

> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

Felipe Lacerda dos Santos¹
Vinícius Tavares Guimarães²

RESUMO

O presente trabalho introduz uma solução de baixo custo para monitoramento *online* de índices pluviométricos, focando em municípios de pequeno porte que, tipicamente, dispõem de recursos financeiros restritos. Para tal, foi projetado um circuito eletrônico e uma placa de circuito impresso, capazes de aferir o índice pluviométrico e fazer com que os dados coletados sejam enviados para um repositório em nuvem, aproveitando locais que já possuam rede elétrica e conectividade com a Internet. A partir do repositório de dados povoado com os dados mensurados, foi desenvolvida uma aplicação *Web* para a visualização das informações. Essa aplicação visa propiciar o monitoramento *online* e o consequente suporte a tomada de decisão por parte dos gestores e órgãos da defesa civil dos municípios.

Palavras-chave: *pluviometria, baixo custo, monitoramento*

1 INTRODUÇÃO

Reconhecidamente, em nível mundial, as inundações oriundas de chuvas são uma das catástrofes naturais mais perigosas, causando danos à vida e perdas econômicas significativas [1][2]. No contexto da gestão urbana, a medição e monitoramento dos índices pluviométricos é uma preocupação latente, uma vez que as chuvas geram consequências que atuam diretamente no funcionamento das cidades, sem falar na probabilidade de tragédias. Ainda de acordo com Sanches et al. [3] entender o comportamento climático de um lugar fornece auxílio na tomada de decisões, nas gestões dos setores socioeconômico e ambiental, tais como planejamento agrícola, recursos hídricos, turismo, entre outras, visando o bem-estar

O Brasil, desde 2011, possui o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres o qual é conduzido pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Nesse escopo, a partir de uma lista de requisitos pré-estabelecidos, existe um grupo de municípios monitorados por meio de pluviômetros automatizados. Analisando os dados disponibilizados pelo CEMADEN, o estado do Rio Grande do Sul, por exemplo, possui 39³ dos 497⁴ municípios monitorados (*i.e.*, 7,8%). No Brasil como um todo, o CEMADEN monitora, atualmente, 957 municípios de um total de 5570 (*i.e.*, 17,18%). Observando esses quantificadores, é possível identificar que existe um número bastante expressivo de municípios que não são cobertos pelo monitoramento do CEMADEN.

Quando os municípios tentam abarcar com essa responsabilidade, a aquisição de sistemas automatizados de monitoramento pluviométrico se torna proibitiva pelo custo elevado. Para municípios

¹ Instituto Federal do Sul-rio-grandense – Campus Charqueadas - Autor

² Instituto Federal do Sul-rio-grandense – Campus Charqueadas - Orientador

³ <http://www.cemaden.gov.br/municipios-monitorados/>

⁴ https://cidades.ibge.gov.br/download/mapa_e_municipios.php?uf=rs

> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

de pequeno porte⁵ esse aspecto se torna ainda relevante, uma vez que muitos deles sequer contam com uma secretaria de defesa civil estruturada e com orçamento próprio. No caso daqueles municípios que possuem algum tipo de sistema próprio de monitoramento, em geral são soluções que dependem da coleta manual de dados, o que torna o processo trabalhoso e muitas vezes impreciso em decorrência de falha humana. Analisando esse contexto, o presente trabalho foca na seguinte questão problema: **como desenvolver uma solução de baixo custo para medição automatizada e monitoramento *online* dos índices pluviométricos para atender, em especial, municípios de pequeno porte?**

Para tal, é projetado um circuito eletrônico e desenvolvido a placa de circuito impresso, capazes de aferir o índice pluviométrico e fazer com que os dados coletados sejam enviados para um repositório de dados em nuvem, por meio de conexão sem fio com acesso à Internet. Sendo assim, a instalação dos pontos de medição pode ser realizada aproveitando locais que já possuam rede elétrica e conectividade com à Internet (*e.g.*, sedes municipais, como o prédio da prefeitura ou escolas de bairros). A partir do repositório de dados povoado com os dados mensurados, será desenvolvida uma aplicação Web para a visualização das informações. Essa aplicação visa propiciar o monitoramento *online* e o consequente suporte a tomada de decisão por parte dos gestores e órgãos da defesa civil dos municípios.

O trabalho está organizado como segue. Na Seção II são apresentados e discutidos os trabalhos relacionados, posicionando a solução proposta. Na Seção III é detalhada a solução proposta, apresentando-se uma visão geral da arquitetura e, na sequência, o detalhamento de cada módulo desenvolvido. A Seção IV apresenta os resultados do desenvolvimento da solução, bem como faz uma análise com o objetivo de evidenciar o custo-benefício da proposta. Por último, a Seção V apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO & TRABALHOS RELACIONADOS

Devido as condições climáticas do Brasil, a chuva é a precipitação mais significativa em termos de volume, apesar da neve ser muito mensurada em outros países [4]. Esse dado pode ser considerado como mais uma evidência da necessidade de preocupar-se com o monitoramento do índice pluviométrico em países como o Brasil.

Segundo Salgueiro [5], a pluviometria é definida como a parte da hidrologia que aborda os processos mensuráveis, ou a avaliação dos valores que representam o tamanho de um evento de precipitação em determinada região ou bacia hidrográfica. Para a aquisição de dados pluviométricos são utilizados equipamentos específicos, os quais são instalados estrategicamente seguindo algumas recomendações técnicas para que possam ser adquiridas amostras e então torná-las mensuráveis. A precipitação pluviométrica é geralmente quantificada através do instrumento meteorológico chamado udômetro, também conhecido como pluviômetro.

⁵ Segundo as classes de tamanho da população dos municípios provida pelo IBGE, está se utilizando como pequeno porte, municípios com até 100.000 habitantes.

> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

Mundialmente, existem diferentes modelos de pluviômetros. No Brasil, o mais difundido é o padrão francês conhecido pelo nome de *Ville de Paris*. O dispositivo consiste em um recipiente com o corpo construído em chapa de aço inoxidável, capacidade aproximada de 5 litros e um coletor em forma de cone horizontal fixados através de um par de braçadeiras, para estabilidade [4]. A medição é feita posteriormente através de uma proveta graduada. Esse tipo de coletor se enquadra na categoria de medidores analógicos, tendo como principais aspectos negativos as recomendações de instalação supracitadas e a dependência de intervenção humana para aquisição das medições. A Figura 1a, apresenta um exemplo desse tipo de pluviômetro.

Outro tipo de coletor bastante utilizado é o de tipo basculante. Este tipo de coletor é menor, mas também construído de aço inoxidável ou alumínio, e no interior do seu recipiente a chuva é coletada por uma caçamba d'água em dois compartimentos e um pequeno funil que direciona toda a água para a caçamba [6]. A cada vez que o nível de um compartimento é completado a caçamba gira, descarregando a água acumulada. Uma contagem é feita e o outro compartimento fica disponível. A altura que faz o giro da balança é definida pelos fabricantes em torno de 0,25mm o que oferece precisão adequada. Assim essa balança fica alternando a posição e através do registro de cada giro pode-se calcular o volume de água precipitado. Logo, aparelhos externos são necessários para efetuar essa contagem, como por exemplo, um *data logger*. Em geral, as principais soluções computacionais de mercado utilizam coletor do tipo basculante, pois ele tem a vantagem de ser mais preciso com medições da balança (que pode ser calibrada, bem como é de mais fácil conversão para uma leitura digital automática. A Figura 1b, apresenta um exemplo desse tipo de pluviômetro, especificamente o que está sendo utilizado na presente proposta.

Figura 1: Dois tipos de pluviômetro mais utilizados



(a) *Ville de Paris*



(b) Basculante

> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

A. *Trabalhos Relacionados*

Antes de discorrer sobre os trabalhos diretamente relacionados a presente proposta, é importante destacar que, ao fazer a busca por soluções de baixo custo, existem trabalhos focados na confecção de instrumentos de baixo custo para a medição pluviométrica [7][8]. Especificamente, em tais propostas são projetados e construídos pluviômetros alternativos (do tipo *ville de paris*) de plástico ou material reciclável. Dessa forma, embora também tenham foco em minimizar custos, tais propostas não estão no mesmo escopo da presente proposta pois utilizam uma abordagem puramente analógica e baseada na intervenção humana.

Entrando na seara de sistemas computacionais propriamente ditos, inicia-se pelos sistemas computacionais com *datalogger*. De acordo com Mitzner [9], em sua forma mais básica, a tarefa de medição e registro de parâmetros físicos ou elétricos em um intervalo de tempo é chamada de *datalogging*. Nesse contexto, dispositivos específicos são capazes de medir e registrar dados, com funções de análise incorporadas e displays de visualização. Aplicações que exigem uma única medição podem ser supridas por essa abordagem. No entanto, existem modelos multicanais e modulares com uma combinação de tipos de medida. Estes instrumentos medem sinais, convertem esses sinais em dados digitais e tem a capacidade de armazenar os dados calculados em uma memória interna. Por este motivo, é imprescindível que o sensor utilizado seja totalmente compatível com o datalogger. A recomendação dos fabricantes é de manter ambos da mesma série para garantir a compatibilidade. Os dados armazenados devem ser fisicamente transferidos a um computador para possibilitar a visualização, eventual análise e o armazenamento permanente.

Alguns modelos disponíveis no mercado possibilitam que a base de recebimento dos dados fique até vinte metros para recebimento dos valores do coletor. Nesse caso, a transferência de dados é realizada por meio de rádio frequência. Para a mensuração do índice pluviométrico, tipicamente, as informações de precipitação ficam armazenadas no sistema de registro do *datalogger*. Dessa forma, estes sistemas dependem do deslocamento rotineiro de um profissional capacitado até o local, com equipamentos externos compatíveis para coleta e aquisição dos dados. O trabalho apresentado por Kuchler et al. [10] propõem um hardware de baixo custo para aquisição e registro de dados pluviométricos que se assemelha muito aos sistemas com *dataloggers*.

O fato desse tipo de solução envolver, rotineiramente, a operação humana para coleta de dados, se consolida como um dos principais pontos negativos dessa abordagem. Além de ser fortemente propensa a erro, a necessidade de deslocamento para coleta pode conduzir a um aumento significativo de custos. Adicionalmente, como nessas abordagens não existe o envio periódico dos dados, se torna operacionalmente inviável o monitoramento remoto e online (próximo de tempo real).

Na sequência, tem-se os sistemas computacionais automatizados. As soluções automatizadas disponíveis no mercado utilizam o mesmo tipo de coletor basculante. Elas se destacam não demandarem o deslocamento de um humano até o local de instalação do dispositivo para coleta dos dados. Em geral,

> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

utilizam um sistema de hardware proprietário do fabricante que substitui o datalogger. Em essência, esses sistemas são mais avançados que os *dataloggers* e, portanto, conseguem efetuar as medições da mesma forma, mas também manter uma conexão com o servidor para transferência dos dados. Vale ressaltar que nestas soluções os dados coletados são armazenados pela fabricante e disponibilizados ao cliente por meio de uma interface Web. A autorização e manutenção do acesso do cliente a essa ferramenta é formalizada por meio de um plano anual de pagamento. Normalmente, a comunicação entre dispositivo e a base central é realizada através da tecnologia *Global System for Mobile Communications* (GSM), no qual o cliente tem de arcar com a sobrecarga de custos de plano anual da conexão de dados que geralmente também é acordada com o próprio fabricante.

Dentre os modelos analisados, assim como o modelo D3 fabricado por *Pessl Instruments*⁶, as especificações do fabricante têm como atrativo o uso de baterias recarregáveis através de energia solar. Assim, não se faz necessária a disponibilidade de rede de energia elétrica no local. No entanto, isso muda algumas características de uso do aparelho, pois o fator de consumo de energia é extremamente relevante. Neste caso, geralmente, o aparelho é configurado para um intervalo de medidas mais longo. Tipicamente, são realizadas medições em intervalos diários, o que prejudica a qualidade dos dados para averiguação da intensidade de precipitação.

Essa abordagem é amplamente utilizada no setor agrícola e existem poucos fabricantes nacionais deste tipo de equipamento. Em grande maioria são empresas estrangeiras, o que faz com que exista um acréscimo de custo de terceiros no Brasil que, geralmente, não tem interesse operar com poucas unidades e/ou pouco tempo de contrato. Assim, muitos deles apenas disponibilizam valores mediante orçamento individual. Tem-se ainda o Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE)⁷ desenvolvido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), o qual é capaz de coletar, armazenar, analisar e divulgar os dados das estações automáticas coletados por diversos equipamentos Hidrometeorológica. No entanto, uma estação desse sistema tem custo aproximado de aquisição em R\$ 50.000,00. Esse é o valor de investimento inicial, ou seja, não considera o *Total Cost of Ownership* (TCO), que pode elevar significativamente os custos, com treinamentos, atualizações de versão, hospedagem, dentre outros aspectos. Dessa forma, esse tipo de solução se torna proibitiva para a grande maioria dos municípios de pequeno porte.

Como terceira abordagem de soluções computacionais, tem-se o que se intitula, nessa proposta, de soluções alternativas. Normalmente, são propostas em nível de protótipo construídas com *kits* de ferramentas de prototipação. Um exemplo bastante comum desse tipo de ferramenta é a plataforma *Arduíno*⁸, bastante difundido nas escolas e universidades, por ser de fácil manuseio, contando com protótipo de software para desenvolvimento de forma intuitiva. De fato, esse tipo de ferramenta didática é bastante adequada e ajuda em diversos projetos onde se deseja testar conceitos rapidamente, sem precisar criar hardware com microcontrolador, cristal oscilador e fonte de alimentação. O trabalho

⁶ <http://www.pesslinstruments.com/>

⁷ <http://www.cprm.gov.br/sace/>

⁸ Plataforma *open-source* de prototipagem eletrônica com *hardware* e *software* para microcontroladores *Atmel*.

> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

apresentado por Sanches et al. [3] apresenta uma proposta de pluviômetro de baixo custo utilizando Arduino.

Por outro lado, segundo Mitzner [9], ferramentas como Arduino podem criar a falsa impressão de programação, pois cada projeto de circuito elétrico tem características únicas, que deve ser dimensionado especificamente para o uso desejado. Assim, um protótipo de conceito, para chegar a um produto final, terá de ser realmente projetado desde o circuito elétrico até o *layout* da placa de circuito impresso. Além disso, a produção em escala é um outro ponto negativo para uma proposta utilizando Arduino, uma vez que aumentaria os custos, sem garantir as necessidades de uma solução em produção.

Em suma, observa-se no presente trabalho uma oportunidade concreta de resolução de um problema real, que possui uma carência latente de produtos genuinamente nacionais e que pode viabilizar um incremento significativo na capacidade de municípios de pequeno porte monitorarem os índices pluviométricos.

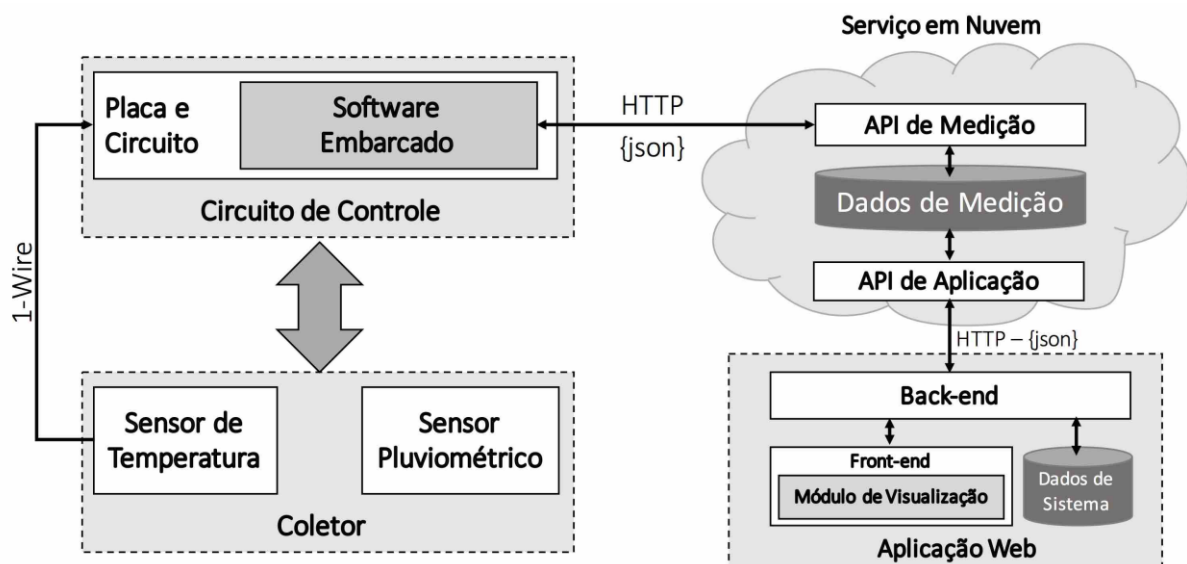
3 SOLUÇÃO PROPOSTA

A presente seção apresenta o delineamento da solução proposta. Inicialmente, é apresentada uma visão geral da arquitetura. Em seguida, cada módulo é detalhado.

A. Visão Geral

A solução proposta está estruturada conforme a arquitetura apresentada na Figura 2, contando com os seguintes módulos: (i) módulo coletor com sensor de temperatura e pluviômetro; (ii) circuito de controle; (iii) serviço em nuvem para armazenamento dos dados de medição; e (iv) aplicação Web de visualização e suporte a tomada de decisão.

Figura 2: Arquitetura da solução proposta



> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

B. Módulo Coletor

O aparelho utilizado como protótipo no projeto para coleta de amostras de precipitações é do tipo basculante, um pluviômetro de projeto personalizado construído inteiramente em alumínio, o que proporciona alta durabilidade, dada a sua resistência a intempéries climáticas. As dimensões básicas do aparelho são de 160mm de altura e 117mm de diâmetro, com um coletor de 147mm de diâmetro e um peso total de aproximadamente 300g. O dispositivo conta com um inclinômetro acoplado no lado externo do aparelho que facilita significativamente a instalação do mesmo. A balança segue o padrão dos mais utilizados, com precisão de 0,25mm, com suporte para ajuste fino.

O dispositivo é projetado para auto esvaziamento, ou seja, no momento após efetuado o registro de precipitação, ele automaticamente esvazia a balança, e a amostra é liberada do recipiente. Dessa forma, não existe acúmulo de água no seu interior, o que dispensa a necessidade do deslocamento periodicamente até o local da instalação para executar esse processo.

Acoplado ao Módulo Coletor há também um sensor de temperatura que é capaz de operar na faixa de -55°C à +125°C com conversor analógico/digital e uma memória para constituição dos valores convertidos e limites de temperatura com um sistema de proteção integrado. O sensor utiliza protocolo proprietário 1-*wire*. É importante destacar que o fabricante disponibiliza as ferramentas e uma documentação bastante completa, dentre outros recursos, aliado a um custo baixo frente a modelos similares, a escolha do circuito integrado.

C. Circuito de Controle

Conforme representado na Figura 3, o diagrama geral do circuito é abstraído nos subcircuitos de Fonte de Alimentação, Processamento e Controle Wi-Fi e o Circuito de Aferimento, responsável pela conexão entre os sensores utilizados e a própria placa de controle.

Essencialmente, o Circuito de Controle é responsável por monitorar e aferir o Módulo Coletor, computar essas informações e estabelecer uma conexão *Wi-Fi* para efetuar requisições HTTP para a *Application Program Interface* (API) de Medição. Para isso, o circuito é equipado com um *System on a Chip* (SoC) com processamento de 80Mhz e suporte para ao protocolo mais comumente utilizado em conectividade sem fio para redes locais, o 802.11 nas versões b/g/n.

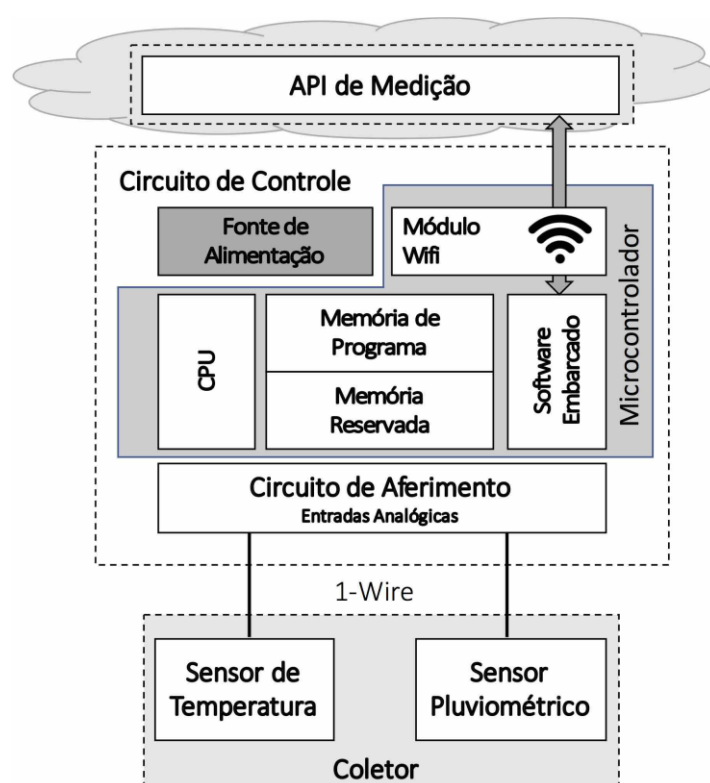
Com conexões opto-acopladas o Circuito de Controle mantém uma conexão mais segura com o Módulo Coletor, uma proteção extra contra possíveis acidentes elétricos, pensando na segurança do local e das pessoas próximas ao equipamento. O circuito recebe alimentação de uma fonte externa de 6-9vDC e conta com dois estágios de filtragem e regulação de tensão linear o que vem proporcionando resultados favoráveis em termos de estabilidade nos testes realizados até o momento.

> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

Figura 3: Diagrama geral do circuito de controle



D. Projeto do Hardware

Aqui, é apresentado o projeto do circuito propriamente dito, destacando a simulação, projeto da placa e o software embarcado.

1) *Projeto do Circuito:* Cada Circuito Integrado (CI) necessita de uma determinada quantidade de potência elétrica para operar. Essa potência é suprida por uma ou mais fontes de tensão, conectadas aos pinos de alimentação do *chip*. Por este motivo, o projeto do circuito conta com dois circuitos reguladores de tensão em cascata. O primeiro circuito regulador de tensão de alta é projetado para receber a tensão de alimentação de entrada, proveniente de uma fonte externa que pode trabalhar na faixa de 6V a 9V, para fornecer na saída aproximadamente 5V como uma referência. Como os circuitos integrados utilizados trabalham em nível lógico de 3,3v, se faz necessário o segundo regulador, no caso um *Low Drop Out* (LDO), para fornecer a tensão de alimentação correta para o funcionamento dos *chips*. O motivo de não se regular diretamente para os 3,3v desejados, se dá pelo fato da dissipação de calor em cima dos reguladores, sendo que a potência dissipada é proporcional a diferença de potencial entre a entrada e saída dos reguladores. Em todos os testes está sendo utilizada uma fonte de 7,5v e a

> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

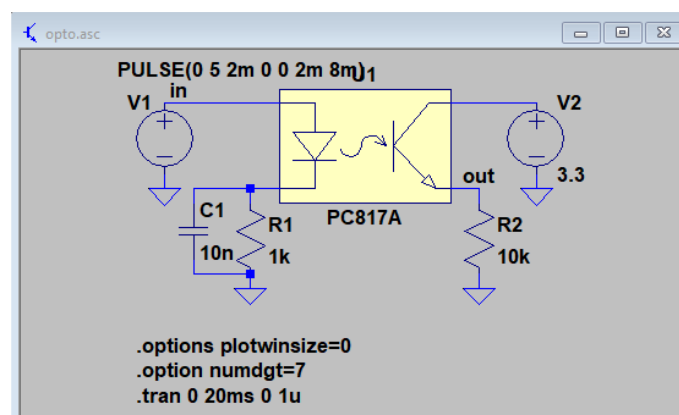
temperatura dos reguladores não excederam a 6C acima da temperatura ambiente, o que é considerado seguro.

O Circuito Integrado (CI) do sensor de temperatura digital da *Maxim*⁹ utiliza o protocolo proprietário *1-wire*, se encontra no encapsulamento TO-92 e de fácil implementação, com alimentação positiva (VCC), *Ground* (GND), e DATA, responsável pela comunicação com o microcontrolador através do protocolo proprietário.

O circuito capaz de efetuar o aferimento do índice pluviométrico, como se dá a partir de um *reed switch* por meio de acoplamento óptico. O optoacoplador consegue manter como uma chave de acionamento, sem ligação ôhmica, fornecendo segurança para o circuito pois, caso um curto ocorra com a carcaça do pluviômetro, não haveria contato elétrico físico protegendo o restante do circuito.

2) *Simulação*: A necessidade de se utilizar programas computacionais para análise das condições de funcionamento de circuitos eletrônicos é evidente para a finalidade de se analisar o projeto, afim de se minimizar erros de projeto que só seriam encontrados após a fabricação da placa de circuito impresso, que se traduz em prejuízo. Para este trabalho foi utilizado o *software LTspice* da empresa *Analog Devices* que, além de gratuito, é bastante completo. Foram realizadas simulações da etapa de entrada do *reed switch*, que será proveniente do coletor basculante. O circuito é bastante simples, utilizando o optoacoplador PC817. O esquemático de simulação pode ser analisado na Figura 4.

Figura 4: Esquemático de simulação



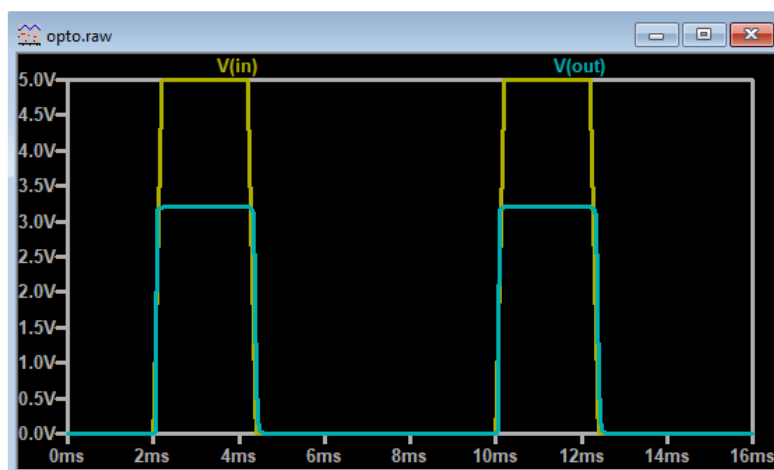
⁹ <https://www.maximintegrated.com/>

> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

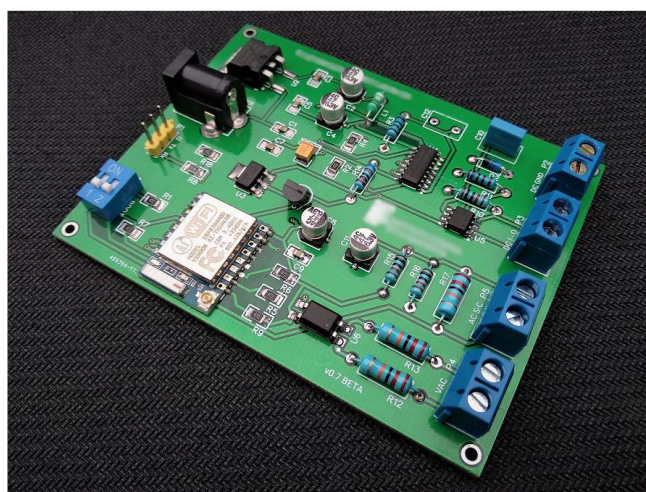
Figura 5: Gráfico da simulação



Sucintamente, o *reed switch* será acionado por meio da búscula do pluviômetro, representado pelo $V(in)$ no gráfico (Figura 5), e através da sua alternância de estado é polarizado o fototransistor do optocoplador. Assim tem-se um isolamento ôhmico para o microcontrolador que recebe um sinal limpo do nível lógico adequado para o mesmo, que no caso é de 3,3v representado pelo $V(out)$ no gráfico (Figura 5).

3) *Projeto da Placa*: Esta subseção tem como objetivo apresentar o protótipo desenvolvido da placa de circuito impresso (v0.7) (ver Figura 6) que foi utilizado até o presente momento e suas principais características, bem como o projeto da próxima versão (0.8) que está já está sendo desenvolvida e os aperfeiçoamentos atingidos.

Figura 6: Protótipo PCB v0.7



Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

Na parte inferior esquerda da placa, estão localizados os pinos de conexão *Universal Asynchronous Transmitter* (UART) que é utilizada para atualizações de *firmware* e que em alguns casos pode também servir como *debug* do sistema, e é configurado conforme apresentado na Tabela 1.

Figura 7: Projeto PCB v0.8

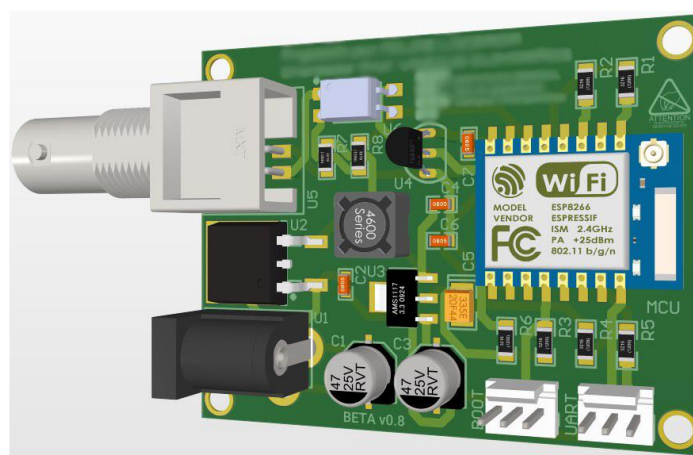


Tabela 1: UART

Pino	Função
1	Ground
2	Transmissão
3	Recepção

O *jumper* de seleção de modo de *boot* é utilizado para configurar o modo de inicialização do sistema. Podendo iniciar em modo normal, onde vai fazer a execução do código gravado no *firmware*, e em modo flash, que é utilizada para atualização de *firmware*. O *jumper* é configurado conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Modo de boot

Posição	Modo
1-2	Modo Normal
2-3	Modo Flash

Em essência, a Figura 7 apresenta a modelagem 3D da versão 0.8 que foi projetada utilizando o software *Altium Design* juntamente com o software *SolidWorks*. Esta nova versão apresenta uma otimização layout da placa de circuito impresso, o que proporciona uma estabilidade geral ainda maior

> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

para o circuito, e conseqüentemente ainda resultou em uma placa mais compacta com medidas aproximadas de 4,5cm X 6cm.

Também foi adicionado um conector para conexão com o Módulo Coletor, que é do tipo *Bayonet Neill Concelman* (BNC), uma opção bastante difundida no mercado. No entanto, ainda serão necessários testes para averiguar a pressão que será exercida do conector sobre a placa de circuito impresso, podendo trazer problemas sérios de envergadura. Em versão de produção é possível que o mais adequado seja melhor utilizar conectores de painel, isso deverá ser analisado paralelamente ao desenvolvimento de um chassi de proteção para o circuito de controle.

4) *Software Embarcado*: No projeto, é utilizada memória flash de 8Mbits, sendo que 4Mbits são utilizados para *firmware* padrão do dispositivo *Wi-Fi*, restando assim 4Mbits para implementação de código. O software embarcado é baseado nas bibliotecas oficiais da *Expressif Systems*. Como o controlador *Wi-Fi* é unificado no mesmo chip do microcontrolador, é necessário apenas setar as configurações preferidas na camada de enlace (como o protocolo 802.11n) e o fabricante disponibiliza de forma proprietária o restante dos níveis mais baixos da camada de rede, eliminando a necessidade de criação dos mesmos, o que acelera o processo e agiliza a programação. Nesse contexto, configurou-se o protocolo na camada de transporte para *Transmission Control Protocol* (TCP) e protocolo IPv4 para camada de rede. A priori não será desenvolvido qualquer Interface Homem-Máquina (IHM) para configurar os parâmetros de conexão, sendo necessário a declaração dos parâmetros no próprio *firmware*.

O funcionamento lógico para informar o movimento da balança do pluviômetro provém de uma tensão injetada aos terminais do *reed switch*. De acordo com o movimento da balança o *switch* fecha o circuito polarizando-o, desta forma uma tensão é apresentada representando um nível lógico *Transistor-Transistor Logic* (TTL) para o microcontrolador. Sendo assim, através da monitoração de alternância deste nível lógico, se entende indiretamente que houve movimentação na balança do coletor, indicando o acúmulo de 0.25mm de chuva.

Como já apresentado, o sensor de temperatura utiliza o protocolo de comunicação *1-wire* que tem como atrativo o fato de se fazer necessário um único pino de conexão de dados com o microcontrolador. A *Maxim Integrated*¹⁰ também fornece o um kit de desenvolvimento completo para o protocolo *1-wire*, com uma versão minimalista que facilita bastante o desenvolvimento. Como é baseado em pulsos, a biblioteca agrupa estes pulsos e retorna em retornos comuns de função. Mas para melhor entender o funcionamento do protocolo, cada dispositivo tem sua própria identificação, um valor bruto onde o primeiro bit é descartado, e o último representa o *Cyclic Redundancy Check* (CRC) que é um mecanismo simples para validar informações digitais, e por fim os valores de temperatura em *Celsius* e *Fahrenheit*.

¹⁰ <https://www.maximintegrated.com/>

> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

Com a aquisição dos dados concluída, um arquivo json é criado com os valores e informações do próprio dispositivo (até o momento tem sido utilizado o número serial do dispositivo). Então é efetuada a requisição HTTP com verbo POST, com o json criado e o token que fornece acesso a API incluso no cabeçalho. A requisição HTTP do dispositivo de controle é apresentada na Figura 8.

Figura 8: Requisição HTTP do dispositivo de controle

```
POST /measures HTTP/1.1
Host: felipe-dev.herokuapp.com
Content-Type: application/json
x-access-token:
eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJlbWFnZWVudXVuaXhAZ21haWwY29tIiwiaWF0IjEsIm1hdCI6MTUxMTczOTIyNywiZXhwIjoxNTExODI1NjI3fQ.AF4tKfTvb2MQcR-ps4UQgAOzAf8k9PecbsOje91NR84
Cache-Control: no-cache

{
  "serialNumber": "PV1509BR",
  "pluviometer": "1",
  "temperature": "23"
}
```

E. Serviços em Nuvem

Até o presente momento tem-se quatro serviços em nuvem: (i) API de Medição, (ii) servidor de banco de dados SQL para armazenamento dos dados de medição, (iii) API de Aplicação e (iv) aplicação Web para visualização das informações e suporte a tomada de decisões. Todos os serviços se encontram em execução na plataforma *Google Cloud*¹¹.

Essencialmente, por meio da API de medição, os dispositivos medidores efetuam uma requisição HTTP, enviando os dados coletados. A API é capaz de autenticar e tratar essa requisição para registro dos dados no banco de dados, pois conhece a semântica dos dados, bem como a identificação do dispositivo. A autenticação foi desenvolvida utilizando o *JSON Web Token* (JWT), uma solução para autenticação utilizada em APIs REST. O JWT é autocontido, ou seja, carrega consigo todas as informações que permitem validar a sua autenticidade. Também permite enviar informações, seja ela qual for podendo ser trafegado numa URL, ou através dos *headers* da solicitação HTTP.

Já a API de Aplicação é responsável por fornecer as informações registradas no banco de dados através de rotas específicas de acordo com a necessidade da aplicação *Web* que a invoca. Essas rotas retornam as informações no padrão JSON, o qual é amplamente aceito e utilizado pela comunidade de desenvolvedores Web. Também é conveniente ressaltar que a opção por estruturar a API de Aplicação de forma dissociada da API Medição se deu, principalmente, para possibilitar que outras aplicações de *front-end* possam consumir dados dos dispositivos de medição. Em outras palavras, essa abordagem

¹¹ <https://cloud.google.com/>

> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

diminui o acoplamento da solução como um todo e permite que a semântica da API de Aplicação seja agnóstica em relação a aplicação que está consumindo os dados.

A aplicação Web propriamente dita, tem a finalidade de disponibilizar um *front-end* para visualização das informações aferidas pelos dispositivos de modo a propiciar o suporte à tomada de decisão. Em essência, essa é a camada da solução que visa transformar os dados coletados em informações relevantes para os gestores e responsáveis pelos órgãos de defesa civil dos municípios. O propósito é que, a partir dos dados monitorados, seja possível visualizar análises de histórico e tendências, bem como indicações de atuação para equipes táticas e estratégicas.

As APIs e o *back-end* da aplicação Web utilizam a linguagem Go¹². Tal linguagem apresenta desempenho e estabilidade, bem como funcionalidades como a possibilidade de compilação para um aplicativo nativo para os diferentes sistemas operacionais (*i.e.*, Linux, MacOS e Microsoft Windows), que pode diminuir ainda mais os custos para a solução em produção. O *front-end* da aplicação Web utiliza HTML, CSS e JavaScript. O servidor de banco de dados utiliza o MySQL¹³.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A presente seção apresenta uma síntese dos resultados e discussões obtidos até o momento. As provas de conceito realizadas com o módulo coletor têm demonstrado precisão e estabilidade. Os testes foram realizados em ambiente controlado no sentido de observar o comportamento do dispositivo no que tange a obtenção de dados e envio desta via rede para a API de Medição. Uma preocupação inicial seria a capacidade de reconexão do módulo *Wi-fi* quando da perda de conexão. Após uma sequência de testes, foi possível constatar que o dispositivo reconecta rapidamente e, principalmente, sem a necessidade de intervenção humana.

Outro ponto importante a ser destacada se refere a periodicidade de envio de dados. Considerando que o foco do dispositivo é a medição dos índices pluviométricos, foi implementado um algoritmo que prima por adaptar o período de envio, em conformidade com o volume de precipitação mensurado. Especificamente, em períodos sem chuva, por exemplo, o dispositivo envia, por default, informações no intervalo de sessenta minutos. Esse dado é enviado apenas com a informação de temperatura e serve também como uma espécie de *keep alive* do dispositivo. Já no momento em que se identifica uma intensificação na precipitação, o algoritmo se adapta e passa a diminuir o intervalo de envio. A granularidade mínima se consolida em sessenta segundos. Com isso, foi possível manter diminuir significativamente o volume de requisições, dados trafegados na rede e, conseqüentemente, os custos de operação da solução.

Já no que tange a aplicação *Web*, a versão atual possui uma interface inicial que apresenta a localidade e o maior índice pluviométrico aferido na região, bem como as temperaturas máximas alcançadas, e um gráfico abordando os volumes de chuva nos últimos meses. Um mapa georreferenciado

¹² <https://golang.org/>

¹³ <https://www.mysql.com/>

Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

identificando a localização dos dispositivos instalados também está disponível, juntamente com um gráfico que fornece as aferições mais recentes do dispositivo selecionado. O resultado dessas interfaces pode ser observado na Figura 9 e na Figura 10.

Figura 9: Mapa geo-referenciado

Cobertura de Monitoramento

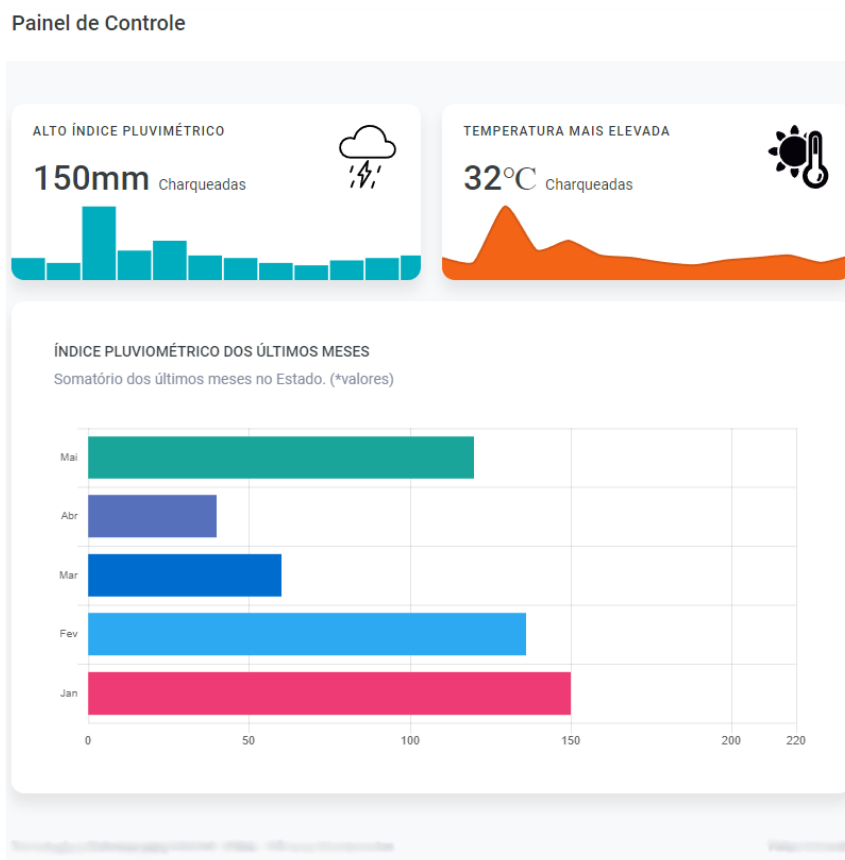


> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

Figura 10: Painel de controle



A. Análise de Custos

O presente trabalho, desde as premissas, foi baseado no custo de produção e, por este motivo, a importância do conhecimento dos custos detalhados, que estão separados em três grupos: (i) componentes do circuito de controle, (ii) fabricação da placa de circuito impresso e (iii) serviços em nuvem. Os componentes eletrônicos utilizados no circuito de controle são importados dos Estados Unidos pela *Digi-Key*, valores cotados para Real, considerando como referência o mês de abril de 2018.

Para a confecção de uma única placa de controle e os componentes necessários, chegou-se ao valor total de R\$47,16. Para a produção em milhar esse valor seria reduzido para ao menos de R\$34,80. Dessa forma, na produção de milhar já significa uma redução de custos de mais de R\$12.000,00, que é bastante relevante em qualquer projeto. Porém estes valores são referentes ao valor bruto da nota fiscal. Dessa forma, ainda é necessário adicionar o valor do imposto de importação para o Brasil. Primeiramente, é adicionada a tarifação do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) que é calculado em 60% do valor total, seguido do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) que, no estado do

> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

Rio Grande do Sul, é de 17% adicionados ao total bruto. Nesse ponto, a diferença de custo total em larga escala se torna ainda mais relevante, pois para uma única unidade tem-se um total de R\$88,28, enquanto que para um milhar de peças o valor se consolida em R\$65,14 cada unidade. Um orçamento mais detalhado de custos, e uma tabela comparativa com as demais soluções [11].

Para o módulo coletor de fabricação nacional, o valor é de R\$70. A partir de 5 unidades é possível obter o valor de R\$50, existindo ainda a possibilidade de negociação para compras em larga escala. Desta forma, tem-se um total de R\$155 para uma única unidade, e de R\$115 para produção em maior escala. No que tange os serviços em nuvem, até o momento, tem-se utilizado ferramentas gratuitas ou com custo individual para pessoa física (que não é compatível no custo de uma solução em produção). No entanto, entende-se que o custo com os serviços em nuvem são de menor impacto, tendo em vista a diversidade de serviços disponíveis e a facilidade de migração.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho apresenta uma solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos para municípios de pequeno porte que, em geral, possuem recursos restritos para esse tipo de investimento. Para tal foi projetada uma solução completa que apresenta desde o projeto do circuito eletrônico capaz de fazer a aferição do índice pluviométrico, os artefatos de *software* responsáveis por armazenar e disponibilizar os dados em um banco de dados relacional, até uma aplicação *Web* que possibilita visualizar as informações geradas a partir dos dados mensurados e apoiar a tomada de decisões.

Ao analisar os custos envolvidos na solução proposta, tenta-se deduzir o alto custo das demais soluções existentes no mercado, que pode ser proveniente da mão de obra especializada requerida. No entanto, a discrepância entre valores de mercado e o proposto pelo presente trabalho pode ser oriunda de outros fatores. Um deles pode ser parte da crença popular de que sistemas automatizados são altamente tecnológicos e serão obrigatoriamente caros, o que abre precedentes para a exploração financeira de qualquer indivíduo desprovido de conhecimentos técnicos. Isso contribui para que a comercialização deste tipo de produto se mantenha etilizada e com valores poucos praticáveis para a maioria dos municípios. Se contrapondo a isso, a presente proposta mostra que é possível ter uma solução completa com custos muito abaixo do mercado.

Como trabalhos futuros, pretende-se ampliar os testes e experimentos focando em métricas de escalabilidade da solução para uma grande população de dispositivos coletores. Além disso, é objetivo elaborar e executar testes de *User Experience* (UX) da aplicação *Web* com profissionais da área no intuito de entender como as técnicas de visualização de informações podem ser melhor exploradas no âmbito do suporte a tomada de decisões.

> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

REFERÊNCIAS

- [1] F. E. Horita, J. a. P. d. Albuquerque, L. C. Degrossi, E. M. Mendiondo, and J. Ueyama, "Development of a spatial decision support system for flood risk management in brazil that combines volunteered geographic information with wireless sensor networks," *Comput. Geosci.*, vol. 80, no. C, pp. 84–94, Jul. 2015. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2015.04.001>
- [2] Z. Wan, Y. Hong, S. Khan, J. Gourley, Z. Flamig, D. Kirschbaum, and G. Tang, "A cloud-based global flood disaster community cyber-infrastructure: Development and demonstration," *Environmental Modelling Software*, vol. 58, pp. 86 – 94, 2014. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136481521400111X>
- [3] R. G. Sanches, M. S. D. Silva, B. C. dos Santos, and D. N. B. Pereira, "Proposta de pluviômetro de baixo custo utilizando a plataforma de prototipagem Arduino," in *XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, Campinas/SP, 2017.
- [4] A. T. A. d. SILVA, "Aspectos meteorológicos e balanço hídrico em um aterro de resíduos sólidos urbanos." 2008, acessível em: http://www.getres.ufrj.br/pdf/SILVA_ATA_08_t_M_int.pdf. Acesso em: Novembro 2017.
- [5] J. H. P. d. B. SALGUEIRO, "Avaliação de rede pluviométrica e análise de variabilidade espacial da precipitação - Estudo de caso na bacia do rio ipojuca em Pernambuco," 2005, acessível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/mestra_salgueiro.pdf. Acesso em: Novembro 2017.
- [6] V. I. F. Fish and H. P. C. de M., *Variabilidade espacial da chuva durante o experimento LBA/TRMM*, 4th ed. Amazônia, BR: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2007.
- [7] J. Souza, R. Ferrari Schöfer, H. Schöfer, and D. Jerszurki, "Precipitação medida com pluviômetros alternativos na região de Curitiba (pr)," vol. 11, p. S83, 01 2013.
- [8] C. W. G. Silva, A. C. Figueirêdo, E. S. Rodrigues, and F. L. L. Barros, "Uso de instrumento de baixo custo na medição de precipitação pluviométrica no município de salgueiro – pe," vol. 5, p. S83, 01 2017.
- [9] M. Kraig, *Complete PCB Design Using OrCad Capture and Layout*, 1st ed. Cambridge, EUA: Elsevier, 2009.

> Solução de baixo custo para o monitoramento *online* de índices pluviométricos



2018 | Volume 1 | Nº 1

[10] O. A. Küchlera, A. C. T. da Silva, N. R. Modro, and J. E. M. P. Martins, "Sistema para aquisição de dados pluviométrico," in XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, São Carlos/SP, 2010.

[11] F. L. dos Santos, "Solução de baixo custo para o monitoramento online de Índices pluviométricos," 2018..