

CENTRO UNIVERSITÁRIO AUGUSTO MOTTA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA ELETRÔNICO DE
ALERTA DE CHUVAS PARA ÁREAS DE RISCO

Eliei da Silva Macena

Rio de Janeiro
JULHO/2019

CENTRO UNIVERSITÁRIO AUGUSTO MOTTA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA ELETRÔNICO DE
ALERTA DE CHUVAS PARA ÁREAS DE RISCO

Eliel da Silva Macena

Trabalho acadêmico apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: D.Sc. Geraldo Motta Azevedo Jr

Rio de Janeiro
JULHO/2019

CENTRO UNIVERSITÁRIO AUGUSTO MOTTA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA ELETRÔNICO DE
ALERTA DE CHUVAS PARA ÁREAS DE RISCO

Eliel da Silva Macena

APROVADO EM: _____

BANCA EXAMINADORA:

Geraldo Motta Azevedo Júnior, D. Sc. - Orientador

Roberto da Cruz Silva, M. Sc.

Vinícius Coutinho de Oliveira, M. Sc.

Rio de Janeiro
JULHO/2019

DEDICATÓRIA

Ao Rei eterno, imortal, invisível, mas real, o único Deus.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela inspiração constante em minha vida, por suas misericórdias que se renovam toda manhã.

Aos meus pais Ronaldo e Katia, que me educaram e ensinaram os valores e princípios a serem seguidos, e que apesar de todas as dificuldades sempre me incentivaram e lutaram pela minha educação.

À minha esposa Jamille que tem sido efetivamente o maior incentivo para que eu pudesse concluir mais essa etapa na vida, compartilhando comigo além das alegrias, as frustrações das dificuldades.

Aos meus professores dessa renomada instituição pela competência e dedicação com que ministram suas aulas, em especial ao professor Vinícius Coutinho que utilizou de seu conhecimento e suas habilidades para o auxílio da construção desse projeto.

EPIGRAFE

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível. ” (ASSIS)

MACENA, Eliel da Silva. **Desenvolvimento e implementação do Sistema Eletrônico de Alerta de Chuvas para Área de Risco**. 2019. 59 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário Augusto Motta, Rio de Janeiro, 2019.

RESUMO

Evitar acidentes, garantir o bem-estar e salvar vidas, tem sido uns dos principais objetivos da engenharia moderna. O desafio neste projeto é a criação e implementação de um sistema único, inovador e de baixo custo que possibilita, junto a outros instrumentos de suma importância, a prevenção de acidentes oriundos das grandes chuvas em comunidades de baixa renda e com pouco acesso à tecnologia. Apresentando o protótipo do pluviômetro com monitorização automatizada de baixo custo. Utilizando eletrônica em sua essência, aplicando os benefícios da engenharia em prol do próximo.

Palavras-chave: Sensor, Automatizado, Pluviômetro, Eletrônica, Amplificador.

MACENA, Eliel da Silva. **Desenvolvimento e implementação do Sistema Eletrônico de Alerta de Chuvas para Área de Risco**. 2019. 59 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário Augusto Motta, Rio de Janeiro, 2019.

ABSTRACT

Avoiding accidents, ensuring well-being, saving lives, among others, has been one of the main goals of modern engineering. The challenge in this project is the creation and implementation of a unique, innovative and low-cost system that allows, along with other instruments of paramount importance, the prevention of accidents from large rains in low income communities with little access to technology. Introducing the prototype of the rain gauge with low cost automated monitoring. Using electronics in its essence, applying the benefits of engineering to others.

Keywords: Sensor, Automated, Rain, Gauge, Electronics, Amplifier.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Medidas do funil e recipiente cilíndrico.....	23
Figura 2 – Pluviômetro de balança.....	24
Figura 3 – Curva de calibração: Altura da coluna de água x Intensidade simulada. .	25
Figura 4 – Pluviômetro Ville de Paris	27
Figura 5 – Índice pluviométrico de acúmulo mensal em uma área rural	28
Figura 6 – Índice pluviométrico de acúmulo mensal em uma área urbana	29
Figura 7 – Sensor de nível de água FD10.....	30
Figura 8 – Circuito comparador de janela do sensoramento.	32
Figura 9 – Circuito integrado NE555N.....	33
Figura 10 – Circuito de acionamento da sirene	33
Figura 11 – Gráfico comparativo entre acionamentos de sirene	34
Figura 12 – Solenoide 12V	34
Figura 13 – Gráfico de acionamento do solenoide de escape	35
Figura 14 – Circuito simplificado do comparador LM111	38
Figura 15 – Encapsulamento do comparador de tensão LM339	39
Figura 16 – Resultado dos testes do sensor de nível com índices lineares	40
Figura 17 – Resultado dos testes do sensor de nível com novos índices	41
Figura 18 – Sensor eTape Millone	42
Figura 19 – Sensor pneumático MPS20N0040D-S	43
Figura 20 – Arduíno Uno	44
Figura 21 – Sirene SB12	46
Figura 22 – Material utilizado no pluviômetro	47
Figura 23 – Plotagem do circuito.....	48
Figura 24 – Simulação 3D do circuito impresso	49
Figura 25 – Pluviômetro	50
Figura 26 – Circuito com potenciômetro 22 k Ω	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – tabulação e comandos do sensor.....	31
--	----

LISTA DE EQUAÇÕES

(1)Equação do volume da água no pluviômetro.....	23
(2)Equação da área do funil.....	36
(3)Equação do recipiente	36
(4)Equação do volume da coluna d'água.....	36
(5)Equação da capacidade do nível de água.....	36
(6)Equação da pluviosidade.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ONU – Organização das Nações Unidas.

TBR – Terminal Bascular de Registro

OMM – Organização Mundial de Meteorologia.

CMOS – Complementary Metal-Oxide-Semiconductor.

TTL – Transistor-Transistor Logic.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

LED – Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz).

LISTA DE SÍMBOLOS

Ω - Ohm (Unidade de medida de resistência elétrica).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Apresentação do Problema	16
1.2. Definição do Problema	16
1.3. Hipótese	17
1.4. Objetivos	18
1.5. Motivação	18
1.6. Trabalhos Relacionados e Contextualização	18
1.7. Justificativa e Relevância	20
1.8. Metodologia	20
1.9. Organização do Texto	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1. Pluviômetro	22
2.2. Tipos de Pluviômetros	23
2.2.1. <i>Pluviômetro de balança</i>	23
2.2.2. <i>Pluviômetro Ville de Paris</i>	26
2.3. Níveis de Criticidade do Pluviômetro	28
2.4. Material Utilizado na Implementação do Protótipo	29
2.4.1. <i>Sensor de nível de água</i>	30
2.4.2. <i>Circuito comparador de janela</i>	31
2.4.3. <i>Sistema de acionamento das sirenes</i>	32
2.4.4. <i>Sistema de controle de nível</i>	34
2.5. Dimensionamento do Pluviômetro	35
3. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA	38
3.1. Análise de Sistemas Alternativos	38
3.1.1. <i>Comparadores lógicos</i>	38
3.1.2. <i>Sensor de nível de água</i>	39
3.1.3. <i>Sensor de pressão</i>	43
3.1.4. <i>Dispositivos de controle programáveis</i>	44
3.2. Sirene De Alarme	44
4. MONTAGEM E TESTE DO PLUVIÔMETRO	47

4.1. Recipiente de Coleta Pluviométrica	47
4.2. Circuito Impresso	48
<i>4.2.1. Projeção do circuito impresso.....</i>	<i>48</i>
<i>4.2.2. Teste e calibração do circuito</i>	<i>50</i>
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS.....	52
5.1. Dispositivo	52
5.2. Trabalhos Futuros	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
APÊNDICE A – RESULTADOS DE TESTES LINEAR	55
APÊNDICE B – RESULTADOS DE TESTES EM PROGRESSÃO GEOMETRICA...56	56
APÊNDICE C – CIRCUITO ELETRÔNICO	56
ANEXO A – DATASHEET FD10 WATER SENSOR.....	59
ANEXO B – DATASHEET ETAPE WATER SENSOR.....	60
ANEXO C – DATASHEET PRESSURE SENSOR	61

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação do Problema

A chuva tem sido por séculos, fundamental para a vida humana no planeta Terra. Responsável por incentivar o crescimento de plantações, pela dinâmica de rios e mares, e por ser essencial para a alimentação de animais selvagens e domésticos. “As águas das chuvas são as principais abastecedoras dos lençóis freáticos [...] são diretamente responsáveis pelo abastecimento de biomas.” (MARCUIZZO; CARDOSO, 2012). Porém, a chuva também pode ser fundamental para a destruição de plantações e cheias de rios. Nos últimos anos, com o crescimento desenfreado da população urbana, nota-se um crescimento exponencial no que tange a desabamento de construções irregulares geralmente em áreas de encostas, devido às erosões causadas por chuvas, alagamento, entre outros, quando em excesso.

No Brasil, devido a sua diversidade populacional como: grandes centros urbanos, comunidades rurais, indígenas e ribeirinhas, é comum a ocupação desordenada e de certa forma predatória em áreas próximas de rios, encostas e áreas protegidas por leis ambientais, muitas vezes ocupadas por populações em situação de vulnerabilidade socioeconômica e sem planejamento prévio de infraestrutura. As inundações e os deslizamentos de terra têm tido um crescimento consideravelmente alto nos últimos anos, principalmente nas épocas de grandes precipitações, quando acarretam alterações sísmicas (FILHO; CORTEZ, 2010, P. 35) e inundações pluviais (alagamentos por deficiência da drenagem das águas da chuva), causados por processos de construções irregulares e grande remoções de massas.

Um estudo mais aprofundado do terreno, do clima e de possíveis precipitações pluviométricas excessivas podem levar a resultados demonstrativos do comportamento do clima da região que evitariam danos a comunidade, atividade agrícola, serviços de transporte, danos materiais e humanos relevantes. “O conhecimento e a quantificação das características físicas das chuvas associada ao seu potencial erosivo, em dada região, são imprescindíveis na determinação de índices de erosividade adequados.” (CARVALHO *et al*, 2005). Quando isso não ocorre, fica quase impossível evitar tragédias como ocorrem atualmente.

1.2. Definição do Problema

“As fortes chuvas tropicais, sempre presentes nas grandes cidades brasileiras, são as principais deflagradoras de desastres urbanos, que frequentemente repercutem em perdas de

cunho econômicas, civis e humanas. ” (OSCAR, 2018). O crescimento desordenado da população com uma certa vulnerabilidade socioeconômica e com falta de planejamento de infraestrutura adequado que ocupam áreas de risco geológico (encostas, beiras de rios etc.) e as mudanças climáticas mundiais aceleradas pelos processos de poluição, como o aquecimento global, têm fomentado o aumento no número de acidentes e desastres causados por precipitações extraordinárias em grandes cidades metropolitanas.

Normalmente, são nas áreas de risco que se concentram os mais pobres, que vivem em condições subumanas, conforme designa a ONU, morando em favelas à beira de córregos ou localizadas em encostas íngremes. (RIBEIRO, 2008). Locais assim historicamente foram ocupados por escravos fugidos de senzalas e pessoas com baixo ou nenhum poder aquisitivo que não tinham onde morar, então ocupavam as terras improdutivas das encostas e beirando córregos. Por falta de controle governamental e devido aos êxodos sociais, as favelas e comunidades têm crescido de forma exponencial nas grandes metrópoles. Sem saneamento básico adequado e falta de planejamento urbano e estrutural, essas comunidades são as que mais perecem quando ocorrem as grandes chuvas.

O avanço da tecnologia de programação e sensoriamento nos permite um acompanhamento mais detalhado das precipitações pluviométricas. Porém, devido ao fato de as comunidades mais carentes terem a dificuldade de acesso à tecnologia e ferramentas que possam evitar alguma forma de desastre, por mais que exista um avanço científico, fica evidente a necessidade de um projeto para aferição pluviométrica para estudos de caso, alertas e proteção das pessoas que tem moradia situada em áreas de risco. As constantes sociais abordadas como problemática do presente texto, por se perdurarem ao longo dos anos nos traz a necessidade clara e evidente de que é necessário compreender, porque, mesmo mediante a tantos avanços, tais espaços permanecem cerceados de conquistas fundamentais. “Estações meteorológicas profissionais tem alto custo e sua complexidade de operação restringe seu uso” (ARAUJO *et al*, 2014).

1.3. Hipótese

Visando sanar o problema das áreas de risco que sofrem com as tragédias causadas por grandes chuvas, a hipótese levantada é a implementação de um sistema automático de monitoramento pluviométrico (BATISTEL; CAUVILLA; LODI, 2017), utilizando um pluviômetro do modelo digital, artesanal que pode ser comparado com o modelo *Ville de Paris* (modelo mais simples para confecção de um pluviômetro artesanal). Projetado com o

intuito de ser um sistema de baixo custo e acessível às comunidades de baixa renda, o pluviômetro será constituído com comparadores lógicos programáveis e um circuito eletrônico de autoria própria para corroborar com o sistema de sinalização e envio de informação do projeto. Possibilitando a sinalização, através de sirenes espalhadas pela comunidade, do risco eminente da ocorrência de uma possível tragédia socioambiental.

1.4. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal elaborar um protótipo de pluviômetro, com leituras eletrônicas e de autoria própria, para estações pluviométricas automatizadas capaz de monitorar e alertar sobre o nível de chuva que cai em determinada região (mais precisamente, em locais expostos à risco geológico, como deslizamento de terra e alagamentos), divididos em diferentes níveis de criticidade. Visando a otimização de tempo relacionado ao envio do alerta e precisão das medições, utilizando sistemas lógicos simples e com baixo custo monetário de processos de informação, para melhor atender as necessidades de comunidades com pouco acesso ao desenvolvimento social. Segundo (ARAUJO *et al*, 2014) um sistema desse tipo pode ser implementado com um investimento de até 65% mais barato que uma estação meteorológica profissional.

1.5. Motivação

A principal motivação deste trabalho é contribuir para a segurança de moradores de comunidades, geralmente carentes, que se situam em área de risco geológico (próximos de rios e encostas) e contribuir para um estudo pluviométrico para prevenção de futuros desastres ambientais, aproveitando a engenharia e a tecnologia com o propósito de maximizar sua utilidade social, tornando-a pública e acessível.

Não só visando o cunho socioambiental, a motivação também é gerar uma nova vertente econômica para as pequenas empresas e investidores. Podendo ser criados novos sistemas de baixo custo para prevenção de acidentes ecológicos nos centros urbanos, baseados no sistema apresentado.

1.6. Trabalhos Relacionados e Contextualização

ARAUJO e PEREIRA (2014) apresentam o ArdWeather, um sistema integrado de hardware e software composto por uma estação meteorológica de baixo custo e por uma

aplicação Web capaz de exibir dados provenientes de diversas estações meteorológicas. O protejo da estação utiliza uma placa Arduino equipada com sensores para medir temperatura, umidade relativa do ar, pressão barométrica, velocidade do vento, iluminância e precipitação de chuva. Já a aplicação Web é capaz de exibir os dados das medições e enviar alertas via Twitter, além de permitir que outras estações meteorológicas similares a utilizem. As funcionalidades da aplicação foram desenvolvidas na forma de Web Services RESTful, o que permite que outras aplicações se integrem ao sistema e consumam seus dados.

Com o intuito de comparar os dados de precipitações obtidos através de dois tipos de pluviômetros, FERREIRA (2010) elaborou um estudo de caso no Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté. Utilizando um pluviômetro automático do tipo TBR, conhecido como pluviômetro tipo basculante, e um pluviômetro convencional do tipo Ville de Paris. Demonstrando a importância do uso de equipamentos automáticos para tomadas de medidas de precipitação, a importância da manutenção preventiva e calibração desses instrumentos e a Inter comparação das medidas com outros instrumentos para se evitar erros sistemáticos.

FILHO e CORTEZ (2010) abordam com propriedade, a problemática da ocupação urbana em áreas de risco de deslizamento, que tem se agravado nos últimos anos em função do crescimento desordenado da população em países denominados emergentes. O objetivo do artigo é apresentar as consequências da ocupação urbana em áreas de risco de deslizamento de encosta, a partir de um estudo de caso, em duas comunidades denominadas carentes, no município de Campos do Jordão-SP. Partindo do pressuposto de que as pessoas ao morarem em áreas de risco, ficam vulneráveis aos deslizamentos e colocam-se à mercê do acaso e nem a experiência adquirida com os deslizamentos anteriores, as livraram da Exposição e das tragédias que um novo deslizamento pode provocar.

Este trabalho tem como diferencial dos trabalhos citados anteriormente apresentar um projeto de instrumento rápido, preciso e barato para atender um determinado público alvo que necessita de uma ferramenta para avaliar os riscos pluviométricos. Podendo se alinhar com os projetos citados, extraindo as melhores características de cada um. O trabalho apresenta uma pequena explanação sobre a importância da leitura pluviométrica para o estudo geográfico de uma determinada região. É feito um breve comparativo entre os dois tipos de pluviômetros comerciais mais utilizados, demonstrando o melhor para o projeto em questão, relacionando sua integridade física, robustez e precisão para sua melhor operação em campo. É abordada, a temática de plataformas de programação e ferramentas de comunicação para ser utilizado como forma de envio dos sinais de alerta para a população.

1.7. Justificativa e Relevância

Evitar acidentes, garantir o bem-estar e salvar vidas tem sido, entre outros, uns dos principais objetivos da engenharia moderna. A meteorologia e precipitações nas principais regiões urbanas brasileiras tem sido alvo de estudos de profissionais da área de engenharia e meio ambiente, que tem demonstrado grande avanço e modernização nos instrumentos utilizados em campo. Apesar do avanço tecnológico em favor da sociedade, diversos instrumentos utilizados para monitorizar os níveis pluviométricos ainda são muito caros, o que dificulta o acesso dos grupos de baixa renda. Esse trabalho procura apresentar um método alternativo, eficaz, moderno e econômico de se obter informações sobre os níveis das chuvas, utilizando-se da tecnologia e da engenharia a favor da população.

Este trabalho busca ter um papel importante no desenvolvimento acadêmico, visto que poderá ser aproveitado como base para estudos e desenvolvimento de novos projetos de monitoramento, sensoriamento e envio de informações. Caso haja sucesso com o atual projeto, poderá ser expandido futuramente para novos intuitos sociais e econômicos.

1.8. Metodologia

A primeira parte deste projeto se constitui em uma breve abordagem sobre assuntos relevantes para se desenvolver o sistema de medidas pluviométricas, citando as principais características do protótipo do pluviômetro que será confeccionado: O pluviômetro Ville de Paris demonstrando, baseados no estudo de (SILVA *et al*, 2010), os custos e benefícios que motivaram o uso deste modelo.

Em seguida, será feita a montagem do circuito eletrônico, desenvolvido e baseado em amplificadores operacionais lógicos (Modelo LM111) e circuitos integrados (Modelo CI555). O sistema de sensoriamento será implementado com régua de medidas do nível de água (Modelo Fd10), que será dimensionado em quatro diferentes níveis de criticidade.

Por fim, será demonstrado o processo de teste e calibração do sistema. Através de uma bomba de infusão para nutrição enteral (Modelo ePump Covidien), utilizada em tratamentos de terapia intensiva. Que auxiliará no método de aferição e calibração dos níveis exatos apresentados no equipamento.

1.9. Organização do Texto

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo apresenta-se o projeto, expondo uma breve contextualização e apresentando a problemática vislumbrada, assim como os objetivos.

No segundo capítulo é realizada uma revisão sobre o desenvolvimento do mecanismo de coleta pluviométrica, promovendo um maior detalhamento do processo de medidas e transmissão de dados coletados.

No terceiro capítulo é apresentado um descritivo sobre o desenvolvimento dos circuitos lógicos utilizando amplificadores operacionais na condição de comparador e dos circuitos temporizadores para as sirenes, que serão implementados ao sistema de coleta pluviométrico.

No quarto capítulo é realizado um descritivo do processo de montagem, implementação e calibração do sistema de medidas e coletas pluviométricas.

No quinto capítulo conclui-se o projeto mostrando os resultados, custos e benefícios encontrados com o projeto do novo sistema pluviométrico.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

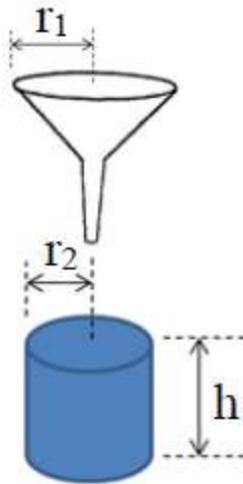
2.1. Pluviômetro

Com a consolidação da tecnologia a favor dos estudos geográficos, os sistemas de medições pluviométricas vêm se aprimorando e sendo cada vez mais indispensáveis. Medidas que antes eram extraídas de tempo em tempo manualmente, hoje são feitas automaticamente e com mais precisão, dando mais confiabilidade ao sistema e segurança tanto para os operadores quanto para aqueles que dependem dessas informações para o seu dia a dia. No entanto, uma estação meteorológica pode custar um alto investimento financeiro. O que é inviável para a utilização em algumas regiões, comunidades e alguns órgãos sociais.

O pluviômetro é um instrumento meteorológico que é comumente utilizado para se obter medidas de precipitações, isto é, elementos líquidos ou sólidos (chuvas, granizo ou neve) que caem do céu. Diferente do pluviógrafo, que é um instrumento com as mesmas características do pluviômetro, mas com o intuito de registrar o tempo. O pluviômetro dispõe de uma escala para indicar, a cada milímetro, o volume em litros de água que foram concentrados em um metro quadrado por um determinado tempo. “Quando se diz que houve 10 milímetros de chuva, se quer dizer que esta é a altura média de água a partir do chão em uma localidade, em um período de tempo (1 milímetro de chuva equivale a 1 litro de água por metro quadrado)” (ARAÚJO; GONÇALVES, 2014).

A taxa de pluviosidade ou índice pluviométrico significa a quantidade de chuva por metro quadrado em determinada região, durante uma determinada faixa de tempo. Essa taxa é calculada de acordo com a altura da lâmina de água. Na Figura 1 é mostrado que, para se calcular o índice pluviométrico a partir de um pluviômetro de aferição manual, de acordo com (ANDRADE et al, 2016), considera-se que a água entra no sistema através da boca de um funil e cai em um recipiente cilíndrico.

Figura 1– Medidas do Funil e Recipiente Cilíndrico



Fonte: Adaptado de (ANDRADE, SOUZA JUNIOR e AVALLONE, 2016)

Como observado na Figura 1, o raio r_1 representa o raio de entrada do funil, r_2 representa o raio do recipiente de captação e h representa a altura do nível de água no recipiente. Pode-se calcular e obter o volume de água da chuva de acordo com a equação (1).

$$V = \frac{V_2}{A_1} = \frac{\left(\frac{\pi \cdot (2 \cdot r_2)^2}{4}\right) \cdot h}{\frac{\pi \cdot (2 \cdot r_1)^2}{4}} \quad (1)$$

Onde V é o volume de água caído em 1 m^2 que corresponde a 1 cm de altura no cilindro, enquanto V_2 representa o volume correspondente à altura de 1 cm de água no cilindro e A_1 representa a seção transversal do funil.

2.2. Tipos de Pluviômetros

2.2.1. Pluviômetro de balança

Existem diversas formas e tipos de ferramentas para se obter medidas de precipitações pluviométricas e dados meteorológicos em campo. O modelo de pluviômetro mais utilizado em estações meteorológicas é o pluviômetro de balança. Como pode ser visto na Figura 2, o pluviômetro de balança se constitui de um funil que recebe a água da chuva, e transporta a água para um mecanismo basculante semelhante a um monjolo duplo (engenho rudimentar utilizado para acionar moinhos com o movimento da água) que, quando cheio um dos lados, tende a desequilibrar, tombando para o lado que estava com a água da chuva, despejando a água e começando um novo ciclo para o outro lado. Cada movimento feito pela balança é

contabilizado no sistema como uma soma de medidas iguais e relacionado durante um determinado espaço de tempo.

Figura 2 – Pluviômetro de Báscula



Fonte: Adaptado de <http://cemaden.gov.br/pluviometrosautomaticos/view/site/requisitos.php>

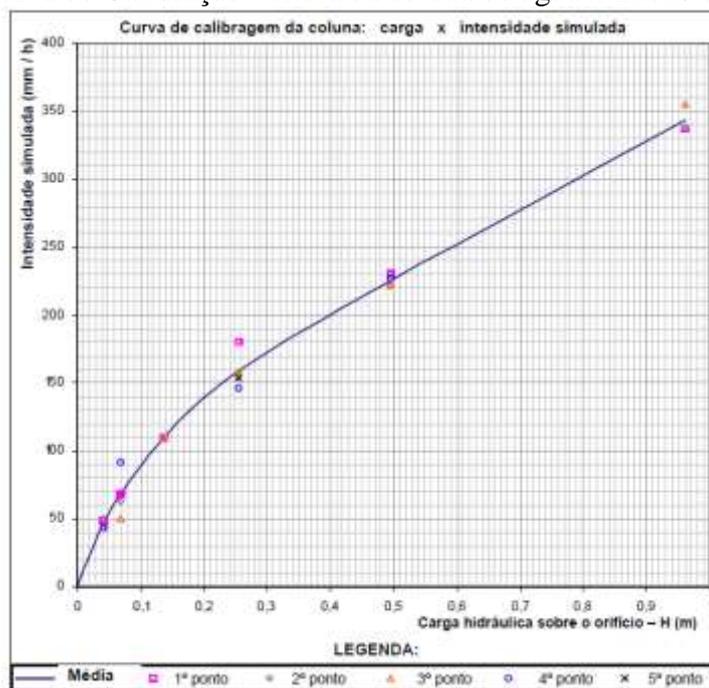
File: resource/img/figura5.jpg, acessado em 25/01/2019.

Este modelo de pluviômetro permite uma leitura das medidas mais precisas e confiáveis. Uma vez que a báscula somente se movimenta com um determinado peso exercido pelo volume de água, gerando um pulso eletrônico enviado ao sistema de data logger implementado ao conjunto de sensores, que registra o momento em que o reservatório tomba, calculando o volume de precipitação que cai durante um determinado tempo. Cada pulso

gerado pelo sensor representa 1 mm de altura da chuva. O sistema de Bscula necessita de uma calibrao e uma manuteno preventiva periódica para apresentar resultados mais exatos e confiáveis, devido a comuns defeitos que ocorrem durante a sua utilizao e também devido a sua exposio ao tempo. De acordo com o relatório de calibrao de (ALEXANDRE *et al*, 2006), muitos pluviômetros desse tipo padecem de erro. Além da inconstância de medidas feitas fisicamente, também existem erros tendenciosos que devem ser levados em considerao e calibrados antes da sua utilizao. Erros sistmicos que devem ser considerados como base padrão para tomada de decisão.

Os tipos de pluviômetros do modelo de báscula necessitam de verificao e calibrao do equipamento antes de entrar para uso. Existem regras básicas de calibrao de erro para alguns aparelhos, pelo fato de que certa quantidade de água  perdida durante o instante de tempo em que uma das básculas comece a encher. (ALEXANDRE *et al*, 2006) chegaram a conclusão, através de testes em laboratório com diversos modelos de protótipos, que quanto maior for a intensidade de chuva, maior será a perda de gua. Obtendo-se o gráfico representativo da curva de calibrao da coluna, como representado na Figura 3. Logo, com esse fator de perda, o valor apresentado ao data logger apresenta de uma grande defasagem com o valor real do volume de precipitao que passa pelo sistema de capturao. Atualmente, os fabricantes disponibilizam juntamente ao produto, uma curva de calibrao dinâmica para ser realizada periodicamente, a fim de tornar suas medies mais confiáveis.

Figura 3 – Curva de Calibrao: Altura da coluna de água x Intensidade simulada.



Fonte: (ALEXANDRE, UEHARA e REDA, 2006)

2.2.2. *Pluviômetro Ville de Paris*

Outro tipo de pluviômetro muito comum e facilmente encontrado em estações meteorológicas é o Ville de Paris. Este equipamento se constitui em um recipiente de forma cilíndrica e graduada, como mostrado na Figura 4, que permite a conferência das medidas manualmente e mantém a água da chuva em um reservatório para medições posteriores nos horários definidos pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), que estipula horários padrões para registro das medidas: 09:00, 15:00 e 21:00 FERREIRA e FISCH, (2010). Este é o modelo de pluviômetro mais utilizado no Brasil. Ele tem a entrada receptora do funil padronizado de 400 centímetros quadrados e um reservatório com uma válvula de alívio para descarregar a água em uma proveta graduada para medição. Comumente, são fornecidas provetas especiais de 7, 10, 25 e 80 milímetros já graduados para este tamanho da área coletora, a fim de evitar os cálculos. Por ser de simples instalação e baixo custo, esse instrumento é ideal para implementação em locais de fins diversos e também é muito utilizado em instituições de ensino para fins de educação científica e geográfica, por ser simples de utilizar e complementar as aulas práticas de temas como consciência ambiental.

Figura 4 – Pluviômetro Ville de Paris



Fonte: Adaptado de <http://lamiradaweb.com/w/sociales/17-mm-la-lluvia-caida-hasta-el-momento>

File:uploads/2016/09/pluviometro-458x400.jpg, acessado em 02/01/2019.

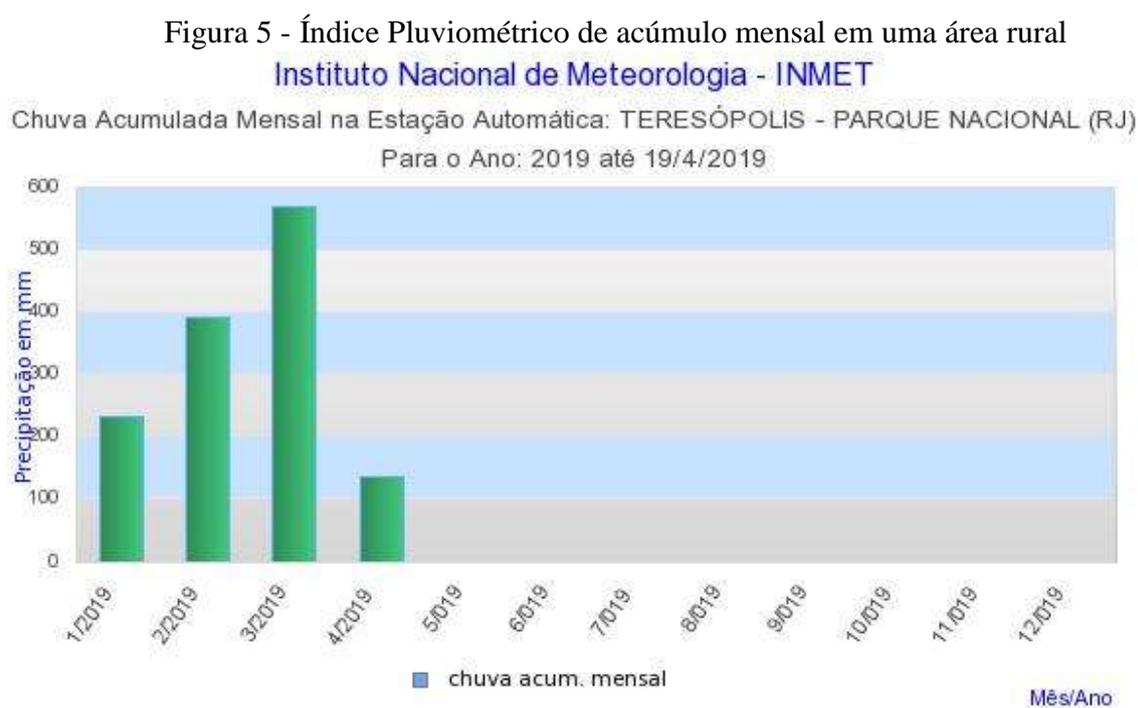
Até recentemente, a quantificação apresentada por esse instrumento dependia inteiramente de leitura manual, demandando uma mão de obra para leitura do pluviômetro. O Ville de Paris também pode apresentar erros de leitura por conta de evaporação da água com o decorrer do tempo, perdas nas paredes do recipiente e erros humanos como, leituras incorretas (erro de paralaxe), porém não se descarta a utilização de um sensor de nível para extração de dados de forma automatizada.

O método normalmente utilizado para se obter as informações pluviométricas nas estações meteorológicas é através de pulsos enviados dos reed switches (pequenas ampolas com contatos magnéticos) do pluviômetro de balança. Essa é uma forma simples e automatizada para se obter os resultados, porém o ajuste de calibração e sensibilidade desses parâmetros é feito de forma rudimentar e totalmente mecânico, além dos diversos erros de parametrização que o sistema está sujeito a sofrer durante sua utilização. Mesmo com o advento da tecnologia, atualmente não se tem muitos exemplares desses instrumentos com sensores de níveis de água que atuem em conjunto com um pluviômetro do modelo Ville de Paris. Um modelo de sensoriamento que atue com uma resistência inversamente proporcional ao nível de água no recipiente, o que gera um nível de tensão para o circuito eletrônico que

recebe o sinal analógico e converte para informações sobre a atual situação pluviométrica na região. Essas informações por sua vez, podem ser tratadas em uma planilha eletrônica para estudos e consultas de medidas periódicas. Essa etapa do trabalho de monitoramento concentra a maior dificuldade desse tipo de estudo por exigir um banco de dados com uma quantidade relativamente alta de informação a ser processada, visto que os registros do índice pluviométrico são feitos em diversos momentos durante o dia (MARCUIZZO; CARDOSO, 2012).

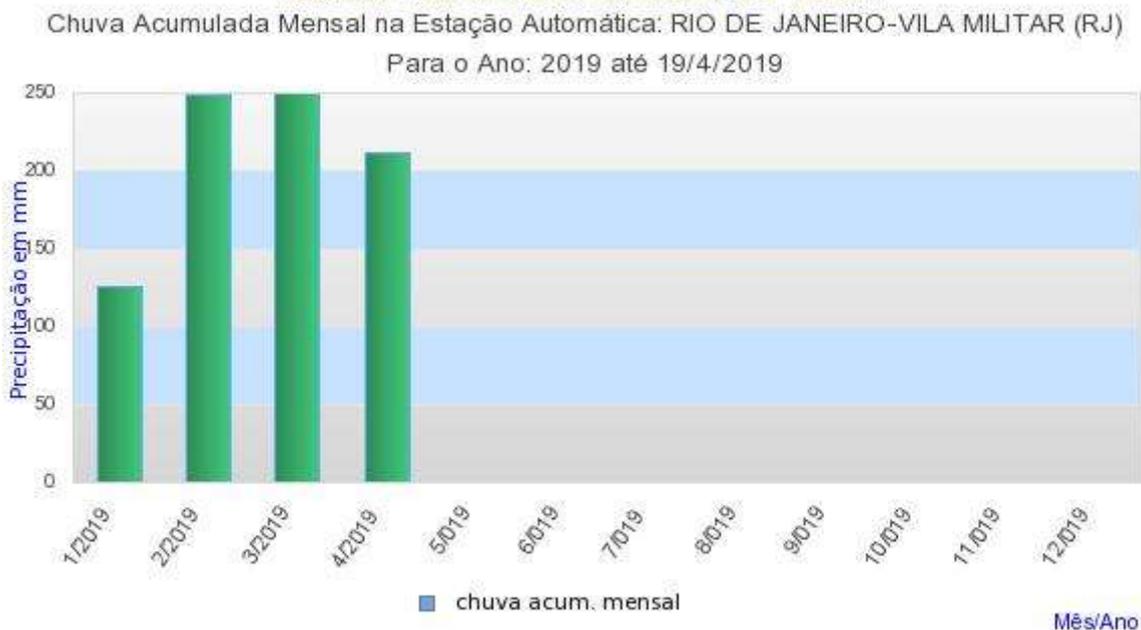
2.3. Níveis de Criticidade do Pluviômetro

Os níveis de criticidade do pluviômetro são relativos à localização geográfica da sua implementação, ao intervalo de tempo de medida, à média histórica pluviométrica para este período do ano neste local e principalmente, relativo ao tipo da área de estudo, tipo do solo e tipo das construções que cercam a estação pluviométrica. Por exemplo: Uma precipitação de 80 mm em 1 hora pode ser considerada muito crítica para uma área de construções urbanas de encosta enquanto a mesma medida pode ser considerada normal para uma área rural de planície. Essas diferenças relativas podem ser facilmente observadas na Figura 5 e na Figura 6, que são amostras de índice pluviométrico na cidade de Teresópolis, na região serrana do Rio de Janeiro e a capital do estado.



Fonte: Adaptado de http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_graf_chuva_aut.php?codEst=A618&mesAno=2019, acessado em 02/05/2019.

Figura 6 - Índice Pluviométrico de acúmulo mensal em uma área urbana
Instituto Nacional de Meteorologia - INMET



Fonte: Adaptado de http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_graf_chuva_aut.php?codEst=A621&mesAno=2019, acessado em 02/05/2019

2.4. Material Utilizado na Implementação do Protótipo

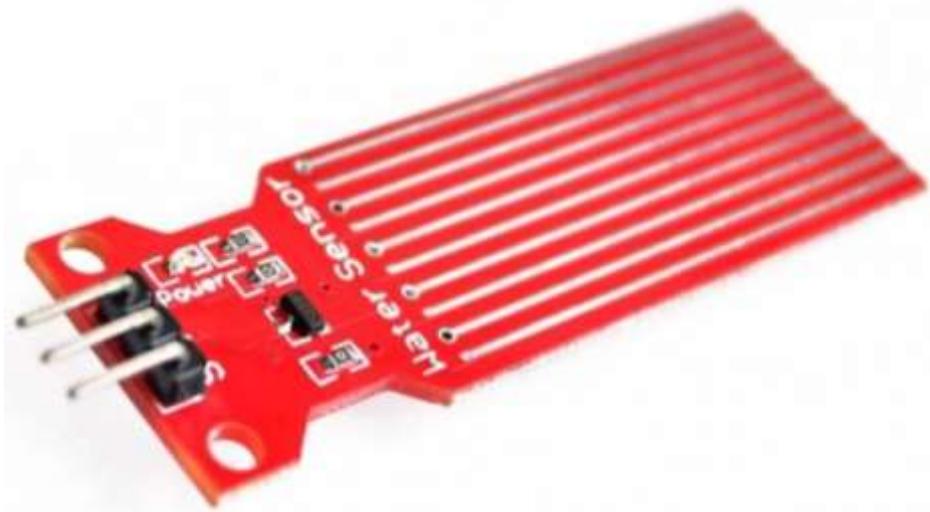
O protótipo do sistema de coleta pluviométrica deste trabalho, é constituído por um pluviômetro modelo Ville de Paris construído de forma artesanal com materiais de baixo custo e até mesmo reutilizados para baixar os custos de projeto da melhor forma possível, utilizando:

- Copo de medidas 500 mL = (9 cm) x 15 cm (reutilizado);
- Funil com diâmetro de entrada de 12,7 cm (reutilizado);
- Válvula solenoide 12 V (R\$45,00);
- Sensor de nível de água FD10 (R\$9,90);
- Suporte de fixação alumínio (reutilizado);
- Circuito eletrônico (custo em torno de R\$57,00).

2.4.1. Sensor de nível de água

Para implementação do protótipo do presente projeto, é utilizado o sensor de nível de água FD10 (Figura 7), que tem sua impedância variável de acordo com o nível da água no recipiente do pluviômetro. Um sensor de baixo custo, que pode ser facilmente encontrado em lojas de eletrônica em geral, e com alta eficiência. A placa do sensor é tratada quimicamente para melhor durabilidade, para aumentar sua condutividade elétrica e sua resistência à corrosão. Conforme descrito na folha técnica do (ANEXO A), este sensor é alimentado por uma tensão contínua na faixa de 3 V a 5 V e com corrente de trabalho superior a 20 mA e com sua faixa de saída de sinal: 0 V ~3,2 V (de acordo com o nível de imersão do sensor na água.).

Figura 7 – Sensor de Nível de Água FD10



Fonte: Adaptado de <https://www.daeletrica.com.br/sensor-de-nivel-e-profundidade-da-agua>

File: sensor-nivel-de-agua-800x800.jpg, acessado em 02/01/2019.

2.4.2. Circuito comparador de janela

O sensor responsável pelo monitoramento do nível pluviométrico está conectado ao circuito eletrônico específico e autoral, composto basicamente por amplificadores operacionais do modelo LM111 que é projetado na configuração de um circuito comparador de janela e por divisores de tensão que definem os quatro níveis de criticidade apresentados, para então enviar o pulso elétrico necessário para ativação do alarme. O sistema de alarme é configurado em 6 etapas distintas, para cada etapa, uma faixa de tensão diferente. Conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Tabulação e comandos do sensor.

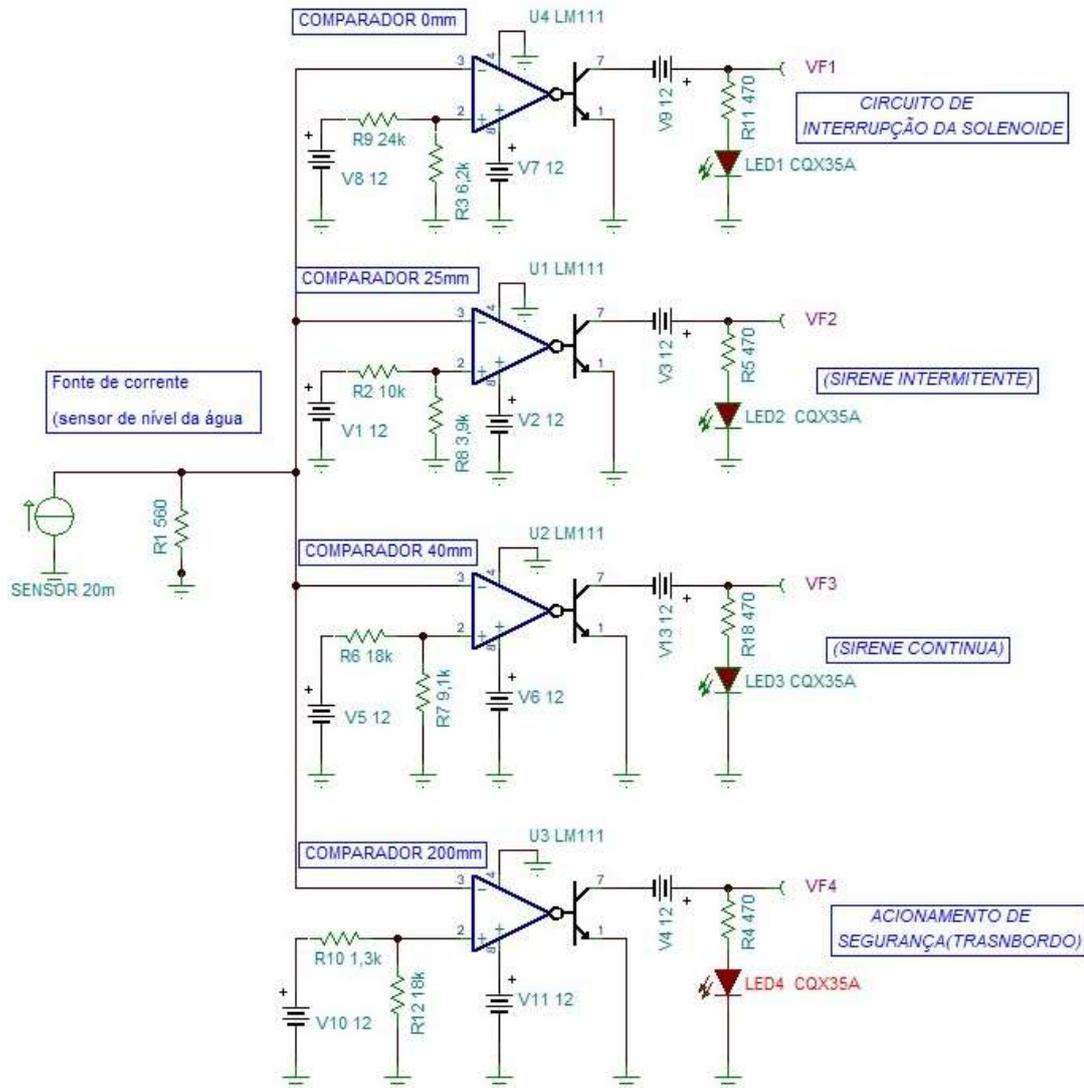
Time	Corrente no sensor (I_s , em mA)	Tensão aplicada nos comparadores (V_s , em V)	Ação do circuito
$0 \leq X < 5$	$0 \leq I_s < 0,5$	$0 \leq V_s < 0,287$	Inibe o temporizador de solenoide.
$5 \leq X < 15$	$0,5 \leq I_s < 2,5$	$0,28 \leq V_s < 0,862$	Aciona o temporizador de solenoide.
$15 \leq X < 20$	$2,5 \leq I_s < 4$	$0,862 \leq V_s < 1,15$	Aciona o sinal da sirene de modo intermitente.
$20 \leq X < 35$	$4 \leq I_s < 20$	$1,15 \leq V_s < 2,02$	Aciona o sinal da sirene de modo contínuo.
35	20	2,02	Gera um sinal de bypass no temporizador de solenoide.

Fonte: Autoria Própria

Através do método de interpolação, é possível estipular os valores de corrente aproximados para os outros valores de nível da água no pluviômetro (5 mm e 35 mm). Para cada um dos 4 comparadores, foi calculado um divisor de tensão com fins de se formar sinais de referência de acordo com os valores de corrente encontrados. Assim, a partir desses dados, foi inserido o valor das tensões aplicadas nos comparadores e suas respectivas reações perante

o circuito, conforme é ilustrado na Figura 8, Cada LED nas saídas VF, indicam qual circuito está sendo acionado no momento de acordo com o sinal que o circuito está recebendo.

Figura 8 – Circuito Comparador de Janela do Sensoriamento.

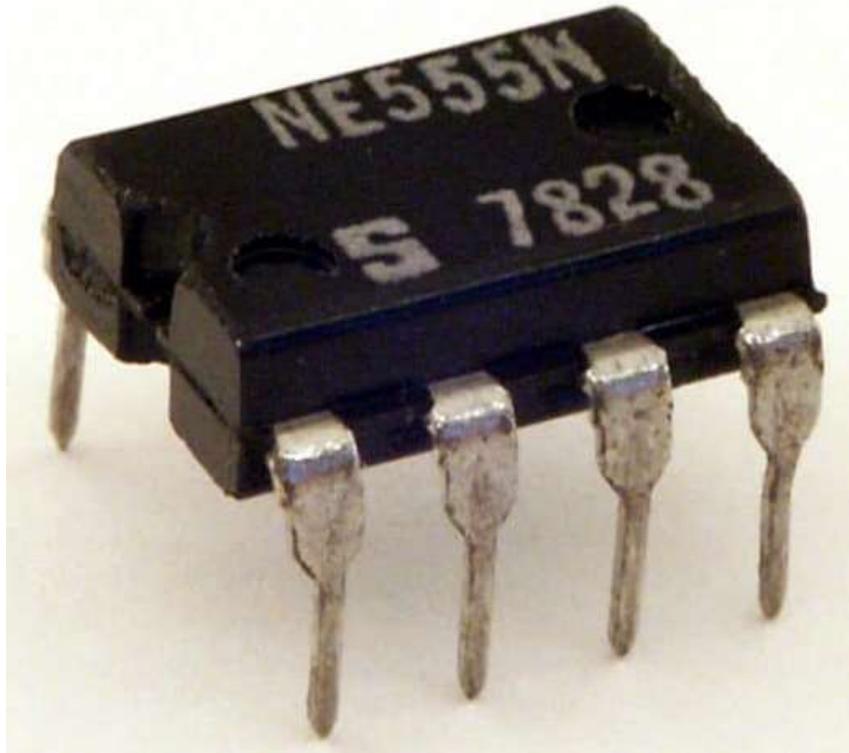


Fonte: Autoria Própria

2.4.3. Sistema de acionamento das sirenes

Quando o nível pluviométrico atinge 5 mm, o sistema emite o alerta para que a população da região de implementação entre em estado de atenção e, através da saída VF2, envia um comando para um circuito oscilador, implementado por um circuito integrado, modelo NE555N (Figura 9) na configuração conhecida como modo astável que aciona a sirene de forma intermitente, como pode ser observado através da Figura 10, que descreve com detalhes, o circuito em questão. O intervalo de acionamento da sirene é de 6 segundos entre um alerta sonoro e outro conforme representado no gráfico da Figura 11.

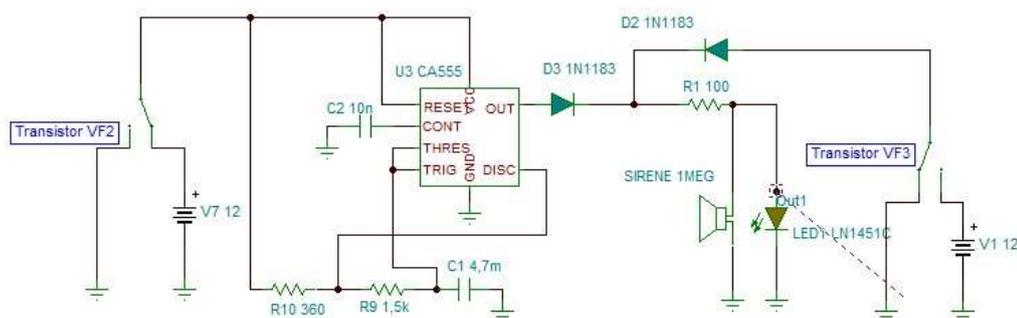
Figura 9 – Circuito Integrado NE555N



Fonte: Adaptado de <https://embarcados.com.br/circuito-integrado-555/555.jpeg>, acessado em 02/01/2019

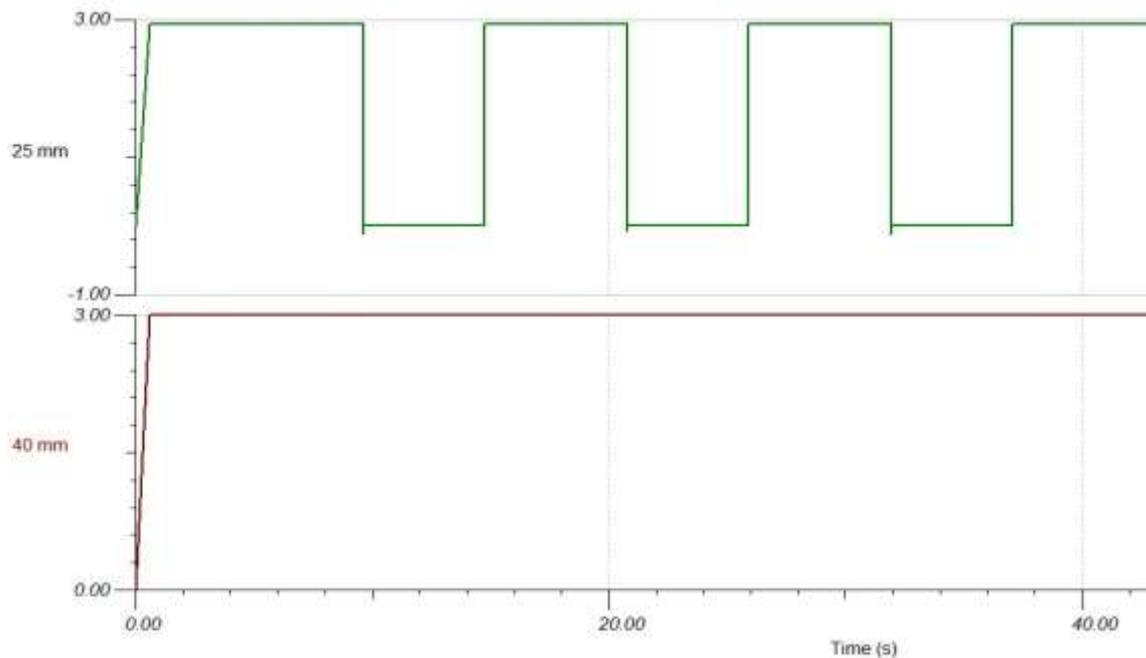
Quando o nível de pluviosidade finalmente atinge 20 mm, o comparador lógico responsável por identificar quando o sinal seja maior ou igual a 1,15 volts, é saturado e emite um comando elétrico para que a saída VF3 (Figura 10) acione um transistor, que impede que o sinal intermitente do oscilador seja enviado de forma alternada. Tornando o sinal de disparo da sirene totalmente contínuo. O gráfico dos sinais pode ser visto na Figura 11.

Figura 10 – Circuito de Acionamento da Sirene



Fonte: Autoria Própria

Figura 11 – Gráfico comparativo entre acionamentos de sirene



Fonte: Autoria Própria

2.4.4. Sistema de controle de nível

Assim como o circuito de acionamento de alerta das sirenes, o sistema de controle de nível no pluviômetro também conta com um circuito integrado NE555N (Figura 9) que aciona uma bobina de solenoide acoplada a uma válvula de escape (Figura 12). O circuito de proteção é indispensável para o projeto, por se tratar de uma ferramenta automatizada, é necessário que o pluviômetro elimine a água excedente no recipiente cilíndrico depois de determinado intervalo, que evite o transbordamento enquanto opera e que não seja necessário que o temporizador fique acionado de forma desnecessária durante o período de estiagem.

Figura 12 – Solenoide 12V

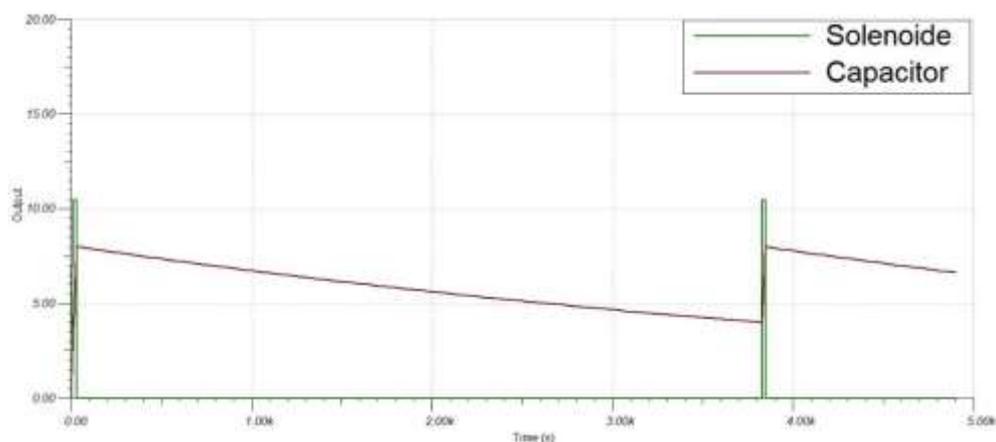


Fonte: Adaptado de <https://vidadesilicio.com.br/>

valvula-solenoide-12v-3-4x3-4/solenoide.jpeg, acessado em 02/01/2019.

O circuito integrado NE555N, neste caso, opera como um temporizador que tem seu acionamento de 10 segundos a cada 3590 segundos, isto é, a cada uma hora, a contagem do sistema é reiniciado para uma nova contagem pluviométrica, como pode ser verificado no gráfico da Figura 13. Essa reinicialização é necessária para contabilizar o volume pluviométrico que cai a cada hora.

Figura 13 – Gráfico de acionamento do solenoide de escape



Fonte: Autoria Própria

O circuito é desativado através da saída VF1, quando o nível pluviométrico está abaixo de 5 mm. O sistema pode ser ativado antes de completar o ciclo programado quando o nível de pluviosidade alcançar 35 mm antes de 1 hora de operação, para evitar o transbordo e possível avaria do equipamento, então a saída VF4 é acionada para escoar toda a água excedente acumulada.

2.5. Dimensionamento do Pluviômetro

Para o melhor dimensionamento do volume adquirido no protótipo, utiliza-se a equação de volume desenvolvida por FONSECA (2015) para encontrar a área da seção transversal da proveta de ensaio correlacionado à altura da lâmina de água no recipiente. Sabendo-se as dimensões de diâmetro da entrada do funil e o diâmetro da proveta de ensaio que são 12,7 cm e 5,50 cm, respectivamente, utiliza-se das seguintes equações para a obtenção do resultado.

Tendo o diâmetro da entrada do funil acoplado no topo da proveta, calcula-se a seção transversal de entrada da água (área do funil) através da equação (2).

$$A_{funil} = \pi r_1^2 \quad (2)$$

$$A_{funil} = \pi(6,35 \times 10^{-2}m)^2$$

$$A_{funil} = 12,667 \times 10^{-3}m^2$$

Para se obter o volume de água no pluviômetro, calcula-se a área da seção transversal da proveta de ensaio, utilizando a equação (3).

$$A_{cilindro} = \pi r_{cilindro}^2 \quad (3)$$

$$A_{cilindro} = \pi (2,75 \times 10^{-2}m)^2$$

$$A_{cilindro} = 2,3758 \times 10^{-3}m^2$$

Após a obtenção da área do pluviômetro, se utiliza a equação (4) para calcular o volume correspondente à altura de 1 cm de água na proveta de ensaio(v_2). Essa altura é essencial para a graduação dos marcadores de níveis.

$$V = A_{cilindro} \times h \quad (4)$$

$$V = 2,3758 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^{-2}$$

$$V = 23,758 \times 10^{-6}m^3$$

O volume de água V caído em $1 m^2$ que corresponde a 1 cm de altura no cilindro da proveta de ensaio conforme mostrado na equação (5), sendo assim:

$$\frac{V}{1 m^2} = \frac{32,758 \times 10^{-6}m^3}{12,667 \times 10^{-3}m^3} \quad (5)$$

$$V = 1,8755 \times 10^{-3}m^3$$

Portanto, a correlação do valor correspondente de pluviosidade P é de acordo com a equação (6).

$$\frac{10^{-3}m^3}{1 mm} = \frac{1,8755 \times 10^{-3}m^3}{P mm} \quad (6)$$

$$P = 1,8755 mm$$

Ou seja, 1 cm de altura de água na proveta de ensaio corresponde a uma pluviosidade de 1,9 mm. Portanto, a escala da proveta, de 1 e 1 mm, deve ser marcada de 0,6 cm em 0,6 cm.

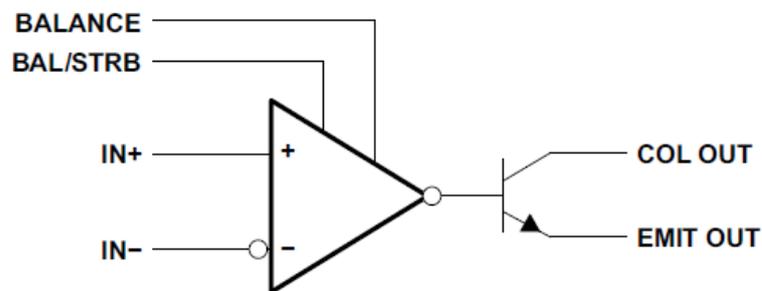
3. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

3.1. Análise de Sistemas Alternativos

3.1.1. Comparadores lógicos

O projeto do pluviômetro conta inicialmente, com a utilização do amplificador comparador LM111, que tem um tempo rápido de resposta (cerca de 165ns), pode ser alimentado por uma faixa de tensão que corresponde entre -15 V e +15 V, com saída transistorizada compatível com a maioria dos circuitos CMOS e TTL, capaz de comandar lâmpadas e relés de até 50 V e 50 mA. O comparador de tensão LM111 tem como encapsulamento, apenas um circuito por componente, e tem a disponibilidade de ajuste da corrente de offset máxima de 70 nA (Figura 14). Porém, esse modelo de comparador de tensão não é facilmente encontrado no mercado brasileiro.

Figura 14 - Circuito Simplificado do comparador LM111



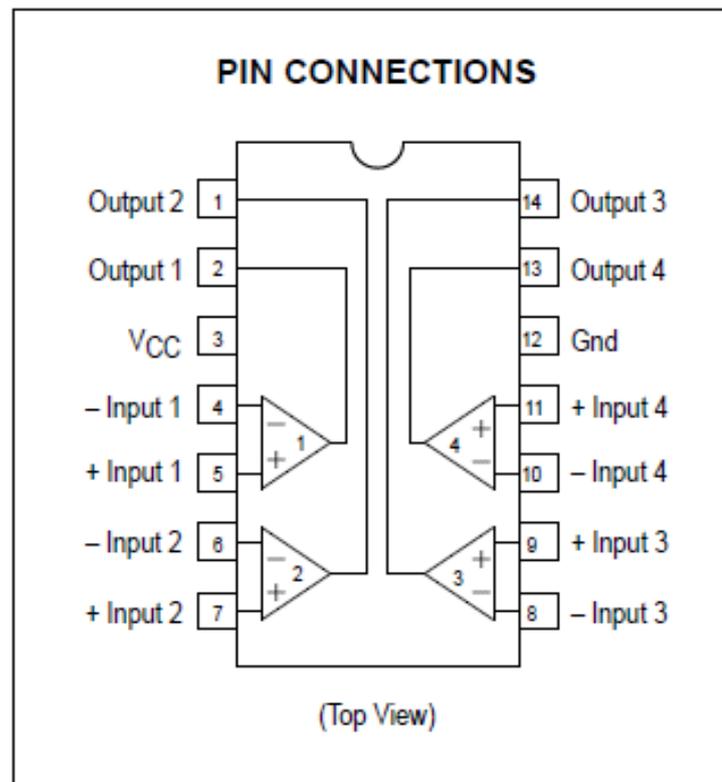
Fonte: Adaptado de <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/17868/PHILIPS/LM111.html>, acessado em 02/01/2019.

Em busca de uma adaptação que atenda às necessidades de um novo comparador de janela, foi feita uma breve comparação entre as características dos amplificadores comparadores de tensão comuns no mercado, LM311, LM358 e LM339. Apesar de não ter os terminais para ajustes de offset, o comparador de tensão LM339 atende bem ao projeto devido ao seu encapsulamento, oferecendo quatro amplificadores em apenas um componente, otimizando o espaço no circuito do pluviômetro. O ajuste de offset pode ser compensado por resistores ajustáveis nos terminais de referência de cada amplificador comparador de tensão.

O comparador de tensão LM339 é um detector de nível baixo, porém eficaz para sensoriamento e memória no setor automotivo e industrial. Assim como o LM111, o

comparador de tensão LM339, tem saída transistorizada, ideal para implementação no circuito do pluviômetro. Por causa de seu encapsulamento conjugado (Figura 15), o LM339 tem uma alimentação comum para os quatro circuitos, baixa tensão e baixa corrente de offset ($\pm 1\text{mV}$ e $\pm 5\text{nA}$ respectivamente) que são muito utilizados para ajustes finos em circuitos de alta precisão.

Figura 15 – Encapsulamento do comparador de tensão LM339



Fonte: Adaptado de <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/17868/PHILIPS/LM339.jpeg>, acessado em 02/01/2019.

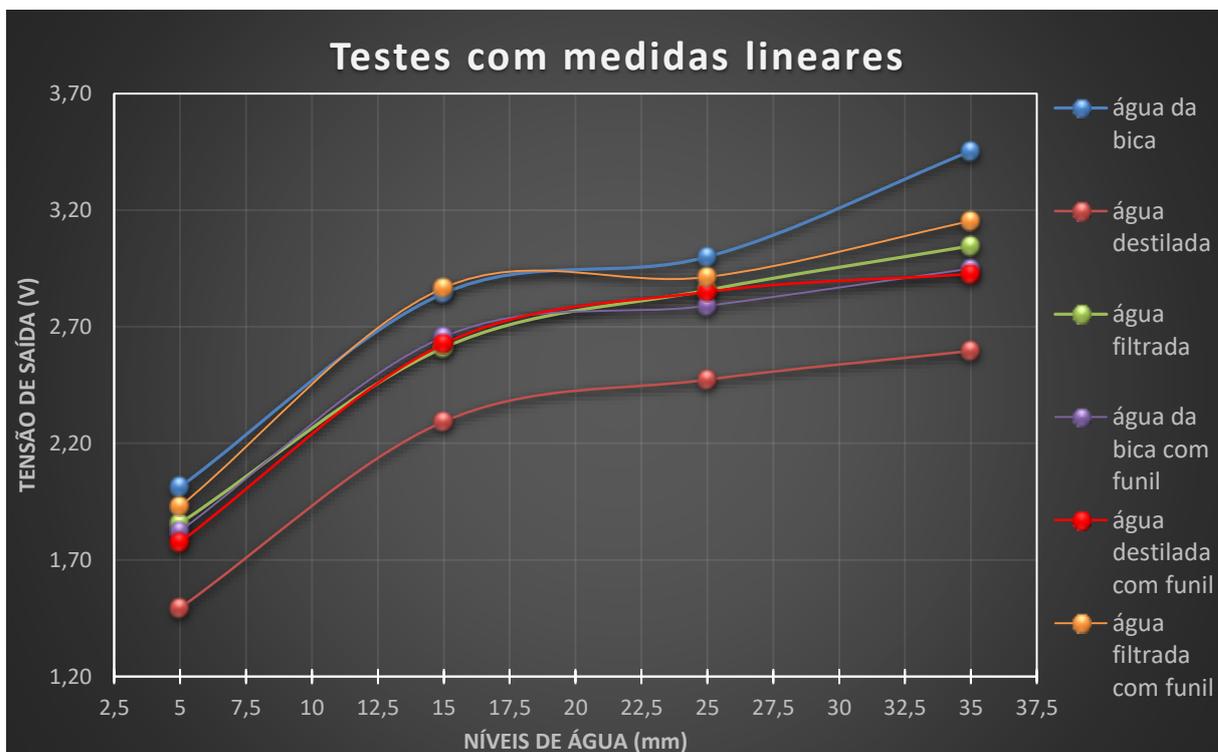
3.1.2. Sensor de nível de água

O sensor previamente selecionado para a construção do protótipo é o sensor de nível de água analógico FD10, que durante uma bateria de testes, apresentou resultados que não estavam previstos anteriormente. A leitura dos níveis de água não é apresentada de forma linear e apresenta uma grande variabilidade de acordo com as impurezas na água da chuva ou da forma como a água é despejada no recipiente, portanto é necessário que seja feita uma compensação no circuito de referência dos comparadores.

Foram realizados testes com o sensor FD10 para calcular e definir, em volts, os pontos relativos aos acionamentos de criticidade e operação do pluviômetro de acordo com os valores

obtidos na Tabela 1 anteriormente com seis variáveis relacionadas ao tipo de água aplicada e relacionada à forma como é inserida no recipiente do pluviômetro. Os testes, com resultados presentes no (APÊNDICE A) tiveram os resultados obtidos no gráfico da Figura 16.

Figura 16 - Resultado dos Testes do Sensor de Nível Com Índices Lineares

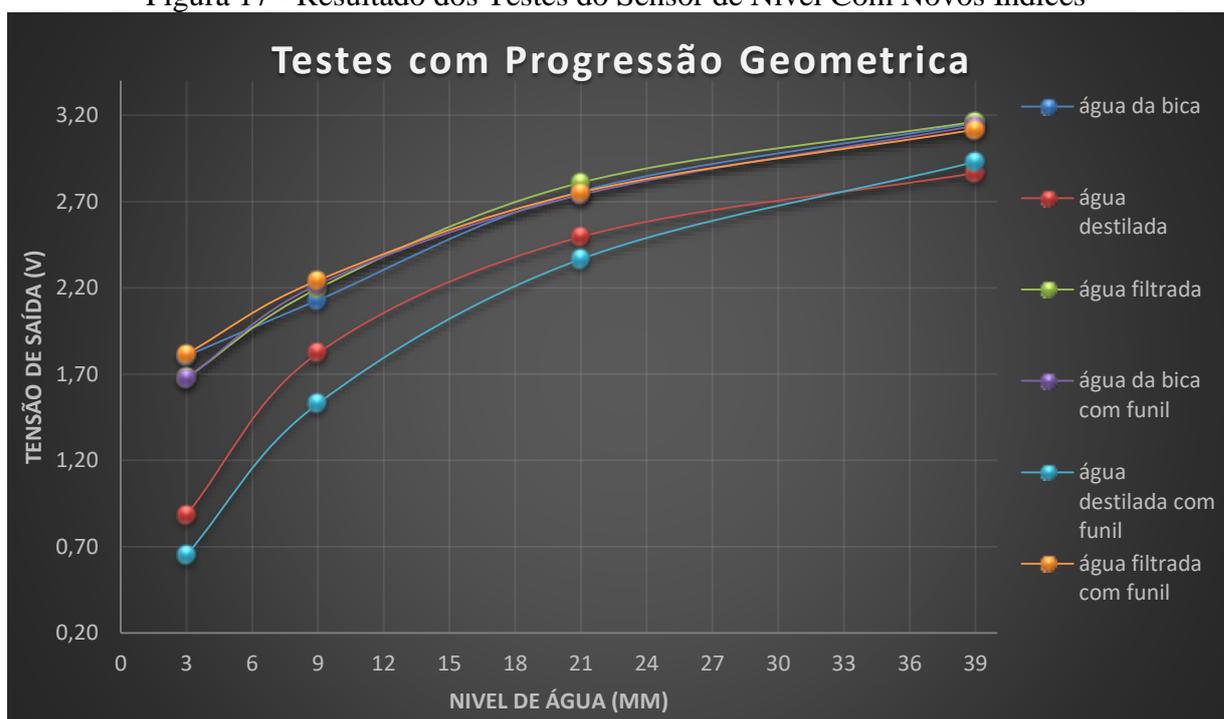


Fonte: Autoria Própria

Com a escala de níveis do sensor definida entre 5 e 35 mm e com intervalos de 10 mm entre cada objetivo, os resultados não foram satisfatórios. Apesar de apresentar valores médios de tensão na saída, a partir das medidas de 25 mm os valores de tensão tendem a não se modificar, causando baixa confiabilidade na precisão do produto.

Foi realizado um novo teste do sensor, com os níveis de água sendo variados através de progressão geométrica, com a razão da progressão igual à 3, em níveis de diferenças. Foram obtidos os seguintes níveis pluviométricos: 3 mm, 9 mm, 21 mm e 39mm. Com esses níveis, com as mesmas condições e variáveis utilizadas anteriormente, foram obtidos (APÊNDICE B), os valores apresentados na Figura 17.

Figura 17 - Resultado dos Testes do Sensor de Nível Com Novos Índices



Fonte: Autoria Própria

Mesmo utilizando níveis pluviométricos adotados através de progressão geométrica ou linearmente, pode ser constatado que o sensor FD10 não é suficientemente adequado para a implementação de um projeto com precisão e sensibilidade de diferentes níveis de água. Conforme demonstrado nos gráficos da Figura 16 e Figura 17, a tensão média de saída apresentada pelo sensor mostra uma resolução menor conforme o nível de água no recipiente se eleva.

É perceptível que a sensibilidade do sensor é alterada em relação ao modo de inserção e tipo do líquido no recipiente. Uma vez que os níveis médios de tensão são mais precisos e mais lineares durante os testes realizados com água destilada despejada através de um funil. Enquanto a água comum (água da bica) despejada diretamente no recipiente, proporciona um comportamento totalmente diferente na tensão média do sensor.

Essa baixa precisão em níveis pluviométricos mais elevados, causados pela presença de impureza ou pela turbulência do despejar da água, pode ocasionar alarmes falsos, ou até mesmo o acionamento indevido da válvula solenoide do dreno com o nível pluviométrico ainda baixo, comprometendo assim, o funcionamento ideal do pluviômetro. Sendo considerada e necessária, a utilização de um sistema de leitura em paralelo para maior precisão de resultados e obtenção de uma margem de segurança.

O sensor eTape Millone (Figura 18) se apresenta como uma excelente opção em termos de sensibilidade e de larga abrangência na escala de medida. Semelhantemente ao sensor FD10, o envelope do sensor eTape é comprimido pela pressão hidrostática do fluido no qual está imerso resultando em uma mudança na resistência que corresponde à distância do topo do sensor para a superfície do fluido.

Figura 18 – Sensor eTape Millone



Fonte: Adaptado de <https://cdn.antratek.nl/media/product/937/eTape-liquid-level-sensor-8-inch-29138-cff.jpg>, acessado em 12/05/2019.

O sensor eTape fornece uma saída resistiva que é inversamente proporcional ao nível do líquido: quanto menor o nível do líquido, maior a resistência de saída; quanto mais alto o nível do líquido, menor a resistência de saída. Com uma régua de 363,2 mm de sensibilidade, uma resolução de 0,794 mm com conectores banhados à ouro, a sensibilidade apresentada pelo eTape é ideal para implementação no projeto, porém o valor do seu custo de aplicação é

muito alto, cerca de 95% do valor de implementação do protótipo. O que torna sua utilização inviável para o projeto em questão. Maiores detalhes sobre o sensor eTape podem ser encontrados no ANEXO B.

3.1.3. Sensor de pressão

Outra opção de sensor para aferição do nível pluviométrico no recipiente, é o sensor de pressão da água. Atuando de forma paralela ao sensor de nível FD10, esse sensor pode ser utilizado com uma configuração determinada para atuar como uma forma alternativa de garantia da precisão dos dados obtidos, realizando a leitura da pressão da água em diferentes níveis.

O sensor de pressão MPS20N0040D-S (ANEXO C), mostrado na Figura 19, é capaz de realizar a leitura de pressões positivas de até 5,8 psi, equivalente à 40 kPa. Ele possui ampla área de aplicação, podendo ser empregado para aferição de pressão dos pneus, bombas de ar, equipamentos de diagnóstico e sensores automotivos, medição de pressão digital na indústria, monitoramento ambiental, e de equipamentos de diagnóstico, além de instrumentação médica e monitoramento.

Figura 19 – Sensor Pneumático MPS20N0040D-S



Fonte: Adaptado de <https://e-radionica.com/en/air-pressure-sensor-mps20n0040d-d.jpeg>,
acessado em 26/05/2019.

Como o sensor pneumático possui uma ponte de Wheatstone com um conjunto de resistências muito baixas, a sua tensão do sinal de saída tem um faixa de atuação de 50~100mV. Para a perfeita utilização em paralelo com o sensor FD10, seria necessário a

implementação de um divisor de tensão na saída do sensor de nível e alteração nos sinais de entrada dos comparadores de tensão para se obter resultados com níveis de tensão próximos.

3.1.4. Dispositivos de controle programáveis

Apesar do objetivo desse estudo ser a utilização de circuitos simples de eletrônica, não se pode descartar a possibilidade de implementação dos dispositivos de controle programáveis. Com uma linguagem simples de programação, acessibilidade aos módulos e sensores de automação e auxílio de softwares para simulação, os dispositivos de controle programáveis estão presentes em quase todas as áreas atualmente. O Arduíno apresentado na Figura 20 e o Raspberry Pi são os grandes campeões de venda do segmento, oferecendo diversos formatos, configurações e sistemas para uma melhor resolução da demanda solicitada.

Figura 20- Arduíno Uno



Fonte: Adaptado de http://robotechshop.com/wp-content/uploads/2015/12/arduino_uno_large-comp.jpg, acessado em 26/05/2019.

3.2. Sirene de Alarme

Para a implementação do sistema de alarme, serão utilizadas sirenes do modelo SB12, (Figura 21). São facilmente encontradas no comércio e alimentadas por uma tensão de 12V contínua. Essa sirene é um alto falante twitter, com capacidade elétrica de 120 watts e potência máxima de 120 dB.

Figura 21 – Sirene SB12



Fonte: Adaptado de <https://sicur.com.br/produto/sb-12-sirene-eletronica-corneta/sb12.jpeg>, acessada em 15/05/2019.

Esse modelo de sirene pode ser facilmente substituído por outros modelos similares no mercado ou até mesmo pode ser implementado um sistema com outra forma de alimentação, visto que a saída de acionamento da sirene no circuito é apenas um contato gerado pelo rele RL2, conforme ilustrado na Figura 23.

No borne de saída para acionamento da sirene, também podem ser implementados sistemas de comunicação remota, sistemas de controle e Leds informativos que podem ser utilizados em paralelo com o alerta pluviométrico.

4. MONTAGEM E TESTE DO PLUVIÔMETRO

4.1. Recipiente de Coleta Pluviométrica

Para montagem de um pluviômetro acessível e econômico, foram utilizados utensílios comuns de uso do dia-a-dia e simples de serem encontrados no mercado em geral. Como mostrado na Figura 22, foram utilizados: Um funil simples, com 9 cm de diâmetro superior, 1cm de diâmetro inferior e 13 cm de altura, e um copo de medidas, com 9 cm de diâmetro superior, 5 cm de diâmetro inferior e 10 cm de altura para a confecção do pluviômetro. Além dos itens citados anteriormente, foi utilizado uma válvula solenoide 12V.

Figura 22 – Material Utilizado no Pluviômetro



Fonte: Autoria Própria

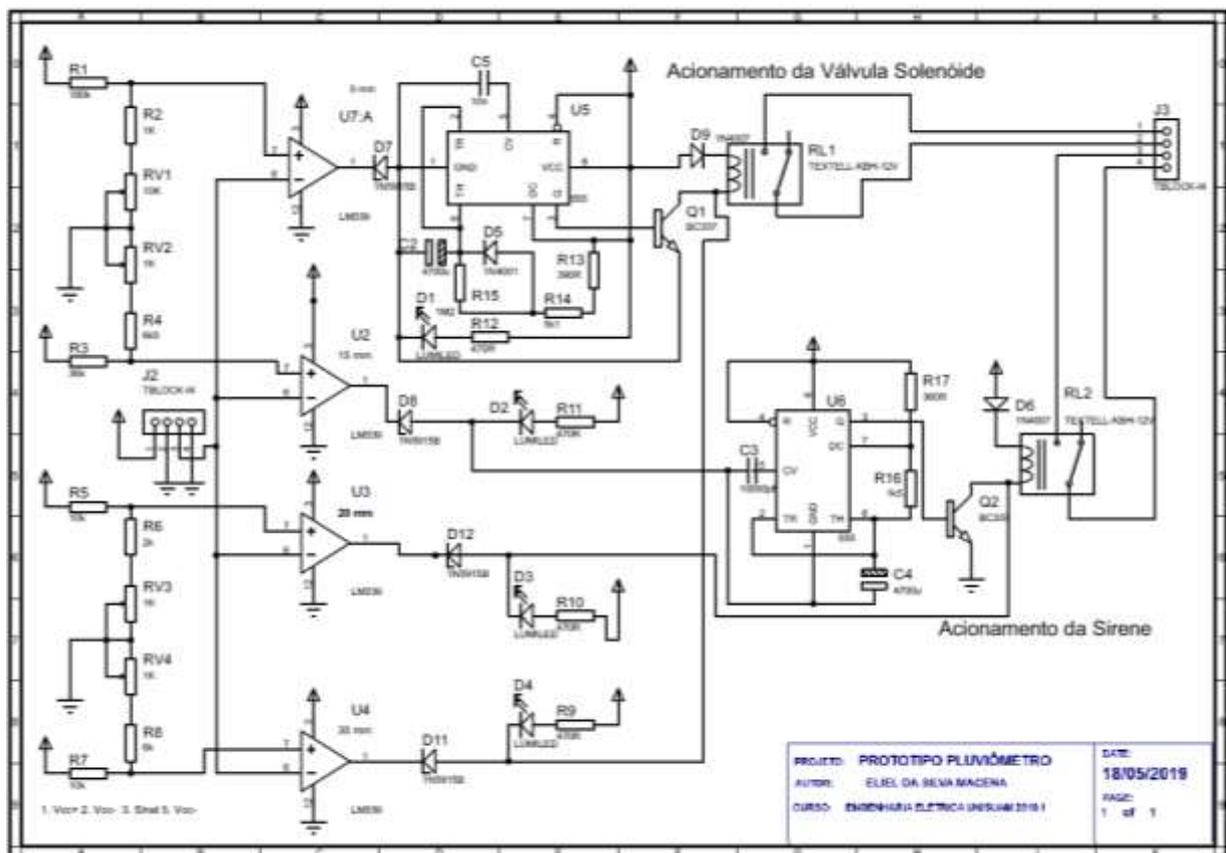
4.2. Circuito Impresso

4.2.1. Projeto do circuito impresso

Para implementação do circuito eletrônico impresso em placa, foi utilizado o sistema de criação e simulação de circuitos eletrônicos Protheus 8. Com auxílio de funções para confecções de trilhas e vasta biblioteca de componentes eletrônicos, foi possível realizar a simulação do circuito com níveis pluviométricos pré-definidos linearmente, definindo cada ação para sua respectiva situação.

Foram utilizados alguns ajustes diante do projeto inicial discutido no capítulo 2 para se adequar ao circuito físico, a fim de evitar ruídos no circuito e possibilitando ajustes finos nos sinais de referência dos comparadores de tensão. Foram acrescentados resistores ajustáveis do modelo Trimpot, em série com os divisores de tensão nos sinais de referência. Com essas adaptações, o circuito passa a ser considerado com a configuração da Figura 23 e visto com mais detalhes no (APÊNDICE C).

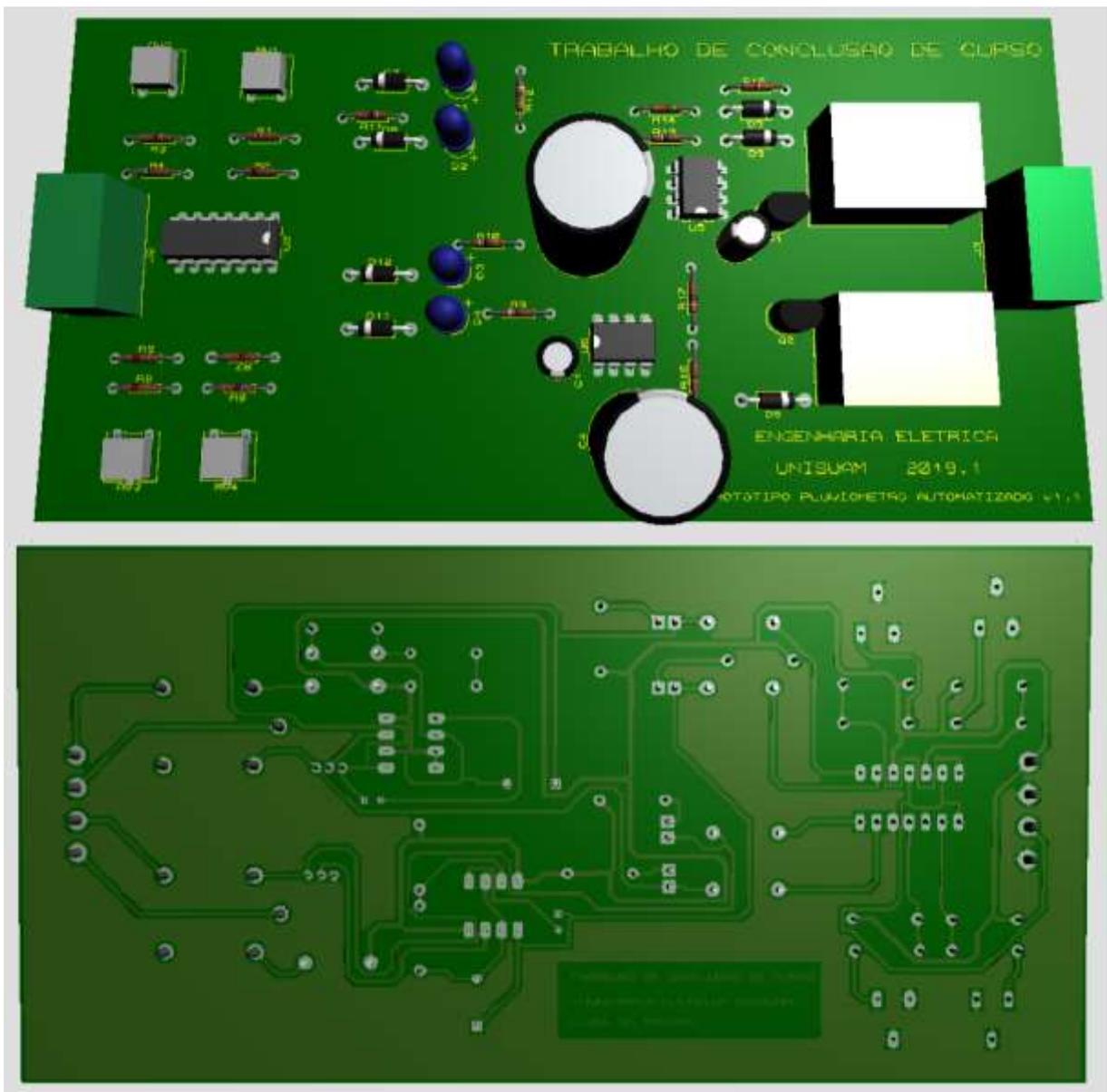
Figura 23 – Plotagem do Circuito



Fonte: Autoria Própria

Também através do Protheus 8, a placa impressa do circuito foi projetada com dimensões de 116 mm x 98 mm para efeito de demonstração, podendo ser confeccionada futuramente, com dimensões menores para produção em larga escala. Os componentes ficam dispostos para possível ajuste dos trimpots do sinal de referência dos comparadores de tensão conforme ilustrado na Figura 24.

Figura 24 – Simulação 3D do Circuito Impresso



Fonte: Autoria Própria

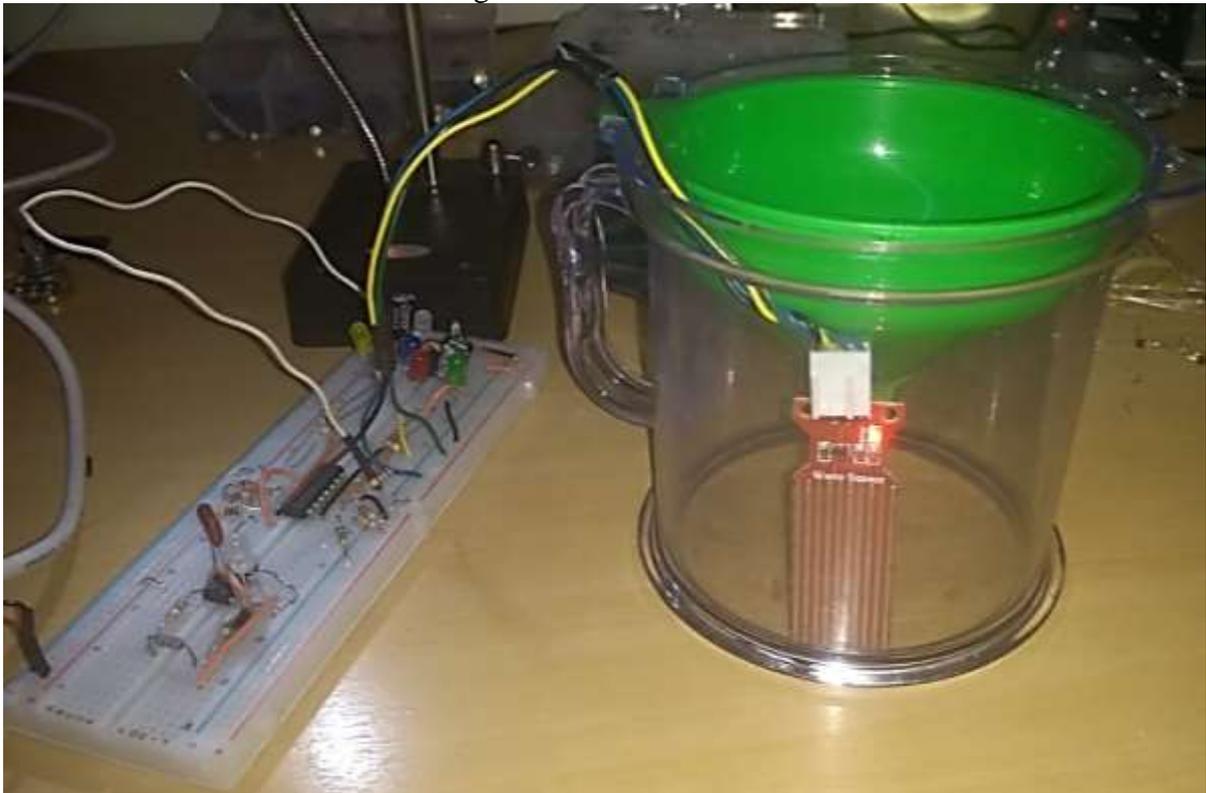
4.2.2. Teste e calibração do circuito

Foi feita a montagem em protoboard para testes do circuito em geral. Foram feitos testes do sensor de nível FD10 em conjunto com os circuitos de temporização do acionamento da válvula solenoide e do oscilador, responsável pelo modo intermitente da sirene, conforme mostrado na Figura 25. Como mencionado nos testes anteriores, o comportamento do sensor não foi satisfatório em relação à fidelidade de suas medições. Foram utilizados testes para ilustrar os devidos acionamentos visualmente.

Foram inseridos LEDs indicativos para uma melhor representação visual do sistema:

- LED amarelo: Nível de 3 mm;
- LED azul: Nível de 9 mm;
- LED vermelho: Nível de 21 mm;
- LED verde: Nível de 39 mm;
- LEDs brancos: Sirene e válvula de escape.

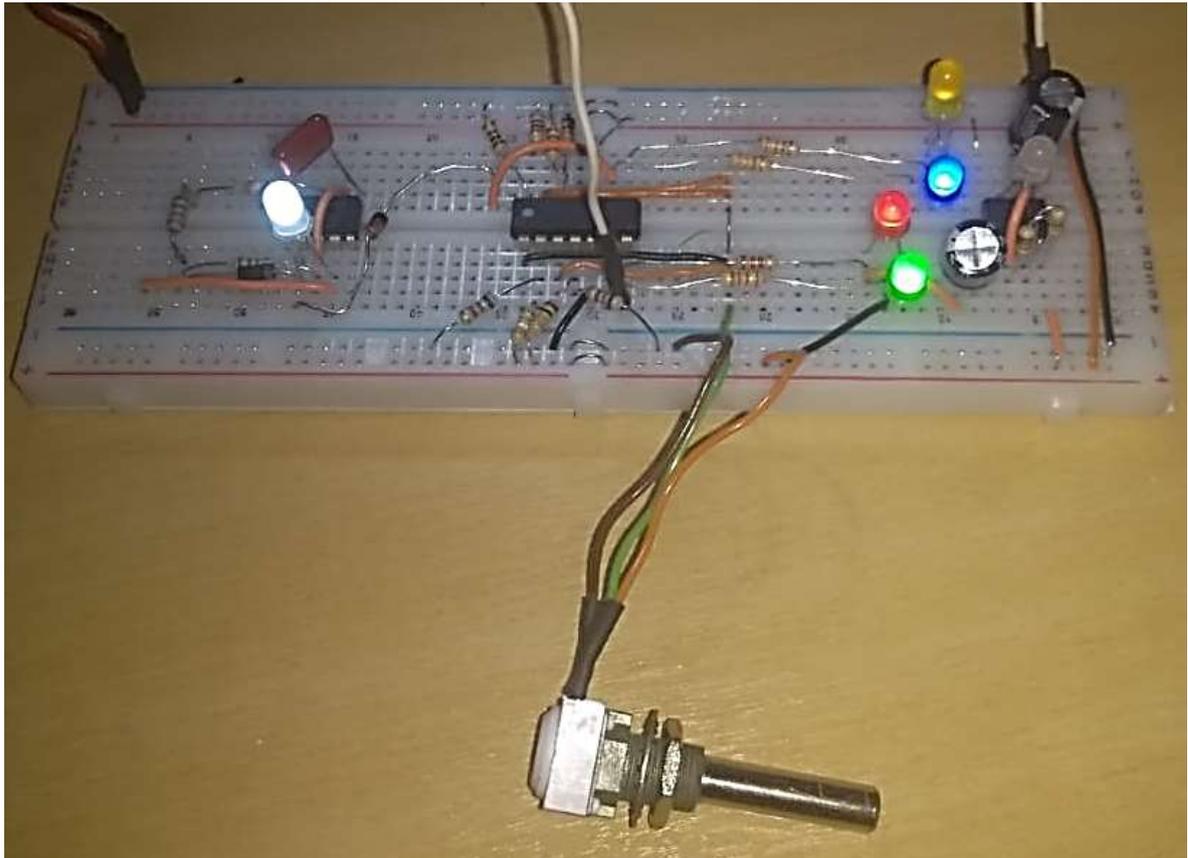
Figura 25 – Pluviômetro



Fonte: Autoria Própria

Apesar da deficiência apresentada pelo sensor de nível, o circuito eletrônico do pluviômetro apresentou excelentes resultados. Conforme mostrado na Figura 26, o sensor foi substituído por um potenciômetro 22 k Ω para efeito de simulação e teste do nível pluviométrico no recipiente. É possível estabelecer níveis de tensão mais precisos com auxílio de resistores variáveis nas entradas de referência dos comparadores de tensão.

Figura 26 – Circuito com potenciômetro 22 k Ω



Fonte: Autoria Própria

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

5.1. Dispositivo

Este trabalho teve como motivação a resolução de um problema referente à obtenção de valores pluviométricos através de dispositivos simples próprios para consulta. Pode se considerar que somente a leitura do sensor de nível FD10 não é suficientemente confiável para o projeto por apresentar pouca discrepância nas medidas com níveis a partir de 20 mm. Esse problema com a leitura do sensor pode acarretar acionamentos desnecessários no sistema. É necessário, também para segurança da informação, que seja utilizado um transdutor de pressão em paralelo ao sensor de nível para obtenção de medidas mais precisas. Também é possível afirmar que o comparador de tensão LM339 atendeu bem às expectativas quanto ao seu funcionamento, sendo necessário realizar a adaptação dos ajustes do sinal referência do circuito. O circuito impresso e o sistema mecânico de evacuação do recipiente se mostraram com formatação viável para utilização em campo, devido ao seu custo e tamanho compacto.

5.2. Trabalhos Futuros

Sugestão de trabalhos futuros, assim como possibilidades de otimização do dispositivo, podem ser:

- Implementação de sensores com maior abrangência e precisão, por exemplo: O sensor de nível de líquidos eTape da Milone Technologies;
- Flexibilização de ajustes dos níveis de criticidade através de chaves seletoras ou potenciômetros;
- Implementação de um sistema de contagem e monitoramento digital à distância;
- A utilização de um módulo Shield SIM908, para utilização em áreas remotas;
- Sistema de alimentação e carregamento de baterias por fontes de energia limpa;
- Calcular o custo do consumo e tendências de mercado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, R. G.; UEHARA, D. M.; REDA, A. L. L. CALIBRAÇÃO DOS ERROS DE MEDIÇÃO DE PLUVIÔMETRO AUTOMÁTICO DE BÁSCULAS PARA CHUVAS INTENSAS NO BRASIL. **Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, Escola de Engenharia**, São Caetano do Sul, 2006.

ANDRADE, L. L.; SOUZA JUNIOR, O.; AVALLONE, E. CONSTRUÇÃO DE UM PLUVIÔMETRO ELETRÔNICO DE BÁSCULA DE BAIXO CUSTO. **Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP**, Matão, 29 Novembro 2016.

ARAUJO ELIAS, A. A.; GONÇALVES, R. N. ARDWEATHER: UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA BASEADA NO ARDUINO E EM WEB SERVICES RESTFUL. **XIV Safety, Health and Environment World Congress**, Cubatão, 23 julho 2014.
ASSIS, F. D. [S.l.]: [s.n.].

BATISTEL, ; CAUVILLA, V. B.; LODI, M. R. DESEMPENHO DE UM PLUVIÔMETRO DIGITAL EM CAMPO. **Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, Florianópolis, novembro 2017. 7.

CARVALHO, F. D. et al. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. **Rev. bras. eng. agríc. ambient**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 7-14, Jan./Mar. 2005. ISSN 1807-1929.

DE ARAUJO ELIAS, A. et al. **XIV Safety, Health and Environment World Congress**, Cubatão, 23 julho 2014. 44-48.

FERREIRA, W. J.; FISCH, G. COMPARATIVO ENTRE DADOS DE PRECIPITAÇÃO OBTIDOS POR PLUVIÔMETROS TIPPING BUCKET RAIN GAUGES E PLUVIÔMETRO VILLE DE PARIS EM TAUBATÉ/SP. **XI Mostra de Pós-Graduação – UNITAU**, Taubaté, 2010. 14.

FILHO, A. ; CORTEZ, T. C. A problemática sócioambiental da ocupação em áreas de risco de deslizamento da "suiça Brasileira". **Revista Brasileira de Geografia Física**, Taubaté, v. 03, p. 33-40, jul. 2010.

FONSECA, S. S. E. D. P. Meteorologia Artesanal. **Clube de Ciências do Centro Ciência Viva de Vila do Conde**, Vila Nova do Conde, 19 junho 2015.

MARCUZZO, F. F. N.; CARDOSO, R. D. **Estudo Temporal e Espacialização Mensal e Anual das Chuvas na Parte Brasileira**. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, p. 10. 2012.

OSCAR JÚNIOR, A. C. D. S. Suscetibilidade ao impacto pluviométrico na região metropolitana do Rio de Janeiro: estudo de caso no município de Duque de Caxias. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, online, v. 22, n. 1, p. 210-226, mês 2018.

RIBEIRO, W. Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. **PARCERIAS ESTRATÉGICAS**, Brasília , p. 298,322, Dezembro 2008. ISSN 27.

SILVA, C. M.; FERREIRA, W. J.; FISCH, G. COMPARATIVO ENTRE DADOS DE PRECIPITAÇÃO OBTIDOS POR PLUVIÔMETROS TIPPING BUCKET RAIN GAUGES E PLUVIÔMETRO VILLE DE PARIS EM TAUBATÉ/SP. **XI Mostra de Pós-Graduação – UNITAU**, Taubaté, 2010. 14.

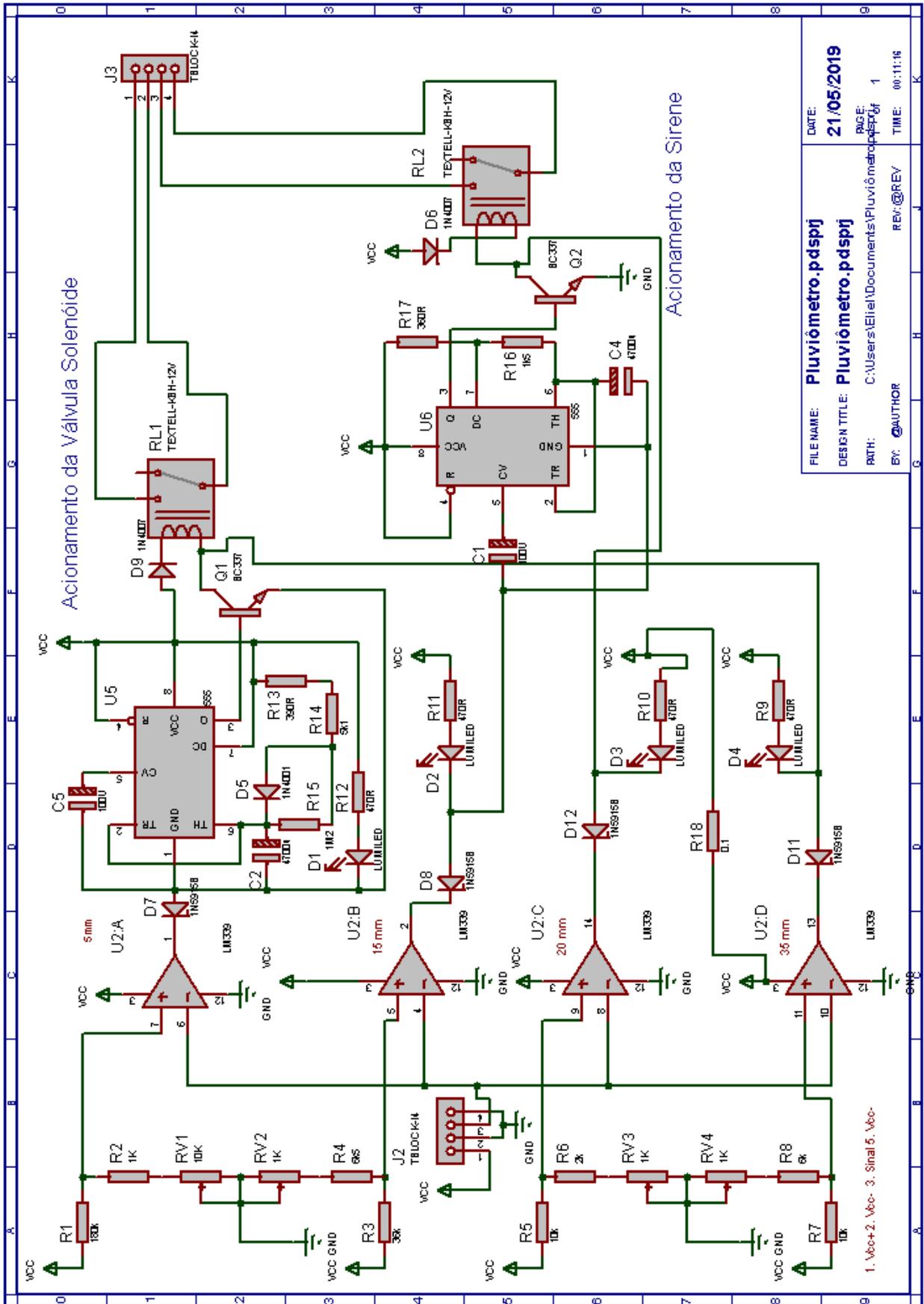
APÊNDICE A – RESULTADOS DE TESTES LINEAR

gua filtrada	água da bica com funil	água destilada com funil	água
1,99	1,85	1,72	
1,83	1,78	1,78	
1,75	1,84	1,83	
1,86	1,82	1,78	
<hr/>			
gua filtrada	água com funil	água com funil	
2,93	2,89	2,90	
2,45	2,53	2,47	
2,45	2,55	2,51	
2,61	2,66	2,63	
<hr/>			
gua filtrada	água com funil	água com funil	
3,14	3,06	3,16	
2,78	2,68	2,77	
2,65	2,63	2,62	
2,86	2,79	2,85	
<hr/>			
gua filtrada	água com funil	água com funil	
3,26	3,14	3,15	
3,00	2,93	2,94	
2,88	2,78	2,69	
3,05	2,95	2,93	

APÊNDICE B – RESULTADOS DE TESTES EM PROGRESSÃO GEOMETRICA

água filtrada	água da bica com funil	água destilada com funil	água
1,69	1,53	0,62	
1,68	1,74	0,66	
1,67	1,76	0,68	
1,68	1,68	0,65	
água filtrada	água com funil	água com funil	
2,35	2,39	1,60	
2,12	2,12	1,49	
2,12	2,15	1,50	
2,20	2,22	1,53	
água filtrada	água com funil	água com funil	
3,15	3,05	2,41	
2,65	2,70	2,38	
2,63	2,47	2,31	
2,81	2,74	2,37	
água filtrada	água com funil	água com funil	
3,33	3,27	2,88	
3,13	3,13	2,95	
3,03	3,02	2,96	
3,16	3,14	2,93	

APÊNDICE C – CIRCUITO ELETRÔNICO



FILE NAME:	Pluviometro.pdsprj	DATE:	21/05/2019
DESIGN TITLE:	Pluviometro.pdsprj	PATH:	C:\Users\Elieel\Documents\Pluviometro.pdsprj
REV:	@AUTHOR	REV:	1
		TIME:	00:11:16

ANEXO A - DATASHEET FD10 WATER SENSOR



产品手册

[Http://keyes-arduino.taobao.com](http://keyes-arduino.taobao.com)

3, the specification parameters

- 1 Product Name: water level sensor
- 2 Item :. K-0135
- 3 Operating voltage :. DC5V
- 4 Working current : less than 20mA
- 5 Sensor Type : Analog
- 6 detection area :. 40mm x16mm
- 7 Production process :. FR4 double-sided HASL
- 8 mounting hole size : 3.0mm
- 9 user-friendly design : half-moon -slip handle depression
- 10 Working temperature :. 10 ℃ -30 ℃
- 11 Operating Humidity : 10% ~ 90 % non -condensing
- 12 Weight :. 3g
- 13 Product Dimensions : 65mm x 20mm x 8mm

4., the test Water Sensor Module

We use the Arduino controller to be tested , need to use hardware devices as follows :

- 1, Arduino controller × 1
- 2, Arduino sensor expansion board × 1
- 3, Water Sensor Module × 1
- 4, 3P sensor cable × 2
- 5, IR & LED Modue (red) × 1
- 6, USB data communication cable × 1

Water Sensor DuPont line will be connected to the Arduino sensor expansion board interface A1. The use of sensors

The red line will be connected to the Arduino piranha light sensor expansion board D8. After completing the hardware connection , the code is compiled After downloading the Arduino inside .

ANEXO B – DATASHEET ETAPE WATER SENSOR

Max

www.milone-tech.com

Innovative Fluid Sensing

MILONE Technologies Inc.

Patent Pending

PN-6573P-12

Continuous Fluid Level Sensor

- 12
- 11
- 10
- 9
- 8
- 7
- 6
- 5
- 4
- 3
- 2

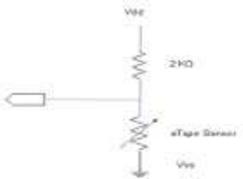
- Description**

The eTape sensor is a solid state, continuous (multi-level) fluid level sensor for measuring water, non-corrosive water based liquids and dry fluids (powders). The eTape is manufactured using printed electronic technologies which employ additive direct processes to produce functional circuits.
- Theory of Operation**

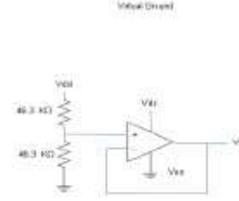
The eTape sensor's envelope is compressed by hydrostatic pressure of the fluid in which it is immersed resulting in a change in resistance which corresponds to the distance from the sensor to the fluid surface. The eTape sensor provides a resistive output that is proportional to the level of the liquid: the lower the liquid level, the higher the output resistance. The higher the liquid level, the lower the output resistance.
- Specifications**

Sensor Length: 14.3" (363.2mm)	Width: 1.0" (25.4mm)
Thickness: 0.015" (0.381mm)	Connector: Gold Plated Solder Tab
Active Sensor Length: 12.6" (320.7mm)	Substrate: Polyethylene Terephthalate
Sensor Output: 550Ω empty, 60Ω full, ± 20%	Actuation Depth: Nominal 1 inch (25.4mm)
Resolution: 1/32 inch (0.794mm)	Temperature Range: 15°F - 140°F (-9°C - 60°C)
Resistance Gradient: 40Ω /inch (1.6Ω /cm), ± 20%	
- Sample Circuits**

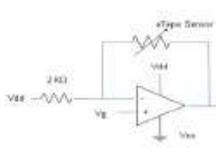
Simple Voltage Divider Circuit



Active Resistance to Voltage converter
Using an inverting Op Amp and Virtual Ground



Inverting Op Amp


- Custom Applications**

The eTape sensor can be manufactured in custom lengths to fit any application. Contact Milone Technologies if you have an application that requires specific length, configuration or output characteristics.

ANEXO C – DATASHEET PRESSURE SENSOR



support@e-radionica.com

<https://e-radionica.com/en/air-pressure-sensor-mps20n0040d-d.html>

Introduction

Pressure range :0-5 .8 psi (40kpa);

Product Features:

Solid, MEMS technology, high reliability

Low cost

Wide monitoring and control media

The application of a wide temperature range

Easy to use, choose from a variety of range. Easy to use, easy to install in OEM equipment

Application areas:

Automotive: tire pressure, car air pump, MAP sensor, diagnostic equipment, automotive sensors.

Industry: Air brake switch, portable pressure gauge, such as digital pressure gauge, environmental monitoring, consumer and sports

Health care: patient monitoring and diagnostic equipment, such as blood pressure monitors, medical instrumentation and monitoring

Range: 40kpa (differential pressure)

Output: mV signal

Electricity supply: 5VDC or constant current 1Ma

Linear accuracy: 0.25% FS

Measure the pressure range of 580 PSIG, 40KPaG

Max pressure capacity of three times the measuring range

Work power supply 5 VDC,

Input impedance of 4 - 6 K Ω

The output impedance of 4 - 6 K Ω

Operating temperature -40 - 85 ° C -40 ° F - +185 ° F

Storage Temperature -40 - 125 ° C -40 ° the F - +257 ° F

Accessible media, clean, dry, non-corrosive gases

Bias voltage \pm 25 mV

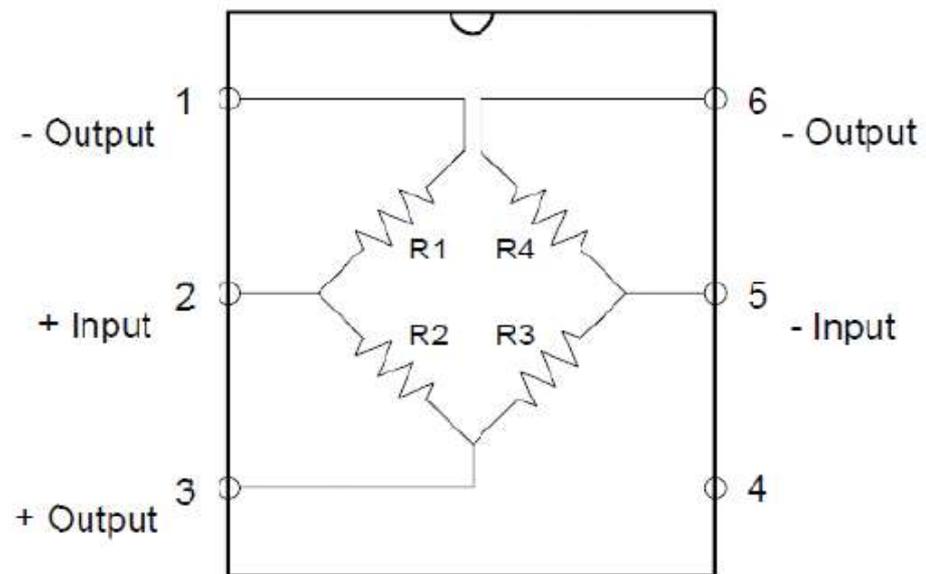
Full-scale output voltage 50 - 100 mV

Bridge Resistance to 4 - 6 K Ω

Linearity \pm 0.3% F.S.

Hysteresis \pm 0.7% F.S.

Circuit



Difference Amplifier

This amplifier uses both inverting and non-inverting inputs with a gain of one to produce an output equal to the difference between the inputs. It is a special case of the differential amplifier. You can also choose the resistances to amplify the difference.

