



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

BRENDA FERNANDES RIBEIRO

**PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM ARDUINO APLICADA AO
DESENVOLVIMENTO DE PLUVIÔMETRO AUTOMÁTICO COM
ARMAZENAMENTO LOCAL E CONEXÃO GSM/GPRS**

MOSSORÓ
2020



BRENDA FERNANDES RIBEIRO

**PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM ARDUINO APLICADA AO
DESENVOLVIMENTO DE PLUVIÔMETRO AUTOMÁTICO COM
ARMAZENAMENTO LOCAL E CONEXÃO GSM/GPRS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior

Co-orientador: Tecnologista S.or M.e George Bezerra
Ribeiro

MOSSORÓ
2020



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO – UFRSA
CENTRO DE ENGENHARIAS – CE

ATA DE DEFESA DE PROJETO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

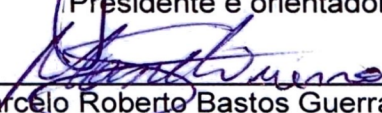
Às 14 horas do dia catorze de janeiro de dois mil e vinte, no Laboratório de Energias Renováveis do prédio de Laboratórios de Engenharias I da UFRSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria da aluna **BRENDA FERNANDES RIBEIRO**, do curso de Engenharia Elétrica desta universidade, matrícula **2018002116**, com o título **“PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM ARDUINO APLICADA AO DESENVOLVIMENTO DE PLUVIÔMETRO AUTOMÁTICO COM ARMAZENAMENTO LOCAL E CONEXÃO GSM/GPRS”**. A Banca Examinadora ficou assim constituída por quatro membros: Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior, presidente da banca e orientador; Prof. Dr. Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale, Prof. Dr. Saulo Tasso Araújo da Silva e Prof. Dr. José Espínola Sobrinho, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo a aluna obtida as seguintes notas: 10,0; 10,0; 10,0; 10,0. Apuradas as notas verificou-se que a aluna foi aprovada com média geral 10,0. E para constar, eu, Idalmir de Souza Queiroz Júnior, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 14 de janeiro de 2020.

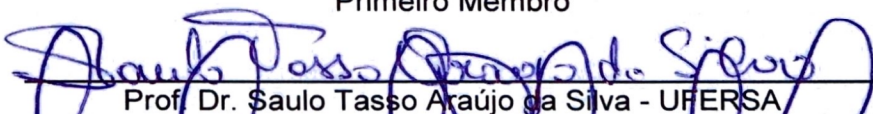
Assinatura dos membros da Banca Examinadora e da discente.



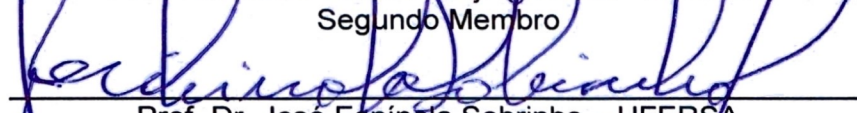
Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior – UFRSA
Presidente e orientador



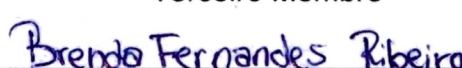
Prof. Dr. Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale – UFRSA
Primeiro Membro



Prof. Dr. Saulo Tasso Araújo da Silva – UFRSA
Segundo Membro



Prof. Dr. José Espínola Sobrinho – UFRSA
Terceiro Membro



Brenda Fernandes Ribeiro
Discente

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

R484p Ribeiro, Brenda Fernandes.
 Plataforma de prototipagem Arduino aplicada ao
 desenvolvimento de pluviômetro automático com
 armazenamento local e conexão GSM/GPRS / Brenda
 Fernandes Ribeiro. - 2020.
 72 f. : il.

 Orientador: Idalmir de Souza Queiroz Jr.
 Coorientador: George Bezerra Ribeiro.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
 Elétrica, 2020.

 1. Pluviômetro automático. 2. Datalogger. 3.
 Arduino. 4. GSM/GPRS. I. Queiroz Jr, Idalmir de
 Souza, orient. II. Ribeiro, George Bezerra, co-
 orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RESUMO

Neste estudo é proposto o desenvolvimento de um pluviômetro automático de balança associado a um equipamento de armazenamento local e transmissão de dados, através de comunicação celular (GSM/GPRS), para uma plataforma on-line (nuvem). O desenvolvimento do equipamento deu-se através da associação de elementos de *hardware* (placa microcontrolada e módulos periféricos) relacionados à plataforma de prototipagem Arduino. Na construção da parte física do pluviômetro e equipamento registrador automático (*datalogger*) foram empregados materiais padronizados e/ou facilmente encontrados no mercado. No pluviômetro foi realizada calibração e dois tipos de testes laboratoriais: no primeiro, manteve-se uma intensidade de aproximadamente 0,25 mm/min para precipitações simuladas de 1, 4 e 8 mm; no segundo foi mantida constante a precipitação simulada (4 mm) e variou-se a intensidade: 0,25, 0,5, 1 e 2 mm/min. O erro ponderado calculado para o pluviômetro foi de -0,6%. Para a parte eletrônica associada (*datalogger*), observou-se uma autonomia de bateria de 64 horas, uma autonomia de armazenamento de, aproximadamente 2,8 mil anos e um consumo de dados celulares de 3,5 MB/mês – considerando que dados sejam enviados à plataforma ThingSpeak (nuvem) por protocolo HTTP GET a cada 10 minutos. O custo final de confecção do equipamento completo foi de R\$ 870,35, correspondendo a cerca de 10% do custo médio de um instrumento profissional com funções similares.

Palavras-chave: Pluviômetro automático. *Datalogger*. Arduino. GSM/GPRS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Coletor de pluviômetro.	13
Figura 2: Pluviômetro de Helmann	14
Figura 3: Pluviômetro Ville de Paris.....	14
Figura 4: Estrutura interna de um pluviógrafo basculante.	15
Figura 5: Relação entre erros de medição dos pluviômetros e intensidades de chuva.	17
Figura 6: Pluviômetros digitais disponíveis no mercado.	18
Figura 7: Diagrama de blocos do sistema (representação das partes de hardware).	21
Figura 8: Módulo de cartão micro SD.	22
Figura 9: Módulo RTC.	23
Figura 10: Módulo Sim800L.....	24
Figura 11: Módulo <i>reed switch</i> (adaptado).	24
Figura 12: Diagrama de blocos das partes do circuito de alimentação.....	25
Figura 13: Principais componentes da estrutura interna do pluviômetro.	26
Figura 14: Sistema de báscula montado.	27
Figura 15: Principais componentes da parte externa do pluviômetro.	28
Figura 16: Equipamento de armazenamento e transmissão de dados (<i>datalogger</i>) desenvolvido.	29
Figura 17: Observação do efeito <i>bouncing</i> no osciloscópio.....	32
Figura 18: Observação da duração de um pulso rápido.	32
Figura 19: Fluxograma da função <i>setup</i>	34
Figura 20: Fluxograma da função <i>loop</i>	35
Figura 21: Fluxograma do filtro digital (<i>debounce</i>).	36
Figura 22: Fluxograma da lógica de execução de comandos por período de tempo.....	37
Figura 23: Fluxograma da lógica utilizada no cálculo de média.	38
Figura 24: Instrumentação utilizada nos testes laboratoriais.	39
Figura 25: PLUVIOMET instalado em campo.	41
Figura 26: Localizações das estações meteorológicas (UFERSA) e do PLUVIOMET.....	42

Figura 27: Visualização (a) na plataforma ThingSpeak e (b) no arquivo csv gravado no microSD.....	43
Figura 28: Erro percentual em função do volume precipitado simulado.	44
Figura 29: Erro percentual em função da intensidade de precipitação simulada.....	45
Figura 30: Percentual de ocorrências de determinadas intensidades de chuva em Mossoró.....	45
Figura 31: Precipitações registradas no teste em campo.	46
Figura 32: Curva de descarga da bateria estacionária testada.	47
Figura 33: Comparação de custos do equipamento desenvolvido com equipamento profissional (custo médio de mercado).	49

SUMÁRIO

1 Introdução	8
2 Climatologia e Meteorologia: Princípios Fundamentais	11
2.1 Precipitação	11
2.2 Pluviometria	12
2.3 Pluviômetro e pluviógrafo.....	12
2.3.1 Pluviômetro de Helmann	13
2.3.2 Ville de Paris.....	14
2.3.3 Pluviógrafo de boia.....	15
2.3.4 Pluviógrafo basculante	15
2.4 Relação homem-clima/tempo e aplicações de dados de precipitação pluviométrica.....	18
2.4.1 Agricultura	19
2.4.2 Gestão Urbana	20
3 Materiais e Métodos	21
3.1 Hardware	21
3.1.1 Arduino	22
3.1.2 Módulos e Sensores.....	22
3.1.3 Circuito de Alimentação.....	24
3.1.4 Pluviômetro.....	26
3.1.5 Equipamento Final.....	29
3.2 Software	30
3.2.1 Módulo de cartão microSD	30
3.2.2 Módulo de <i>Real Time Clock</i> (RTC).....	30
3.2.3 Módulo Sim800L.....	31
3.2.4 Sensor do tipo chave magnética	31
3.2.5 Bibliotecas	32
3.2.6 Plataforma <i>ThingSpeak</i>	33

3.2.7 Lógica e Fluxogramas	33
3.3 Calibração e Testes	39
3.3.1 Calibração	40
3.3.2 Testes Laboratoriais	40
3.3.3 Teste em Campo	41
4 Resultados e Discussões	43
4.1 Funcionamento do Software	43
4.2 Testes com o Pluviômetro.....	44
4.2.1 Testes laboratoriais	44
4.2.2 Teste em Campo	46
4.3 Teste de Autonomia da Bateria.....	47
4.4 Autonomia de Armazenamento (Cartão microSD)	48
4.5 Consumo de Dados Celulares	48
4.6 Custos de Confeção.....	48
5 Considerações Finais.....	50
5.1 Conclusões	50
5.2 Sugestões de Aprimoramento.....	50
Referencias Bibliográficas.....	52
ANEXO I: Valores comerciais de pluviômetros, dataloggers e conjuntos	55
ANEXO II: Lista de materiais utilizados na construção do pluviômetro, datalogger e acessórios.....	56
ANEXO III: Desenhos (vista frontal e lateral) do sistema de báscula	59
ANEXO IV: Desenhos das partes de alumínio que compõem a báscula.....	61
ANEXO V: Desenhos (vistas e cortes) da estrutura externa do pluviômetro	63
ANEXO VI: Comandos AT utilizados na conexão gsm e envio HTTP	69
ANEXO VII: Dados dos testes laboratoriais	70
ANEXO VIII: Fotos do equipamento.....	71

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da humanidade é marcado por uma relação de influência mútua do homem com as condições climáticas e meteorológicas. Tais condições interferem na propagação de doenças, na economia, na disposição física e mental do homem, no vestuário e até na arquitetura.

A relação homem-clima/tempo também é marcada pelo impacto provocado pelos desastres naturais, que, somente no ano de 2015, geraram perdas financeiras em torno de US\$100 bilhões e causaram cerca de 23 mil mortes (MUNICH RE apud HORITA, ALBUQUERQUE, MARCHEZINI, 2018). Neste sentido, os estudos que contribuem para o conhecimento e a previsão de condições meteorológicas e climáticas são de grande relevância prática e científica.

Um parâmetro de forte impacto em diversas esferas da vida humana é a precipitação e os índices pluviométricos, sejam estes excessivos (enchentes, alagamentos, deslizamentos, etc.) ou escassos (seca). Na agricultura, o acompanhamento periódico dos índices pluviométricos pode ser um fator determinante para o cultivo de lavouras importantes, especialmente em regiões com precipitação marcadamente sazonal, como a região de clima semiárido no Brasil (AYOADE, 1996; CUNNINGTAM, BRITO, 2016).

O monitoramento da precipitação também é uma importante ferramenta de gestão urbana. O projeto nacional “Pluviômetros Automáticos”, que é iniciativa do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden¹), tem como objetivo a ampliação da rede de monitoramento pluviométrico do país e a emissão de alertas de desastres naturais como deslizamentos de terra, inundações e enxurradas, a fim de contribuir para a redução de perdas materiais e humanas.

Além das aplicações particulares e públicas já mencionadas, pluviômetros e *dataloggers* associados a outros sensores são ferramentas de pesquisa fundamentais em diversos estudos desenvolvidos no meio acadêmico. O alto custo destes equipamentos, muitas vezes, torna restrita a sua aquisição em grande quantidade e, conseqüentemente, o seu uso.

Neste viés, o presente estudo propõe o desenvolvimento de um pluviômetro automático de báscula associado a um equipamento de armazenamento local e

¹ Informações mencionadas disponíveis em: <http://www.cemaden.gov.br/missao-do-cemaden/>. Acesso em: 25 de Setembro de 2019.

transmissão de dados – através de comunicação celular (GSM) – para uma plataforma on-line (nuvem). A pesquisa tem os objetivos geral e específicos a saber:

Objetivo geral:

Desenvolver um pluviômetro de báscula (*hardware*) e um *datalogger* (*hardware e software*) a partir de materiais facilmente encontrados no mercado, de forma que a possibilidade de reprodução do produto final seja viável.

Objetivos específicos:

- Selecionar os componentes de *hardware* – todos utilizados em prototipagem com a plataforma Arduino;
- Integrar todas as partes de *hardware*;
- Elaborar *software* de aquisição de dados de um pluviômetro de báscula, equipado com armazenamento interno e envio para nuvem através de comunicação GSM e protocolo HTTP GET;
- Construir o pluviômetro de báscula com materiais disponíveis no mercado e, preferencialmente, padronizados;
- Construir o circuito de alimentação da parte eletrônica (*hardware*);
- Organizar a parte eletrônica em placa de circuito impresso;
- Organizar todos os componentes de forma a compor um equipamento final pronto para utilização em campo;
- Levantar os aspectos passíveis de aprimoramento.

Este trabalho monográfico está organizado em itens, subitens e anexos complementares – referidos no decorrer do texto. No capítulo 2 são abordados os principais conceitos de meteorologia e climatologia necessários à compreensão do pluviômetro desenvolvido, bem como uma revisão de literatura que justifica a importância do monitoramento de dados meteorológicos.

O capítulo 3 disserta acerca dos principais materiais e componentes de *hardware* utilizados na construção do equipamento desenvolvido, além de partes fundamentais na elaboração do *software* associado ao instrumento. O capítulo também trata dos métodos de calibração e testes utilizados na avaliação do pluviômetro.

No capítulo 4 são explanadas e discutidas as verificações de funcionamento e autonomia do sistema, bem como os resultados dos testes laboratoriais descritos no capítulo 3.

Por fim, o capítulo 5 apresenta as considerações finais do projeto e os pontos observados, ao longo do desenvolvimento e confecção do equipamento final, como passíveis de aprimoramento. Ressaltam-se os resultados positivos obtidos com a pesquisa, que foi capaz de gerar um instrumento com vasto potencial de aplicação e com finalidade comparável à de equipamentos de alto custo disponíveis no mercado.

2 CLIMATOLOGIA E METEOROLOGIA: PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS

Processos atmosféricos apresentam e sofrem influência direta do ambiente como um todo. O clima e o tempo interferem diretamente sobre as plantas, os animais e o solo. A atmosfera, a biosfera, a hidrosfera e a litosfera não se preparam umas sobre as outras, mas funcionam trocando interferências de forma dinâmica (AYOADE, 1996).

O *tempo* é estudado pela *meteorologia*, ciência que tem como objetivo o entendimento dos fenômenos atmosféricos e sua previsão (DIESEL, 2018). Vianello (2013) define *tempo meteorológico* como sendo o estado instantâneo da atmosfera num dado local em um determinado tempo cronológico.

Enquanto o termo *tempo* refere-se a eventos individuais, *clima* designa observações contínuas das características atmosféricas de uma região por um longo período de tempo – aproximadamente 30 a 35 anos (AYOADE, 1996; VIANELLO, 2013). Neste sentido, o estudo do *clima*, denominado *climatologia*, está intimamente ligado às áreas de estatística e meteorologia.

Alguns princípios de climatologia e meteorologia são de extrema importância para a compreensão do desenvolvimento do presente estudo. Destarte, os subtópicos posteriores destinam-se à exposição de tais conceitos.

2.1 Precipitação

A água condensada na atmosfera alcança a superfície terrestre através de um processo denominado *precipitação* (TORRES, MACHADO, 2008). A precipitação pode ser definida como resultado de um estado avançado de condensação, no qual a força gravitacional supera a força que mantém a umidade suspensa (SOARES, BATISTA, 2004).

A precipitação provoca a queda livre de *hidrometeoros*, que são conjuntos de partículas de constituição hídrica no estado líquido ou sólido (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Os hidrometeoros em queda livre (precipitação) podem ser classificados de acordo com as variações das propriedades físicas (temperatura, estado, aparência, dimensões, etc.) das partículas que os compõem. São exemplos comuns de precipitação: chuva, granizo, neve, dentre outros (WMO, 1975).

Ayoade (1996) destaca que, apesar do termo *precipitação* englobar toda forma de deposição derivada da atmosférica – seja líquida ou sólida –, a contribuição mais significativa para a precipitação total advém da chuva e da neve. Nos trópicos, devido à – quase – inexistência de neve, o termo *precipitação pluvial* é considerado sinônimo de *precipitação*.

2.2 Pluviometria

A quantificação da precipitação intitula-se *pluviometria*. Esta quantificação leva em conta a água em estado líquido. Quando da medição de neve, granizo ou outras formas de precipitação sólida, o processo de fusão da água precede sua aferição (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Um parâmetro de grande relevância referente aos índices pluviométricos de uma determinada região é a *variabilidade*, que corresponde à medida do grau de probabilidade de repetição de um padrão de precipitações a cada ano, estação ou mês. À distribuição de chuvas ao decorrer do ano é dado o nome *regime pluviométrico* (AYOADE, 1996).

2.3 Pluviômetro e pluviógrafo

As medições de precipitação são realizadas através de um equipamento denominado *pluviômetro* e são usualmente expressas em milímetro. A unidade de medida adotada representa a espessura da camada de água precipitada que se formaria sobre uma superfície de 1 m². Neste sentido, cada 1 mm de precipitação pluviométrica equivale a 1 L/m² (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Também é possível medir o total e a intensidade da chuva expressando-a, por exemplo, em mm/h através de um *pluviógrafo* (TORRES, MACHADO, 2008). Atualmente, com a modernização dos equipamentos de coleta de dados meteorológicos e o surgimento de tecnologias digitais e automáticas, a diferença entre *pluviômetro* e *pluviógrafo* é tênue e pode depender somente da programação do registrador automático de dados/*datalogger*² associado ao equipamento (*software*), independentemente de sua forma física.

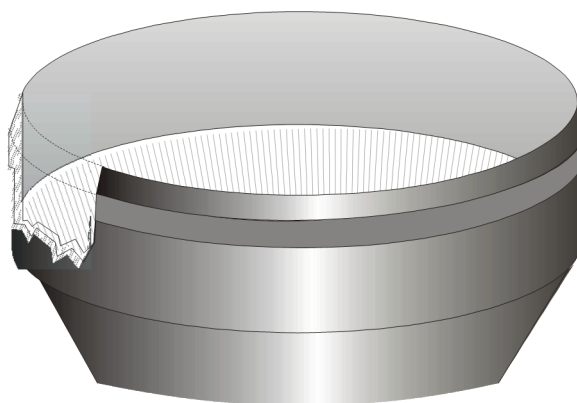
² Equipamento eletrônico programável com entradas analógicas e digitais capaz de receber, processar, armazenar e, a depender do modelo, enviar dados de sensores conectados. Constitui uma parte extremamente importante de uma estação meteorológica. (BADHIYE, CHATUR, WAKODE, 2008).

Algumas literaturas, como Ayoade (1996), adotam outra forma de classificação: *pluviômetro não-registrador* e *pluviômetro registrador* ou *autográfico*. Respectivamente, seus conceitos equivalem aos de *pluviômetro* e *pluviógrafo* descritos por Torres e Machado (2008).

Um pluviômetro é dotado de um coletor – comumente na forma de cilindro afunilado –, responsável pela captação da água, e de um reservatório para o qual o líquido escoar. A área de captação do coletor constitui um parâmetro importante do equipamento e dever ser conhecida – recomenda-se que seja determinada com erro inferior a 0,05% (VAREJÃO-SILVA, 2006). O seu formato e posicionamento em campo deve evitar a coleta de respingos indesejados, evitar a possibilidade de deformações e favorecer a coleta de toda a água que atravessa a superfície do coletor.

Existem diversos pluviômetros e pluviógrafos com mecanismos de funcionamento distintos. A parte externa destes equipamentos, no geral, é composta por um corpo cilíndrico e um coletor afunilado (Figura 1). Em alguns casos, o corpo é paralelepipedal e o coletor apresenta formato piramidal. Os principais tipos de pluviômetros e pluviógrafos, baseado em Varejão-Silva (2006) são referidos nos subtópicos adiante.

Figura 1: Coletor de pluviômetro.

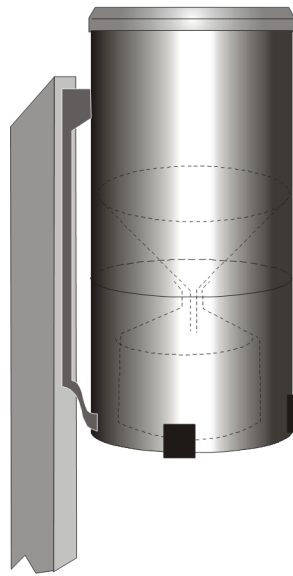


Fonte: Varejão-Silva (2006).

2.3.1 Pluviômetro de Helmann

Este tipo de pluviômetro é composto de um coletor acoplado sobre uma câmara protegida da radiação solar, na qual é armazenada a água pluvial. A Figura 2 exibe um pluviômetro de Helmann.

Figura 2: Pluviômetro de Helmann

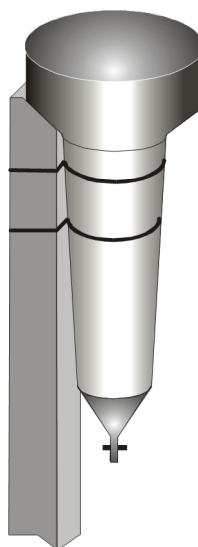


Fonte: Varejão-Silva (2006).

2.3.2 Ville de Paris

Assim como o pluviômetro de Helmann, o Ville de Paris (Figura 3) é classificado como ordinário e normalmente possui capacidade para armazenamento de precipitação acumulada de 24 horas. No pluviômetro Ville de Paris, o reservatório de armazenamento é formado pelo próprio corpo do instrumento. Há, ainda, na extremidade inferior, uma torneira utilizada para coleta da água armazenada no instrumento.

Figura 3: Pluviômetro Ville de Paris



Fonte: Varejão-Silva (2006).

2.3.3 Pluviógrafo de boia

Neste tipo de pluviógrafo a água precipitada é captada pelo coletor e direcionada a uma cisterna cilíndrica na qual uma boia gera, com a elevação da coluna de água, o deslocamento de uma pena registradora no pluviograma. Quando a cisterna se encontra completamente cheia, um sifão é responsável pelo seu esvaziamento, retornando a pena registradora ao nível zero da escala.

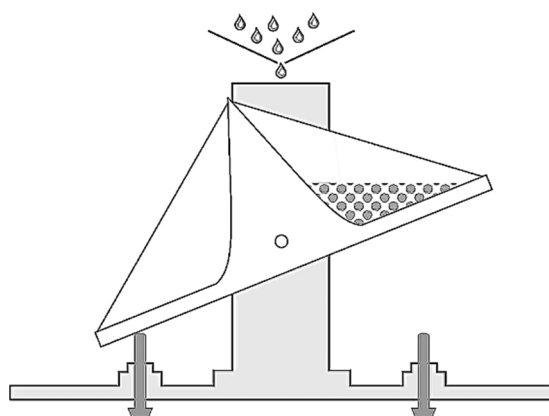
O mecanismo de esvaziamento baseado em sifão gera possíveis erros de medição, visto que a precipitação pluvial que ocorre de maneira simultânea a este processo não é computada.

O pluviógrafo de boia era vastamente utilizado (AYOADE, 1996) antes do surgimento de pluviógrafos com registro digital – automáticos.

2.3.4 Pluviógrafo basculante

O pluviógrafo de balança – também chamado, em inglês, de *tipping bucket* – é dotado de um recipiente com dois compartimentos para os quais a água captada pelo coletor afunilado escoar. O recipiente é simétrico e apresenta um eixo em torno do qual um movimento basculante ocorre à medida que os recipientes são preenchidos e esvaziados alternadamente. Geralmente, os pluviógrafos de balança são dotados de parafusos de calibração que permitem o ajuste do volume de água necessário para que o movimento em torno do eixo aconteça. A Figura 4 ilustra os principais componentes da parte interna de um pluviógrafo basculante.

Figura 4: Estrutura interna de um pluviógrafo basculante.



Fonte: Erbakanov, Staneva, Vardeva (2018)³.

³ Figura integrante no artigo "Using a Long Time Constant Integrator in Rainfall Intensity Measuring via Acoustic Method". Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Tipping-bucket-rain-gauge_fig1_327522926. Acesso em: 15 de Dezembro de 2019.

Como o funcionamento deste equipamento é baseado no registro discreto, ele adaptou-se ao uso com equipamentos digitais sem maiores dificuldades, o que faz com que, nos dias atuais, seja o tipo mais encontrado no mercado.

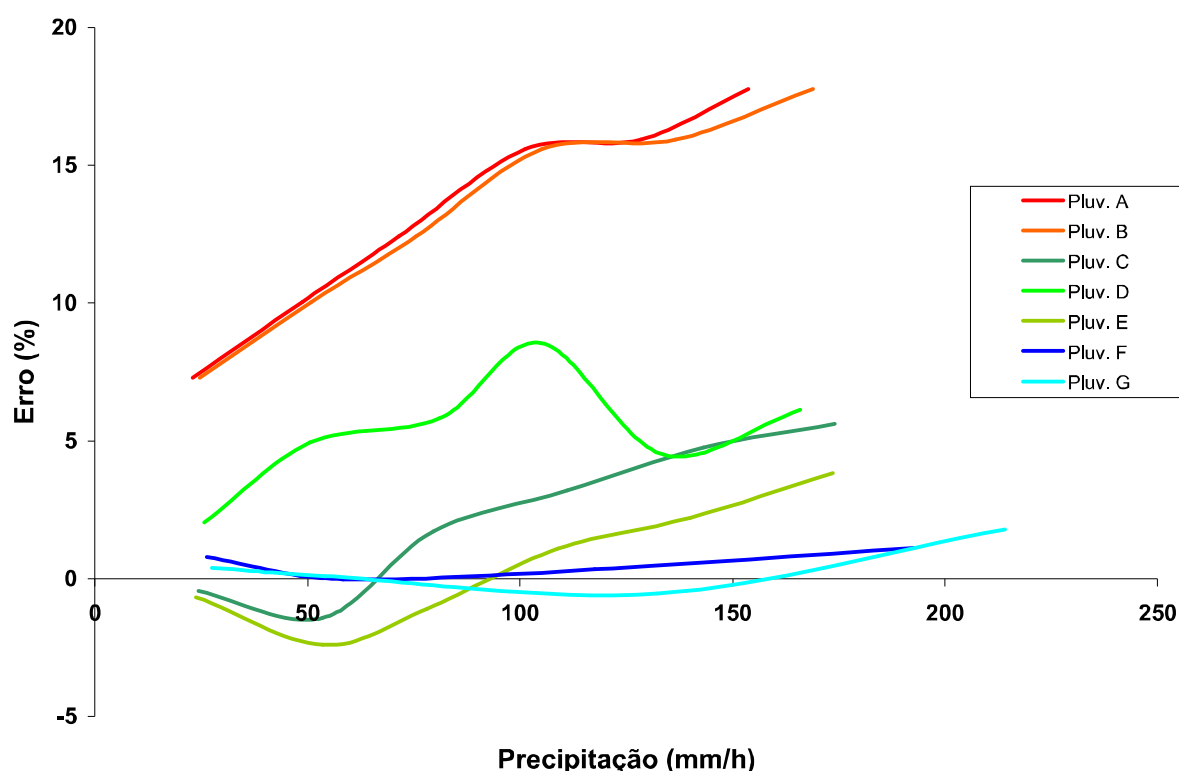
2.3.4.1 Susceptibilidade a erros

Apesar das diversas vantagens no que se refere à automatização destes equipamentos, o mecanismo de funcionamento do pluviógrafo de báscula torna-o susceptível a erros instrumentais, especialmente em situações nas quais a intensidade de precipitação a ser aferida é muito discrepante daquela para a qual o equipamento foi calibrado. Isto ocorre porque, como o recipiente demora um tempo para se mover, a água que cai durante este período acaba atingindo parcialmente o compartimento que está sendo esvaziado. Desta forma, parte do volume de água não é contabilizado e há subestimativa do volume precipitado (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Esta característica intrínseca destes equipamentos levou ao surgimento de aparelhos equipados com chips que, ao avaliarem o tempo decorrido entre duas oscilações na báscula, realizam digitalmente a compensação da subestimativa do volume precipitado. Braga et al. (2008) realizou testes para avaliação da relação erro-intensidade em 7 pluviômetros de alta performance, sendo 2 destes equipados com chips de compensação.

O estudo realizado por Braga et al (2008) confirmou a tendência à subestimativa do volume precipitado em situações de chuva intensa e revelou a relevância da evolução tecnológica de correção do erro em pluviômetros através de circuitos eletrônicos embarcados. O gráfico ilustrado na Figura 5 mostra a relação erro-intensidade obtida no estudo desenvolvido por Braga et al (2008). Os pluviômetros identificados como F e G foram os apontados pelo autor como portadores da tecnologia de compensação mencionada.

Figura 5: Relação entre erros de medição dos pluviômetros e intensidades de chuva.



Fonte: Braga et al. (2008).

2.3.4.2 Mercado

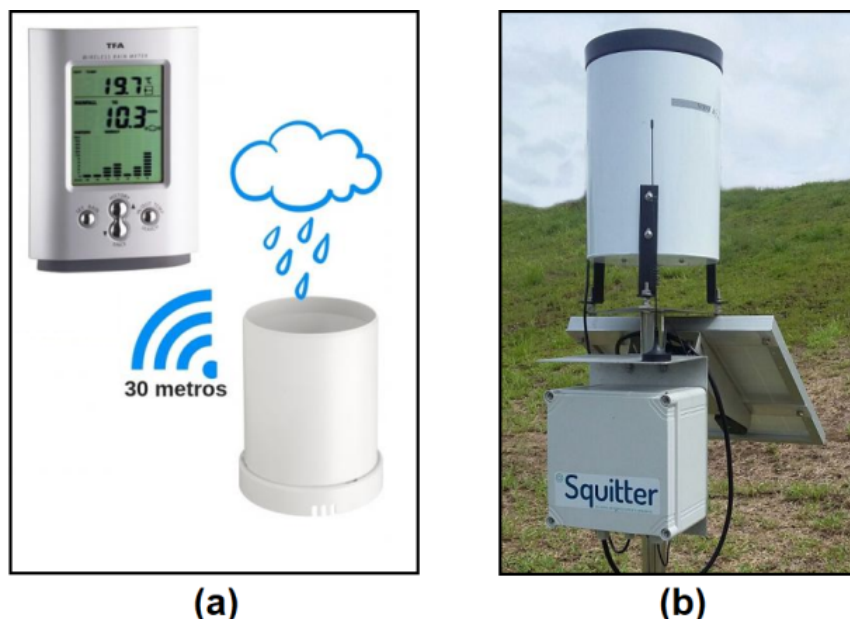
O pluviômetro de balança é um dos mais presentes no mercado, possivelmente devido a sua facilidade, ao longo do tempo, de conversão da operação analógica para a digital – por possuir funcionamento baseado em pulsos –, e também pela praticidade de uso, pois não requer esvaziamento de compartimento(s) nem manutenções constantes. Os modelos disponíveis variam de preço em função do nível de precisão e da capacidade de armazenamento e transmissão dos dados.

Os modelos mais simples possuem baixa precisão e pouca capacidade de armazenamento, o que restringe sua aplicação por impossibilitar a geração de um bom histórico de dados. O custo de equipamentos com tais características gira em torno de R\$500⁴. A Figura 6(a) ilustra um modelo de fabricação alemã da marca Incoterm com transmissão sem fio para um receptor com *display* de exibição dos dados, mas sem a capacidade de transmissão dos dados para outra plataforma.

⁴ O custo do pluviômetro digital de balança da Incoterm em 27 de setembro de 2019 era de R\$484,26 no site da loja Magazine Luiza (<http://bit.ly/2ng2j7f>). O PluvDigi, modelo com características similares da marca Squitter, na mesma data, possui um custo de R\$537,60 no site de vendas da empresa (<https://loja.squitter.com.br/pluviometro-digital-com-display>).

Os dispositivos de precisão, com construção mais robusta e boa capacidade de armazenamento de dados ou suporte para conexão em *datalogger* custam milhares de reais. A marca nacional Squitter possui modelos de precisão que custam de R\$1.700⁵ a R\$5.780⁶ (modelo com transmissão de dados GSM, ilustrado na Figura 6(b)).

Figura 6: Pluviômetros digitais disponíveis no mercado.
(a) Equipamento simples da Incoterm. (b) Modelo de precisão com transmissão GSM da Squitter.



Fonte: (a) Incoterm (2019). (b) Squitter (2019).

Outros valores de pluviômetros e *dataloggers* são listados no Anexo I.

2.4 Relação homem-clima/tempo e aplicações de dados de precipitação pluviométrica

As condições climáticas e meteorológicas apresentam impacto direto e/ou indireto em várias esferas da vida humana: interfere na propagação de doenças – seja por contribuir ou evitar a aglomeração de pessoas, ou por favorecer a proliferação do elemento transmissor –; na economia – principalmente através da agricultura e pecuária –; no vigor físico e mental do homem – consequentemente, na sua produtividade –; no vestuário e na arquitetura (CRITCHFIELD; MATHER; SMITH; HOBBS; GRIFFITHS; OLGAYAY *apud* AYOADE, 1996).

⁵ Modelo S2163 Squitter. Valor consultado em 27 de setembro de 2019 no site da empresa (<https://loja.squitter.com.br/pluviometro-tipo-bascula-02-mm-cabo-de-10-m>).

⁶ Modelo PluvGSM Squitter. Valor consultado em 27 de setembro de 2019 no site da empresa (<https://loja.squitter.com.br/pluvgsmluviometro-com-telemetria-gsm>).

Além do impacto do clima e do tempo sobre a atividade humana, o inverso também acontece. O processo de industrialização e urbanização têm modificado propriedades térmicas, hidrológicas e parâmetros aerodinâmicos da superfície terrestre. Landsberg (*apud* AYOADE, 1996) destaca, como resultado de estudos efetuados na década de 1970, que o meio urbano – em comparação com o rural – apresenta um volume de precipitação média 5 a 10% maior e 10% mais dias de chuva.

As mudanças climáticas associadas ao processo de urbanização resultam em sérios problemas relativos a desastres naturais (BEZERRA *apud* MENEZES, 2012). Estima-se que, somente em 2015, as perdas financeiras provocadas por desastres naturais no mundo somaram quase US\$100 bilhões e causaram em torno de 23 mil mortes (MUNICH RE *apud* HORITA, ALBUQUERQUE, MARCHEZINI, 2018).

No Brasil, os impactos das condições climáticas e meteorológicas sobre o homem costumam estar associados aos índices pluviométricos, sejam estes excessivos ou escassos. Neste sentido, os subtópicos subsequentes tratam da relação entre precipitação e atividades humanas, com enfoque na agricultura e em políticas de monitoramento voltadas para gestão urbana.

2.4.1 Agricultura

A atividade agrícola é fortemente influenciada pela precipitação. Por este motivo, a disponibilidade de dados de qualidade e com boa resolução podem contribuir para o planejamento adequado de agricultores (ANTONIO, 2007). Menezes (2012, p. 16) destaca a importância da previsão de eventos relacionados ao clima e ao tempo: “Na agricultura, a previsão do tempo pode auxiliar no planejamento do plantio, na colheita da lavoura e previne o agricultor contra geadas, granizo e seca”.

Estimar a duração da estação de crescimento das culturas e a probabilidade de recebimento de precipitação através do acompanhamento periódico dos índices pluviométricos pode ser um fator determinante para o cultivo de lavouras importantes, especialmente em regiões com precipitação marcadamente sazonal, como a região de clima semiárido no Brasil (AYOADE, 1996; CUNNINGTAM, BRITO, 2016).

No Sul do Brasil, a precipitação sólida (granizo) é considerada um sério problema para agricultores. No cultivo de macieiras, o granizo é responsável por

danificar frutos, folhas e ramos, ocasionando perdas nas safras presentes e futuras. Por este motivo, foram desenvolvidas diversas técnicas: uso de telas antigranizo, pulverização e ionização de nuvens – a fim de tornar a precipitação líquida – e até seguros agrícolas – como o Seguro Granizo⁷ da Sicredi – (BOSCO, 2011).

2.4.2 Gestão Urbana

O monitoramento da precipitação também é uma importante ferramenta de gestão urbana. Atualmente, existe, no Brasil, um projeto intitulado “Pluviômetros Automáticos” que é iniciativa do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) e tem como objetivo contribuir para a redução de prejuízos materiais e perdas humanas através da ampliação da rede de monitoramento pluviométrico do país e da emissão de alertas de desastres naturais como deslizamentos de terra, inundações e enxurradas.

O Cemaden é responsável pelo acompanhamento de ameaças naturais e áreas de risco suscetíveis à ocorrência de desastres. O Centro também desenvolve pesquisa e desenvolvimento com a finalidade de aprimoramento das ferramentas que possam auxiliar na previsão de secas e outros desastres naturais, fornecendo amparo para tomadas de decisões de cunho governamental ou particular.

Apesar dos esforços do Cemaden e de outros órgãos apoiadores do projeto “Pluviômetros Automáticos”, o Brasil possui área extensa e uma grande diversidade climática. Por este motivo, o tempo e a distribuição dos índices pluviométricos é bastante irregular – temporal e espacialmente – em algumas partes do país, como no semiárido do Nordeste (SOUZA, NOGUEIRA, NOGUEIRA, 2017). Para Reichardt (1987), um critério prático para determinação da quantidade de pluviômetros necessários para obtenção de uma boa resolução é um pluviômetro para cada 1 a 5 km².

Neste sentido, o desenvolvimento de pesquisas de aprimoramento e redução de custos de fabricação de pluviômetros e *dataloggers* com qualidade comercial, boa confiabilidade e durabilidade revela-se extremamente relevante, seja no meio acadêmico – para desenvolvimento de pesquisa – quanto no setor público – para monitoramento de áreas de risco e auxílio em tomadas de decisões – ou privado – para fins de automação industrial, aplicações agrícolas, dentre outros.

⁷ Seguro destinado à proteção de agricultores de culturas diversas contra perdas financeiras provocadas por chuvas de granizo. Disponível em: <https://www.sicredi.com.br/html/para-seu-agronegocio/seguros/seguro-granizo/>. Acesso em: 25 de Setembro de 2019.

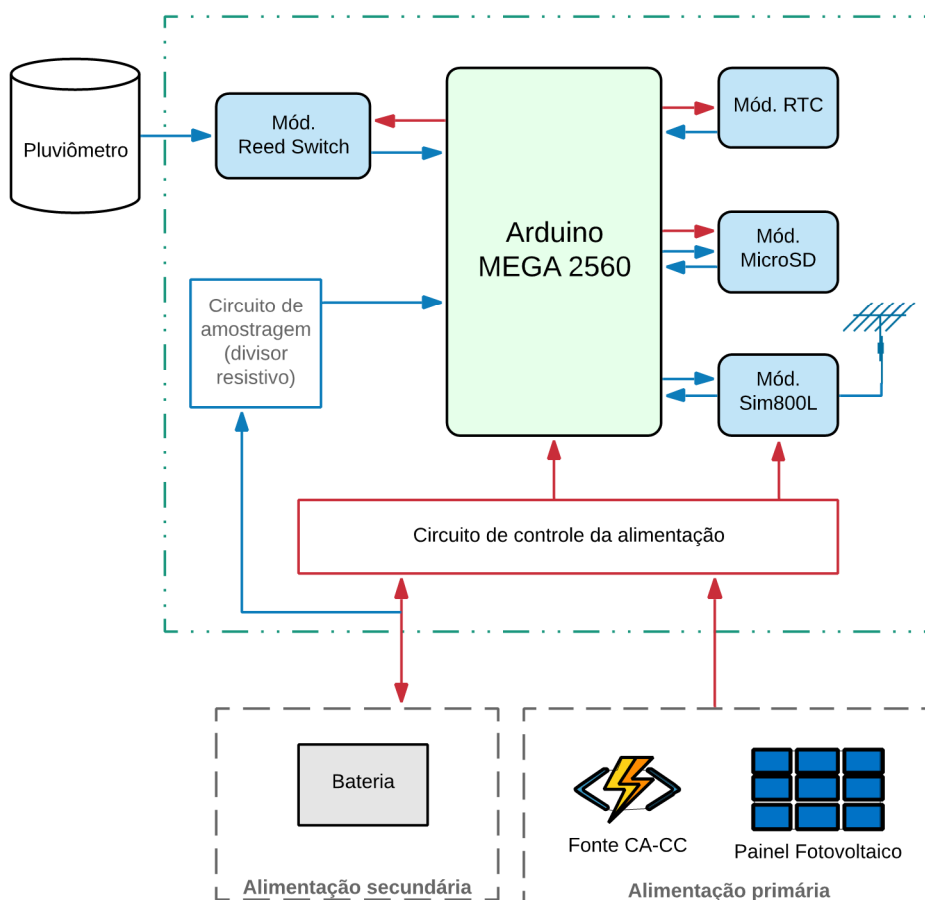
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta sessão trata dos materiais, ferramentas e métodos utilizados na elaboração do *software* e construção do *hardware* do pluviômetro automático e do *datalogger* desenvolvidos nesta pesquisa.

3.1 Hardware

O equipamento desenvolvido possui como principais partes eletrônicas: uma placa microcontrolada (Arduino), fontes de alimentação primária e secundária, circuito de controle da alimentação, módulos e sensores. Outro elemento importante que também é parte constituinte do *hardware* é o pluviômetro de báscula. A Figura 7 representa o diagrama de blocos dos principais componentes do sistema. Nela, as setas vermelhas representam força (potência) e as azuis representam sinais portadores de informação.

Figura 7: Diagrama de blocos do sistema (representação das partes de hardware).



Fonte: Autora.

3.1.1 Arduino

Arduino⁸ é uma plataforma de código aberto amplamente utilizada para prototipagem eletrônica. Uma placa de Arduino permite a aquisição e processamento de dados digitais, modulados – através de modulação por largura de pulso ou *Pulse Width Modulation* (PWM) – ou analógicos, através de microcontrolador programado através de um *software* de desenvolvimento (Arduino IDE) e de uma linguagem própria baseada na estrutura de programação *Wiring*.

Pensando na possibilidade de evolução do projeto em trabalhos futuros, através da integração de mais sensores para a composição de uma estação meteorológica completa, o modelo de placa escolhido dentre os disponíveis no mercado foi o Arduino MEGA 2560, que possui maior memória, comportando, assim, um código mais extenso, além de mais pinos de entrada/saída (analógica, digital e PWM) do que o modelo bastante popular, Arduino UNO.

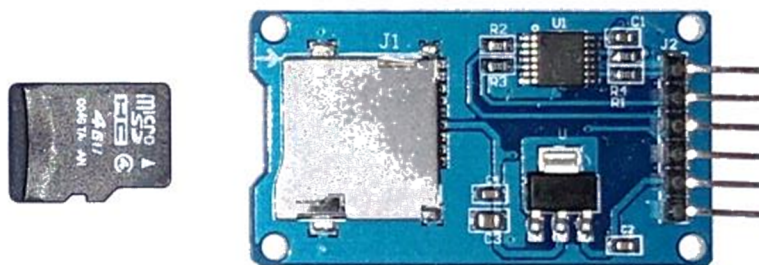
3.1.2 Módulos e Sensores

O protótipo proposto foi projetado para realizar a leitura, processamento, armazenamento local e envio de dados de precipitação pluviométrica para uma plataforma remota. Neste sentido, foi necessário incrementar a placa do microcontrolador com alguns módulos e sensores.

3.1.2.1 Módulo de cartão microSD

O módulo de cartão microSD (Figura 8) realiza a interface deste tipo de dispositivo de memória com a placa microcontrolada (Arduino). Para a leitura e escrita de dados, foi incluída no código a biblioteca SD.h⁹.

Figura 8: Módulo de cartão micro SD.



Fonte: Autora.

⁸ Informações sobre a plataforma e as placas de prototipagem obtidas em <https://www.arduino.cc>. Acesso em: 21 de Outubro de 2019.

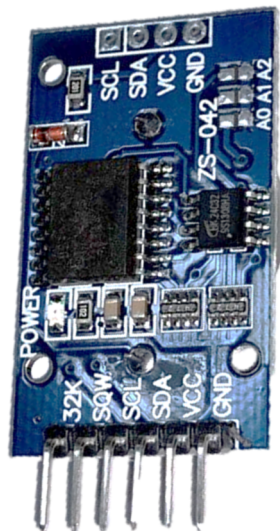
⁹ Por Arduino, SparkFun. Baseada na biblioteca “sdfatlib” de William Greiman. Versão utilizada: 1.2.4.

3.1.2.2 Módulo de *Real Time Clock* (RTC)

Devido à limitação do Arduino no que diz respeito à capacidade de situar-se no tempo, um CI (Circuito Integrado) contador faz-se necessário como periférico. Para a contagem do tempo real foi escolhido um módulo RTC (Figura 9) com alimentação por bateria de lítio – utilizada somente diante da indisponibilidade da alimentação principal Vin – e contagem de alta precisão efetuada por CI da família DS323X – mais especificamente o DS3231.

A escolha desta família de contador foi dada em detrimento do DS1337, que apresentou precisão insatisfatória após alguns dias de testes durante a fase de desenvolvimento do protótipo.

Figura 9: Módulo RTC.



Fonte: Autora.

3.1.2.3 Módulo Sim800L (para Arduino)

O Sim800L é um módulo GSM/GPRS *quad-band* que opera nas frequências 850 MHz (GSM), 900 MHz (EGSM), 1800 MHz (DCS) e 1900 MHz (PCS). Segundo o fabricante (SIMCom, 2013), este módulo apresenta 88 pinos que permitem ao usuário o acesso a diversas funções. O módulo utilizado neste trabalho contém em seu circuito um Sim800L, entretanto, trata-se de uma pequena placa adaptada para o uso com placas de prototipagem (Figura 10). Conta com uma pequena antena helicoidal e 11 pinos destinados a: alimentação, GND, envio, recebimento e conexão de acessórios (microfone/alto-falante).

Figura 10: Módulo Sim800L.



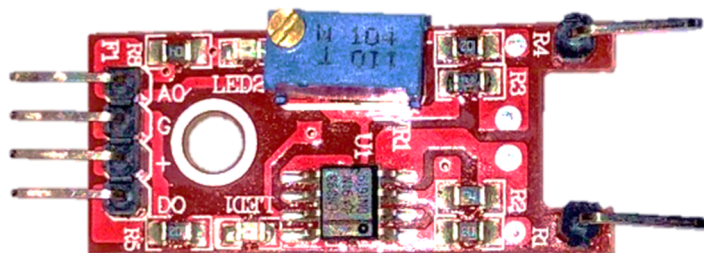
Fonte: Autora.

3.1.2.4 Sensor do tipo chave magnética

A contagem das oscilações da balança é efetuada através de um sensor *reed switch* ou chave magnética, composto por uma chave normalmente aberta que é fechada na presença de campo magnético (ímã). O sensor é parte integrante de um conjunto com um circuito de interface próprio para utilização com plataformas de prototipagem (Figura 11).

Uma adaptação foi realizada na estrutura do módulo. Esta consistiu na substituição da ampola contendo a chave magnética por pinos conectores. A chave foi instalada diretamente no sistema de balança e teve seus terminais conectados aos pinos no módulo através de fios.

Figura 11: Módulo *reed switch* (adaptado).



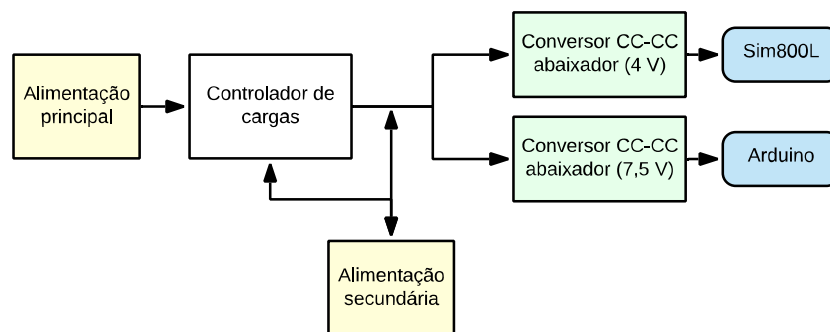
Fonte: Autora.

3.1.3 Circuito de Alimentação

O circuito de alimentação projetado é composto por um controlador de carga – responsável pelo controle da alimentação principal (painel solar/fonte CC) e da secundária (bateria estacionária) – e por conversores CC/CC do tipo *step down* (Buck/abaixador) – responsáveis pelo ajuste do nível de tensão CC de alimentação

do Arduino (na faixa de 7,5 V) e do Sim800L (em torno de 4 V). O diagrama de blocos do circuito de alimentação é ilustrado na Figura 12.

Figura 12: Diagrama de blocos das partes do circuito de alimentação.



Fonte: Autora.

3.1.3.1 Controlador de carga

O circuito controlador de carga é responsável pelo controle das alimentações principal e secundária. O principal componente deste circuito é um CI regulador de tensão LM317T, equipado com um dissipador de calor para evitar sobreaquecimento. O circuito realiza filtragem da tensão de entrada e de saída, além de limitar a tensão de saída em 13,6 V e a corrente de saída (para a alimentação secundária) em 0,7 A – valores adequados para a preservação da vida útil da bateria.

3.1.3.2 Reguladores *step-down*

O módulo regulador utilizado é composto por um CI LM2596 associado a outros componentes passivos. A determinação da tensão de saída é possível através do ajuste de um trimpot. Segundo o fornecedor¹⁰, o módulo pode operar com corrente nominal de 2 A e corrente máxima de 3 A, o que torna-o apropriado para uso com o Sim800L, que pode apresentar picos de corrente de até 2 A durante transmissão.

Os reguladores são ajustados para 7,5 V e 4 V e alimentam, respectivamente, o Arduino e o Sim800L. Não foi observado aquecimento excessivo em nenhum componente durante os testes em bancada, portanto o uso de dissipadores de calor foi dispensado.

¹⁰ Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/regulador-de-tensao-lm2596-conversor-dc-dc-step-down/>. Acesso em: 21 de Outubro de 2019.

3.1.3.3 Alimentação principal

Uma fonte CC de 18 V e 2 A ou um painel solar fotovoltaico de tensão nominal de 12 V ($17 V_{MP}$ – tensão de máxima potência) e 10 Wp podem ser utilizados como alimentação principal. A alimentação principal é responsável por carregar a bateria estacionária (alimentação secundária) e fornecer energia ao circuito sempre que disponível.

3.1.3.4 Alimentação secundária

Em caso de indisponibilidade da alimentação principal, o circuito é alimentado por uma bateria estacionária, utilizada como alimentação secundária. A autonomia da bateria é abordada no item 4.3.

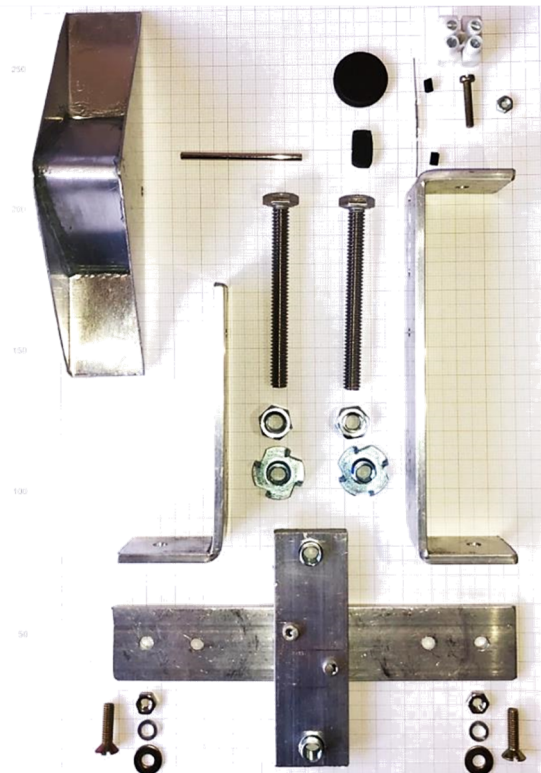
3.1.4 Pluviômetro

O protótipo de pluviômetro tipo báscula foi construído em duas etapas: a parte interna (báscula) e a parte externa (coletor).

3.1.4.1 Estrutura interna

A estrutura interna do pluviômetro foi construída utilizando os materiais listados no Anexo II, representados no Anexo III e ilustrados na Figura 13.

Figura 13: Principais componentes da estrutura interna do pluviômetro.



Fonte: Autora.

Inicialmente, pedaços de perfil de alumínio e de folha de alumínio para calha foram recortados e marcados conforme representado no Anexo IV. As partes de alumínio foram dobradas nas linhas marcadas e, posteriormente, foram furadas e fixadas conforme as vistas e cortes constantes nos anexos.

A divisória dos compartimentos da balança foi fixada no interior desta utilizando-se cola epóxi líquida (Araldite). O eixo da balança foi construído a partir do recorte de uma agulha para crochê em inox. O eixo foi inserido em um furo atravessando a balança e a ela foi fixado com cola epóxi líquida, a fim de evitar deslizamento horizontal indesejado.

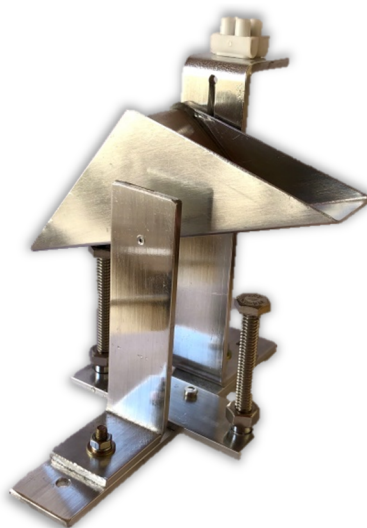
É importante ressaltar que o furo de encaixe do eixo na estrutura de suporte foi feito de forma que as peças (de ambos os lados) não fossem completamente atravessadas, sendo deixadas apenas cavidades.

Os parafusos de ajuste foram inseridos em porcas tipo garra recortadas e fixadas na estrutura de suporte com cola epóxi líquida.

O ímã redondo foi recortado para que o acréscimo de massa à balança, com a sua fixação, fosse mínimo. O pedaço de ímã foi fixado com cola epóxi líquida. A fixação do *reed switch* na estrutura foi feita através de uma cavidade na peça de alumínio e com o auxílio de fita isolante líquida e pequenos pedaços de espaguete isolante.

No topo do sistema de balança, um par de conectores nylbloc foi fixado para conexão dos fios do *reed switch*. O resultado final, após a associação de todos os componentes, é exibido na Figura 14.

Figura 14: Sistema de balança montado.



Fonte: Autora.

3.1.4.2 Estrutura externa

Para a construção da estrutura externa, foram utilizados os materiais especificados no Anexo II, representados no Anexo V e exibidos na Figura 15.

Para a construção da estrutura externa, foram utilizados os materiais especificados no Anexo II, representados no Anexo V e exibidos na Figura 15.

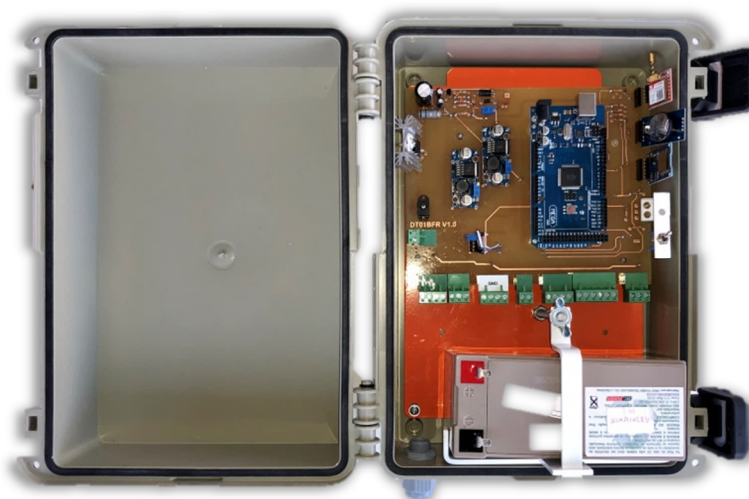
de lavatório. O bico foi fixado na extremidade inferior da válvula com cola epóxi e a ponta foi encurtada com um corte transversal. A válvula foi, então, fixada ao prato de alumínio com seu sistema de borrachas e roscas e uma pequena quantidade de adesivo vedante, tipo veda-calha.

Por fim, o conjunto prato-válvula-bico foi fixado no cano PVC com cola epóxi líquida (Araldite) – deixando-se uma margem de 2,5 cm da extremidade superior – e, posteriormente, selado com veda-calha.

3.1.5 Equipamento Final

A fim de compor um equipamento final com aspecto e funcionamento similar ao de um *datalogger* – com possibilidade de conexão futura de outros sensores –, foi elaborado um receptáculo para a parte eletrônica do sistema. Para tanto, foi utilizada uma caixa plástica impermeável, modificada para abrigar a bateria e o circuito eletrônico, que foi organizado em uma placa de circuito impresso, como ilustra a Figura 16.

Figura 16: Equipamento de armazenamento e transmissão de dados (*datalogger*) desenvolvido.



Fonte: Autora.

3.1.5.1 Circuito impresso

A placa de circuito impresso foi elaborada de forma artesanal. Os materiais utilizados são descritos no Anexo II.

Utilizou-se uma placa cobreada (dupla face) em fibra de vidro, na qual o circuito foi inserido por meio de impressão UV. Com o circuito marcado em ambas

as faces, as partes vazias (sem impressão) da placa foram corroídas em uma solução de percloroeto de ferro, revelando as trilhas cobreadas.

A montagem da placa foi pensada para que esta seja utilizada como *datalogger* e sua estrutura é do tipo *motherboard* (placa mãe), pois todos os módulos são encaixados em conectores soldados e podem ser facilmente substituídos em caso de defeito.

3.2 Software

O software foi desenvolvido em etapas e a integração de cada módulo/sensor foi dada após testes isolados de cada qual. Neste tópico, o detalhamento da integração de cada parte é comentado individualmente e, em seguida, o código completo é apresentado.

3.2.1 Módulo de cartão microSD

A comunicação com o módulo de cartão microSD foi possível através da biblioteca SD.h. Para evitar perda de dados decorrentes de retirada do cartão de memória durante execução do processo de gravação, foi inserida uma chave – conectada ao Arduino – que deve ser acionada em caso de necessidade de remoção do SD. O fechamento da chave bloqueia a execução de novos processos de gravação e provoca o acionamento de um LED – também conectado ao Arduino – indicando que o SD está liberado para remoção.

O acionamento do LED pelo Arduino – e não em série com a chave – tem como objetivo fazer com que o sinal luminoso somente seja acionado quando o programa já tenha identificado o fechamento da chave.

3.2.2 Módulo de Real Time Clock (RTC)

O módulo RTC, antes de integrado ao sistema, teve o horário ajustado via código. O código de ajuste de horário somente precisa ser executado uma vez, visto que, posteriormente, o módulo é responsável por realizar a contagem do tempo mesmo quando o Arduino não estiver energizado. Com este módulo foi utilizada a biblioteca RTClib.h¹¹, tanto para o ajuste inicial quanto para a comunicação no programa principal.

¹¹ Por Adafruit. Versão utilizada: 1.3.2.

3.2.3 Módulo Sim800L

A utilização do Sim800L é dada através do envio, por parte do Arduino, de comandos AT¹². Para definir a sequência de comandos necessária para definir a configuração do ponto de acesso (APN) da operadora e, posteriormente, a sequência para envio de dados por HTTP, utilizou-se um software de comunicação direta com o Sim800L, o *AT Command Tester for Simcom® Modules*¹³.

A comunicação do Sim800L com o software foi estabelecida por meio de porta serial (porta COM). O módulo Sim800L foi conectado diretamente às portas TX e RX de uma placa de Arduino UNO com código vazio carregado. O Arduino foi conectado ao computador pelo cabo USB utilizado na comunicação serial da placa.

O software de testes de comandos AT realiza, durante os processos de conexão e envio HTTP, diversas etapas de checagem, que possuem caráter informativo e não são necessárias ao procedimento. Portanto, com o intuito de otimizar, no código, a etapa de comunicação GSM por parte do Arduino, foi elaborada uma lista resumida de comandos imprescindíveis (Anexo VI), que foi testada manualmente através da comunicação do Sim800L com o monitor serial do Arduino – pela Arduino IDE.

3.2.4 Sensor do tipo chave magnética

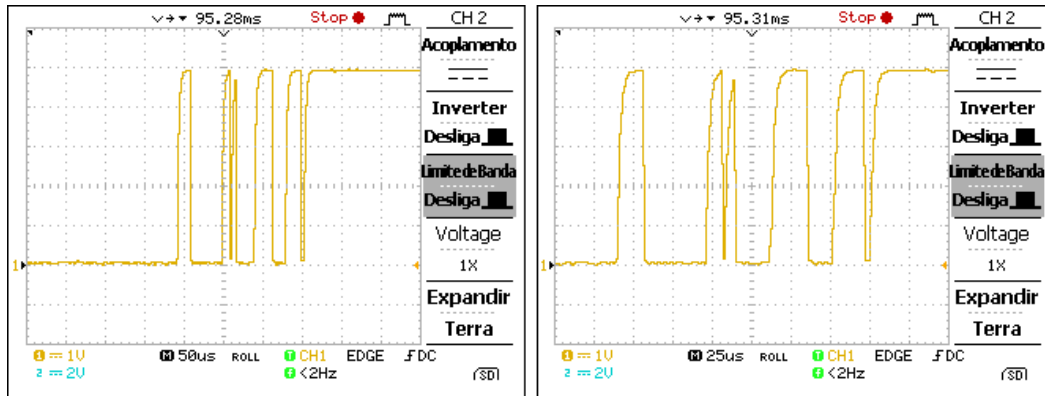
Os primeiros testes com o sensor *reed switch* revelaram uma contagem superestimada de pulsos. Observando no osciloscópio o sinal de transição do nível lógico baixo (chave aberta) para o nível alto (chave fechada), foi possível identificar a presença de ruído entre 20 e 100 kHz, produzido pelo efeito *bounce*¹⁴ (Figura 17). Visando resolver este problema, optou-se pela implementação de filtro passa-baixas “digital” no próprio código do programa (lógica explorada no fluxograma da Figura 21).

¹² “Conjunto de comandos de linguagem desenvolvida para modem, para produzir comandos completos para operações, como discar, desligar e mudar os parâmetros da conexão”. TEIXEIRA, OLIVEIRA, HELLENO, 2014.

¹³ Disponível em: <https://m2msupport.net/m2msupport/download-at-command-tester-for-simcom-modules/>. Acesso em: 21 de Outubro de 2019.

¹⁴ O efeito de trepidação de contato (ou *contact bounce*) refere-se a oscilações de tensão (ruído) provocadas pela transição de estado de uma chave mecânica (TOCCI, WIDMER, MOSS, 2011).

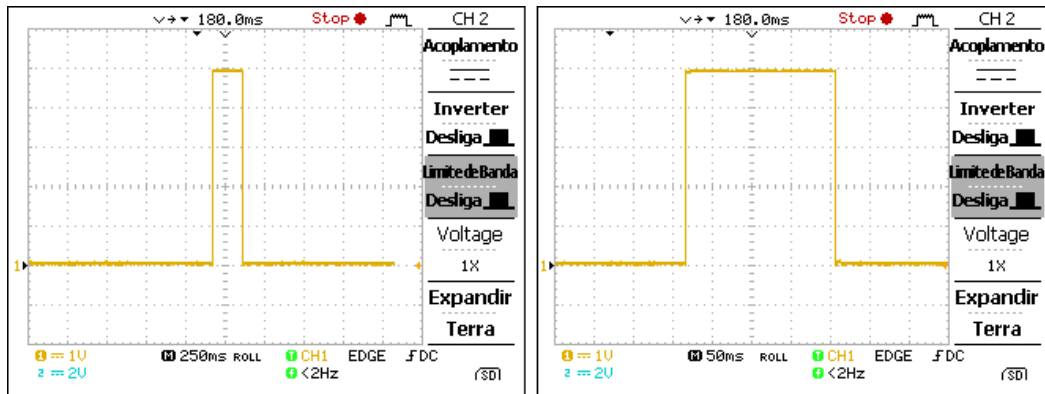
Figura 17: Observação do efeito *bouncing* no osciloscópio.



Fonte: Autora.

Para evitar a perda de pulsos rápidos, observou-se a duração de um pulso rápido (Figura 18), que é na faixa de 200 ms. Adotou-se uma frequência de corte em torno de 20 Hz, ou seja, são filtrados sinais com períodos de até 50 ms, valor que supera bastante a ordem de grandeza do ruído (Figura 17), mas que não gera perda do sinal desejado (Figura 18).

Figura 18: Observação da duração de um pulso rápido.



Fonte: Autora.

3.2.5 Bibliotecas

Neste tópico, é realizada uma síntese das bibliotecas utilizadas no programa – algumas já foram citadas em tópicos anteriores.

SoftwareSerial.h¹⁵: Possibilita o uso de pinos digitais como pinos de transferência/recebimento de dados (TX/RX); Utilizada na comunicação com o Sim800L.

¹⁵ Por Arduino (intrínseca). Versões mais atuais são baseadas na NewSoftSerial.h por Mikal Hart.

SPI.h¹⁶: Torna possível a comunicação serial síncrona com o módulo de gravação no microSD.

SD.h: Utilizada para criação, escrita e leitura de arquivos no cartão microSD.

RTCLib.h: Facilita a configuração e leitura do módulo RTC.

3.2.6 Plataforma ThingSpeak

A plataforma escolhida para exibição de dados online foi a ThingSpeak. Trata-se de uma plataforma desenvolvida pelo grupo MathWorks – desenvolvedores do conhecido software Matlab – própria para armazenamento e análise de dados relacionados a IoT (*Internet of Things*; Internet das coisas). Através da ThingSpeak é possível realizar coleta de dados, análise – com o Matlab – e, ainda, gerar reação do(s) dispositivo(s) conectado(s).

Os dados enviados à plataforma podem ser exibidos em canais públicos ou privados e ficam armazenados em nuvem, podendo ser exportados a qualquer momento nos formatos *csv*, *xml* ou *json*. Além disso, é possível conectar o canal às redes sociais para transmissão automática de informações.

No presente trabalho, a comunicação com a *ThingSpeak* foi dada através de protocolo HTTP com método GET utilizando-se de uma chave de acesso específica para o canal criado na plataforma.

3.2.7 Lógica e Fluxogramas

O programa é composto por duas partes principais, além de sub-rotinas de conexão, desconexão de rede, envio de dados e leitura de resposta do Sim800L. Este tópico destina-se a exposição da estrutura geral do programa e da lógica utilizada em processos e sub-rotinas. A explanação é dada por intermédio de fluxogramas e descrições.

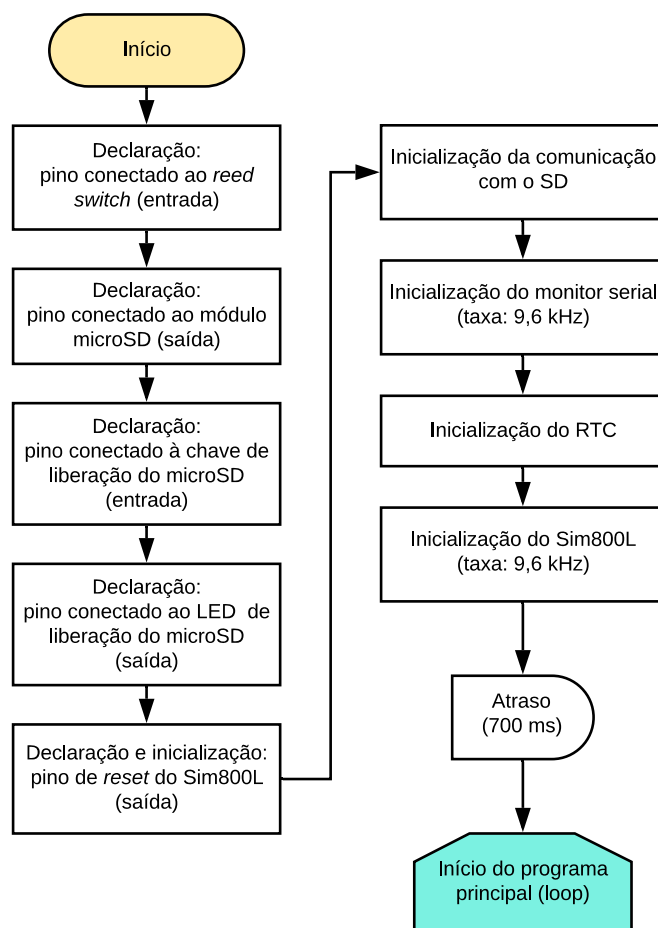
A grande maioria das variáveis utilizadas no programa foi declarada como sendo global, portanto, estas estão contidas no início do código, logo após a inclusão das bibliotecas citadas no item 3.2.5.

A função *setup*, iniciada logo após a declaração das variáveis globais, realiza a execução dos primeiros comandos, que são executados uma única vez. Estes comandos iniciais consistem, essencialmente, na declaração dos pinos utilizados (portas do Arduino) e inicializações de módulos e comunicações. Para garantir que a

¹⁶ Por Arduino (intrínseca).

função *loop* seja iniciada somente após a conclusão de todas as inicializações, um pequeno atraso de 700 ms foi inserido ao final do conjunto de comandos da função *setup*. A Figura 19 ilustra os comandos iniciais do programa.

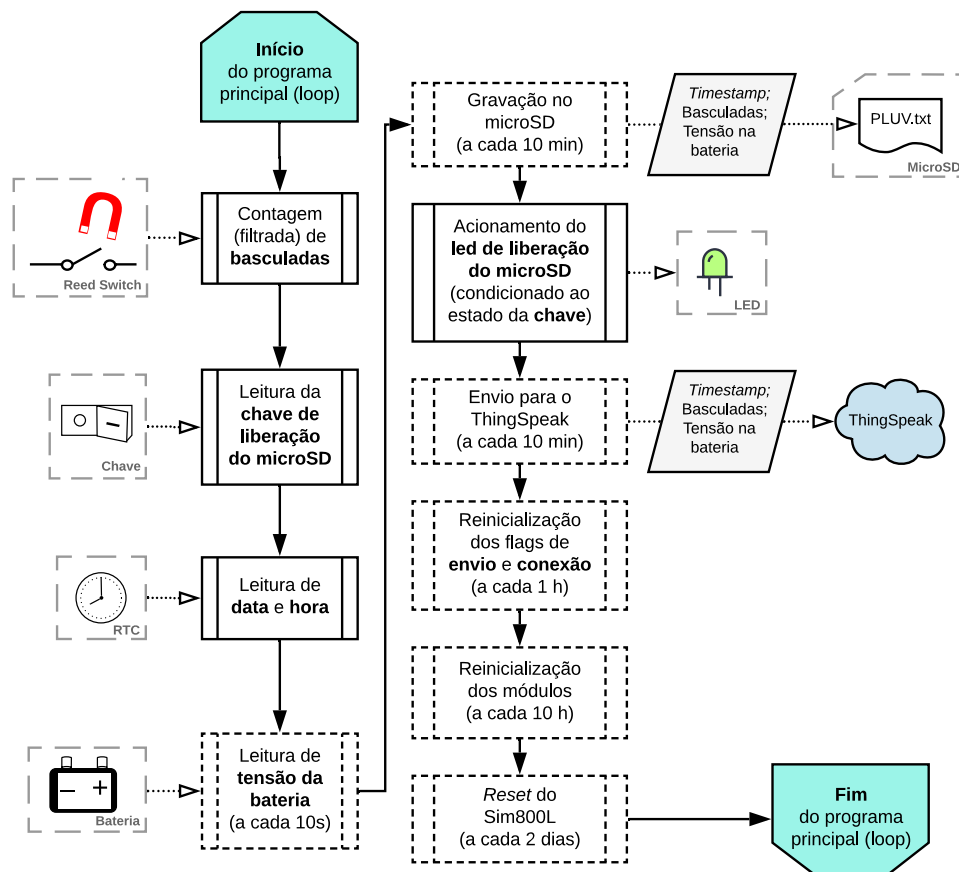
Figura 19: Fluxograma da função *setup*.



Fonte: Autora.

Em seguida, dar-se-á início à função *loop*, que consiste no principal conjunto de comandos do código. Os comandos contidos nesta função são executados repetidas vezes. Na Figura 20 são exibidas as principais ações executadas nesta parte do programa e a ligação entre os elementos externos de hardware e cada bloco de instruções. Os quadros tracejados representam comandos que sofrem *bypass* caso determinada condição temporal – especificada entre parênteses – não seja atendida.

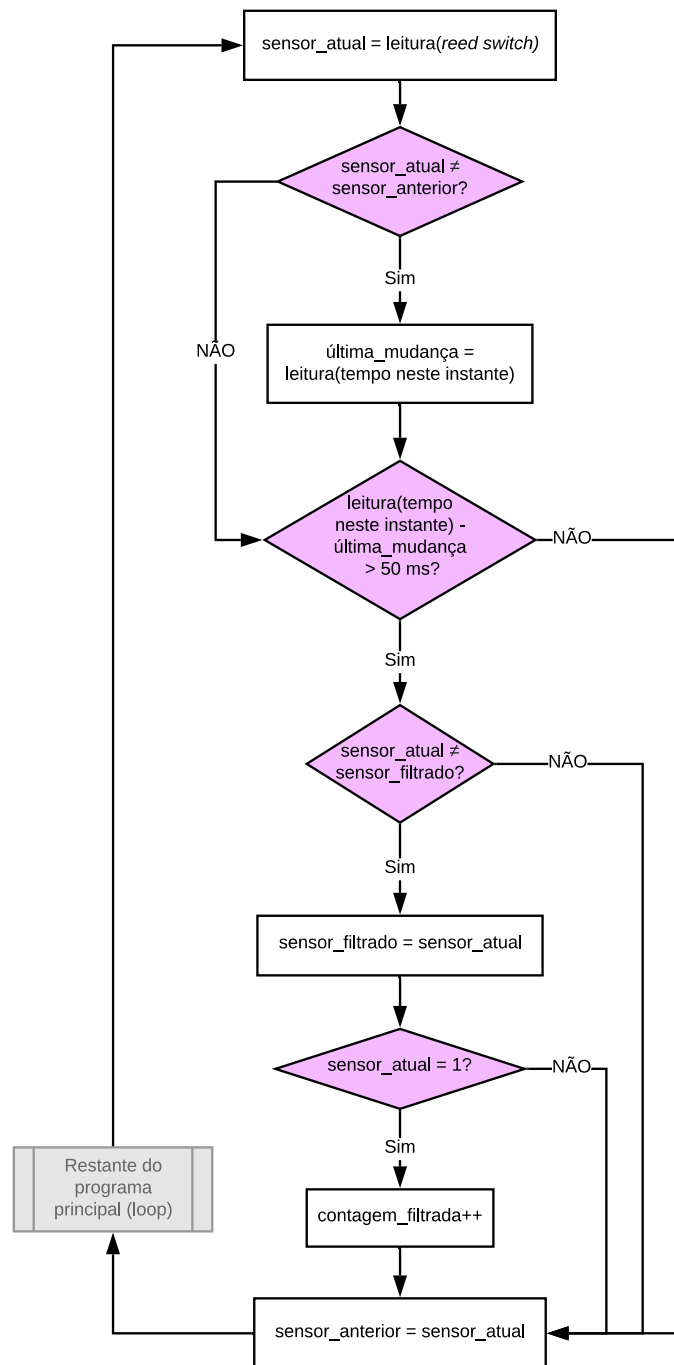
Figura 20: Fluxograma da função *loop*.



Fonte: Autora.

Conforme discutido no item 3.2.4, foi necessário filtrar o sinal de chaveamento do *reed switch*. A contagem filtrada somente leva em conta que houve chaveamento caso, após a mudança de nível lógico – baixo para alto –, o nível alto seja mantido por pelo menos 50 ms. Isto evita que o programa contabilize o ruído de chaveamento como diversos chaveamentos consecutivos. O filtro foi implementado no próprio código de contagem de oscilações da báscula e segue a lógica representada na Figura 21.

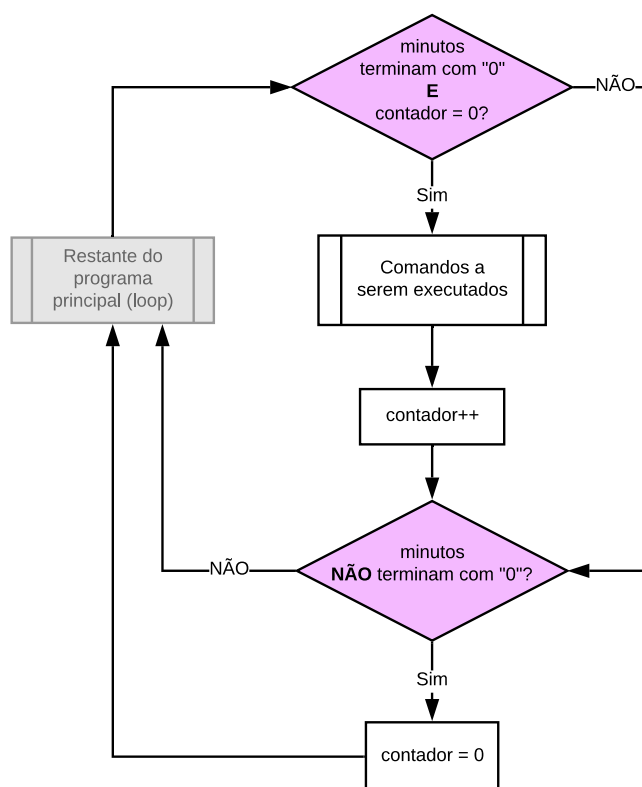
Figura 21: Fluxograma do filtro digital (*debounce*).



Fonte: Autora.

A lógica implementada para a execução dos grupos de comandos tracejados na Figura 20 uma única vez a cada intervalo de tempo pré-estabelecido foi baseada na utilização de um contador e é ilustrada na Figura 22 para uma execução de comandos a cada 10 minutos.

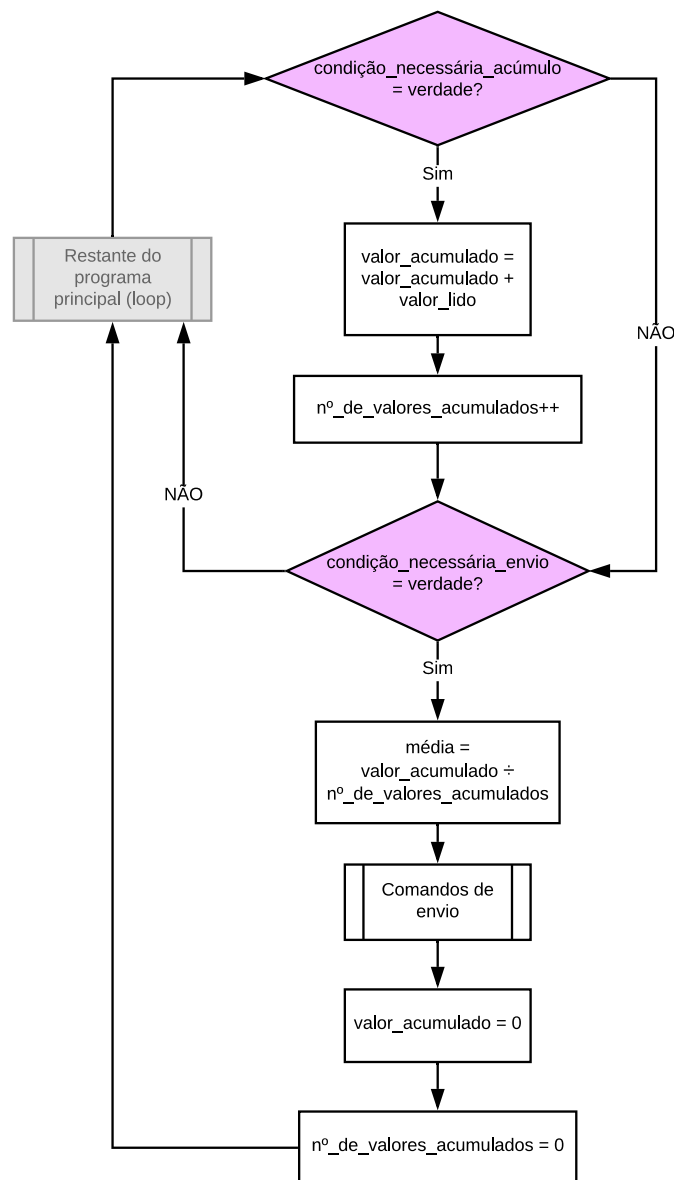
Figura 22: Fluxograma da lógica de execução de comandos por período de tempo.



Fonte: Autora.

Para a criação do dado “tensão na bateria”, o programa realiza uma leitura a cada 10 segundos e calcula a média dos valores coletados até o instante do envio – que se dá a cada 10 minutos. A amostragem da tensão é feita por meio de um circuito resistivo divisor em paralelo com a bateria conectado diretamente a uma porta analógica do Arduino. O programa efetua o cálculo da média de acordo com o fluxograma na Figura 23.

Figura 23: Fluxograma da lógica utilizada no cálculo de média.



Fonte: Autora.

A fim de melhorar a organização do código, alguns conjuntos de comandos frequentemente usados foram alocados como funções:

conectarGSM(), desconectarGSM(), enviarTS(): Estas funções fazem com que o Arduino envie ao Sim800L os comandos AT necessários para conectar à rede, desconectar e enviar os dados ao ThingSpeak via HTTP – respectivamente. Por serem do tipo *void* não retornam nenhuma variável.

ler_resposta(), aguardar_resposta_HTTP(), aguardar_resposta_HTTP(): São funções que retornam uma variável booleana (true/false) e são responsáveis pela leitura e análise da resposta do Sim800L aos comandos AT recebidos por este.

Estas funções evitam o uso de *delay* entre o envio de uma sequência de comandos AT e conseguem tornar mútua a comunicação Arduino-Sim800L, dando ao programa maior eficiência e confiabilidade.

aguardar_resposta(): Possui função similar à das funções “aguardar_resposta_HTTP()” e “aguardar_resposta_HTTP()”, entretanto, é utilizada para os comandos AT cuja resposta não traz informação significativa e é limitada às opções “OK” ou “ERROR”. Esta função, portanto, é do tipo *void* e é encerrada em caso de recebimento de resposta do Sim800L ou em caso de timeout.

3.3 Calibração e Testes

A calibração do pluviômetro foi realizada no município de Mossoró - RN, no Laboratório de Instrumentação, Meteorologia e Climatologia (LABIMC) da UFERSA no dia 19 de Novembro de 2019. Os testes laboratoriais foram realizados no dia 1 de Dezembro de 2019.

Utilizou-se: cronômetro contador de voltas; proveta de vidro graduada (100 mL); Becker de polipropileno graduado (250 mL); seringa descartável graduada (*luer lock* de 10 mL); garrafa PET de 1 L; abraçadeira; equipo macrogotas flexível para soro; recipiente de vidro; dois copos baixos (310 mL). A estrutura montada para os testes laboratoriais é exibida na Figura 24.

Figura 24: Instrumentação utilizada nos testes laboratoriais.



Fonte: Autora.

3.3.1 Calibração

Inicialmente, calculou-se a quantidade de mililitros necessária para que a resolução do pluviômetro fosse de 0,25 mm, dado que o diâmetro do coletor é de 192 mm.

O volume de água calculado para a resolução desejada foi, com o pluviômetro aberto – sem coletor, somente a base contendo a balança fixada – lentamente derramado sobre a balança com o auxílio de uma seringa de 10 mL. Posteriormente, o parafuso de ajuste foi posicionado de forma a provocar a virada da balança. O procedimento foi realizado para ambos os lados e, então, o passo de derramamento do volume de água foi repetido algumas vezes para verificação dos ajustes efetuados.

3.3.2 Testes Laboratoriais

Os testes laboratoriais tiveram como objetivo testar o desempenho do pluviômetro calibrado para chuvas de diferentes volumes precipitados (com mesma intensidade) e diferentes intensidades (com mesmo volume). O instrumento utilizado no ajuste da intensidade foi um equipo macrogotas – comumente utilizado em hospitais para injeção de soro.

Os testes foram divididos em duas etapas. Na primeira, variou-se o volume da chuva simulada. Na segunda etapa, a intensidade foi variada mantendo-se constante o volume precipitado simulado. Em ambas as etapas, um mesmo procedimento de ensaio foi executado:

- 1) Ajuste da intensidade através da regulação do equipo e observação do tempo e do derramamento de água em um recipiente graduado;
- 2) Posicionamento da saída do equipo sobre o coletor do pluviômetro e início da cronometragem do tempo;
- 3) Contagem das oscilações (audíveis) com auxílio do cronômetro contador de voltas;
- 4) Fechamento do equipo ao final da última oscilação esperada;
- 5) Medição do volume derramado total de água – contida nos copos posicionados abaixo dos furos de escoamento do pluviômetro.

Ao decorrer dos ensaios, ajustes no equipo foram realizados, conforme considerados necessários, para que um tempo constante entre oscilações da

báscula fosse mantido e, dessa forma, a intensidade simulada fosse aproximadamente constante.

A determinação do erro foi dada conforme a seguinte equação:

$$Erro(\%) = \frac{v_e - v_r}{v_r} \cdot 100\%$$

Onde:

v_e – Volume esperado (calculado) para a precipitação simulada.

v_r – Volume real (medido) derramado e necessário para a produção das oscilações na báscula correspondentes à precipitação simulada.

3.3.3 Teste em Campo

O equipamento (Figura 25) foi instalado na estação meteorológica automática (EMA) localizada no campus Leste da UFERSA, no município de Mossoró (RN), entre 02 e 12 de Janeiro de 2020. Os dados coletados durante este período foram comparados com os valores registrados pela EMA e por outra estação meteorológica automática, localizada na usina solar fotovoltaica da UFERSA (marca Onset HOBO) a uma distância de, aproximadamente, 400 m da EMA. A Figura 26 ilustra a posição das estações mencionadas e do dispositivo desenvolvido, referido como PLUVIOMET. Outras ilustrações do equipamento em campo estão contidas no Anexo VIII.

Figura 25: PLUVIOMET instalado em campo.



Fonte: Autora.

Figura 26: Localizações das estações meteorológicas (UFERSA) e do PLUVIOMET.



Fonte: Autora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

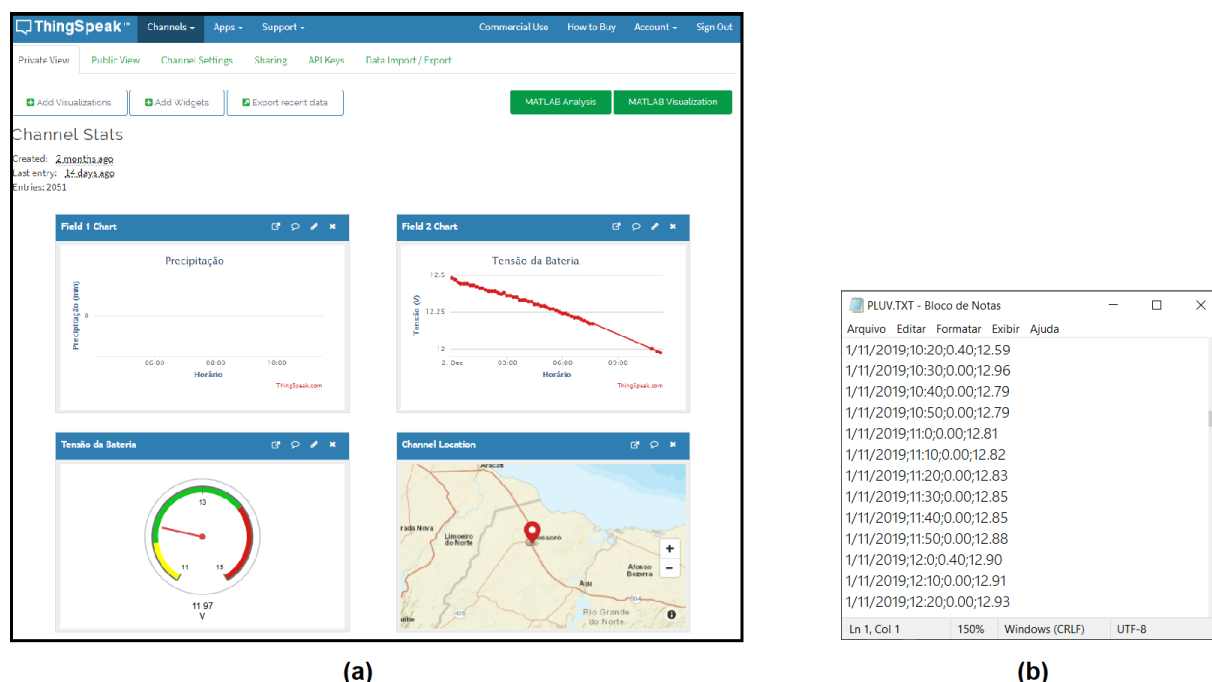
Os resultados de desempenho do sistema desenvolvido neste trabalho são apresentados no presente tópico. Os subtópicos que seguem tratam de: funcionamento do software, testes laboratoriais com o pluviômetro, teste de autonomia da bateria do *datalogger*, autonomia de armazenamento, consumo de dados celulares, custos de confecção do equipamento.

4.1 Funcionamento do Software

O teste de funcionamento do software consistiu em manter ligado o equipamento por diversos dias consecutivos. Durante o período de testes, o circuito de alimentação ficou conectado a uma fonte CC – regulada para 18 V com limitação de corrente de 0,3 A – e à bateria estacionária.

Periodicamente, observou-se os envios à plataforma ThingSpeak (Figura 27(a)) e o arquivo texto (PLUV.txt) gerado no cartão microSD (Figura 27(b)). Em intervalos aleatórios, o chaveamento do *reed switch* foi provocado para verificação da contagem de oscilações pelo programa. Os testes revelaram um funcionamento adequado do software desenvolvido.

Figura 27: Visualização (a) na plataforma ThingSpeak e (b) no arquivo csv gravado no microSD.



Fonte: Autora.

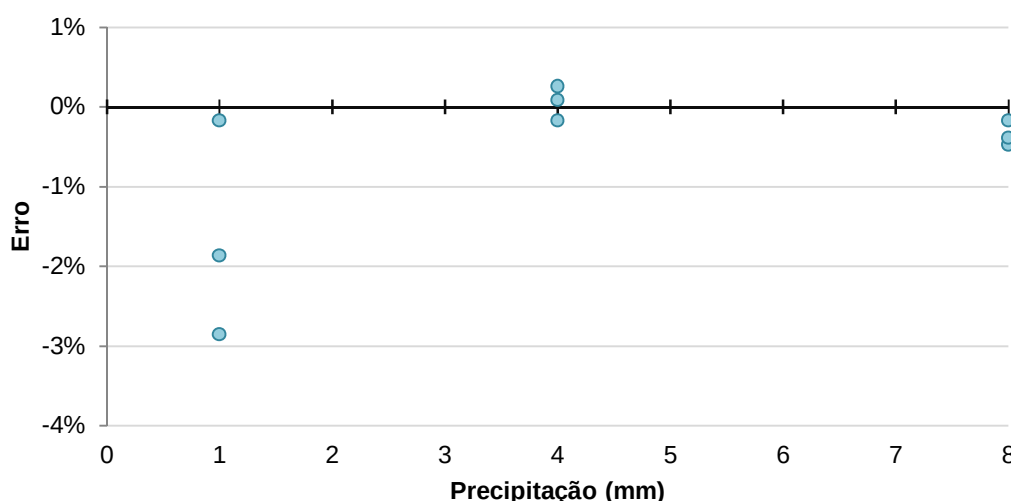
4.2 Testes com o Pluviômetro

4.2.1 Testes laboratoriais

Os resultados obtidos nos testes descritos no item 3.3.2 são ilustrados na Figura 28 e Figura 29. Os dados brutos correspondentes ao conteúdo do gráfico podem ser encontrados no Anexo VII.

Os primeiros testes foram realizados mantendo-se uma intensidade de aproximadamente 0,25 mm/min para precipitações simuladas de 1, 4 e 8 mm. Três ensaios foram realizados para cada valor de precipitação. A curva obtida (Figura 28) mostra erros pequenos sem correlação aparente com o volume simulado. O erro médio percentual para estes ensaios foi de -0,64%, que representa uma pequena subestimativa do volume precipitado.

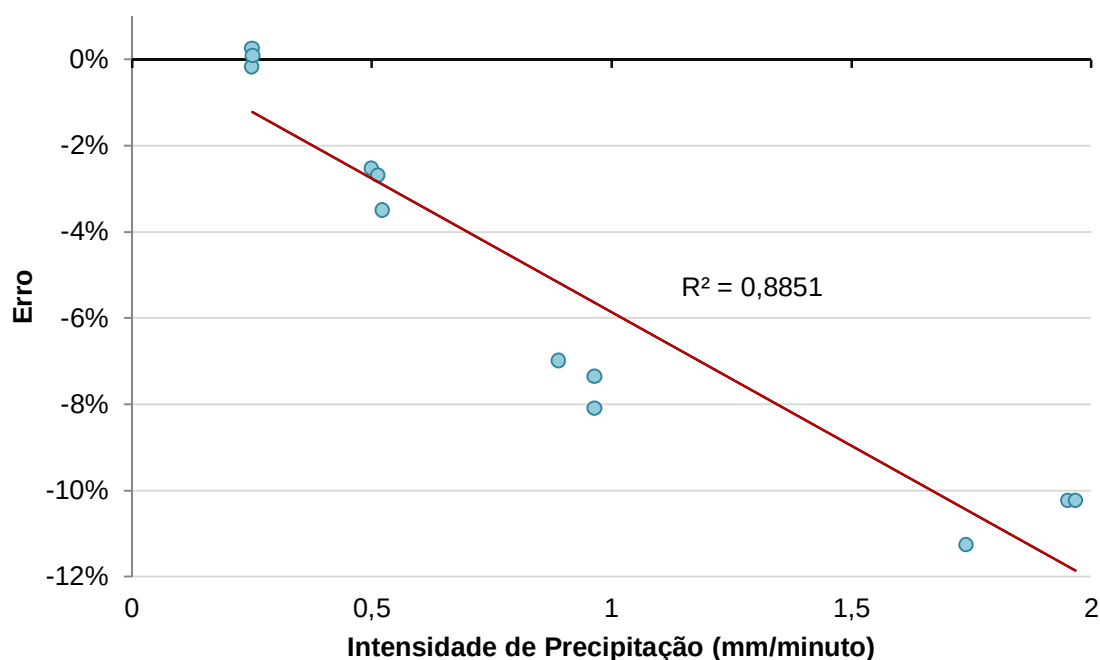
Figura 28: Erro percentual em função do volume precipitado simulado.



Fonte: Autora.

Para o segundo grupo de testes, foi mantida constante a precipitação simulada (4 mm) e variou-se a intensidade: 0,25, 0,5, 1 e 2 mm/min (valores aproximados). A curva de resultados (Figura 29) ilustrou um aumento aproximadamente linear do valor absoluto do erro, que torna-se cada vez mais negativo, ou seja, o aumento da intensidade de precipitação pluvial leva ao aumento da subestimativa por parte do equipamento. Este comportamento é compatível com a literatura acerca da precisão de pluviômetros de báscula – ou *tipping bucket* –, conforme discutido no item 2.3.4.1.

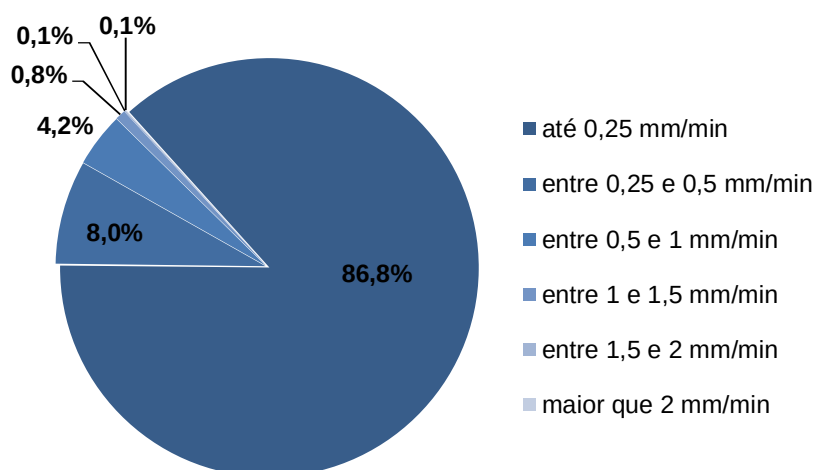
Figura 29: Erro percentual em função da intensidade de precipitação simulada.



Fonte: Autora.

É conveniente mencionar que, de acordo com os dados de precipitação da Estação Meteorológica Automática (EMA) da UFERSA, para um período entre 23/03/2017 e 16/12/2019 no município de Mossoró-RN, a grande maioria das chuvas possui baixa intensidade. A Figura 30 mostra a distribuição de intensidades ao longo do período mencionado.

Figura 30: Percentual de ocorrências de determinadas intensidades de chuva em Mossoró.



Fonte: Autora.
Dados: EMA (UFERSA).

Nota: Os dados fornecidos pela estação são para períodos de 10 minutos. Entretanto, a fim de melhorar a comparação com os dados experimentais aqui tratados, a intensidade em mm/min foi estimada considerando-se uma intensidade constante ao longo do intervalo de medição da estação automática (10 minutos).

Através dos dados exibidos no gráfico da Figura 30, é possível calcular um erro ponderado pela frequência de ocorrência das intensidades simuladas nos testes laboratoriais:

$$Erro_{PONDERADO}(\%) = \frac{\sum_{n=1}^4 f_n \cdot erro_n}{4} \cdot 100\%$$

Onde:

n – Intensidade simulada ($n=1$ correspondendo a 0,25 mm/min e assim sucessivamente).

f_n – Frequência de ocorrência das intensidades entre n e $n-1$.

$erro_n$ – Erro médio obtido nos ensaios para a n -ésima intensidade simulada.

Tem-se, portanto:

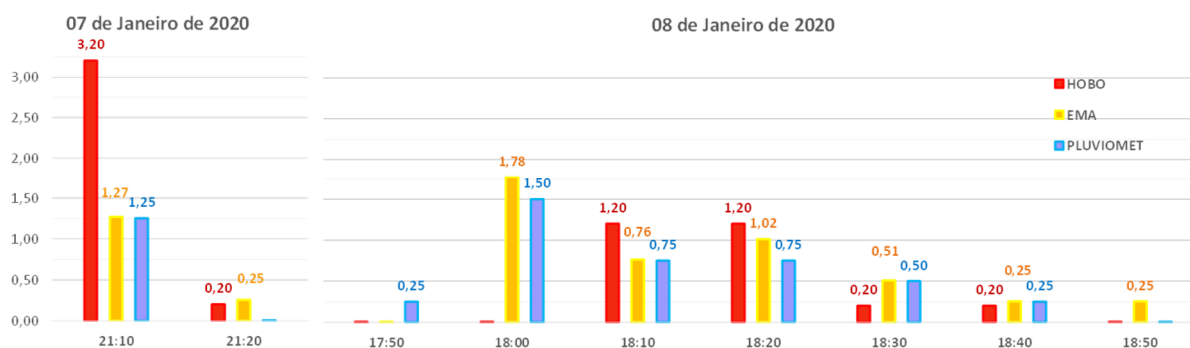
$$Erro_{PONDERADO}(\%) \approx -0,60\%$$

O valor obtido sinaliza que, para o regime pluviométrico observado em Mossoró-RN, a calibração está adequada e a chance de ocorrência de maiores erros é remota.

4.2.2 Teste em Campo

Durante o período de testes em campo (02 a 12 de Janeiro de 2020) ocorreram precipitações de pequeno volume e intensidade. As chuvas foram registradas pelas estações da UFERSA (referidas como EMA e HOBO) e pelo equipamento em teste (referido como PLUVIOMET) nos dias 07 e 08 de Janeiro de 2020. Os valores medidos estão ilustrados na Figura 31.

Figura 31: Precipitações registradas no teste em campo.



Fonte: Autora

Os resultados do pluviômetro desenvolvido (PLUVIOMET) foram próximos aos registrados pela EMA (UFERSA), dentro de uma margem de erro equivalente à

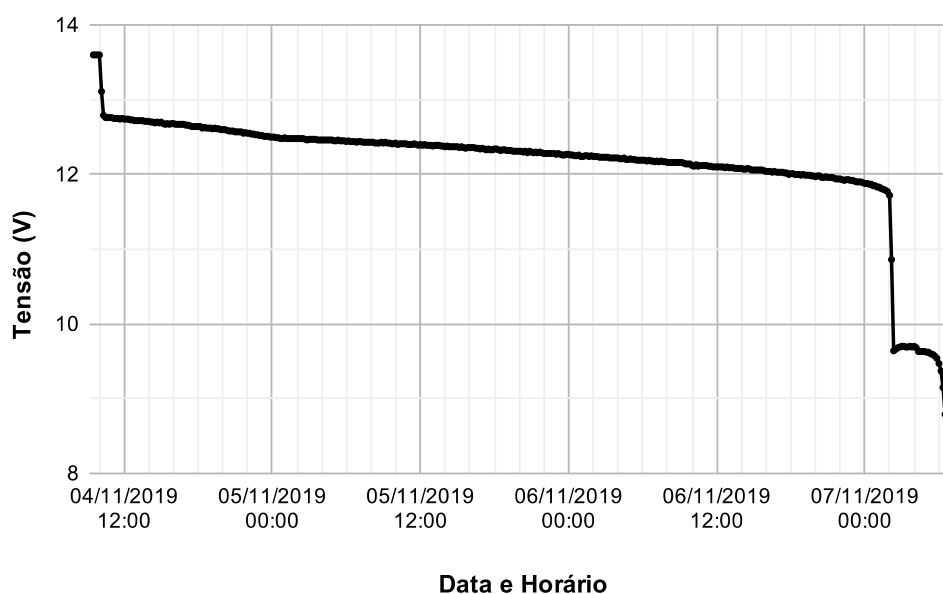
soma das resoluções dos pluviômetros, respectivamente 0,25 e 0,254 mm, o que revela uma boa convergência das medições realizadas por ambos os dispositivos. Os resultados da estação localizada na usina solar fotovoltaica (HOB0) apresentaram maior discrepância em relação às medições da EMA e do PLUVIOMET, possivelmente em decorrência da variabilidade espacial volumétrica das precipitações observadas neste teste.

4.3 Teste de Autonomia da Bateria

No dia 04 de Novembro de 2019, a partir das 10h:00min, a fonte CC que alimentava o *datalogger* foi desligada para realização do teste de autonomia. Estando alimentado somente pela bateria estacionária de 12 V / 7 Ah (nominal), o equipamento manteve funcionamento adequado por cerca de 64 horas (aproximadamente 2,7 dias). Após o período mencionado, a bateria sofreu uma queda brusca de tensão, de 10,9 V para 9,6 V. O armazenamento dos dados no microSD e o envio ao ThingSpeak decorreu por 69 horas contínuas, entretanto, as 5 horas adicionais não foram contabilizadas devido à operação ter sido considerada inadequada em decorrência da baixa tensão da bateria.

A curva de descarga (Figura 32) para o período total de teste (69 horas) ilustra que houve boa estabilidade da bateria para tensões entre 12,8 e 11,8 V.

Figura 32: Curva de descarga da bateria estacionária testada.



Fonte: Autora.

4.4 Autonomia de Armazenamento (Cartão microSD)

Cada linha de arquivo CSV (.txt) contendo “data; hora; precipitação; tensão na bateria” ocupa aproximadamente 27,49 bytes de memória. Neste sentido, um cartão microSD com 4 GB de memória deve prover uma autonomia de armazenamento de mais de 2800 anos. Portanto, mesmo que o equipamento desenvolvido nesta monografia venha a ser parte de uma estação meteorológica completa, aumentando, assim, o tamanho de cada linha de arquivo e/ou a quantidade de linhas por unidade de tempo, não haverá problemas relativos à autonomia de armazenamento.

Além disso, a facilidade de aquisição e o baixo custo de cartões de memória microSD consiste em grande vantagem para o equipamento.

4.5 Consumo de Dados Celulares

O chip de celular utilizado durante o desenvolvimento e testes do protótipo foi da operadora Claro. O plano de celular cadastrado foi do tipo pré-pago com vigência de 30 dias e custo de R\$ 34,99/mês. Entretanto, no site da operadora há informações sobre contratação de planos específicos para utilização em M2M – do inglês *Machine to Machine* (Máquina para Máquina). Desta forma, a contratação deste tipo de serviço para uso em maior escala – ou por maiores períodos de tempo – pode ser vantajosa, visto que os planos de fácil contratação são subutilizados neste tipo de aplicação.

O consumo de dados é de aproximadamente 0,81 KB/envio, o que totaliza cerca de 117 KB/dia ou 3,5 MB/mês – considerando uma taxa constante de 1 envio a cada 10 minutos. O cálculo do consumo aproximado foi obtido através da divisão da quantidade de dados consumidos (KB), disponível para consulta no site da operadora (Claro), pela quantidade de dados recebidos pelo ThingSpeak dentro de um mesmo período.

4.6 Custos de Confeção

Os custos de confecção do equipamento final foram em torno de:

Pluviômetro: R\$ 220,61.

Datalogger (equipamento): R\$ 383,12.

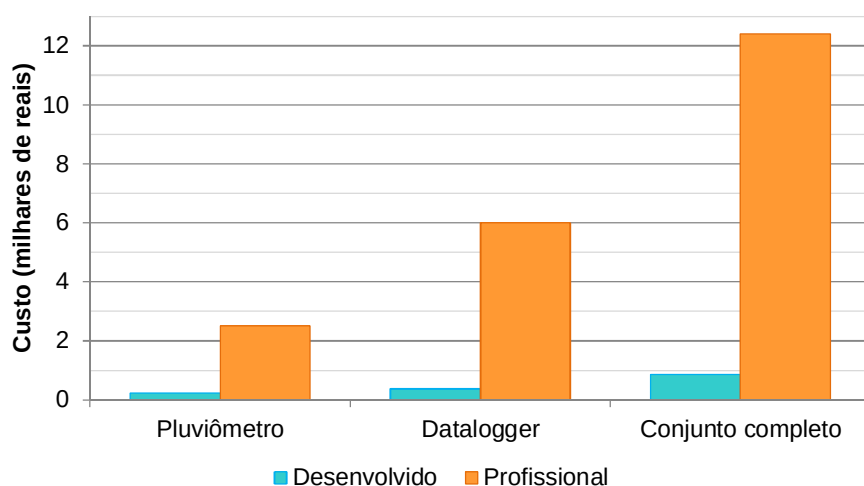
Acessórios de alimentação do datalogger e suporte do pluviômetro: R\$ 266,63.

Custo TOTAL (conjunto completo): R\$ 870,35.

O detalhamento dos custos é contemplado no Anexo II.

O gráfico exibido na Figura 33 compara os custos do equipamento desenvolvido com os custos médios do mercado (equipamento profissional). É importante ressaltar que a comparação de custos não tem como objetivo a comparação da qualidade dos equipamentos. É reconhecido que os equipamentos profissionais são elaborados com critérios, tecnologias e técnicas que lhes aferem confiabilidade, durabilidade e acurácia que somente a fabricação em nível industrial associada ao *know-how* dos desenvolvedores pode alcançar. Entretanto, a similaridade entre os resultados finais obtidos com o produto desenvolvido e os obtidos com equipamentos de mercado ressalta a pertinência da elaboração de equipamentos próprios, seja para pesquisa acadêmica ou para outros tipos de aplicações particulares ou públicas.

Figura 33: Comparação de custos do equipamento desenvolvido com equipamento profissional (custo médio de mercado).



Fonte: Autora.

Considerando os resultados satisfatórios de precisão do pluviômetro e autonomia do *datalogger*, é admissível o potencial e aplicabilidade dos instrumentos desenvolvidos neste trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

O equipamento resultante desta pesquisa (pluviômetro automático e *datalogger*) apresentou, em testes laboratoriais, desempenho comparável ao de equipamentos profissionais – considerando o estudo desenvolvido por Braga et. al. (2008), cujos resultados são discutidos no item 2.3.4.1. Para o regime pluviométrico de Mosorró-RN, o erro ponderado obtido é inferior a um ponto percentual (-0,60%).

O aspecto físico do equipamento final torna-o adequado para utilização em campo, visto que este possui uma autonomia de bateria superior a 2 dias, autonomia de armazenamento estimada em mais de 2 mil anos e parte eletrônica abrigada em uma caixa plástica com interior protegido de intempéries.

Os custos de confecção, quando comparados a valores de mercado, mostram que o desenvolvimento, em universidades, de equipamentos próprios pode ser extremamente vantajoso – o custo total do instrumento final é, aproximadamente, 10% do custo de um aparelho profissional. A comunicação através de tecnologia GSM é um ponto notável, pois confere ao dispositivo melhor aplicabilidade e autonomia – visto que torna-o independente da disponibilidade de rede internet sem fio no local de instalação.

O desenvolvimento através da plataforma de prototipagem Arduino tornou a elaboração mais simples e facilita a reprodutibilidade do produto, pois torna sua fabricação independente de processos industriais mais elaborados.

Em conclusão, estudos afins devem ser fomentados, especialmente nas universidades, por prover uma ferramenta de monitoramento e pesquisa de grande relevância acadêmica, boa acurácia, qualidade, e baixo custo, ao mesmo tempo que promove a qualificação dos participantes da pesquisa.

5.2 Sugestões de Aprimoramento

No decorrer do desenvolvimento desta pesquisa, alguns pontos passíveis de aprimoramento foram identificados, a saber:

Desenvolvimento de circuito de interface com o *datalogger*: Como o *datalogger* realiza transmissão via GSM a cada 10 minutos e esta comunicação leva em torno de 5 a 10 segundos, a contagem de oscilações da balança é interrompida

neste intervalo o que pode gerar perda de informação – caso ocorra uma oscilação da balança neste intervalo. Nesta perspectiva, o desenvolvimento de um circuito de interface (do pluviômetro com o *datalogger*) capaz de realizar, de forma dedicada, a contagem de pulsos tornaria o equipamento mais preciso. O circuito eletrônico poderia, ainda, a partir de algoritmo, realizar a correção da submedição do equipamento em situações de chuva intensa, fornecendo ao *datalogger* o valor contado e recebendo um *reset* após o envio bem sucedido da informação.

Otimização do consumo de energia: Esta pesquisa não priorizou a otimização do consumo de energia do equipamento. Alguns recursos como o modo de baixo consumo do Sim800L e do Arduino podem ser explorados em outros estudos para que o equipamento final apresente melhor autonomia em campo. Por exemplo, para o caso específico do uso do *datalogger* somente com o pluviômetro, a transmissão celular somente em caso de aferições não-nulas pode reduzir consideravelmente o consumo energético.

Uso de CIs e microcontroladores que não sejam de prototipagem: Utilizar outras tecnologias pode entregar ao equipamento uma qualidade mais próxima da industrial. O CI Sim800L, por exemplo, possui, segundo o fabricante, diversos pinos e funcionalidades – como um RTC próprio – que não são exploradas pelo módulo Sim800L utilizado nesta pesquisa.

Exploração de outras plataformas de visualização e armazenamento: O envio dos dados lidos pelo *datalogger* para um servidor – FTP, por exemplo – ou para outra plataforma de visualização – que não a utilizada nesta pesquisa –, como um aplicativo de celular, consiste em outro aspecto capaz de aferir maior flexibilidade e controle sobre a sua operação, tornando-o independente de ferramentas de terceiros, como o a nuvem utilizada (ThingSpeak), que pertence ao grupo MathWorks.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONIO, C. A. A. **Geoestatística aplicada à acumulação de precipitação pluviométrica com radar meteorológico**. 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA)/UNESP. Botucatu: UNESP, 2007.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4º ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 1996.

BADHIYE, S. S.; CHATUR, P. N.; WAKODE, B. V. Data Logger System: A Survey. **Journal of Computer Technology and Electronics Engineering**, 2008, p 24-26.

BOSCO, L. C. **Alterações microclimáticas causadas por cobertura antigranizo e efeitos sobre o desenvolvimento e produção de macieiras**. 2011. 203 f. Tese (Doutorado) Faculdade de Agronomia, Programa de pós-graduação em fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2011.

BRAGA, S. M.; BRAGA, A. S.; FERNANDES, C. V. S.; SANTOS, I. Avaliação da performance de pluviômetros de báscula: sub-medição durante eventos extremos e novos esquemas de medição. **Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste**, 2., 2008, Porto Alegre. Anais... . Rio de Janeiro: ABRH, 2008. p. 1-17.

CUNNINGTAM, C.; BRITO, S. S. B. **Investigação da variabilidade subsazonal da precipitação no semiárido**. 2016. Disponível em: <https://www.cemaden.gov.br/investigacao-da-variabilidade-subsazonal-da-precipitacao-no-semiarido/>. Acesso em: 25 de Setembro de 2019.

DIESEL, L. E. **Climatologia e meteorologia**. Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018. 232 p.

HORITA, F. E. A.; ALBUQUERQUE, J. P.; MARCHEZINI, V. Understanding the decision-making process in disaster risk monitoring and early-warning: A case study within a control room in Brazil. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 28, 2018, p. 22-31.

MENEZES, T. P. **Sistema remoto de aquisição e monitoramento de variáveis ambientais para aplicação de previsão meteorológica**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: UFC, 2012.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.

SIMCom Wireless Solutions Ltd. **SIM800L Hardware Design**. V1.00. 2013.

SOARES, R.V.; BATISTA, A.C. **Meteorologia e Climatologia Florestal**. Curitiba: UFPR. 2004. 195 p.

SOUZA, C. L. O.; NOGUEIRA, V. F. B.; NOGUEIRA, V. S. Variabilidade interanual da precipitação em cidades do semiárido brasileiro entre os anos de 1984 e 2015. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.12, No 4, p. 740-747, 2017. Pombal: 2017.

TEIXEIRA, F. C. R.; OLIVEIRA, M. C.; HELLENO, A. L. Telemetria Automotiva via Internet Móvel. **Revista Ciência e Tecnologia**, [S.l.], v. 16, n. 28/29, fev. 2014. ISSN 2236-6733.

TOCCI, Ronald J. WIDMER, Neal S. MOSS, Gregory L. **Sistemas Digitais: Princípios e aplicações**. 11 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à climatologia**. Ubá: Ed. Geographica, 2008. – (Série Textos Básicos de Geografia) 234p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. INMET, Brasília. 2006. 463p. (Versão digital).

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. 2ª Ed. Viçosa: UFV. 2013. 460 p.

WMO (World Meteorological Organization). **International cloud atlas – Volume I: manual on the observation of clouds and other meteors**. Geneva: Secretariat of the World Meteorological Organization, 1975. 155 p.

ANEXOS

ANEXO I: VALORES COMERCIAIS DE PLUVIÔMETROS, DATALOGGERS E CONJUNTOS

	Marca	Modelo	Preço	Fonte	Nota
Pluviômetro	Davis Instruments	6465	R\$ 939,40	Site da Davis Instruments	Acesso em: 16 de Dezembro de 2019. Valor calculado com base no custo do dólar no dia do acesso. Considerou-se um custo de 120% com despesas de importação.
	Bell Environmental	Kalyx-RG (P-780-701)	R\$ 2.930,40	Site da Bell Environmental	Acesso em: 16 de Dezembro de 2019. Valor calculado com base no custo da libra esterlina no dia do acesso. Considerou-se um custo de 120% com despesas de importação.
	Texas Instruments	TE525MM-L	R\$ 4.537,46	Loja internacional de equipamentos de automação industrial	Acesso em: 16 de Dezembro de 2019. Valor calculado com base no custo do dólar no dia do acesso. Considerou-se um custo de 120% com despesas de importação.
	Onset Hobo	S-RGF-M002	R\$ 2.069,60	Orçamento fornecido à UFERSA	Orçamento de Setembro de 2018
Datalogger	Davis Instruments	Vantage Connect (6621)	R\$ 7.145,60	Site da Davis Instruments	Possui comunicação GSM e plataforma em nuvem. Acesso em: 16 de Dezembro de 2019. Valor calculado com base no custo do dólar no dia do acesso. Considerou-se um custo de 120% com despesas de importação.
	Campbell Scientific	CR200X	R\$ 5.922,00	Catálogo de preços da Campbell	Acesso em: 16 de Dezembro de 2019. Valor calculado com base no custo do dólar no dia do acesso e na comparação com orçamentos de produtos presentes no catálogo. Considerou-se um custo de 120% com despesas de importação.
	Onset Hobo	RX-3001 ETH	R\$ 7.596,55	Orçamento fornecido à UFERSA	Orçamento de Setembro de 2018
Conjunto (Pluv. + Datalog.)	Clima e Ambiente	P401 GSM/GPRS	R\$ 12.500,00	Site do Clima e Ambiente	Acesso em: 16 de Dezembro de 2019.
	Campbell Scientific	Não informado	R\$ 10.730,00	Pregão online (governo federal)	Plataforma de coleta de dados pluviométricos dentro do padrão exigido pelo CEMADEN. Data do pregão: Julho de 2013.
	Casella	Não informado	R\$ 14.196,00	Pregão online (governo federal)	Plataforma de coleta de dados pluviométricos dentro do padrão exigido pelo CEMADEN. Data do pregão: Julho de 2013.

Conteúdo dos anexos elaborado pela autora.

ANEXO II: LISTA DE MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DO PLUVIÔMETRO, DATALOGGER E ACESSÓRIOS

Pluviômetro

ITEM	R\$/un.	Unidade	Quantidade	Custo
Tubo de esgoto soldável PVC 200 mm	R\$ 50,00	m	0,3	R\$ 15,00
Prato de luminária alumínio	R\$ 10,00	-	1	R\$ 10,00
Válvula de escoamento para lavatório cromada	R\$ 18,14	-	1	R\$ 18,14
Bico de confeitar 231 inox	R\$ 13,59	-	1	R\$ 13,59
Parafuso allen cabeça cilíndrica inox M5 12 mm	R\$ 1,00	-	4	R\$ 4,00
Tecnil nylon 200 mm maciço	R\$ 17,43	cm	3	R\$ 52,30
Bucha de redução 40 x 20 mm longa	R\$ 1,65	-	2	R\$ 3,30
Respiro para móveis PVC cromado	R\$ 0,85	-	2	R\$ 1,70
Tubo PVC soldável 20 mm	R\$ 2,75	m	0,05	R\$ 0,14
Perfil chato de alumínio 1" x 1/8"	R\$ 6,29	m	0,612	R\$ 3,85
Folha de alumínio para calha (0,6 mm de espessura)	R\$ 54,44	m ²	9,10E-06	R\$ 0,00
Agulha de crochê inox Nº 12 (0,6 mm)	R\$ 4,00	-	1	R\$ 4,00
Ímã redondo	R\$ 0,24	-	1	R\$ 0,24
Chave magnética (<i>reed switch</i>)	R\$ 1,14	-	1	R\$ 1,14
Parafuso fenda cabeça chata 4 x 16 mm	R\$ 0,15	-	2	R\$ 0,30
Parafuso fenda cabeça chata 4 x 25 mm	R\$ 0,18	-	2	R\$ 0,36
Arruela lisa 4 mm	R\$ 0,04	-	4	R\$ 0,16
Arruela de pressão 4 mm	R\$ 0,05	-	4	R\$ 0,20
Parafuso sextavado inox 1/4" x 2"	R\$ 1,50	-	2	R\$ 3,00
Porca garra zinco 1/4"	R\$ 0,25	-	2	R\$ 0,50
Porca sextavada inox 1/4"	R\$ 0,05	-	2	R\$ 0,10
Rebite repuxo alumínio 1/8" x 10 mm	R\$ 0,05	-	2	R\$ 0,10
Conector Nylbloc 2,5 mm	R\$ 0,77	Borne	2	R\$ 1,54
Cabo telefônico 1 par CCI cinza	R\$ 0,19	m	1,5	R\$ 0,29
Cola Araldite Hobby	R\$ 14,40	-	1	R\$ 14,40
Cola Durepoxi	R\$ 6,99	(100 g)	1	R\$ 6,99
Fita isolante líquida	R\$ 15,90	Bisnaga (16 g)	0,1	R\$ 1,59
Spray primer universal 300 mL	R\$ 13,29	Lata	0,25	R\$ 3,32
Tinta spray uso geral branca 400 mL	R\$ 10,36	Lata	1	R\$ 10,36
Serviço: usinagem (base de Tecnil e borda do tubo PVC 200 mm)	R\$ 50,00	-	1	R\$ 50,00

TOTAL

R\$ 220,61

Datalogger

ITEM	R\$/un.	Unidade	Quantidade	Custo
Módulo reed switch	R\$ 12,00	-	1	R\$ 12,00
Módulo microSD	R\$ 7,90	-	1	R\$ 7,90
Cartão microSD de 4 GB	R\$ 12,00	-	1	R\$ 12,00
Módulo GSM SIM800L	R\$ 49,00	-	1	R\$ 49,00
Regulador de tensão LM317T	R\$ 1,22	-	1	R\$ 1,22
LED	R\$ 0,25	-	1	R\$ 0,25
Trimpot	R\$ 1,00	-	1	R\$ 1,00
Resistor	R\$ 0,10	-	13	R\$ 1,30
Resistor	R\$ 0,70	-	1	R\$ 0,70
Capacitor	R\$ 0,70	-	4	R\$ 2,80
Diodo	R\$ 0,30	-	3	R\$ 0,90
Transistor	R\$ 0,17	-	2	R\$ 0,34
Arduino MEGA 2560	R\$ 50,00	-	1	R\$ 50,00
Bornes (Fêmea + Macho 90°)	R\$ 4,12	-	7	R\$ 28,84
Dissipador de Calor DP-4/96	R\$ 5,88	-	1	R\$ 5,88
Jack P4 (2.1 mm)	R\$ 1,50	-	1	R\$ 1,50
Espaçador de Placa PCB RS-12	R\$ 1,50	-	8	R\$ 12,00
Placa de Fibra de Vidro Virgem Dupla Face Cobreada (15 x 30 cm)	R\$ 29,00	Placa	0,6	R\$ 17,40
Mica isolante	R\$ 0,30	-	1	R\$ 0,30
Bucha isolante	R\$ 0,27	-	1	R\$ 0,27
Real Time Clock DS3231	R\$ 14,90	-	1	R\$ 14,90
Módulo Regulador de Tensão LM2596	R\$ 8,78	-	2	R\$ 17,56
Caixa de montagem plástico (30 x 20 x 13 cm)	R\$ 79,20	-	1	R\$ 79,20
Prensa-cabo nylon 16 mm	R\$ 4,00	-	1	R\$ 4,00
Cabo <i>flat</i> colorido 20 vias	R\$ 10,00	-	1	R\$ 10,00
Barra de soquete	R\$ 1,25	-	1	R\$ 1,25
Serviço: impressão UV do circuito na placa cobreada	R\$ 25,00	-	1	R\$ 25,00
Abraçadeira tipo U com cavalete (diâmetro: 2")	R\$ 10,00	-	2	R\$ 20,00
Perfil chato de alumínio 1" x 1/8"	R\$ 6,29	m	0,7	R\$ 4,41
Parafuso sextavado M5 x 8 mm com porca	R\$ 0,30	-	4	R\$ 1,20

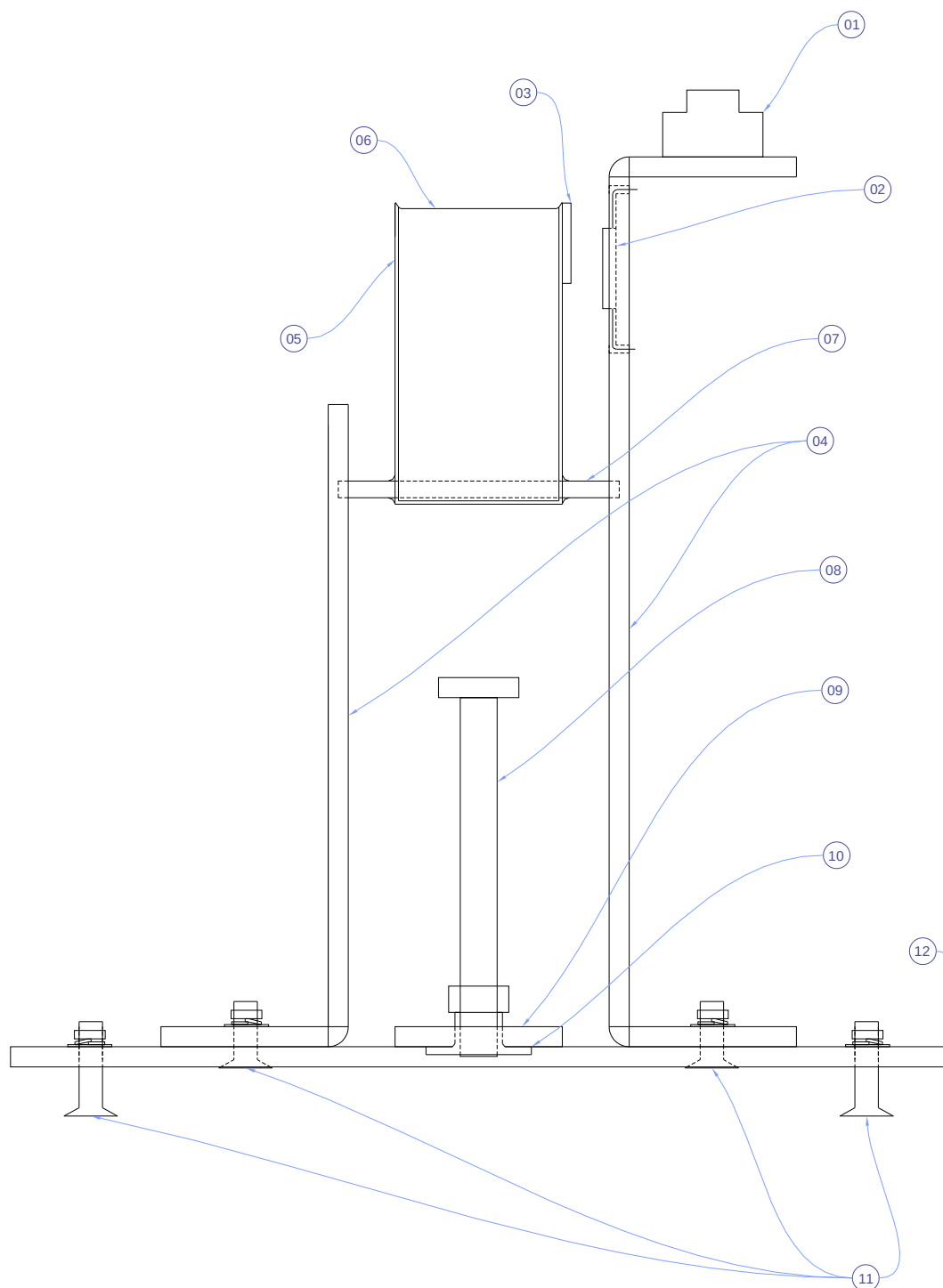
TOTAL	R\$ 383,12
--------------	-------------------

Acessórios: alimentação do datalogger e suporte do pluviômetro

ITEM	R\$/un.	Unidade	Quantidade	Custo
Bateria estacionária 12 V / 7 Ah	R\$ 100,00	-	1	R\$ 100,00
Painel fotovoltaico 10 Wp	R\$ 99,00	-	1	R\$ 99,00
Fonte 18 V / 2 A	R\$ 23,00	-	1	R\$ 23,00
Flange sextavado de aço galvanizado 1 1/2"	R\$ 10,00	-	1	R\$ 10,00
Chapa triangular em aço (espessura 1/8")	R\$ 7,00	-	1	R\$ 7,00
Mola (8 mm x 1")	R\$ 8,00	-	3	R\$ 24,00
Parafuso inox cabeça sextavada 1/4" x 1 1/2"	R\$ 0,72	-	3	R\$ 2,16
Porca borboleta 1/4"	R\$ 0,49	-	3	R\$ 1,47

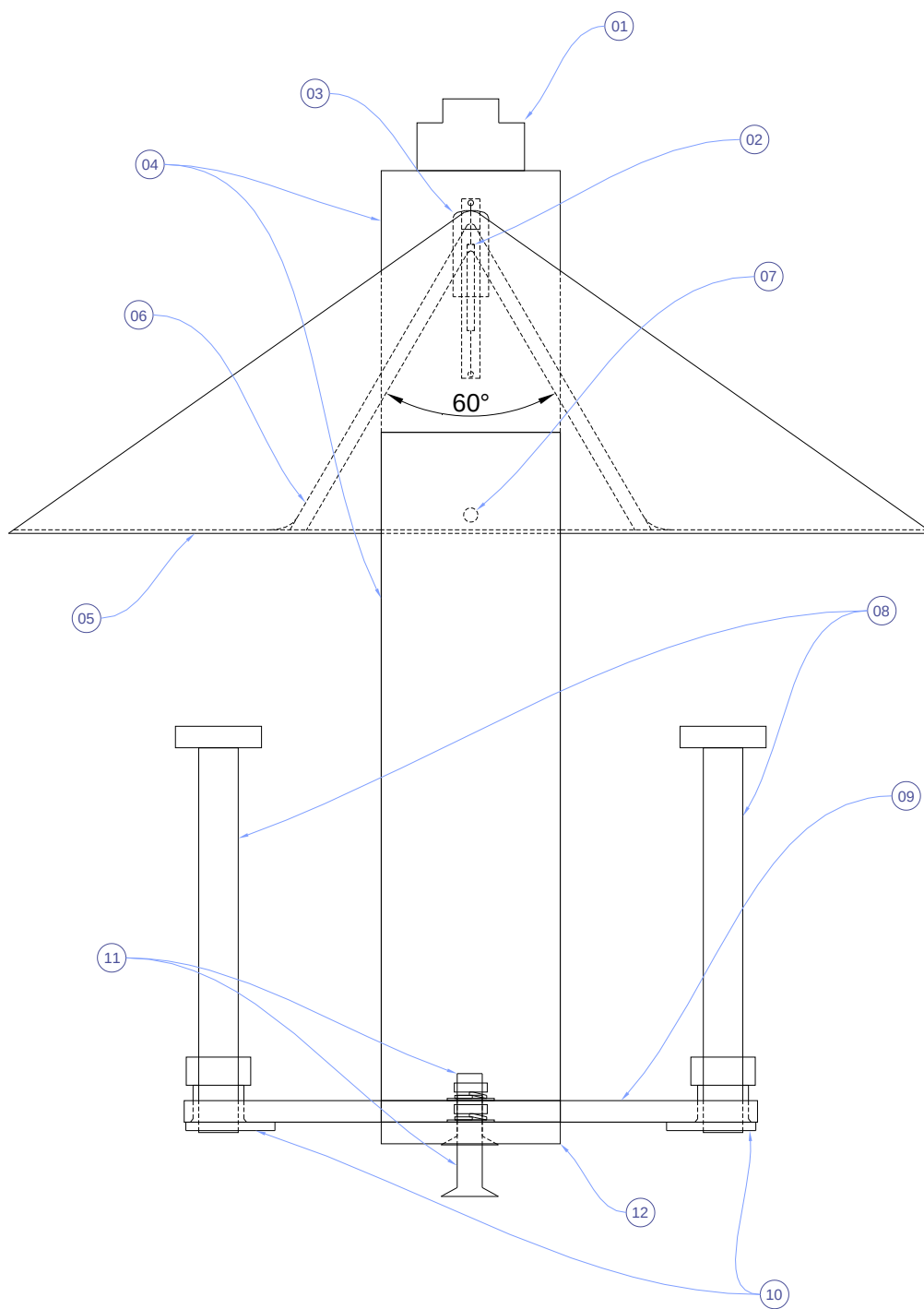
TOTAL	R\$ 266,63
--------------	-------------------

ANEXO III: DESENHOS (VISTA FRONTAL E LATERAL) DO SISTEMA DE BÁSCULA



Escala 1:1

Conteúdo dos anexos elaborado pela autora.

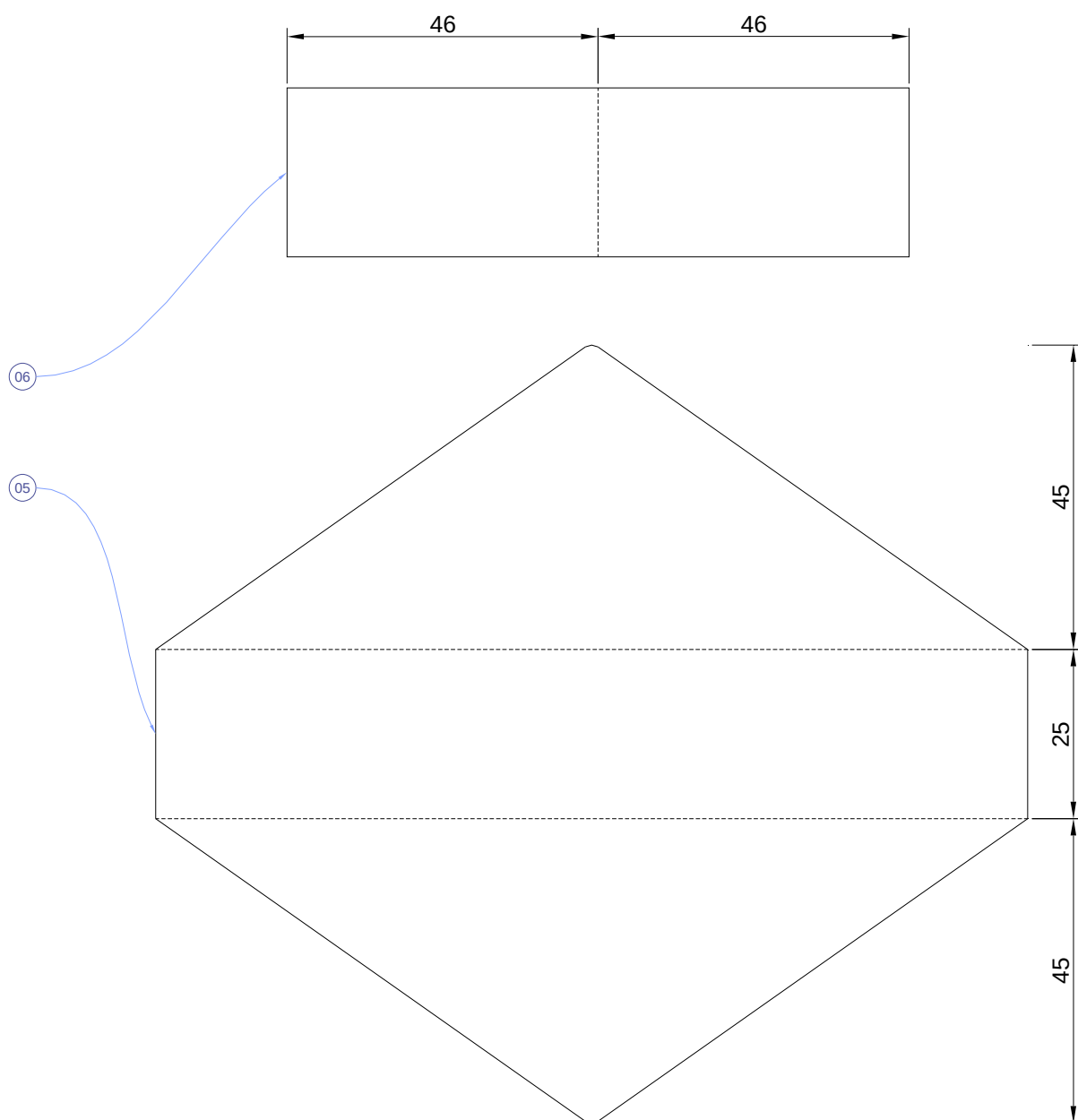


Escala 1:1

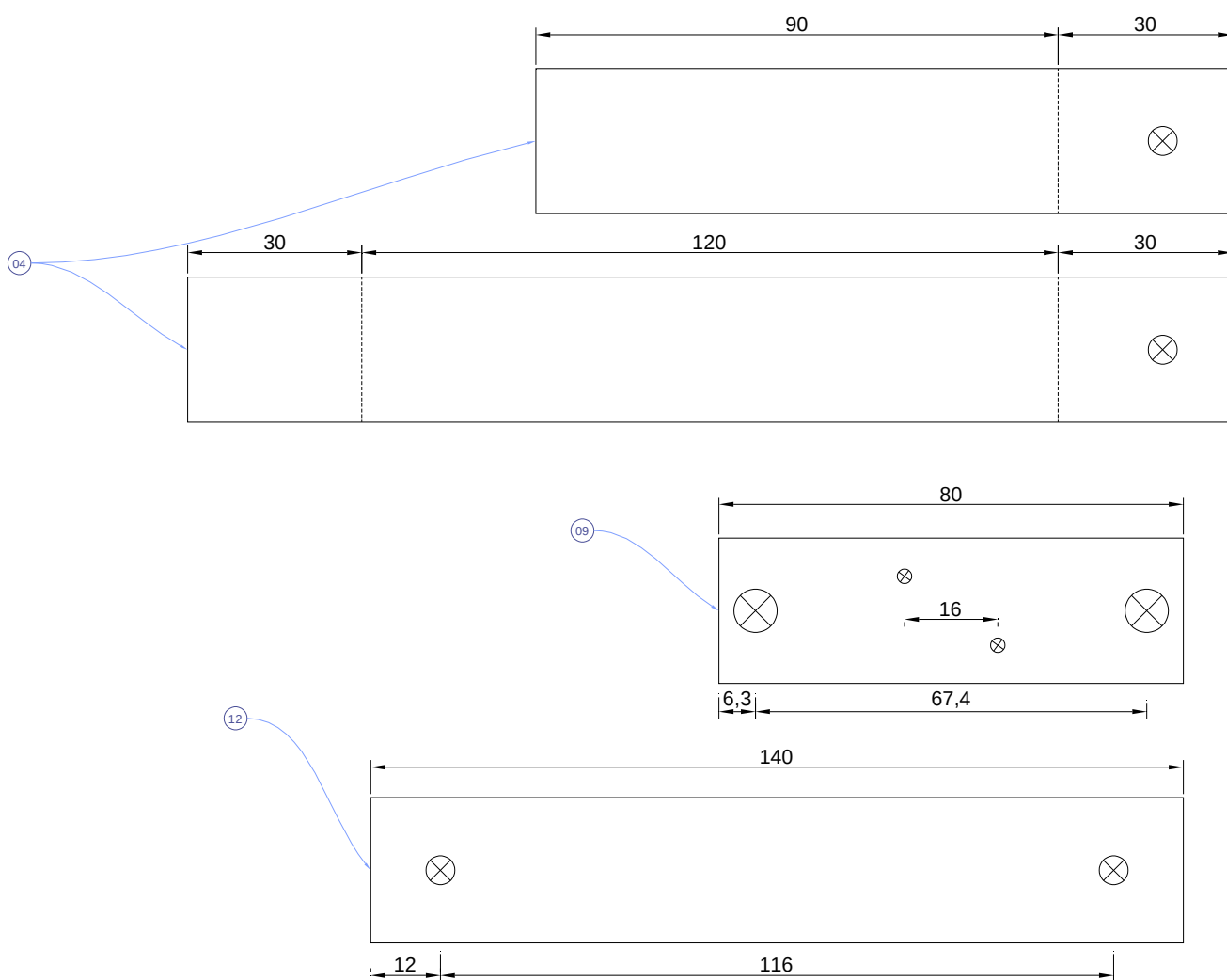
ANEXO IV: DESENHOS DAS PARTES DE ALUMÍNIO QUE COMPÕEM A BÁSCULA

As cotas com unidades omissas estão em mm.

A legenda com todos os itens enumerados está ao final do Anexo V.



Escala 1:1

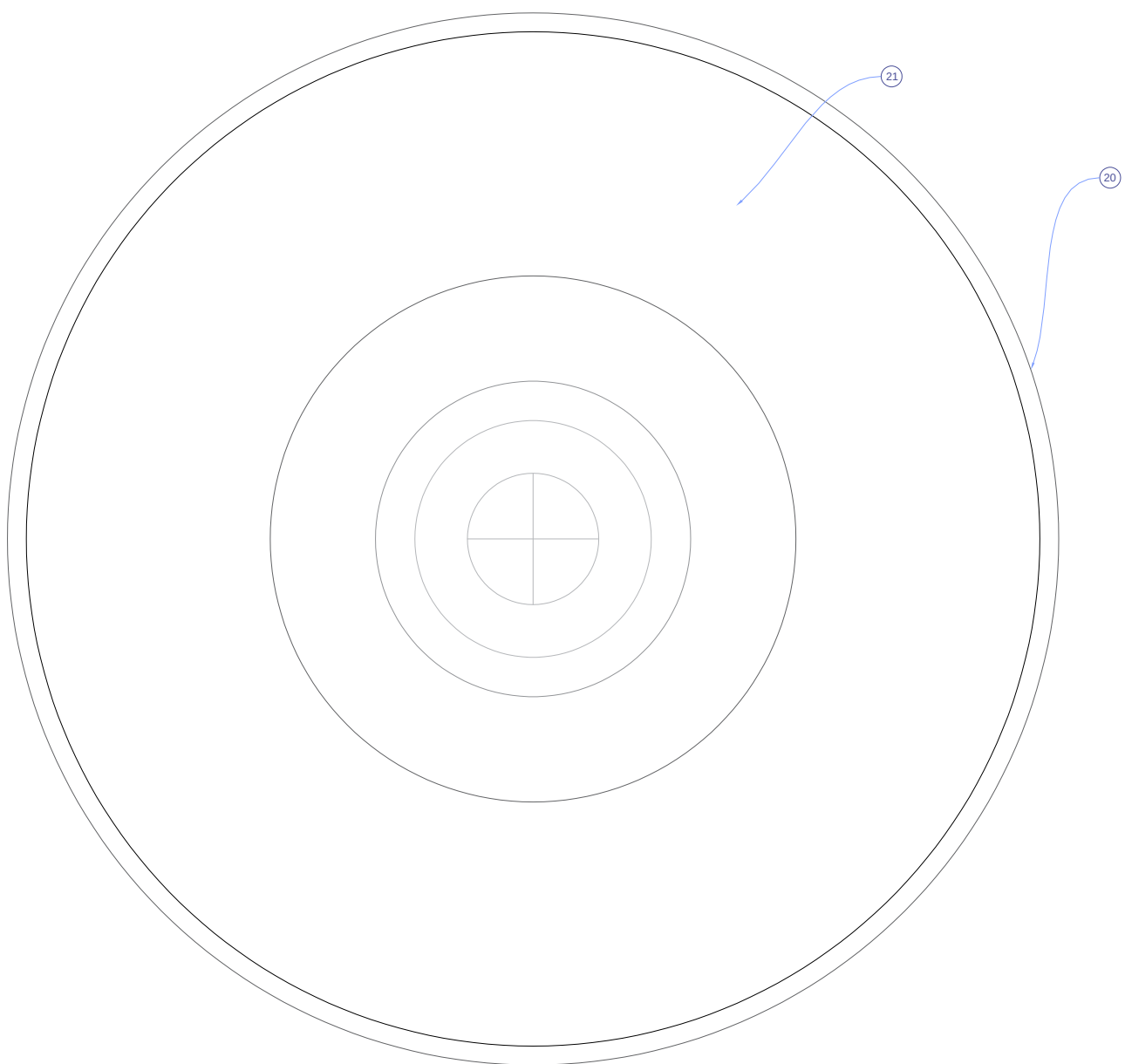


Escala 1:1,25

ANEXO V: DESENHOS (VISTAS E CORTES) DA ESTRUTURA EXTERNA DO PLUVIÔMETRO

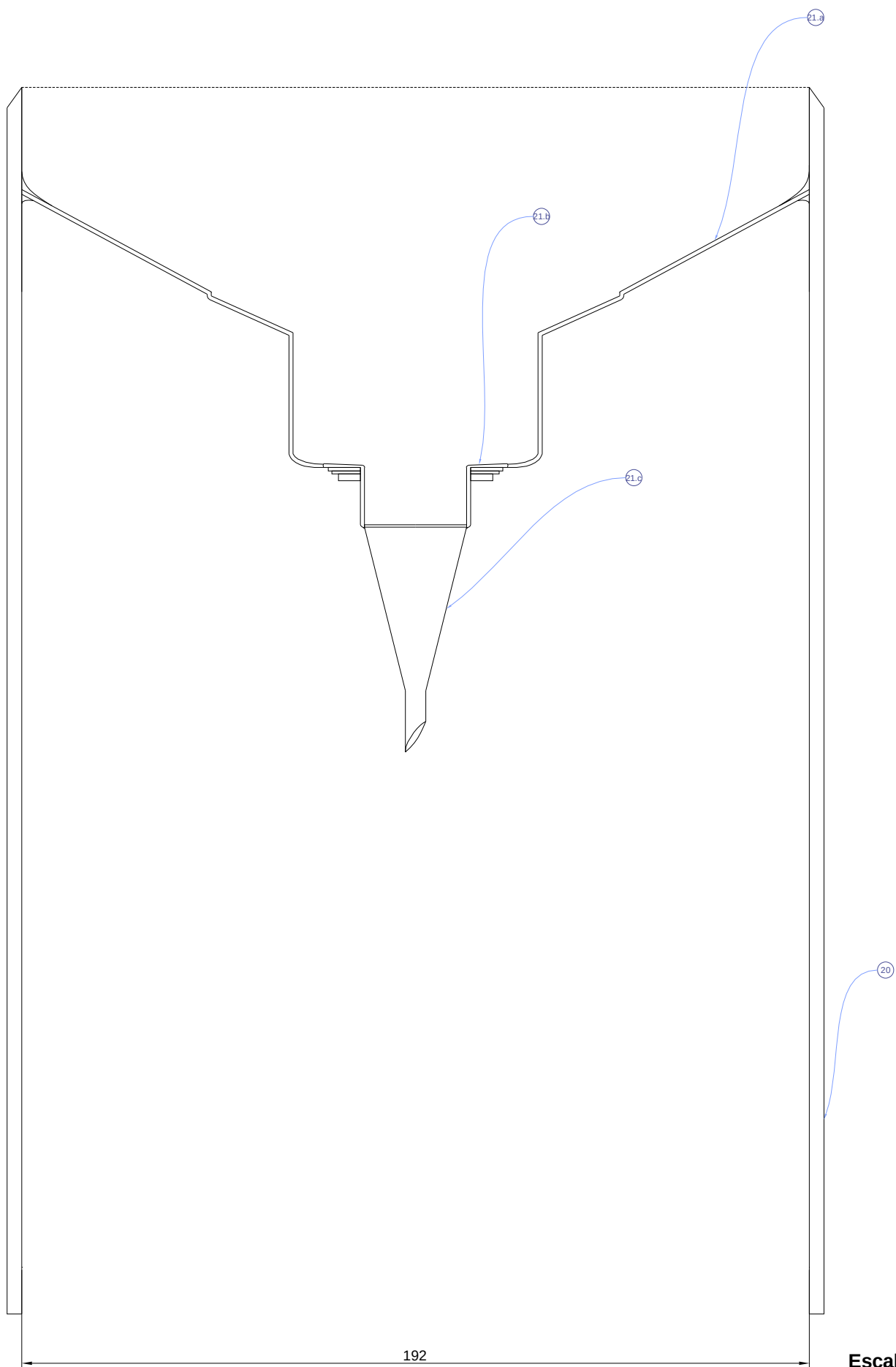
As cotas com unidades omissas estão em mm.

A legenda com todos os itens enumerados está ao final deste anexo.

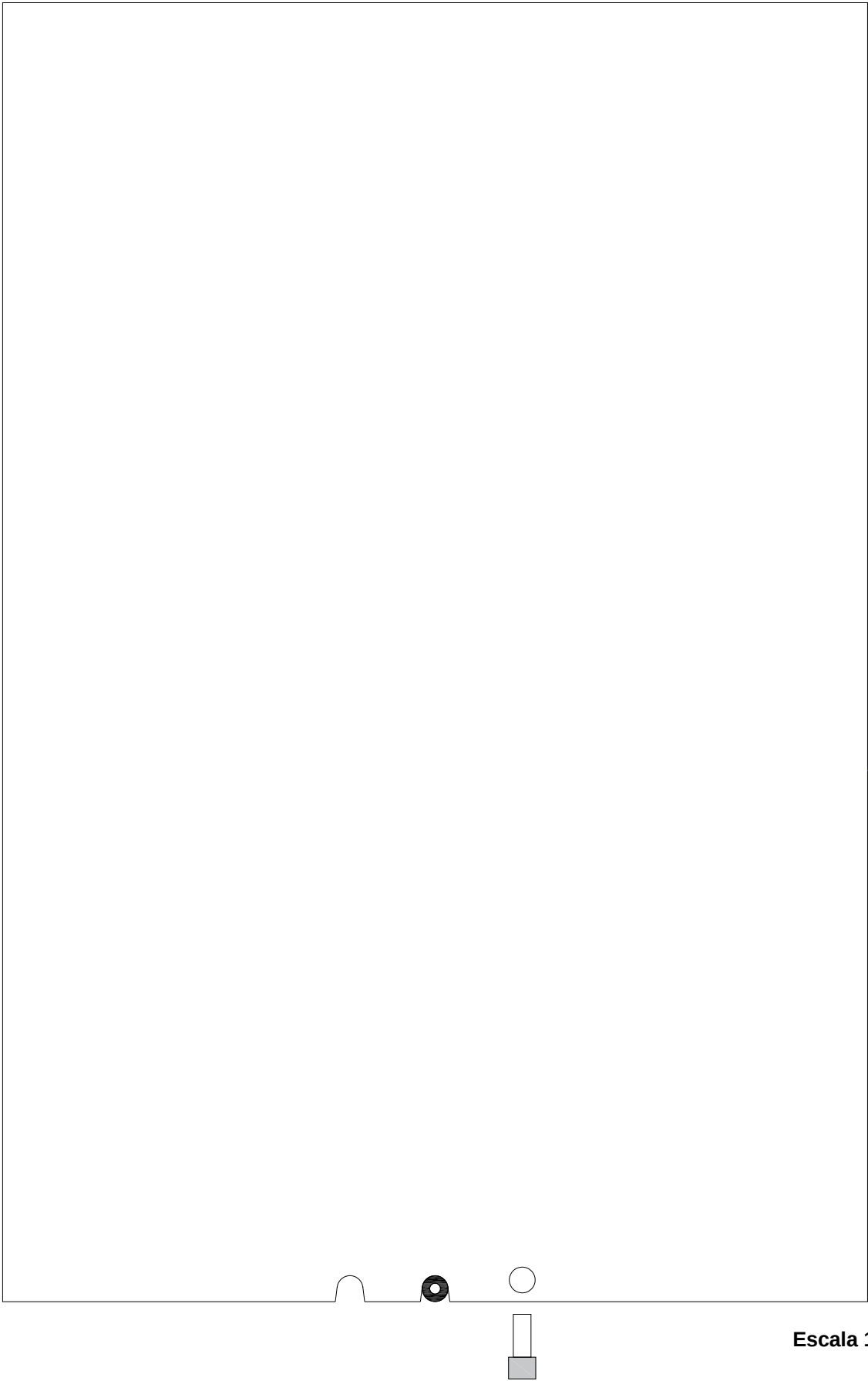


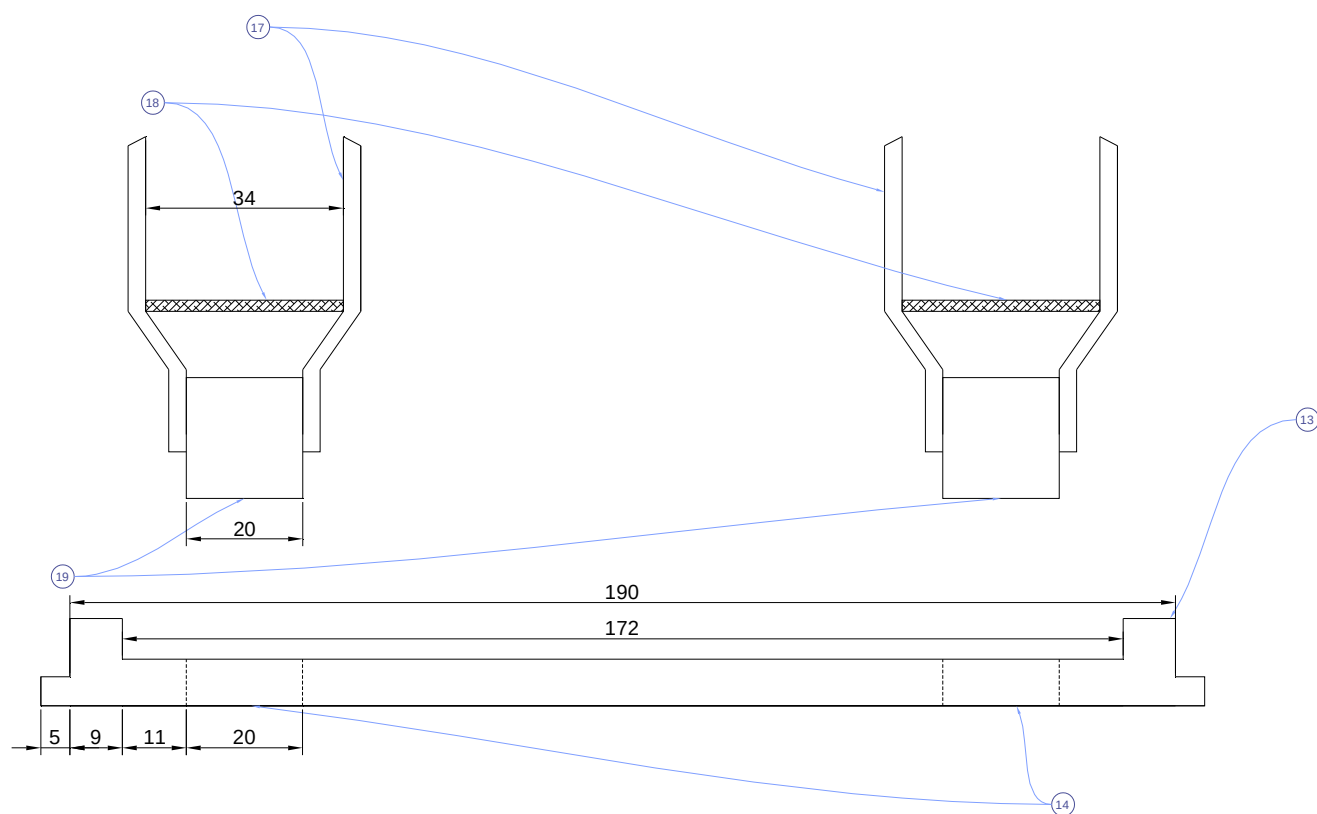
Escala 1:1,25

Conteúdo dos anexos elaborado pela autora.

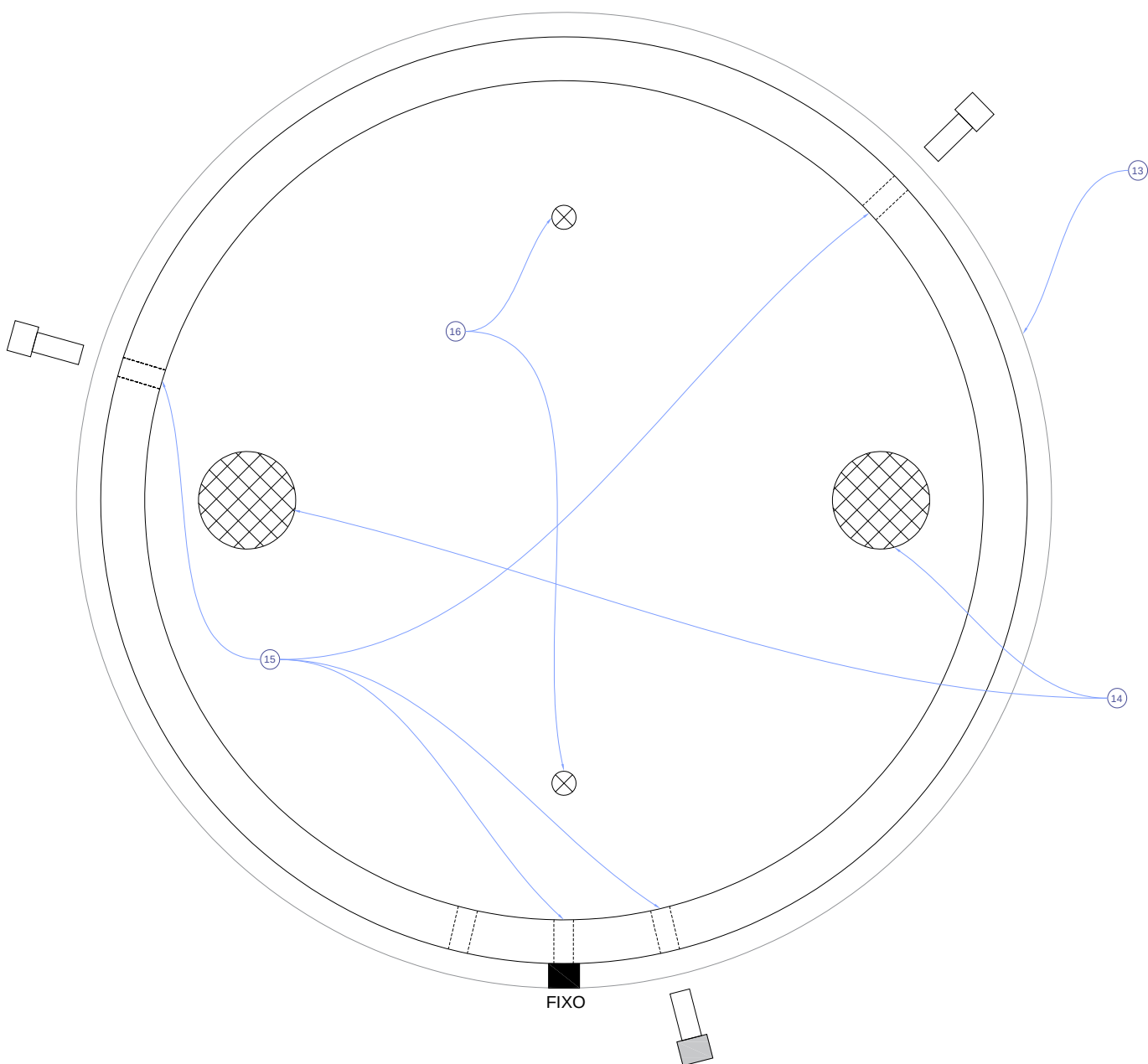


Escala 1:1,35
Conteúdo dos anexos elaborado pela autora.





Escala 1:1,3



Escala 1:1,3

LEGENDA	
01	Conector
02	Reed switch
03	Ímã
04	Estrutura de suporte da balança
05	Balança
06	Rampa interna da balança
07	Eixo (agulha)
08	Parafuso de ajuste da calibração
09	Suporte da estrutura de ajuste da calibração
10	Porca garra (modificada)
11	Parafusos de fixação
12	Estrutura de suporte do sistema de balança
13	Base do pluviômetro (tecnil)
14	Furos para encaixe da estrutura de escoamento
15	Furos rosqueáveis
16	Furos para fixação do sistema de balança
17	Estrutura de escoamento da água da balança
18	Grade da estrutura de escoamento
19	Encaixe da estrutura de escoamento
20	Corpo do pluviômetro
21	Coletor a. Prato de luminária b. Válvula de lavatório c. Bico de confeiteiro

ANEXO VI: COMANDOS AT UTILIZADOS NA CONEXÃO GSM E ENVIO HTTP

Conexão com a rede da operadora

AT+SAPBR=4,1

AT+SAPBR=3,1,\"APN\", \"claro.com.br\"

AT+SAPBR=3,1,\"USER\", \"claro\"

AT+SAPBR=3,1,\"PWD\", \"claro\"

AT+SAPBR=4,1

Envio HTTP

AT+SAPBR=1,1

AT+SAPBR=2,1

AT+HTTPTERM

AT+HTTPINIT

AT+HTTTPARA="URL","http://api.thingspeak.com/update?api_key=[chave do ThingSpeak]&field1=[basculadas em mm]&field2=[tensão na bateria]&created_at=[horário]"

AT+HTTTPARA="CID",1

AT+HTTPACTION=0

AT+HTTPREAD

AT+HTTPTERM

Fim da conexão

AT+SAPBR=0,1

ANEXO VII: DADOS DOS TESTES LABORATORIAIS

Variação do volume precipitado simulado (intensidade constante)

Chuva (mm)	Oscilações da balança	Esperado (ml)	Medido (ml)	Erro (ml)	Erro %
1	4	28,95	29,0	-0,05	-0,17%
1	4	28,95	29,5	-0,55	-1,86%
1	4	28,95	29,8	-0,85	-2,85%
4	16	115,80	116,0	-0,20	-0,17%
4	16	115,80	115,5	0,30	0,26%
4	16	115,80	115,7	0,10	0,09%
8	32	231,60	232,7	-1,10	-0,47%
8	32	231,60	232,0	-0,40	-0,17%
8	32	231,60	232,5	-0,90	-0,39%

Variação da intensidade simulada (volume precipitado constante)

Tempo medido (s)	Esperado (ml)	Medido (ml)	Intensidade (mm/min medido)	Erro (ml)	Erro %
962	115,80	116,00	0,249	-0,20	-0,17%
960	115,80	115,50	0,250	0,30	0,26%
955	115,80	115,70	0,251	0,10	0,09%
481	115,80	118,80	0,499	-3,00	-2,53%
468	115,80	119,00	0,513	-3,20	-2,69%
460	115,80	120,00	0,522	-4,20	-3,50%
270	115,80	124,50	0,889	-8,70	-6,99%
249	115,80	126,00	0,964	-10,20	-8,10%
249	115,80	125,00	0,964	-9,20	-7,36%
138	115,80	130,50	1,739	-14,70	-11,26%
123	115,80	129,00	1,951	-13,20	-10,23%
122	115,80	129,00	1,967	-13,20	-10,23%

ANEXO VIII: FOTOS DO EQUIPAMENTO



Conteúdo dos anexos elaborado pela autora.

