

## SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO DE DADOS PROVENIENTES DE UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA LOCALIZADA EM ÁREA DE DIFÍCIL ACESSO

KENNY ANDERSON QUEIROZ CALDAS<sup>1</sup>; MOISÉS PEREIRA BASTOS<sup>1</sup>

1 – Universidade do Estado do Amazonas – Escola Superior de Tecnologia  
kennypvh@gmail.com

**Abstract - This paper proposes a remote data monitoring system of a weather station located in an area of difficult access, which uses solar panels and a Li-ion battery as power source, ATmega328P microcontroller unit and for local wireless data transmission, the radio module XBee S1. The coordinator circuit of the ZigBee network consists of an Arduino MEGA2560 in conjunction with a GSM/GPRS module, which sends the collected data to a web server, allowing access to climatic data from any location via Internet, using two GUIs: one in a web page and another developed in LabVIEW.**

**Keywords: Microcontroller. GSM/GPRS Network. ZigBee.**

### I. INTRODUÇÃO

O monitoramento climático desempenha um importante papel para a qualidade de vida de uma população. As mudanças climáticas influenciam diretamente nas atividades humanas, como agricultura, transporte e lazer. Por meio de dados precisos, pode-se aumentar a eficácia de diversos elementos vitais em uma plantação como a fertilização, irrigação, inseticidas e colheita. Também é possível gerar alertas de tempestades e tornados mais rápidos para áreas de risco, prevenindo tanto acidentes aéreos em situações de pouso e decolagem, quanto acidentes terrestres em estradas com a presença de gelo ou baixa visibilidade, por exemplo.

Com avanço da tecnologia, permitiu-se o desenvolvimento de sistemas de monitoramento de dados de uma estação climática com um custo-benefício cada vez melhor. Por meio destes recursos, pode-se aumentar a área de cobertura de uma região, já que mais pontos de monitoramento podem ser utilizados, aumentando-se assim a qualidade e precisão dos dados obtidos. (PRADEEP, 2014)

Porém existem muitas localidades que se encontram distante dos centros urbanos, o que dificulta o emprego de cabos para a transmissão dos dados coletados de uma estação meteorológica, já que dependendo do terreno ele pode ser facilmente danificado ou exigir cobrir longas distâncias, o que encarece o projeto, além de não possuir uma rede elétrica para alimentar o sistema de monitoramento.

Este artigo propõe o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de dados provenientes de uma estação meteorológica localizada em área de difícil acesso, utilizando energia solar e uma bateria para alimentação elétrica, rede local via protocolo ZigBee e transmissão de dados via rede GSM e GPRS para um servidor web,

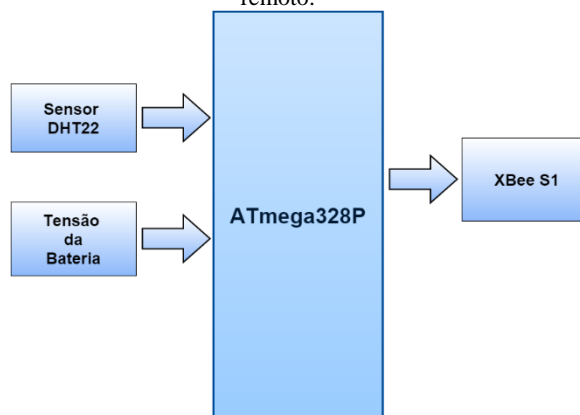
permitindo o acesso ao usuário por meio de uma interface gráfica via Internet.

### II. PROCEDIMENTOS

Para o funcionamento deste projeto, foram desenvolvidos três circuitos: de monitoramento remoto, da fonte de alimentação e do coordenador de monitoramento.

Primeiramente, tem-se o circuito de monitoramento remoto. Ele é composto pelo microcontrolador Atmega328P, um sensor integrado de temperatura e umidade do ar, o DHT22, e o módulo de comunicação rádio frequência, XBee S1. O circuito é responsável por coletar os dados climáticos de um local, além da tensão da bateria presente na fonte de alimentação dentro de um intervalo de tempo preestabelecido, e envia-los para o circuito coordenador de monitoramento via protocolo ZigBee. Um diagrama de blocos representando este circuito pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Diagrama de blocos do circuito de monitoramento remoto.



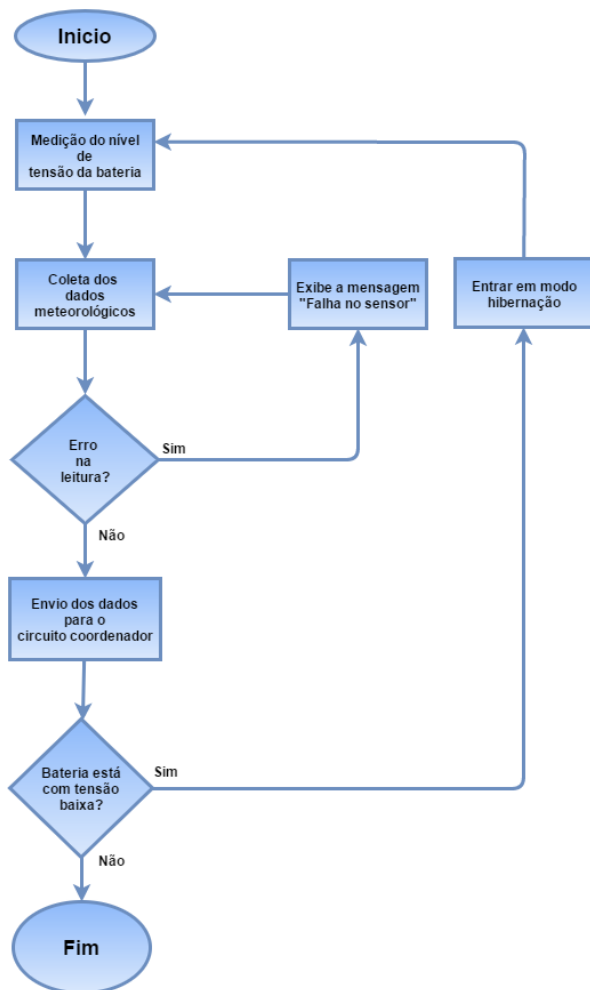
Fonte: Autor.

O ATmega328P foi escolhido como microcontrolador deste circuito devido ao seu baixo custo e alta disponibilidade no mercado. Uma preocupação na programação deste componente foi com o consumo energético do circuito, tendo em vista que ele funcionará por meio de painéis solares e de uma bateria de íon-lítio. Para este fim foi implementado o modo *sleep*, ou dormir em português, tanto no microcontrolador quanto no XBee S1. De acordo com Russel (2010), o ATmega328p possui seis modos de economia de energia: *Idle*, *ADC noise reduction*, *Power save*, *Power down*, *Standby* e *Extended standby*. O

método utilizado foi o *Power down*, devido ser o que mais consegue reduzir o consumo do microcontrolador, o qual salva os valores dos seus registradores, porém congela o oscilador do ATmega328P, desabilitando todas as suas funcionalidades até a próxima condição de interrupção ou *hardware reset*. Segundo Hebel e Bricker (2010), o XBee apresenta três modos *sleep*: *Pin hibernate*, *Pin doze* e *Cyclic sleep*. O método escolhido para utilização foi o *Pin Hibernate*, pois também é o modo que mais reduz o consumo energético, além de ser controlado diretamente pelo ATmega328P por meio de uma entrada digital, evitando a utilização de temporizadores.

Uma sequência de instruções foi definida na programação do microcontrolador, visando determinar o funcionamento do circuito de monitoramento remoto. Caso ocorra uma falha na leitura dos dados climáticos pelo sensor DHT22, uma mensagem de falha será enviada para o monitor serial, avisando o usuário. O ATmega328P poderá entrar em modo de hibernação, que é permanecer por um longo período de tempo no modo *sleep*. Caso a bateria de íon-lítio da fonte de alimentação fique menor ou igual a 3 V. A Figura 2 apresenta um fluxograma detalhando o seu modo de operação.

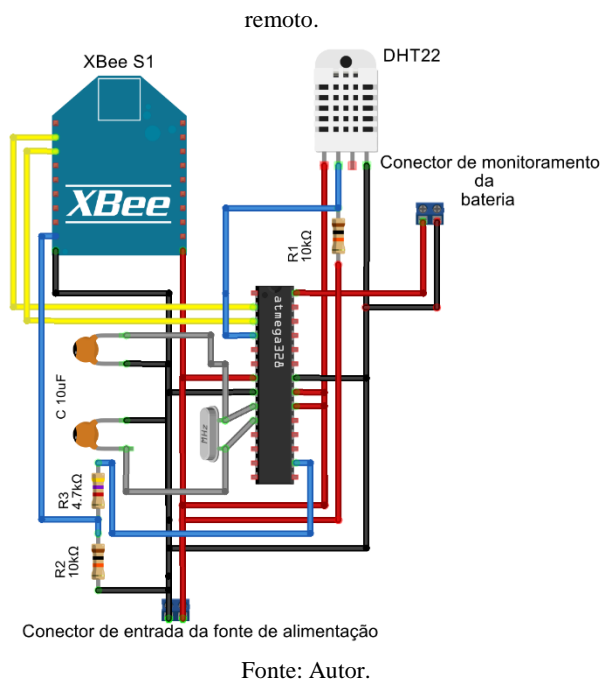
Figura 2 – Fluxograma de funcionamento do circuito de monitoramento remoto.



Fonte: Autor.

O diagrama elétrico do circuito de monitoramento remoto pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 – Diagrama elétrico do circuito de monitoramento



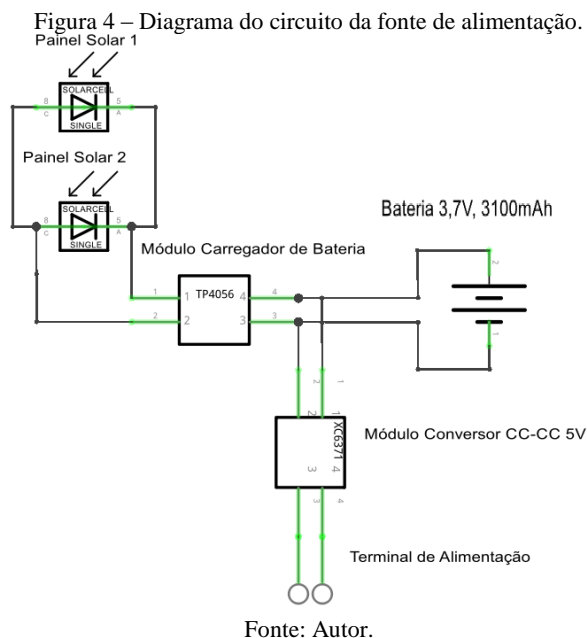
Fonte: Autor.

O circuito da fonte de alimentação utilizada para o circuito de monitoramento remoto é composto por: dois painéis solares em paralelo de 5,5 V, de 270 mA e 180 mA, uma bateria de íon-lítio com capacidade de 3100 mAh, o módulo carregador de bateria TP4056 e o conversor CC-CC 5 V XC6371.

Durante o dia, os painéis solares são responsáveis por gerar a potência elétrica para manter o circuito de monitoramento remoto em funcionamento, além de carregar a bateria de íon-lítio por meio do módulo carregador TP4056. Inicialmente o circuito foi testado com apenas um painel solar, porém apesar das características nominais apresentarem valores satisfatórios, durante os testes houve uma perda de potencial, por isso houve a necessidade da utilização de dois painéis em paralelo, garantindo assim uma maior corrente ao circuito. O módulo carregador de bateria, TP4056, pode prover até 1 A de corrente de recarga, com uma tensão de entrada de 5 V, além de interromper o seu funcionamento quando a bateria está totalmente carregada, atingindo a tensão de 4,2 V, o que evita uma sobrecarga. Este módulo também interrompe a recarga da bateria caso a temperatura do componente esteja muito elevada, o que prejudica o seu funcionamento. No período noturno no qual os painéis solares param de funcionar, a bateria de íon-lítio assume o papel de fonte de alimentação principal do circuito.

Tanto a tensão de saída da bateria quanto dos painéis solares oscila bastante ao longo do dia, o que pode danificar os componentes do circuito de monitoramento ou impedir o seu funcionamento correto. Para resolver este problema foi utilizado o conversor CC-CC 5 V XC6371. Ele permite que tensões de entrada variando entre 0,9 V e 5,0 V possuam na sua saída uma tensão de 5 V estável. Para evitar que o circuito de monitoramento remoto pare de funcionar durante a troca da fonte de alimentação, entre os painéis solares e a bateria de íon-lítio, o conversor XC6371 foi ligado em paralelo, sendo assim, somente o sentido da corrente empregado se altera, mas mantém a tensão constante para o circuito.

Um diagrama da fonte de alimentação utilizado para o circuito de monitoramento remoto pode ser visto na Figura 4.



Os módulos XBee S1 realizam a comunicação entre si por meio do protocolo ZigBee. Ele se baseia no padrão IEEE 802.15.4, que define a utilização de *LR-WPANs* (*Low Rate-Wireless Personal Networks*), redes pessoais com baixa transferência de dados, possuindo baixo custo de instalação e consumo energético reduzido. A utilização de redes sem fio torna-se mais vantajosa do que a utilização de cabos e fios para a transferência de dados em uma rede local, já que permite uma instalação rápida e em locais inconvenientes, além de reduzir o custo de manutenção.

Para estabelecer a comunicação entre dois módulos XBee, é necessário realizar a configuração da rede ZigBee. Para isto, é utilizado o software X-CTU. (SPARKFUN ELECTRONICS, s.d.)

O primeiro passo é estabelecer uma identificação número para a rede, ou um *network ID*. Ele pode ser um número entre 0 ou 65535, convertido em hexadecimal. Este valor irá para a caixa de configuração PAN ID. Em seguida, deve-se identificar cada módulo XBee na rede com um endereço próprio, ou *my address*, variando entre 0x0000 e 0xFFFF em hexadecimal.

O próximo passo é definir um endereço high e low de destino, para o XBee saber para qual módulo ele estará comunicando. Uma lista com as configurações utilizada por ser vista na Tabela 1.

Tabela 1 – Configurações dos módulos XBee no X-CTU.

Configuração	XBee remoto	XBee coordenador
Canal	C	C
PAN ID	1234	1234
Endereço high	0	0
Endereço low	2	1
my address	1	2

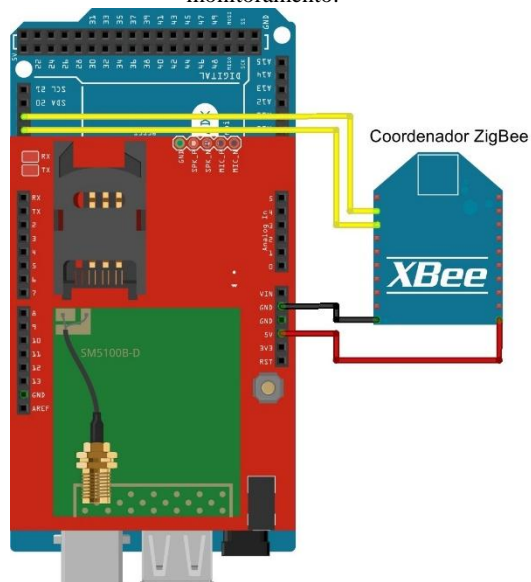
Fonte: Autor.

Além destas configurações, também é importante utilizar uma chave de criptografia nos módulos XBee, para prevenir que outras pessoas possam acessar os dados

enviados. O protocolo ZigBee permite a utilização do AES (*Advanced Encryption Standard*), ou padrão de criptografia avançado, que pode ser definido no X-CTU.

O circuito coordenador de monitoramento é composto por um Arduino MEGA2560, o módulo GSM/GPRS/GPS da DFRobot e o XBee S1 coordenador da rede local ZigBee. A Figura 5 apresenta o diagrama de conexão dos componentes deste circuito.

Figura 5 – Diagrama do circuito coordenador de monitoramento.



O Arduino MEGA2560 foi utilizado devido a presença de 4 portas de comunicação serial em sua placa, o que permite que tanto o módulo GSM/GPRS/GPS e o XBee possam se comunicar com o microcontrolador ao mesmo tempo, evitando conflito de dados.

O XBee S1 utilizado neste circuito é responsável por receber as mensagens enviadas pelo circuito de monitoramento remoto, contendo os dados climáticos e da tensão da bateria da fonte de alimentação. Ele está conectado à porta serial 1 do Arduino MEGA2560.

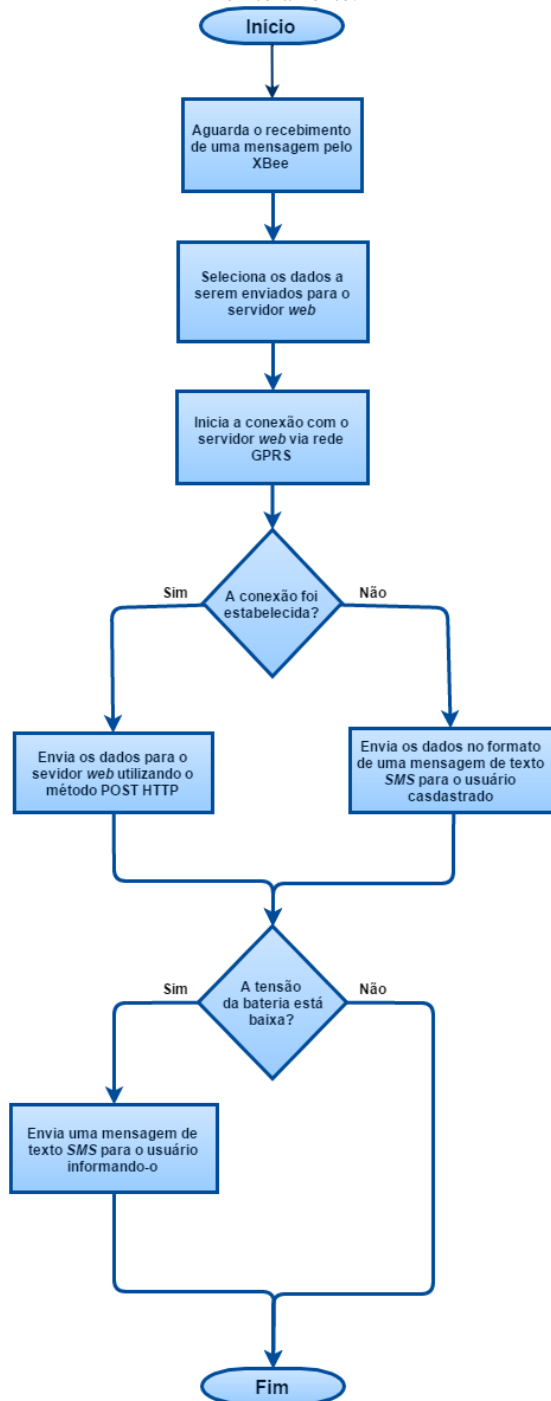
Por fim, o principal componente do circuito coordenador é o módulo GSM/GPRS/GPS da DFRobot. Ele é responsável por enviar os dados recebidos pelo XBee S1, ou via rede GPRS para um servidor *web*, ou para o usuário cadastrado por meio de uma mensagem de texto SMS, de acordo com a disponibilidade da rede do local. Segundo a DFRobot (2013), a programação deste módulo é realizada por meio de Comandos AT, disponíveis no manual do SIM908. É muito importante observar os intervalos de tempo para cada comando enviado pelo Arduino MEGA2560 para o módulo, pois dependendo instrução enviada, é necessário aguardar alguns segundos para que ela seja executada, caso contrário, os comandos subsequentes não irão funcionar como esperado.

O algoritmo desenvolvido no Arduino MEGA2560 realiza as seguintes operações: primeiramente, aguarda o recebimento de uma mensagem pelo XBee S1. O seu fim é delimitado pelo carácter “;”. O algoritmo então busca na mensagem recebida os valores referentes a cada variável monitorada e a armazena em uma memória do tipo *string*. Feito estes passos, inicia-se a conexão com o servidor *web* por meio da rede GPRS, utilizando os Comandos AT. Caso

a conexão não seja estabelecida corretamente por algum motivo, o algoritmo irá enviar os dados para o número cadastrado por meio de um SMS. Se a bateria do circuito de monitoramento estiver demasiadamente baixa, uma outra mensagem de texto será enviada para o mesmo número cadastrado, informando-o que o sistema entrará em modo de hibernação. Durante o período de 24 horas, o circuito permanecerá em modo *sleep* com todos os seus periféricos desligados, como forma de preservar energia e permitir a bateria de íon-lítio ser carregada.

Um fluxograma detalhando o funcionamento do circuito coordenador de monitoramento pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Fluxograma do circuito coordenador de monitoramento.



Fonte: Autor.

Para permitir o acesso aos dados meteorológicos via Internet, um servidor *web* deve ser utilizado. Ele será responsável por armazenar em um banco de dados as

informações enviadas pelo módulo GSM/GPRS, para então poderem ser acessadas por meio de uma interface gráfica via Internet. Para o projeto foi utilizado o servidor provido pela Ubidots, por meio de uma *REST API* (*Application Programming Interface*), ou interface de programação de aplicação em português. O pacote de serviço gratuito deste servidor pode satisfazer a necessidade do sistema, já que permite a atualização em tempo real de até cinco variáveis.

Primeiramente é necessário criar uma conta no *website*. Após definido o *login* do usuário, foi criado um *token* de autenticação. Ele verifica se o cliente tem permissão para acessar ou gravar dados no servidor. Por fim, define-se as variáveis que receberam os valores enviados pelo circuito coordenador: temperatura, umidade do ar, índice de calor e nível de tensão da bateria. Cada uma dessas variáveis possuirá uma sequência alfanumérica de identificação, responsável por determinar no momento do envio dos dados para qual variável os valores então sendo gravados.

Após obter o *token* de autenticação e as identificações das variáveis, deve-se entender o funcionamento da *API* do servidor da Ubidots. Os métodos utilizados para gravar, ler ou alterar os dados são baseados nos métodos HTTP: *GET*, *POST* e *DELETE*. Por meio deles, é possível manipular as variáveis armazenadas no servidor de acordo com a aplicação.

É possível inserir um conjunto de tabelas, gráficos e indicadores no painel de monitoramento do servidor Ubidots, como forma de verificar se os dados estão sendo recebidos corretamente. Com exceção da variável que mede a tensão na bateria, os demais valores são apresentados na forma de um gráfico que apresenta até os últimos 500 dados armazenados, com o seu respectivo *timestamp* do momento no qual ele foi recebido pelo servidor.

Apesar do servidor da Ubidots já possuir alguns indicadores das variáveis para permitir a visualização em tempo real dos dados da estação meteorológica monitorada, ele exige que o usuário possua a senha e *login* de acesso para acessar o painel de monitoramento, ou seja, não permite que qualquer pessoa consiga visualizar os dados. Para este fim, foram desenvolvidas duas interfaces gráficas, uma em uma página *web* e outra no *software* LabVIEW.

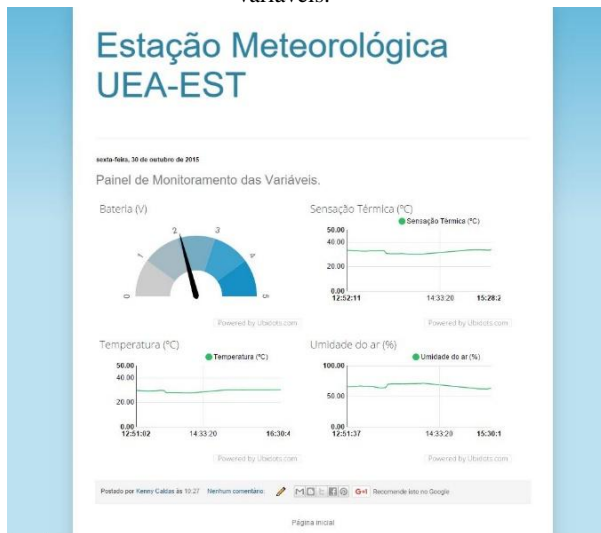
Para a interface gráfica desenvolvida em uma página *web*, foi utilizado um recurso existente para criação de blogs a partir de uma conta do Google, o <<https://www.blogger.com>>. Por meio dele, é possível desenvolver uma página que contenha todos os indicadores presentes no painel de monitoramento do servidor Ubidots. Para cada variável criada na tela principal do servidor, é possível obter um *embed code*, ou código embutido em português, do qual permite a inserção do indicador do painel de monitoramento em outra página ou aplicação. Com isto, qualquer pessoa com conexão à internet pode ter acesso aos dados climáticos de uma região. A página *web* desenvolvida por ser vista na Figura 7.

A interface gráfica desenvolvida no *software* LabVIEW foi desenvolvida visando um maior número de funcionalidades para o usuário, ou seja, para um uso em estudos meteorológicos. Por meio dela é possível ler todos os dados salvos no servidor da Ubidots e apresentá-los nos gráficos de monitoramento, juntamente com a data em que foram enviadas, ou monitorar os dados em tempo real, a medida com que são gravados nas variáveis. É necessário determinar o intervalo de envio entre as medições antes de



se inicializar a aplicação, para garantir que nenhuma informação seja perdida.

Figura 7 – Pagina *web* do painel de monitoramento das variáveis.

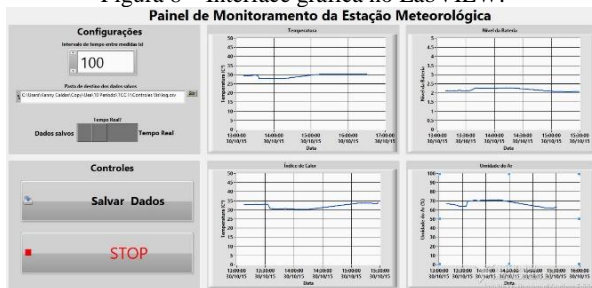


Fonte: Autor.

Também é possível criar uma planilha no *Microsoft Excel* no formato *csv*, que permite ao usuário armazenar os dados em um arquivo para usos futuros. A planilha contém os dados de todas as variáveis monitoradas, com seus respectivos timestamps.

O painel frontal desta aplicação desenvolvido no LabVIEW pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 – Interface gráfica no LabVIEW.



Fonte: Autor.

### III. RESULTADOS

Para determinar o consumo energético do circuito de monitoramento remoto, e conseqüentemente a autonomia da bateria de íon-lítio, foi necessário primeiramente obter a corrente de consumo dos componentes utilizados. Os valores foram obtidos por meio de *datasheets* ou medições utilizando um multímetro digital. Os componentes e seus respectivos consumos estão presentes na Tabela 2.

Tabela 2 – Consumo em funcionamento dos componentes.

Componente	Consumo (mA)
ATmega328P (5V, 16 MHZ)	16,43
Sensor DHT22	2,5
XBee S1 (Transmitindo)	50
XC6371	133,8

Fonte: Autor.

De acordo com Alexander e Sadiku (2006), por meio destes valores, pode-se realizar os cálculos referentes ao potencial elétrico total do circuito de monitoramento remoto, utilizando-se a equação (1):

$$P = V \times I \quad (1)$$

Onde  $V$  é igual a tensão do circuito em volts (V) e  $I$  representa a corrente elétrica em miliampères (mA). O resultado obtido é  $P = 345,3169 \text{ mW}$ . Com base neste valor, pode realizar o cálculo proposto por Dutta (2014) para a autonomia da bateria da fonte de alimentação. Tem-se então a equação (2):

$$T_{Bat} = (V_{Bat} \times C_{Bat}) / (P_{Circuito}) \quad (2)$$

Onde  $T_{Bat}$  representa a duração da bateria em horas (h),  $V_{Bat}$  a tensão da bateria em volts (V),  $C_{Bat}$  a capacidade da bateria em miliampères.hora (mAh) e  $P_{Circuito}$  a potência do circuito conectado à bateria. O resultado obtido é  $T_{Bat} = 32,98 \text{ horas}$ .

Porém após aplicar o modo *sleep* do ATmega328P e do XBee S1, além de aumentar o intervalo de envio de dados para o circuito coordenador para 296 segundos, já que as variáveis climáticas não se alteram tão rapidamente, tem-se uma economia significativa de energia. O consumo energético dos componentes no modo *sleep* pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Consumo em funcionamento dos componentes no modo *sleep*.

Componente	Consumo (µA)
ATmega328P (Power down)	42
Sensor DHT22 (Espera)	8
XBee S1 (Pin hibernate)	3000
XC6371	133,8

Fonte: Autor.

Por meio destes novos valores, pode-se calcular novamente o potencial elétrico total do circuito de monitoramento remoto, utilizando a equação (1). Porém como o intervalo de envio de dados também foi modificado, é necessário calcular a corrente  $I$  média. Para isto, utiliza-se a equação (3):

$$I_{Med} = (T_{Lig} \times I_{Lig} + T_{sleep} \times I_{sleep}) / (T_{Lig} + T_{sleep}) \quad (3)$$

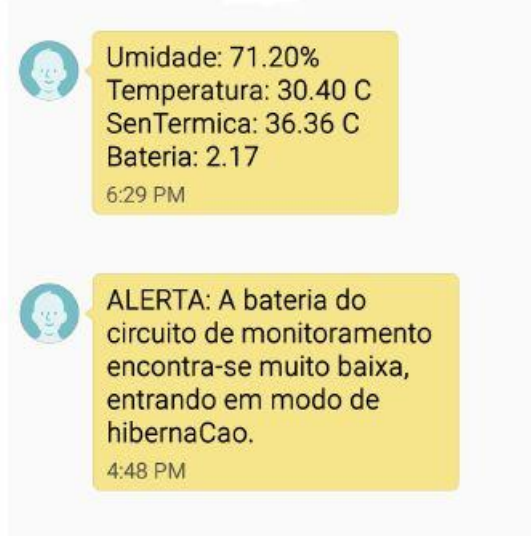
Onde  $I_{Med}$  representa a corrente elétrica média em miliampères (mA),  $T_{Lig}$  o tempo em que o circuito está em funcionamento em segundos (s),  $I_{Lig}$  a corrente elétrica do circuito em funcionamento em miliampères (mA),  $T_{sleep}$  o tempo em que o circuito está no modo *sleep* em segundos (s) e  $I_{sleep}$  a corrente elétrica do circuito em modo *sleep* em miliampères (mA). O resultado obtido para esta nova tabela de valores é de  $I_{Med} = 3,25 \text{ mA}$ .

Com base nesta nova corrente elétrica consumida pelo circuito de monitoramento remoto, tem-se um novo valor para a autonomia da bateria. Utilizando-se novamente a equação (2), o resultado obtido neste caso é de  $T_{Bat} = 705,85 \text{ horas}$ , ou 29,41 dias.

O circuito coordenador do sistema de monitoramento remoto possui duas funcionalidades, além de enviar os dados para o servidor *web* da Ubidots por meio da rede GPRS, ele também permite o envio de mensagens de texto SMS para o caso de não haver disponibilidade de rede. Isto permite a transmissão dos dados meteorológicos mesmo na falta de conexão com a Internet.

O modelo utilizado das mensagens de texto SMS pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 – Mensagens enviadas pelo circuito coordenador.



Fonte: Autor.

#### IV. CONCLUSÃO

O sistema de monitoramento remoto de dados provenientes de uma estação meteorológica, proposto neste artigo, que independe da presença de uma rede elétrica para fornecer a alimentação do circuito de monitoramento, além de não utilizar cabos ou fios para a transmissão de dados, permitindo assim o acesso aos dados meteorológicos monitorados de um local em tempo real via Internet, foi realizado com êxito.

A utilização de módulos de rádio XBee para a transmissão local dos dados monitorados provou ser uma solução bastante eficaz para a comunicação entre o circuito de monitoramento remoto, que coleta os dados da estação meteorológica, e o coordenador de monitoramento. A possibilidade de implementação de mais pontos de monitoramento por um baixo custo, além de garantir a segurança da rede por meio de uma chave de criptografia, são outras características fortaleceram pela utilização desta tecnologia.

O emprego do módulo GSM/GPRS, para a transmissão dos dados recebidos pelo módulo XBee no circuito coordenador de monitoramento, permitiu a comunicação direta com o servidor *web REST* da Ubidots. Com isto, as informações meteorológicas monitoradas puderam ser armazenadas e acessadas em tempo real através de uma conexão com a Internet, de qualquer localidade do mundo.

O desenvolvimento de duas interfaces gráficas, uma em uma página web e outra no software LabVIEW, puderam permitir ao usuário acessar os dados armazenados no servidor *web* da Ubidots em tempo real. No primeiro caso, possuindo as informações meteorológicas em uma página web de fácil acesso, permite a verificação climática de uma região de maneira prática e simples. Já para o segundo caso, visando uma aplicação com uso mais profissional, permite ao usuário a coleta de dados em uma planilha, além da verificação em gráficos de monitoramento de todos os dados armazenados no servidor web, como forma de observar as variações ao durante um longo período de tempo.

Por fim, a fonte de alimentação definida para o sistema foi um conjunto de painéis solares e de uma bateria íon-

lítion. Dentre as energias renováveis estudadas, a energia fotovoltaica provou-se ser a mais acessível e de baixo custo que as demais, além de possuir um potencial de utilização elevado na região amazônica devido a grande incidência de raios solares. A bateria de íon-lítion foi necessária para garantir o funcionamento do circuito de monitoramento remoto mesmo durante os períodos de ausência de raios solares. Um módulo carregador de bateria, o TP4056, fornece a recarga necessária para a bateria durante o fornecimento energético pelos painéis solares. Já o conversor CC-CC XC6371 garante ao circuito de monitoramento uma tensão constante de 5 V, mesmo que a tensão da bateria de íon-lítion ou dos painéis solares oscile entre 0,9 V e 4,7 V.

#### V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew NO. *Fundamentals of electric circuits*. Urban Media Comics, 2006.
- DUTTA, D. *Solar Powered Weather Station*. Open Green Energy, 2014.
- HEBEL, M.; BRICKER, G. *Getting Started with XBee RF Modules*. Carbondale, 2010.
- PRADEEP, B. Weather monitoring using lifa. *International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development*, 2014.
- RUSSEL, D. J. *Introduction to Embedded System: Using ANSI C and the Arduino Development Environment*. Lincoln, 2010.
- SPARKFUN ELECTRONICS. *Exploring XBees and XCTU*. Disponível em: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/exploring-xbees-and-xctu>. Acesso em 15 out 2015.

#### VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.