

TRABALHO: PROPOSTA DE PROJETO COM MICROCONTROLADORES

**Universidade Estadual Paulista (UNESP)
Faculdade de Ciências
Curso de Bacharelado em Ciência da Computação
Campus de Bauru – SP**

Uso de um microcontrolador para o monitoramento do nível de lodo de esgoto para as ETE's

Disciplina: Microcontroladores

Aluno: Davi Augusto Neves Leite

E-mail: davi.neves@unesp.br

Professor: Prof. Dr. João E. M. Perea Martins

Data de Entrega: 11 de dezembro de 2020

Trabalho apresentado como parte das atividades da disciplina Microcontroladores, do Bacharelado em Ciência da Computação na FC-UNESP.

FC – UNESP, 2020

1. O OBJETIVO DO PROJETO

O objetivo desse projeto consiste em otimizar as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) baseadas em containers por meio da combinação de um microcontrolador PIC16F877A com um sensor ultrassônico para o monitoramento do nível de lodo.

2. A ORIGEM DA PROPOSTA

A proposta teve origem em dois sites: <https://blog.brkambiental.com.br/estacao-de-tratamento-de-esgoto/> e <https://www.pepperl-fuchs.com/brazil/pt/23520.htm>. O primeiro site, promovido pela empresa de saneamento básico BRK Ambiental, trata a respeito do funcionamento detalhado de uma Estação de Tratamento de Esgoto. Dessa forma, é abordado os seguintes conceitos: a importância de uma ETE para a sociedade, o surgimento de uma ETE no Brasil; as etapas de tratamento de esgoto de maneira detalhada, sendo separado em três níveis (primário, em que se removem os sólidos; secundário, em que se removem as matérias orgânicas; terciário, em que se removem os compostos inorgânicos); e a parte mais importante para esse trabalho: as tendências e buscas por novas tecnologias para as ETE, de maneira a baratear o custo e aumentar a eficiência nos serviços de saneamento básico. O segundo site, promovido pela empresa especializada em sensores Pepperl+Fuchs, retrata a respeito da importância e utilidade dos sensores do tipo ultrassônicos para a detecção do nível de lodo de esgoto carregados em contêineres. Dessa forma, os sensores ultrassônicos podem impedir o transbordamento desses contêineres por meio de um sinal de chaveamento. Além disso, esse site traz a descrição de um sensor específico e de um *software* (ambos desenvolvidos pela empresa) para o monitoramento em tempo real do nível de lodo de esgoto nos contêineres.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO

O reabastecimento de água, promovido pelo saneamento básico, é de suma importância para a sociedade haja vista que se tem uma capacidade hídrica (especialmente relacionada à potável) limitada com relação ao crescente aumento de consumo. Dessa forma, é importante a aplicação de tecnologias e métodos de tratamento mais eficientes (e, de preferência, de baixo custo) para que ocorra o aumento da demanda de água potável e que possa haver a distribuição para os mananciais e aquíferos, tendo em vista o menor percentual de impurezas possível. Além disso, de acordo com o estudo realizado por Almeida, Paiva e Trevizam (2020), grande parte das ETE's convencionais presentes no Brasil utilizam um método de alto custo (em torno de R\$ 600.000,00 para atender 1200 habitantes) ao passo que as ETE's modulares (utilização de contêineres) apresentam um custo, em

média, 59,7% menor do que nas tradicionais. Além do custo, a área utilizada por uma ETE modular é extremamente menor do que de uma ETE tradicional, ou seja, implicando em menos dano químico e físico ao meio ambiente bem como na diminuição do tempo para a construção.

Dessa forma, esse projeto pretende dar um incentivo ao uso de ETE's modulares por meio da combinação de um microcontrolador e de um sensor ultrassônico (ambos de baixo custo) para o monitoramento do nível de lodo de esgoto presente em umas das etapas de tratamento (enchimento dos contêineres). Ou seja, esse trabalho pode contribuir para tanto a maior eficiência das ETE's modulares quanto para um estímulo para o maior investimento (por parte do governo federal) no uso das mesmas.

4. TRABALHOS CORRELATOS

Em questão de comparação, foram selecionados e analisados quatro diferentes trabalhos sobre o tema.

O primeiro, publicado na Nigéria, trata a respeito de um controle automático de nível da água utilizando uma placa de Arduino Uno (microcontrolador *ATMEGA328*), quatro LEDs indicativos para o nível da água (muito alto, alto, baixo e muito baixo), um display LCD 16x2 para mostrar o nível de água em tempo real, três interruptores de controle para medição do nível de água, dentre outras ferramentas (como uma campainha e um bombeador de água). Além disso, de acordo com o autor OO (2020), o circuito montado tem a principal função para operar sobre o bombeamento de água, alertando o usuário quando o bombeamento está ligado (por meio da campainha) e qual o nível de água presente no recipiente testado.

O segundo, publicado na Indonésia, trata a respeito de um protótipo para controle do nível de água de um recipiente, utilizando um Arduino Nano (microcontrolador *ATMEGA328P*), um sensor ultrassônico do modelo *SRF-05*, um servo motor e um LCD 16x2. A combinação realizada pelos autores Karwati e Kustija (2018) foi a seguinte: o sensor ultrassônico conectado ao Arduino detecta o nível de água continuamente, tendo os dados processados no Arduino e mostrados no LCD. Contudo, ao detectar um certo nível de água em um determinado recipiente construído pelos autores, o servo motor é programado para abrir ou fechar um “portão de água” desse recipiente, liberando ou permitindo a entrada automática de água. Os resultados obtidos foram positivos, com uma margem de erro de 2,15% para aquele recipiente e utilizando o sensor ultrassônico de modelo *SRF-05*.

O terceiro, publicado no Brasil (em Minas Gerais), trata a respeito de um sistema de monitoramento e de controle do consumo de água residencial, utilizando um Arduino Uno (microcontrolador *ATMEGA328*), um sensor de fluxo de água de modelo *DN32*, um módulo

ethernet para o Arduino e um servo motor. O protótipo realizado pelos autores Filtsoff e Martins (2018) consistiu na instalação do sensor de fluxo de água em um hidrômetro, sendo ligado por um Arduino e este tendo ligação com a internet sem fio (por meio do módulo ethernet), podendo o usuário acompanhar os dados de consumo de maneira remota. Além disso, utilizaram-se de um servidor web (em *PHP*) e banco de dados *MYSQL* para o armazenamento do histórico de dados, permitindo o acesso pelo usuário por meio de um aplicativo construído pelos próprios autores. Este aplicativo feito para Android, além de poder consultar o histórico do consumo de água, também controla a abertura e fechamento do registro de água (modo remoto). Os resultados obtidos foram positivos, já que os moradores sujeitados ao estudo perceberam o alto consumo (por meio de alertas do aplicativo) e passaram a economizar.

O quarto, publicado no Brasil (em São Paulo), trata a respeito de um sistema de aquisição de dados em saneamento básico (vazão e pressão no abastecimento de água), utilizando um Arduino Mega (microcontrolador *ATMEGA2560*), um módulo ethernet, um sensor de vazão e um sensor de pressão. Além disso, para armazenar os dados, foi utilizado o banco de dados *MYSQL* instalado em um servidor utilizando o sistema operacional *Ubuntu Server*. Esse sistema, segundo os autores Melo e Henrique (2018), foi construído da seguinte maneira: os sensores de vazão e pressão são ligados ao Arduino, sendo ativos por meio de uma pressurização de uma bomba em um recipiente, e este sistema faz a leitura dos sensores e manda os dados a cada cinco segundos para o banco de dados na internet (por meio do módulo ethernet). Além disso, foi construído um sistema embarcado na linguagem C para a aquisição de dados em tempo real. Os resultados obtidos, segundo os autores, cumpriram o objetivo proposto e foi possível registrar os dados de vazão e pressão em tempo real.

Em síntese, ao verificar os quatro trabalhos anteriores, esse projeto tem vários diferenciais propostos: utilização de um microcontrolador PIC16F877A, ao contrário de uma placa de Arduino (Uno, Nano ou Mega); aplicação para uma ETE modular (baseada em contêineres), ao contrário de residência ou para um recipiente criado especificamente para o projeto; medição apenas do nível de composto líquido (lodo de esgoto), ao contrário da vazão ou pressão; utilização de um sensor ultrassônico (modelo mais preciso do que o *SRF-05*). Dessa forma, este projeto pode alcançar outros patamares do que os quatro trabalhos apresentados anteriormente ao utilizar outros componentes e servir para outra aplicação específica.

5. O PROJETO PROPOSTO

O projeto pretende criar um sistema embarcado para o monitoramento em tempo real do nível de lodo de esgoto de um contêiner. Esse sistema será composto, principalmente, por: um microcontrolador PIC16F877A, um sensor ultrassônico e um módulo conversor de COM (TTL)

para USB 2.0 (detalhes no próximo tópico). Dessa forma, será possível realizar a comunicação serial e trazer os dados em tempo real (com intervalos próximos de um segundo) para um programa específico criado para computador. Esse programa, além de monitorar o nível da água em centímetros, poderá encerrar o bombeamento automático de lodo de esgoto a partir de um limite estipulado (em centímetros) pelo usuário, na faixa de detecção do sensor ultrassônico. Dessa forma, os contêineres podem ser automatizados e evitar uma catástrofe sanitária como transbordamento dos mesmos.

Os contêineres mais utilizados, segundo a empresa de saneamento modular Hydro Solution presente no estudo de Almeida, Paiva e Trevizam (2020), são os de 20 pés com uma altura de 2,591 metros. Dessa forma, é necessário um sensor ultrassônico capaz de detectar alturas de, no mínimo, 0,8m (ou 80cm) para evitar qualquer tipo de problema. Ou seja, seja I o nível de altura (em metros) detectada por um sensor ultrassônico, para esse projeto será necessário atender a seguinte restrição: $I \geq 0,8$.

Além disso, será necessário um computador com conexão serial (USB) para a comunicação com o PIC16F877A e que esteja utilizando um sistema operacional que suporte a linguagem Java (Windows ou distribuições do Linux). Contudo, para programar o software que irá permanecer executando no PIC16F877A, será necessário a utilização do software MPLAB IDE v8.92 que é um ambiente de desenvolvimento integrado da Microchip para a programação dos PIC's em geral e que está disponível somente para a plataforma Windows. Portanto, recomenda-se fortemente o uso do sistema operacional Windows no computador a ser utilizado para o monitoramento.

Os princípios a serem utilizados no trabalho são: comunicação serial e conversão analógico-digital, especificamente do PIC16F877A. O primeiro conceito está relacionado a transferência de dados, bit a bit, do PIC para um computador por meio de uma entrada USB. Para isso, será necessário módulo adaptador de COM para USB para o microcontrolador. O segundo conceito está relacionado com a obtenção de dados digitais a partir de dados analógicos (como dos sensores ultrassônicos), ou seja, representar digitalmente uma grandeza analógica por meio do nível de tensão. Para isso, o PIC escolhido tem um conversor analógico-digital de 10 bits embutido, permitindo captar tensões de 0V até ~5.5V. Se necessário, dependendo do sensor ultrassônico escolhido, deverá haver um módulo conversor de corrente-tensão (4mA a 20mA para 0V a 5V).

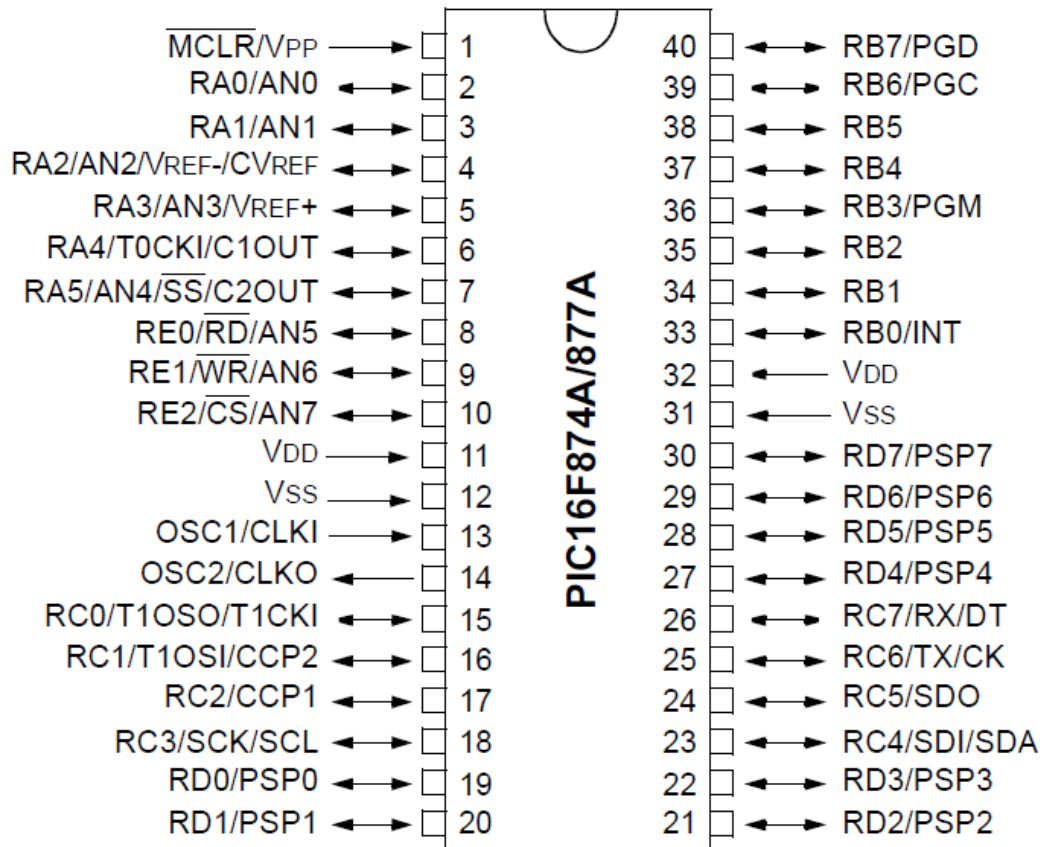
5.1. MATERIAIS FUNDAMENTAIS

5.1.1. MICROCONTROLADOR PIC16F877A

O PIC16F877A é um microcontrolador da família de 8 bits e núcleo de 14 bits fabricado pela Microchip Technology, tendo uma tensão de operação de 5V TTL (e máxima de 5.5V). Possui

40 pinos, sendo 30 pinos como portas de entrada ou saídas digitais. Também possui importantes elementos internos, como temporizadores, memória de programa de 8K x 14 bits, memória de dados (RAM) de 368 x 8 bytes, memória de dados (EEPROM) de 256 x 8 bytes, 14 fontes de interrupção, 5 diferentes portas de entrada e saída digital (Portas A, B, C, D e E), 8 canais de entrada analógica, um conversor analógico digital (A/D) de 10 bits, dentre outras características (de acordo com o Datasheet fornecido pela Microchip).

Figura 1 – Pinagem do PIC16F877A



Fonte: Microchip Technology (Datasheet do PIC16F877A) (2013)

O mais atrativo a respeito desse microcontrolador, além de suas inúmeras características, está com relação ao seu preço: no site Baú da Eletrônica este microcontrolador está custando R\$31,90, sendo um preço acessível a um produto com inúmeras características importantes (como temporizadores e entradas analógicas).

5.1.2. SENSOR ULTRASSÔNICO

Para efeitos de comparação, foram analisados três diferentes sensores ultrassônicos presentes no mercado: HC-SR04, JSN-SR04T, UB1000-18GM75-I-V15. Todos, obviamente, sendo possíveis na utilização com o PIC16F877A.

O sensor ultrassônico HC-SR04 é um dos mais famosos e utilizados sensores para Arduino, sendo possibilitado a medir distância de 2cm a 450cm, com uma precisão acima de 3mm. Além disso, o seu custo é extremamente atrativo: no site FilipeFlop, este sensor foi encontrado no preço de R\$12,90. Como sua distância máxima de detecção de objetos é 450cm (ou 4,5m), ele é um sensor apto a utilizar no projeto.

Figura 2 – Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04



Fonte: FilipeFlop (2020)

O sensor ultrassônico JSN-SR04T foi desenvolvido para funcionar em ambientes úmidos, sendo bastante resistente à umidade e com um fio de 2,5 metros de comprimento a fim de manter uma ampla distância do microcontrolador (a depender da aplicação). Além disso, ele se mostra ideal para detectar objetos a uma distância de 25cm à 150cm, sendo possível a sua utilização no projeto. O seu preço, de acordo com a loja virtual da Usinainfo, é de R\$119,50.

Figura 3 – Sensor Ultrassônico JSN-SR04T



Fonte: Usinainfo (2020)

O sensor ultrassônico UB1000-18GM75-I-V15, desenvolvido pela empresa especializada em sensores Pepperl+Fuchs, possui uma detecção de objetos a uma distância de 7cm a 100cm. A sua saída é analógica de 4mA a 20mA, sendo necessário a utilização de um Módulo Conversor Corrente/Tensão 4-20mA 0-5V (disponível na AutoCore Robótica por R\$49,90) para o seu funcionamento corretamente com o PIC16F877A. Contudo, o seu preço exorbitante de R\$2806,60, de acordo com a loja RH Materiais Elétricos, torna o seu uso inviável a este projeto que tem como foco o baixo custo e alta eficiência, ainda que a distância máxima de detecção seja de 100cm.

Figura 4 – Sensor Ultrassônico 1000mm - UB1000-18GM75-I-V15



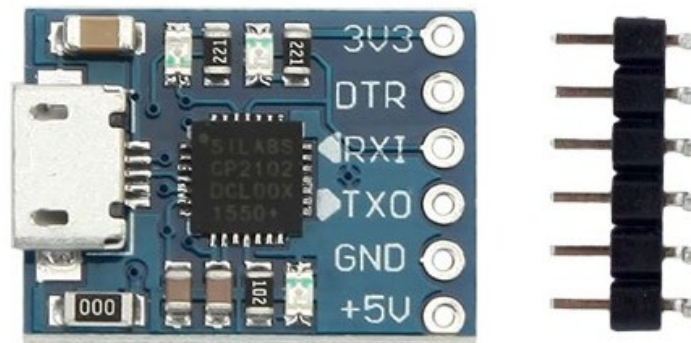
Fonte: RH Materiais Elétricos (2020)

Portanto, ao analisar os três sensores acima, os mais recomendados para a utilização no projeto são o HC-SR04 ou o JSN-SR04T por conta do preço e distância máxima de detecção de objetos. Além disso, o JSN-SR04T será usado como base para todo o restante desse projeto por sua característica de ser resistente a ambientes úmidos.

5.1.3. MÓDULO CONVERSOR USB TTL

O módulo conversor USB TTL de modelo CP2102 é utilizado para garantir a comunicação serial entre dispositivos (como microcontroladores) e um computador. Ou seja, ele realiza uma adaptação da entrada Rx e da saída Tx do PIC16F877A (recebimento e envio de dados por serial, respectivamente) para uma conexão do tipo Universal Serial Bus (USB) de versão 2.0. Além disso, o seu preço relativamente baixo de R\$19,90, de acordo com a loja virtual FilipeFlop, torna possível a sua utilização neste projeto.

Figura 5 – Módulo Conversor USB TTL CP2102 Serial RS232



Fonte: FilipeFlop (2020)

5.2. CUSTO TOTAL INICIAL DO PROJETO

O custo total inicial do projeto pode ser visto nas duas tabelas abaixo, a depender do sensor ultrassônico desejado pelo usuário. Para efeitos de exemplificação, este projeto será baseado na tabela 1.

Tabela 1 – Custo do Projeto com o Sensor Ultrassônico JSN-SR04T

Nome	Preço Unitário
Microcontrolador: PIC16F877A	R\$ 31,90
Sensor Ultrassônico: JSN-SR04T	R\$ 119,50
Módulo Conversor USB TTL: CP2102	R\$ 19,90
Total:	R\$ 171,30

Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

Tabela 2 – Custo do Projeto com o Sensor Ultrassônico HC-SR04

Nome	Preço Unitário
Microcontrolador: PIC16F877A	R\$ 31,90
Sensor Ultrassônico: HC-SR04	R\$ 12,90
Módulo Conversor USB TTL: CP2102	R\$ 19,90
Total:	R\$ 64,70

Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

6. SOFTWARE COMPLEMENTAR

Para a realização do projeto, é necessário a criação de um software específico que possa monitorar o nível do lodo de esgoto em centímetros a partir da conexão com o PIC16F877A e realizar outras funções importantes de controle do bombeamento. Além disso, para garantir a portabilidade para diferentes plataformas (Windows e baseados em Linux), o software produzido deverá ser feito na linguagem de programação orientada a objetos Java. Para produzi-lo, serão necessárias as seguintes rotinas principais: identificação e conexão com o PIC16F877A pela USB; conversão da distância provida pelo sensor ultrassônico para centímetros; atualização, a cada um segundo, da distância; visualização da distância (bem nítida); ativação e desativação do bombeamento de lodo de esgoto, sendo a desativação definida por um limite de nível pré-estipulado (em centímetros) pelo usuário antes da ativação; salvamento dos registros diários em arquivo texto (para relatório).

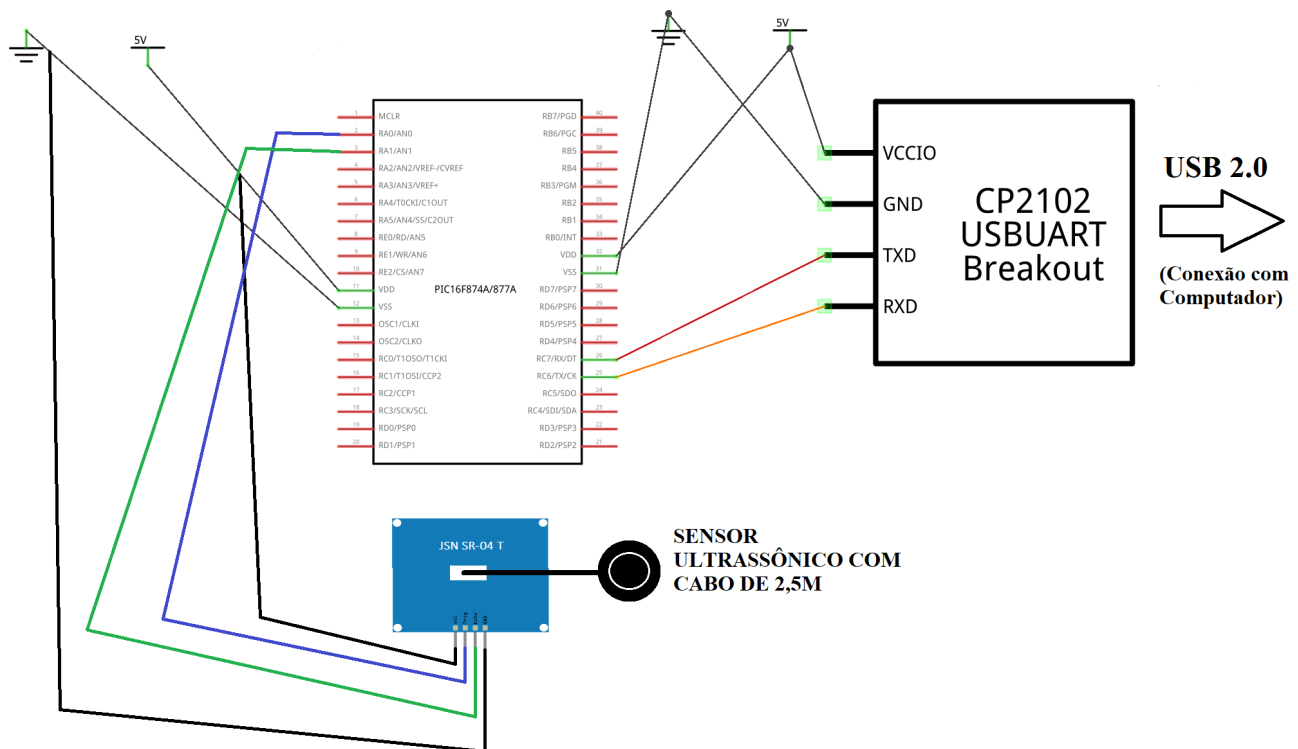
7. QUAL É A METODOLOGIA PARA DESENVOLVER ESSE PROJETO?

Para desenvolver o projeto, serão necessárias as seguintes etapas (em ordem): conexão do sensor ultrassônico e do módulo conversor USB TTL ao PIC16F877A; conexão do PIC16F877A ao computador por meio da USB; programação do software (conversão analógico-digital e comunicação serial) do PIC16F877A, por meio do MPLAB IDE v8.9 e; programação do software complementar de monitoramento do nível de lodo de esgoto dos contêineres.

A primeira etapa está relacionada com a interconexão dos materiais especificados anteriormente. Em outras palavras, deve-se realizar a conexão do sensor ultrassônico JSN-SR04T e do módulo conversor USB TTL ao PIC16F877A. Isso pode ser realizado de duas maneiras: com a utilização de uma placa de circuito impresso, sendo necessário soldar as conexões de maneira

correta; ou pela utilização de uma protoboard de 830 pontos (custo adicional ao projeto de R\$14,90 pela FilipeFlop). Essas conexões podem ser vistas no desenho esquemático abaixo.

Figura 6 – Esquema de Conexão dos Componentes do Projeto



Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

A segunda etapa está relacionada a conexão do PIC16F877A ao computador por meio da conexão USB 2.0. Esta etapa depende da distância que os componentes integrados estarão da máquina de monitoramento, uma vez que será necessário adquirir um cabo USB 2.0 para realizar a conexão. Por outro lado, os componentes integrados podem ser afastados a uma distância de, no máximo, 2 metros dos contêineres haja visto que o sensor ultrassônico (componente de medição) possui um cabo de 2,5 metros de distância.

A terceira etapa está relacionada com a programação do software do PIC16F877A. Em outras palavras, será necessário utilizar o MPLAB IDE v8.92 (disponível somente para Windows XP e versões posteriores) para criar o software que realizará a conversão analógica-digital e comunicação serial do PIC. Para realizar a conversão analógica-digital, será necessário levar em conta os seguintes registradores: ADCON0, ADCON1, ADRESH e ADRESL. O ADCON0 seleciona o *clock* do AD, o canal de conversão e outras funções de controle e verificação do processo de conversão. O ADCON1 determina o formato de ajuste dos 10 bits de saída (seja a direita ou a esquerda) e com relação a pinagem escolhida no ADCON0. Os outros dois, ADRESH e ADRESL, estão relacionados com a leitura dos bits da conversão analógica-digital, sendo o

primeiro associado aos 2 bits MSB (mais significativo) e o outro aos 8 bits restantes. Dessa forma, é possível realizar a conversão analógico-digital do PIC16F877A e salvar os valores no registrador W (ou algum endereço auxiliar). Já a comunicação serial está relacionada aos seguintes registradores: TXSTA, RCSTA, SPBRG, TXREG, RCREG, PIE1 e PIR1. O TXSTA é o registrador relacionado aos dados de transmissão do PIC, ou seja, é responsável por habilitar ou desabilitar a transmissão serial e selecionar o modo de operação da transmissão, principalmente. O RCSTA é o registrador relacionado ao recebimento de dados do PIC, ou seja, é responsável por habilitar ou desabilitar a porta serial (RB1/RX e RB2/TX), possibilitar o recebimento contínuo de dados, dentre outras funções. O SPBRG determina a taxa de transmissão e depende diretamente do TXSTA (bit BRGH, aquele associado a taxa para cálculo da *band rate*). Comumente, utiliza-se o valor de 9600bps para o SPBRG. Os TXREG e RCREG são buffers de comunicação, sendo o primeiro relacionada à transmissão de dados e o segundo à recepção de dados. O PIE1 está relacionado a habilitar ou desabilitar as *flags*, tanto de recepção e de transmissão de dados, sendo zerado automaticamente após o *reset*. O PIR1 consiste nas *flags* gerenciadas pelo PIE1, tanto de transmissão quanto de recepção de dados.

Contudo, há um problema relacionado à conversão analógico-digital do sensor ultrassônico JSN-SR04T com o PIC16F877A: este sensor foi criado para ser utilizado em Arduino, tendo o seu próprio módulo específico realizando a conversão analógico-digital integralmente. Dessa forma, para utilizá-lo corretamente no PIC16F877A, será necessário utilizar as entradas RA0 e RA1 (no que seriam as entradas analógicas AN0 e AN1) como digitais e realizar duas funções: uma para ativar e desativar o pino *Trigger* do módulo do sensor ultrassônico (conectado em RA0 do PIC) por dez microssegundos; e uma para medir o tempo, em microssegundos, em que o pino *Echo* do módulo do sensor ultrassônico (conectado em RA1 do PIC) fica em nível alto. Ambas funções devem estar dentro de uma estrutura de repetição, garantindo a obtenção da distância (em microssegundos) do nível de lodo de esgoto no contêiner.

Por fim, a quarta etapa está relacionada à programação do software para monitoramento do nível de lodo do esgoto (detalhado no tópico anterior) pela linguagem Java. Para tanto, será necessário realizar inicialmente a identificação e comunicação com o PIC16F877A pela USB 2.0. Após isso, deverá ser convertida a distância (enviada pelo PIC em microssegundos por meio da contagem em nível alto) para centímetros por meio da divisão por 58.82 (resultado provido de manipulações com a velocidade média do som no ar de 340m/s). Este resultado deverá ser atualizado a cada um segundo e mostrado nitidamente ao usuário por meio de texto na tela inicial do programa. Além disso, deverá haver dois botões relacionados ao bombeamento de lodo de esgoto para o contêiner: um de ativação e um de desativação manual. O de ativação, como o próprio nome diz, permitirá ao usuário ativar o bombeamento de lodo de esgoto e iniciar o processo dentro

de um contêiner. Além disso, antes de abrir as válvulas de bombeamento, será necessário a inserção de um valor limite de nível (sendo este valor presente entre o limite de captação de distância do sensor ultrassônico e maior que, pelo menos, 50cm) desejado para o fechamento automático (desativação) das válvulas de bombeamento. Já o botão de desativação manual está relacionado ao fechamento das válvulas de bombeamento, a qualquer intervalo de tempo, desde que seja utilizado antes da desativação automática, como uma forma de emergência em caso de algum problema. Por fim, o software ainda deverá salvar todos os registros diários em um arquivo texto (do tipo *.txt*) para fins de relatórios e monitoramento do funcionamento dos componentes integrados (microcontrolador e sensor ultrassônico, principalmente).

8. PRODUTOS COMERCIAIS SEMELHANTES

Durante a realização deste projeto, foram encontrados dois produtos comerciais semelhantes no Mercado Livre. O primeiro (disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1613273218-indicador-medidor-sensor-de-nivel-caixa-dagua-p-1000-litros-_JM) trata-se de um indicador de nível para uma caixa d'água de até 1000 litros, com custo de R\$150,00. O segundo (disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1289676031-smart-sensor-de-nivel-de-agua-oferta-_JM) trata-se de um sistema que realiza o abastecimento automático de água para uma caixa d'água e informa o nível de água presente, com custo de R\$1104,87.

Dessa forma, não há produtos que realizam o funcionamento específico deste projeto como medição do nível de líquido e controle do bombeamento, a um custo acessível.

9. CONCLUSÕES FINAIS

Em síntese, o projeto possibilita uma otimização para as Estações de Tratamento de Esgoto Modulares, ou seja, àquelas baseadas em contêiner. Isso é somente possibilitado pela combinação dos componentes apresentados anteriormente: o microcontrolador PIC16F877A, o sensor ultrassônico e o módulo conversor USB TTL. Essa combinação garante o controle do nível de lodo de esgoto em determinado contêiner e, portanto, ao controle de bombeamento a fim de se evitar catástrofes ambientais (como vazamento). Além disso, como foi mostrado, as ETE's Modulares possuem um custo menor de manutenção e área ocupada, sendo seu uso positivo em questões econômicas, sociais e ambientais.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L.P; PAIVA, M.N; TREVIZAM, G.S. Estudo dos Processos, Custos e Vantagens de uma Estação de Tratamento Modular e Compacta em Containers. *Revista Gestão Universitária*.

Vol. 13. 2020. Disponível em: <http://www.gestaouniversitaria.com.br/artigos-cientificos/estudo-dos-processos-custos-e-vantagens-de-uma-estacao-de-tratamento-modular-e-compacta-em-containers>. Acesso em: 28 nov. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário: Procedimento. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-12.209-Projeto-de-Esta%C3%A7%C3%B5es-de-Tratamento-de-Esgoto-Sanit%C3%A1rios.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2020.

AUTOCORE ROBÓTICA. Módulo Conversor Corrente/Tensão 4-20mA 0-5V. Disponível em: <https://www.autocorerobotica.com.br/modulo-conversor-corrente-tensao-4-20ma-0-5v>. Acesso em: 30 nov. 2020.

BAÚ DA ELETRÔNICA. Microcontrolador PIC16F877A. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/microcontrolador-pic16f877a.html>. Acesso em: 30 nov. 2020.

BERTULUCCI, Cristiano. Sensor Ultrassônico: 10 Aplicações Para a Indústria. Citisystems, 2020. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/sensor-ultrassonico/>. Acesso em: 23 nov. 2020.

FILIPEFLOP. Módulo Conversor USB TTL CP2102 Serial RS232. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-conversor-usb-ttl-cp2102-serial-rs232/>. Acesso em: 30 nov. 2020.

FILIPEFLOP. Protoboard 830 Pontos. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/protoboard-830-pontos/>. Acesso em: 30 nov. 2020.

FILIPEFLOP. Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04/>. Acesso em: 30 nov. 2020.

FILTSOFF, Ricardo; MARTINS, Daves. Sistema de monitoramento e controle do consumo de água residencial. 2018. Disponível em: <https://seer.cesjf.br/index.php/cesi/article/download/1633/1235>. Acesso em: 28 nov. 2020.

GOBBO, Pedro. Entenda como funciona uma estação de tratamento de esgoto. BRK Ambiental, 2019. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/estacao-de-tratamento-de-esgoto/>. Acesso em: 23 nov. 2020.

KARWATI, K.; KUSTIJA, J. Prototype of water level control system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*; IOP Publishing: Bristol. Vol. 384, 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/384/1/012032>. Acesso em: 28 nov. 2020.

MASSA, Donald. Ultrasonic Sensors for Water Level Measurement. Water Tech Online. 2016. Disponível em: <https://www.watertechonline.com/home/article/14171108/ultrasonic-sensors-for-water-level-measurement>. Acesso em: 28 nov. 2020.

MELO, Bruno; HENRIQUE, Fabrício. Sistema de Aquisição de Dados em Saneamento Utilizando Arduino. *Águas Subterrâneas*. 2018. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29364>. Acesso em: 28 nov. 2020.

MERCADO LIVRE. Produto: “Indicador Medidor Sensor De Nível Caixa D’água P/ 1000 Litros”. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1613273218-indicador-medidor-sensor-de-nivel-caixa-dagua-p-1000-litros-_JM. Acesso em: 29 nov. 2020.

MERCADO LIVRE. Produto: “Smart Sensor De Nível De Água Oferta”. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1289676031-smart-sensor-de-nivel-de-agua-oferta-_JM. Acesso em: 29 nov. 2020.

MICROCHIP. Datasheet: PIC16F87XA. 2013. Disponível em: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582C.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2020.

MICROCHIP. Software de Programação do PIC: MPLAB IDE v8.92. Disponível em: <https://www.microchip.com/development-tools/pic-and-dspic-downloads-archive>. Acesso em: 29 nov. 2020.

OO, Akinwole. Design, simulation and implementation of an Arduino microcontroller based automatic water level controller with I2C LCD display. *International Journal of Advances in Applied Sciences*. Vol. 9, Num. 2, 2020. Disponível em: <http://ijaas.iaescore.com/index.php/IJAAS/article/view/20116>. Acesso em: 28 nov. 2020.

PEPPERL+FUCHS. Ultrasonic Sensors for Any Industrial Application. 2017. Disponível em: https://files.pepperl-fuchs.com/webcat/navi/productInfo/doct/tldoct0614l_eng.pdf?v=20200420110549. Acesso em: 23 nov. 2020.

RH MATERIAIS ELÉTRICOS. Sensor Ultrassônico 1000mm - UB1000-18GM75-I-V15. Disponível em: <https://www.rhmateriaiseletricos.com.br/sensores-ultrassonicos/sensor-ultrassonico-1000mm-ub1000-18gm75-i-v15/1630>. Acesso em: 30 nov. 2020.

USINAINFO. Sensor Ultrassônico JSN-SR04T a Prova D’água + Módulo para Arduino. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-ultrassonico-arduino/sensor-ultrassonico-jsn-sr04t-a-prova-d-agua-modulo-para-arduino-4704.html>. Acesso em: 30 nov. 2020.

VIEW TECH AUTOMAÇÃO. Sensor Ultrassônico Industrial Pepperl Fuchs 24V 60 a 2000mm. Disponível em: https://www.viewtech.ind.br/catalog/product/view/id/4951/s/sensor-ultrassonico-industrial-pepperl-fuchs-24v-60-a-2000mm-ip67/?utm_source=&utm_medium=&utm_campaign=&utm_term=&utm_content=#/. Acesso em: 30 nov. 2020.