

08 a 11 de Outubro de 2018  
Instituto Federal Fluminense  
Búzios - RJ

## IMPLEMENTAÇÃO DE UM MODELO DE ESTAÇÃO METEOROLÓGICA PROGRAMADO PARA O ALERTA E FORNECIMENTO DE DADOS EM COMUNIDADES DE RISCO NA REGIÃO SERRANA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

**Damiano da Silva Militão**<sup>1</sup> – dmilitao@iprj.uerj.br

**Reydson Schuenck Barros**<sup>1</sup> – reydsonbarros@id.uff.br

**Marco Antonio Duarte Gomes**<sup>1</sup> – marcoaduartegomes@gmail.com

<sup>1</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico – Nova Friburgo, RJ, Brazil

**Resumo.** Nesse trabalho é proposta uma aplicação prática através da utilização de hardwares livres, tais como o Arduino, programado em C++, Raspberry pi e sensores, além de ferramentas/linguagens de código aberto, como PHP, JavaScript e MariaDb, para a construção de estações meteorológicas de baixo custo que, baseadas nos dados capturados pelas mesmas, se tornam capazes de emitir um alarme sonoro para moradores de zonas rurais em situações de risco, registrar e reproduzir os dados coletados em um servidor centralizado afim de disponibilizar para pesquisadores, órgãos públicos e domínio público geral, de forma simples e acessível, as informações acerca dos índices pluviométricos, temperatura, pressão atmosférica, intensidade luminosa, umidade e velocidade dos ventos da região serrana.

**Palavras-chave:** Estação meteorológica, Arduino, C++, PHP

### 1. INTRODUÇÃO

Anualmente, no estado do Rio de Janeiro, milhares de pessoas são atingidas por desastres naturais. No ano de 2011 ocorreu na região serrana do estado o maior desastre natural em número de mortes do Brasil (Tavares B., 2011), sendo a cidade de Nova Friburgo uma das mais atingidas e durante a ocorrência da catástrofe o INEA possuía quatro estações pluviométricas automáticas instaladas no município, das quais uma foi perdida (Dourado F, Arraes TC, Silva MF, 2012).

Modelos empíricos utilizam o índice pluviométrico registrado em determinados períodos, como por exemplo, na última hora ou nas últimas 24 horas, para a determinação do grau de risco de deslizamentos em determinada região. A coleta de parâmetros meteorológicos de

forma automática é fundamental para que seja feita a aplicação de tais modelos em tempo hábil.

O objetivo deste trabalho é propor um modelo que abranja tanto hardware quanto software para a montagem de estações meteorológicas de baixo custo que, quando instaladas próximas a locais de risco, operem de forma totalmente autônoma, com utilização de energia solar, enviando dados para um servidor centralizado e de acordo com o cálculo do grau de risco acionem alarmes sonoros que alertem a população local.

Em termos de hardware, o protótipo tem como principal componente um Arduino Mega e sensores especificamente ajustados em compatibilidade e programação para coleta de parâmetros relevantes. Utilizamos o BMP180, empregado na medição da pressão atmosférica, o DHT11 utilizado na medição da temperatura e da umidade, o AN1 utilizado na medição da velocidade do vento e desenvolvemos outros dois sensores, um para medição do índice pluviométrico e outro para a radiação solar. Para longas distâncias, computadores Raspberry Pi, rádios XBee e antenas Aquário 900mhz 20dbi foram para efetuar a comunicação entre estações e servidor. Os Raspberry pi empregados nesta função utilizaram a distribuição Linux Debian e executaram um script escrito em Python.

Em nível de software, tecnologias de código aberto, como a IDE do Arduino e a linguagem de programação PHP, foram aplicadas.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Cálculo do grau de risco de deslizamentos

Para o cálculo do grau de risco, foram utilizados dois critérios; o primeiro baseado no modelo empírico proposto em (Tatizana, C. et al., 1987) o qual estabelece uma correlação entre o índice pluviométrico e a ocorrência de escorregamentos. Este modelo é regido pela equação (1).

$$I(AC) = K \times (AC4d)^{-0,933} \quad (1)$$

Onde  $I(AC)$  consiste na incidência pluviométrica na última hora,  $AC4d$  é a incidência pluviométrica nas últimas 96 horas e  $K$  é o parâmetro associado ao modelo de ruptura do escorregamento. A Tabela 1 relaciona o valor do parâmetro  $K$  com o modelo de ruptura.

Tabela 1- Relação entre o valor do parâmetro  $k$  e o tipo de ruptura do escorregamento

| Valor do parâmetro K | Modelo de ruptura             |
|----------------------|-------------------------------|
| 2,603                | Escorregamentos induzidos     |
| 3,579                | Escorregamentos esparsos      |
| 5,466                | Escorregamentos generalizados |
| 10,646               | Corridas de lama              |

Como primeiro critério para o acionamento do alarme sonoro das estações, foi utilizado o valor associado à ocorrência de escorregamentos esparsos, ou seja, o alarme é acionado sempre que um valor de  $K$  maior que 3.569 for obtido.

O segundo critério se baseia em um modelo empírico elaborado e publicado por (D'orsi, R. N. 2011), onde através da análise de ocorrências de um trecho da BR 116 localizado na Região Serrana do Rio de Janeiro foram comparadas diversas combinações de dados

pluviométricos acumulados. Em seu trabalho, o gráfico que apresentou melhor limiar de correlação entre a ocorrência ou não de deslizamentos foi o que relaciona a unidade de mm de chuva acumulados na última hora por mm acumulados nas últimas 24 horas. A Figura 1 consiste no gráfico obtido neste estudo.

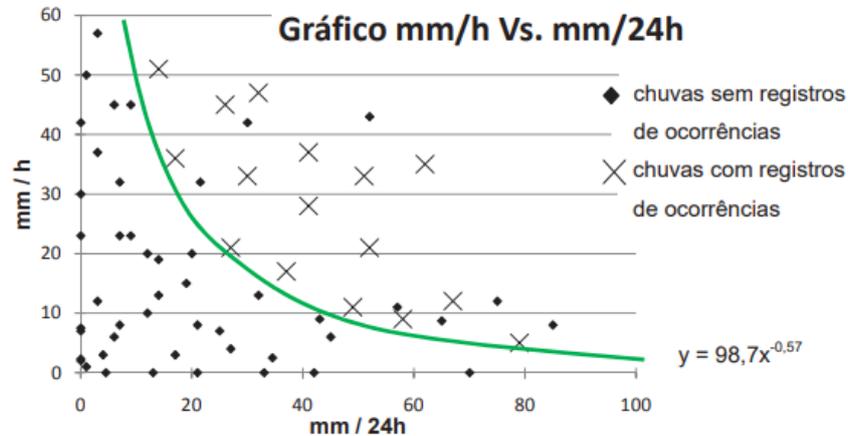


Figura 1 - Gráfico do índice pluviométrico acumulado nas últimas 24 horas pelo acumulado na última hora com as chuvas que causaram ou não eventos destacadas (D'orsi, R. N. 2011).

A curva plotada em verde, cuja equação se encontra no próprio gráfico, é o distintivo entre as chuvas que não causaram nenhum tipo de ocorrência e as que, com poucas e irrelevantes exceções, causaram escorregamentos ou alagamentos. Portanto, para momentos em que as leituras indicam uma situação localizada acima da região delimitada pela curva, o alarme é acionado.

Dos critérios apresentados, é suficiente que apenas um deles seja atendido para que seja efetuado o acionamento do alarme sonoro da estação que coletou os dados.

### 3. TIPOS DE ESTAÇÕES

Dentre as funcionalidades das estações, calcular o grau de risco de forma totalmente autônoma, ou seja, baseada exclusivamente nos dados coletados pela própria estação, sem depender de conexão com o servidor é a principal aplicação, com o desafio de permitir que o alarme local seja acionado de forma independente da Internet e da rede elétrica, o que se dá através da utilização de baterias e placas solares.

As estações foram programadas de forma que o Arduino efetue a leitura dos sensores e armazene os dados permanentemente em um cartão de memória. Paralelamente a este processo, caso a estação esteja programada para enviar os dados para o servidor, ela tentará enviá-los de imediato, e caso isso não seja possível no momento, os dados são colocados em uma fila para que os mesmos sejam enviados quando possível. Com o intuito de elucidar a lógica por trás da captura, armazenamento e encaminhamento dos dados pelas estações, a figura 2 traz o diagrama de atividades das estações.

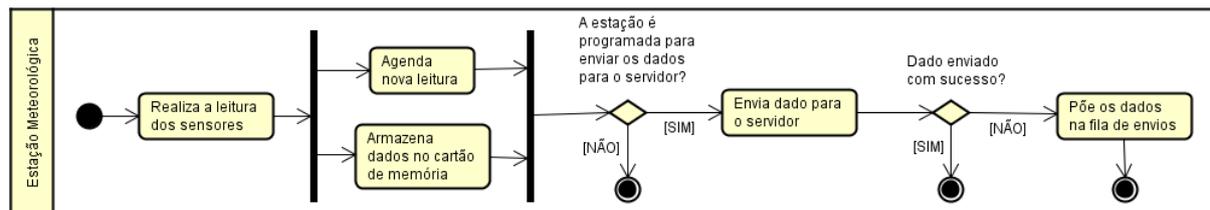


Figura 2 - Diagrama de atividades das estações

Para atender a diferentes situações, foram desenvolvidos três tipos de estações meteorológicas, descritas nas subseções seguintes:

### 3.1 Estação completa, com fornecimento de dados via Internet

Esta estação colhe os dados meteorológicos, os processa de acordo com os critérios de risco estabelecidos e os envia diretamente para o servidor por meio da Internet, utilizando uma porta Ethernet. A figura 3 mostra o diagrama de instalação deste tipo de estação.

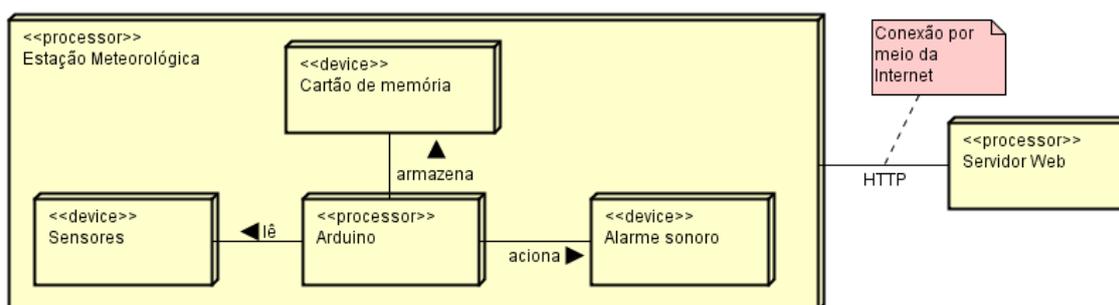


Figura 3 - Diagrama de instalação da estação de coleta de dados via Internet

Esta estação captura dados de índice pluviométrico, temperatura, umidade relativa, radiação solar, velocidade do vento e pressão atmosférica. É possível optar pela não captura de alguns desses dados ou pela adição de mais sensores.

A cada quinze minutos os dados armazenados no cartão são recuperados para que seja possível checar os parâmetros de risco e decidir entre acionar ou não o alarme sonoro, procedimento computacional programado também nos demais tipos de estações.

### 3.2 Estação completa, com fornecimento de dados via rádio

Quando não existe nenhuma forma de conexão à Internet, pode-se utilizar um intermediário remoto Raspberry pi 3 localizado no ponto mais próximo onde tal conexão esteja disponível por meio de cabo ethernet ou rede wireless. Para a comunicação da estação com estes intermediários são utilizados rádios XBee Pro 900HP que, com as antenas de alto ganho empregadas, podem chegar a 45 km de alcance.

A figura 4 mostra o diagrama de instalação do tipo de estação aqui citado. Por não ter sofrido alterações em sua estrutura de funcionamento interna em relação ao tipo de estação descrito em 3.1, os componentes internos da estação, (Arduino, cartão de memória, sensores e alarme sonoro) foram suprimidos e identificados como “Estação Meteorológica\*”.

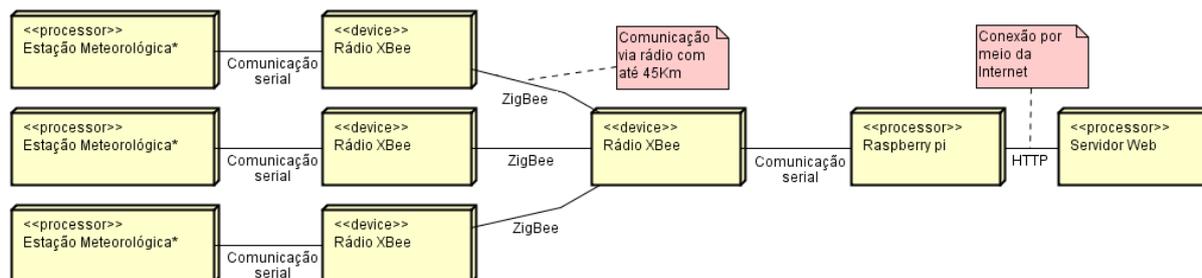


Figura 4 - Diagrama de instalação de 3 estações via rádio para um único intermediário

Nesta estação os dados são enviados de imediato para o intermediário, ou armazenados temporariamente até que seja possível realizar este envio. No intermediário os dados são novamente armazenados até que seja possível enviá-los ao servidor e em seguida são eliminados.

### 3.3 Estação simplificada

Visando o menor custo possível e a utilização exclusiva da função alarme de risco, esta estação não envia dados para o servidor, sendo programada apenas para os armazená-los em cartão de memória e os utilizar para o cálculo do grau de risco. Foi programada uma página web que permite a importação dos dados das estações simplificadas para o servidor, de forma manual, através de cópia a partir do cartão de memória. A figura 5 traz o diagrama de instalação deste tipo de estação.

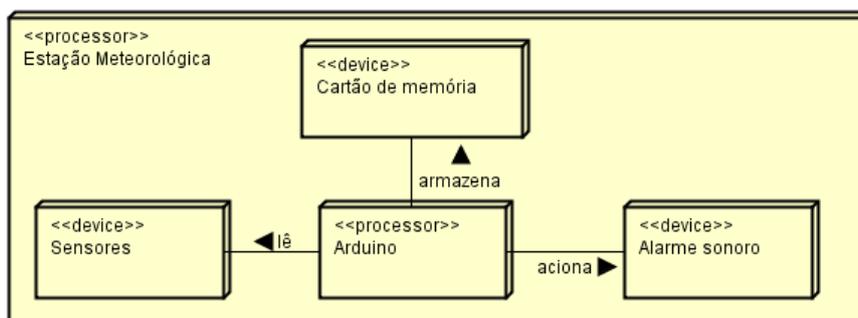


Figura 5 - Diagrama de instalação da estação simplificada

Aqui a estrutura interna foi mantida conforme em 3.1 e 3.2, porém desabilitadas as rotinas do código ligadas à comunicação com o servidor.

## 4. FIRMWARE DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

O código-fonte do firmware executado nas estações foi desenvolvido de forma orientada a objetos na linguagem C++. Para que novos sensores pudessem ser facilmente acrescentados, foi utilizada uma interface de modo que basta criar uma nova classe que programe esta interface para adicionar suporte a um novo sensor, não sendo necessária a alteração de outros

trechos do código. O padrão de projeto wrapper (Gamma, E., et al., 2000) foi utilizado para encapsular as principais funcionalidades da estação, como a comunicação com o servidor, acesso ao relógio de tempo real do Arduino (RTC) e armazenamento no cartão de memória. Isso permite uma simplificação do código principal da estação e facilita a adição de novas funcionalidades, como o suporte à comunicação com o servidor por meio da rede de celular GSM ou a mudança do armazenamento para um pen-drive, por exemplo.

#### 4.1 Compilação para as diferentes estações

Além do meio de comunicação com o servidor, uma estação pode ter vários sensores além do pluviômetro, como barômetro, higrômetro e termômetro, sendo necessário que o firmware seja ajustado para tais características.

A fim de facilitar este processo de compilação, foram utilizados arquivos de configuração, de modo que, mesmo que o operador não tenha conhecimentos de programação, possa determinar as características da estação na qual o firmware será utilizado. Isto evita que mais de um código fonte tenha de ser mantido. A figura 6 traz o trecho do código onde ocorre esta seleção.

```
#include "configuracoes.h"

//#include "configuracoesIPRJ.h"
//#include "configuracoesMacaeh.h"
//#include "configuracoesTeste.h"
#include "configuracoesCaledonia.h"
```

Figura 6 - Trecho do código-fonte para a seleção da estação.

O primeiro arquivo, denominado “configuracoes.h” traz configurações comuns a todas as estações, como por exemplo a constante K que é utilizada pelo alarme e o intervalo de tempo entre a leitura dos sensores.

Já os demais arquivos trazem as configurações específicas de cada uma das estações, bastando deixar um deles não comentado para que a compilação ocorra corretamente.

A figura 7 traz o conteúdo do arquivo de configuração de uma das estações.

```
//#define XBEE //determina a comunicação via rádio
#define ETHERNET //determina a comunicação via cabo ethernet
#define WATCHDOG //ativa o mecanismo que caso ocorra o travamento do Arduino, o mesmo é reiniciado
#define PLUVIOMETRO //ativa o pluviômetro
//#define ANEMOMETRO //ativa o sensor de velocidade do vento
#define TERMOMETROEHIGROMETRO //ativa os sensores de temperatura e umidade
//#define PIRANOMETRO //ativa o sensor de radiação solar
#define BAROMETRO //ativa o sensor de pressão barométrica
#define ALARME //ativa o alarme sonoro
#define DEBUG //ativa a exibição de detalhes das rotinas internas via porta serial
#define CHAVEDECOMUNICACAO "03" //chave de identificação única com o servidor
```

Figura 7 - Arquivo de configuração da estação Caledônia

## 5. WEBSITE

A fim de disponibilizar em domínio público os dados coletados pelas estações, desenvolvemos um website que foi construído utilizando as linguagens de programação PHP para o backend e Javascript para o frontend. Para facilitar a geração de gráficos e outras funcionalidades, foi utilizada a biblioteca JQuery no Javascript.

A escolha do PHP frente à outras opções, como o Java EE por exemplo, se deu devido a grande popularidade da linguagem no meio web, a facilidade em se encontrar servidores para a hospedagem do sistema e o fato dela poder ser utilizada livremente.

O website pode ser acessado através do endereço <http://tempo.iprj.uerj.br> e é responsável pelo recebimento, armazenamento e visualização dos dados gerados pelas estações meteorológicas.

### 5.1 Recebimento e armazenamento dos dados

O recebimento dos dados é feito através de uma página denominada “comm.php”, a qual recebe os parâmetros do dado a ser armazenado através de uma requisição HTTP do tipo GET.

Um exemplo de requisição efetuada para a página de recebimento dos dados seria “comm.php?chave=03&tipo=3&valor=22.00&data=2018-07-30\_17:38:42”, onde “chave” consiste na chave de comunicação única da estação, nesse caso a estação referente ao código “03” seria a estação Caledônia, o campo “tipo” representa o código referente ao tipo de dado coletado, no caso o 3 indica que se trata de uma leitura da temperatura, o campo “valor” indica o valor lido, no caso 22°C e “data” indica o momento de captura do dado.

Assim que os dados são recebidos pela página, os mesmos são armazenados em um banco de dados MariaDb, que é de código aberto e não necessita de nenhum pagamento para ser empregado.

### 5.2 Exibição dos dados

O website foi programado para disponibilizar os dados na forma de gráficos e tabelas.

Na página de visualização por meio de gráficos é possível obter os dados acumulados de cada uma das estações para diferentes anos, meses ou dias.

Na exibição por ano, apresentam-se as somas para cada um dos meses, na exibição por meses, apresenta-se as somas para cada um dos dias e na exibição por dia, apresentam-se as somas para cada uma das horas.

A figura 8 consiste nas opções disponíveis para a geração de gráficos no website.

SELECIONE O PERÍODO DESEJADO:

|          |        |      |      |      |   |      |   |
|----------|--------|------|------|------|---|------|---|
| Estação: | IPRJ 2 | Ano: | 2018 | Mês: | 6 | Dia: | - |
|----------|--------|------|------|------|---|------|---|

-

IPRJ 1

**IPRJ 2**

Caledônia

Figura 8 – Opções disponíveis para a geração de gráficos no website

Na programação dos gráficos foi utilizada a biblioteca JavaScript *jquery-flot*, que é responsável pela geração da parte visual dos gráficos, bastando determinar o tipo de gráfico e os dados a serem plotados. O gráfico é renderizado no lado do cliente e não do servidor, diminuindo a carga no servidor.

De forma similar à exibição em gráficos, na exibição na forma de tabelas, é possível visualizar os dados de forma agrupada em meses, dias ou horas, sendo ainda possível exibir os dados de forma bruta, ou seja, sem nenhum tipo de agrupamento, tal como foram capturados pela estação. Na visualização em tabelas é ainda possível exportar os dados nos formatos Excel, CSV e PDF.

De modo a melhorar a usabilidade do site, todo do processo de exibição de gráficos e tabelas ocorre por meio de requisições AJAX, não necessitando que a página tenha de ser recarregada a cada exibição de gráfico ou tabela.

## 6. RESULTADOS

Atualmente existem cinco estações em testes, sendo duas delas estações simplificadas, sem nomes definidos, uma estação completa com comunicação via rádio denominada “IPRJ 1” e duas estações que se comunicam diretamente à Internet denominadas “IPRJ 2” e “Caledônia”.

O website encontra-se acessível pelo endereço <http://tempo.iprj.uerj.br/> e é constantemente alimentado pelos dados das estações em testes. A Figura 9 consiste na exibição gerada pelo site dos dados relativos ao índice pluviométrico da estação denominada “IPRJ 2” durante o ano de 2018.

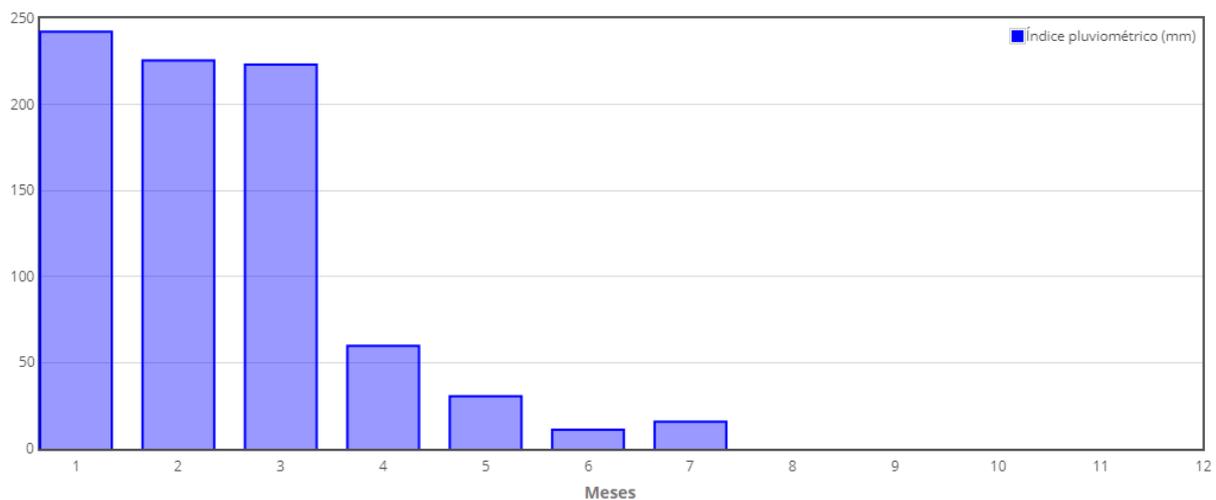


Figura 9 - Índice pluviométrico registrado pela estação “IPRJ 2” no ano de 2018

Já a Figura 10 consiste na exibição dos dados relativos a temperatura da estação denominada “IPRJ 2” durante o mês de junho de 2018.

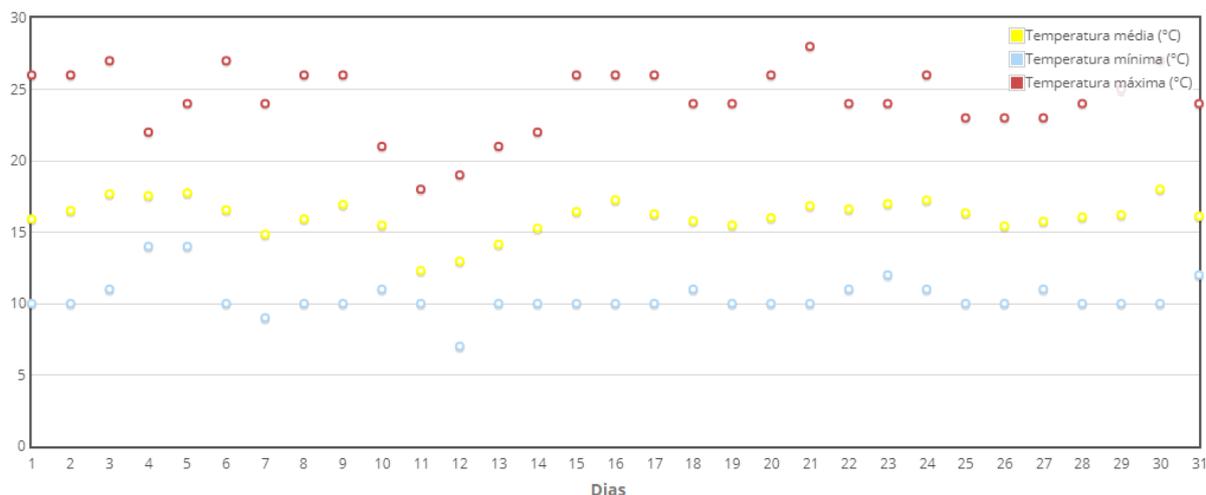


Figura 10 - Temperatura registrada pela estação “IPRJ 2” no mês de junho de 2018

Atualmente o funcionamento da estação “IPRJ 1”, única que opera via rádio tem sido limitada devido a falhas no protótipo do retransmissor. Por se tratar de uma fase de testes, todas as estações encontram-se instaladas no IPRJ e em breve a estação “Caledônia” será transferida para um lugar permanente.

## 7. CONCLUSÃO

O modelo para a construção de estações meteorológicas proposto neste trabalho pode ser empregado na expansão da rede de monitoramento climático em áreas de risco tendo os critérios para a determinação do risco embarcados na própria estação, tornando-as independentes.

Apoiando-se na disponibilidade atual de conexão com a Internet nos mais diversos locais e na possibilidade do uso de rádios para a implantação de estações em locais mais remotos, foi criada uma estrutura com baixo custo de expansão que pode armazenar os dados de forma centralizada e de fácil acesso.

Desde o início dos testes das estações no ano de 2016, foram realizadas e transmitidas para o servidor mais de cinco milhões de leituras de sensores pelas estações em testes, detectando-se e corrigindo diversos problemas de estabilidade que afetavam as estações.

Os dados coletados e disponibilizados podem ser utilizados por órgãos públicos, como INEA, CEMADEN, corpo de bombeiros, dentre outros na elaboração de relatórios ou em critérios próprios de determinação do risco de desastres naturais.

Existe na instalação de estações meteorológicas com alarme embarcado um grande potencial de preservação do fator humano, tanto diretamente, através do alarme sonoro, quanto indiretamente, através dos alertas que podem ser gerados por órgãos oficiais com base nos dados coletados.

Doravante pretende-se, além de expandir a quantidade de estações, refinar os critérios utilizados para a determinação do fator de risco, através, por exemplo, da aplicação de novos critérios que utilizem a previsão climática fornecida, quando possível, pelo servidor.

## REFERÊNCIAS

- Converse, T. P., Joyce. PHP a bíblia. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. 868 p.
- D'orsi, R.N. (2011) Correlação entre pluviometria e escorregamentos no trecho da serra dos órgãos da rodovia federal BR-116RJ(Rio-Teresópolis). Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ
- Dourado F, Arraes TC, Silva MF. O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro - as Causas do Evento, os Mecanismos dos Movimentos de Massa e a Distribuição Espacial dos Investimentos de Reconstrução no Pós-Desastre. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ* 2012;35(2):43-54.
- Lago, L.; Amaral, C.; Campo, L. E. P. & Silva, L. E. 2011. MEGADESASTRE '11 da Serra Fluminense: o deslizamento do Condomínio do Lago, em Nova Friburgo - análise preliminar dos condicionantes geológicos. In: *Simpósio de Geologia do Sudeste*, 12, Nova Friburgo, RJ
- Óscar, T. Arduino: Curso Práctico de Formación. Primeira Edição. México, D.F. : Alfaomega, 2013.
- Sales, L. S. Contribuição aos Estudos de Correlação Chuva vs Escorregamentos – Aplicação às Ocorrências da Comunidade da Formiga no Ano de 2010. Tese de mestrado, UERJ. Rio de Janeiro, RJ, 2016.
- Tatizana, C. et al. (1987) Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos – Serra do Mar, município de Cubatão. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5, 1987, São Paulo. Anais, São Paulo: ABGE, v. 2, pp. 225-236.
- Tavares B., Catástrofe na região serrana do Rio já é o maior desastre climático do País. *Estadão*, São Paulo, 22 jan. 2011. Disponível em: <<https://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,catastrofe-na-regiao-serrana-do-rio-ja-e-o-maior-desastre-climatico-do-pais-imp-,669506>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- Walter, J. Absolute C++. Boston: Pearson/Addison-Wesley, 2006
- Gamma, E., et al. “Padrões de Projeto: soluções reutilizáveis de software orientado a objetos”. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.
- Welling, L. PHP e MySQL: Desenvolvimento Web. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- Dall'Oglio, P., PHP - Programando com Orientação a Objetos, 2. ed. São Paulo: Novatec, 2011.
- Silva, M. S., JavaScript - Guia do Programador, São Paulo: Novatec, 2010.
- Freeman, E., Use a Cabeça! HTML com CSS & XHTML. 2ª Ed. São Paulo: Alta Books, 2008.
- Silva, A. M. R., Videira, C. A. E., UML - Metodologias e Ferramentas CASE. 1ª Ed. Lisboa, Portugal: Edições Centro Atlântico, 2001

### IMPLEMENTATION OF A METEOROLOGICAL STATION MODEL PROGRAMED FOR ALERT AND DATA SUPPLY IN RISK COMMUNITIES IN THE SERRANA REGION OF THE STATE OF RIO DE JANEIRO

**Abstract.** *This paper proposes a practical application through the use of free hardware, such as Arduino, programmed in C ++, Raspberry pi and sensors, in addition to open source tools/languages, such as PHP, JavaScript and MariaDb, for the construction of low-cost meteorological stations that based on the data captured by them, are able to send a sound alarm to rural dwellers at risk situations, to register and reproduce the data collected in a centralized server in order to make available to researchers, public agencies and the domain information on pluviometric indices, temperature, atmospheric pressure, light intensity, humidity and wind velocity of the mountain region.*

**Keywords:** *Meteorological station, Arduino, C++, PHP*