezTableAdapter.Fill(this.sensorTurbidezDataSet.ValorTurbidez);

            using (SensorTurbidezEntities entity = new SensorTurbidezEntities())
            {

```

```
        a.ItemID);
        dtLista.DataSource = entity.ValorTurbidez.OrderByDescending(a =>
    dtLista.Refresh();
    }
}

private void btnDeletar_Click(object sender, EventArgs e)
{
    using (SensorTurbidezEntities entity = new SensorTurbidezEntities())
    {
        entity.ExecuteStoreCommand(@"delete from ValorTurbidez");

        MessageBox.Show("Dados apagados com sucesso!");

        dtLista.DataSource = entity.ValorTurbidez.ToList();
        dtLista.Refresh();
    }
}
}
```

APÊNDICE C – COMUNICAÇÃO SERIAL

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.IO.Ports;

namespace SensorTurbidez
{
    public class ReadSerialPort: IDisposable
    {
        private SerialPort serialPort;
        private Queue<byte> recievedData = new Queue<byte>();

        public ReadSerialPort()
        {
            serialPort = new SerialPort();
            serialPort.PortName = SerialPort.GetPortNames().FirstOrDefault();
            serialPort.BaudRate = 4800;

            if (serialPort.IsOpen)
            {
                serialPort.Close();
            }

            serialPort.Open();

            serialPort.DataReceived += serialPort_DataReceived;
        }

        public void serialPort_DataReceived(object s, SerialDataReceivedEventArgs e)
        {
            byte[] data = new byte[serialPort.BytesToRead];
            serialPort.Read(data, 0, data.Length);

            data.ToList().ForEach(b => recievedData.Enqueue(b));

            processData();
        }

        private void processData()
        {
            // Determine if we have a "packet" in the queue
            if (recievedData.Count > 50)
            {
                var packet = Enumerable.Range(0, 50).Select(i =>
recievedData.Dequeue());
            }

            byte[] teste1 = recievedData.ToArray<byte>();
            char[] teste = System.Text.Encoding.ASCII.GetString(teste1).ToCharArray();

            StringBuilder str = new StringBuilder();

            foreach (var item in teste)
            {
                str.Append(item);
            }
        }
    }
}

```

```

string valorTensao = str.ToString();
foreach (var item in valorTensao.Split(';'))
{
    ValorTurbidez valorTurbidez = new ValorTurbidez();
    if (item.Length == 0)
    {
        continue;
    }

    valorTurbidez.Tensao = Convert.ToDecimal(item.Replace(".", ","));
    valorTurbidez.Turbidez =
ConverttoParaTurbidez(Convert.ToDecimal(item.Replace(".", ",")));

    if (valorTurbidez.Tensao == 0)
    {
        continue;
    }

    using (SensorTurbidezEntities entity = new SensorTurbidezEntities())
    {
        entity.ValorTurbidez.AddObject(valorTurbidez);
        entity.SaveChanges();
    }
}

private decimal ConverttoParaTurbidez(decimal tensao)
{
    return (tensao - 0.1386m) / 0.0001m;
}

public void Dispose()
{
    if (serialPort != null)
    {
        serialPort.Dispose();
    }
}
}
}

```