

Arquitetura de Hardware Embarcada de Baixo Custo para Monitoramento de Ambiente de Data Centers

J. C. J. Dantas, Y. I. R. Damasceno, C. M. D. Viegas, E. M. S. Neto

Resumo— Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de baixo custo composto por uma arquitetura de hardware embarcada e um software multiplataforma capaz de realizar o monitoramento e controle de ambiente de data centers através do protocolo SNMP. O hardware baseia-se em um microcontrolador AVR ATmega328p e é capaz de monitorar a temperatura, controlar a abertura da porta do rack de comunicação e realizar o acionamento remoto de condicionadores de ar de um data center. De modo a validar a proposta, o trabalho apresenta resultados de um monitoramento de um ambiente de redes corporativo.

Palavras-Chave— Sistemas Embarcados, Monitoramento de Ambiente de Data Centers, Sistemas SNMP, Gerência de Redes.

Abstract— This article presents the development of a low cost system composed of an embedded hardware architecture and a multiplatform software capable of monitoring and controlling a data center environment using the SNMP protocol. The design is based on an ATmega328p AVR microcontroller, and it is capable of monitoring the temperature, controlling the opening of the communication rack performing the remote actuation of air conditioners located in the data center. In order to validate our proposal, we present monitoring results of a small size data center environment.

Keywords— Embedded Systems, Data Center Environment Monitoring, SNMP Systems, Network Management.

I. INTRODUÇÃO

Sistemas de monitoramento de ambiente são usados em larga escala ao redor do mundo. Desde de monitoramento de ambientes industriais até mesmo para previsões meteorológicas se tem usado sensores e dispositivos eletrônicos para monitorar o ambiente. De acordo com Ferdoush & Li [10], uma nova era de desenvolvimento de hardware e software de código aberto está surgindo e irá transformar o cenário mundial em alguns anos. Além disso, a Internet das Coisas (IoT) está cada vez mais presente em nosso cotidiano, conectando dispositivos de diferentes funções através da Internet.

O monitoramento dos recursos de sistemas embarcados por um protocolo de gerenciamento de redes é muito importante pois seu hardware é limitado. De acordo com Sehgal et al. [11], a implementação do protocolo de gerenciamento de redes

SNMP em microcontroladores da família AVR do fabricante Atmel é possível quando se adotam técnicas de simplificações na estrutura de funcionamento do protocolo criando uma versão mais simplificada e menos complexa que atende a todas as necessidades do problema.

É nesse cenário que é proposto um sistema embarcado capaz não somente de monitorar o ambiente, mas também de realizar o controle de equipamentos. O sistema proposto é um conjunto composto por uma arquitetura de hardware embarcada, um sistema eletrônico e uma aplicação de software desenvolvida para solucionar um problema real enfrentado por diversas empresas que possuem data centers ao redor do mundo.

Este trabalho tem múltiplas áreas de aplicação em monitoramento de ambientes. A solução desenvolvida pode ser aplicada, por exemplo, no monitoramento de ambientes industriais, onde a temperatura e umidade do ambiente são variáveis de controle, em salas com equipamentos que necessitem de um sistema de refrigeração controlada, bem como o acionamento de condicionadores de ar remotamente, evitando que o operador tenha que se deslocar entre os diferentes locais para realizar o acionamento dos mesmos.

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado em parceria com o Ponto de Presença da RNP no Rio Grande do Norte (PoP-RN) e a Rede Nacional de Pesquisa (RNP). Devido a este motivo, o sistema proposto foi projetado para atender as necessidades desta empresa.

O objetivo principal deste trabalho é solucionar um problema existente em muitos Gigabit Points of Presence (gigaPOPs) e data centers de pequeno e médio porte ao redor do mundo. Um gigaPOP é um ponto de acesso de Internet individual de alta velocidade geralmente mantido por uma universidade ou órgão governamental. Os gigaPOPs geralmente possuem velocidades de conexão iguais ou superiores a 1 Gigabit por segundo.

O sistema desenvolvido tem a finalidade de realizar o monitoramento da temperatura e da umidade do ambiente, liberar a abertura das portas dos racks de comunicação localizados em data centers e em gigaPOPs, e por fim realizar o acionamento do condicionador de ar dos gigaPOPs de forma remota.

De modo a validar a proposta, este sistema foi aplicado nos gigaPOPs do PoP-RN. Ao todo, serão usados 10 equipamentos para monitoramento e controle dos gigaPOPs localizados em diferentes cidades do Estado do Rio Grande do Norte. Grande parte destes gigaPOPs possuem condicionadores de ar auxiliares que são acionados manualmente na ocorrência de falhas no condicionador de ar principal. O sistema proposto foi idealizado para realizar o revezamento dos condicionadores de ar, assim como também o acionamento do condicionador

Jaime Cristalino Jales Dantas, Departamento de Engenharia de Computação e Automação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, Brasil, jaimejales@gmail.com

Yuri Iohanssen Ribeiro Damasceno, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, Brasil, rd.yuriiohanssen@outlook.com.br

Carlos Manuel Dias Viegas, Departamento de Engenharia de Computação e Automação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, Brasil, viegas@dca.ufrn.br

Edson Moreira Silva Neto, Coordenador Técnico, Ponto de Presença da RNP no Rio Grande do Norte, Natal-RN, Brasil, edson@pop-rn.rnp.br

de ar secundário caso a temperatura do ambiente esteja muito elevada.

Além disso, todo o sistema desenvolvido usa o protocolo de gerenciamento de redes SNMP para comunicação, facilitando assim a operação e manuseio deste por qualquer administrador de rede que possua a documentação adequada do sistema. Em adição, a solução desenvolvida é ideal para aplicações em ambientes de redes de pequena e média complexidade, pois possui baixo custo de fabricação e uma confiabilidade próxima aos dos equipamentos disponíveis no mercado atualmente.

A possibilidade da criação de um sistema embarcado baseado em hardware e software de código aberto com comunicação SNMP para realizar o monitoramento e controle do ambiente mostra-se promissora em um cenário onde o custo das tecnologias relacionadas aos temas vem diminuindo nos últimos anos (JUNEJA; DEAN; BHAT, 2015).

As soluções existentes no mercado para atender este nicho são todas de tecnologias estrangeiras e de elevado valor aquisitivo. O sistema proposto neste trabalho possui um custo cerca de 10 vezes menor que a solução mais em conta no mercado norte americano (SCHNEIDER ELECTRIC, 2016)[4].

O propósito principal deste projeto é a criação de solução de hardware e software de uso comercial para automação de atividades de monitoramento e controle de variáveis de ambientes em data centers que atenda as necessidades existentes na área de monitoramento de ambientes de redes.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Foram desenvolvidos alguns trabalhos na área de monitoramento de ambiente para data centers usando a plataforma de desenvolvimento Arduino e o protocolo de gerenciamento de redes SNMP, não somente do Brasil, mas também ao redor do mundo. Um sistema de monitoramento de ambiente para data center é discutido por Fernández et al. [5], onde foi utilizado o software de monitoramento de redes Nagios integrado com uma aplicação que se comunicava com o Arduino através de um servidor dedicado. A solução apresentada consistia em uma rede de sensores de temperatura e umidade dispersos em locais distintos dos racks de comunicação de um supercomputador. No entanto, este hardware não implementa o protocolo SNMP diretamente no microcontrolador, necessitando assim de um servidor que se conecta ao Arduino por conexão serial e o interfaceamento da comunicação entre o Nagios e o Arduino é feita por um programa escrito na linguagem Python.

Uma outra solução é apresentada por Araújo & Junior [1] em uma rede de sensoramento SNMP usando a plataforma Arduino. Uma rede de sensores de temperatura foi desenvolvida e a comunicação entre servidor e cliente é feita por intermédio de um Shield Ethernet conectado ao Arduino. Os dados são coletados via SNMP usando o Nagios. O sensoramento implementado é executado em uma rede sem fio. No entanto, os autores não mostram como é feita a implementação em baixo nível do protocolo SNMP no Arduino.

Projetos envolvendo a Internet das Coisas (IoT) são cada vez mais comuns nos dias atuais. A abordagem adotada por Machado et al. [6] mostra que o uso de redes de sensoramento remoto sem fio com um hardware baseado na plataforma de

desenvolvimento Arduino e com comunicação via SNMP tem inúmeras vantagens, pois além de tornar a comunicação mais simplificada, permite a interação com softwares de gerenciamento de redes.

No hardware proposto por Santos [7], a arquitetura é baseada em um microcontrolador PIC, onde é executado um servidor WEB que envia os valores do sensor de temperatura para o usuário por meio de um browser de Internet. Em sua proposta, foi desenvolvido um sistema capaz de monitorar e armazenar a temperatura de um data center.

A implementação de um sistema de monitoramento e controle de ambiente residencial é discutida por Romeiro & Costa [8] onde é projetado um hardware que controla o acionamento das lâmpadas de um cômodo de uma casa através do protocolo SNMP com o software Zabbix. A programação do software embarcado no Arduino foi baseada na biblioteca Agentuino e o acionamento das luzes é feito usando relés.

Em Born [9], o autor propõe uma estação meteorológica usando o microcontrolador ATmega328p juntamente com um Shield Ethernet usando exclusivamente o protocolo de gerenciamento de redes SNMP. No entanto, é ressaltado que este microcontrolador não é robusto o bastante para executar todas as operações envolvidas na comunicação SNMP. Logo, o autor recomenda o uso de outros modelos como o ATmega2560 que possui uma quantidade de memória SRAM e Flash superior.

Em todos os projetos que usaram a biblioteca SNMP Agentuino foram apontados problemas relacionados à falta de memória do ATmega328p. A solução apresentada por eles foi o uso de um microcontrolador com mais memória RAM, que em alguns casos foram usados a plataforma de desenvolvimento Arduino Mega que é baseada no microcontrolador ATmega2560.

III. PROTOCOLO SNMP

Simple Network Management Protocol (SNMP) é o protocolo de redes mais usado para gerenciamento de redes. Ele é usado para coletar informações e para definir configurações de dispositivos de redes como servidores, impressoras, hubs, switches e roteadores usando o protocolo de internet IP.

De acordo com Santos et al. [13], para realizar a gerência de redes é necessário obter informações de uma variedade considerável de equipamentos, dispostos em redes distintas. Para que essa diversidade não se constitua em um problema, há necessidade de padrões que definam um modelo de gerência baseada em gerente e agente.

As ações que podem ser realizadas no gerenciamento da rede estão definidas na MIB (Management Information Base) e a maneira que novas informações podem ser incorporadas ao modelo é padronizado pela SMI (Structure of Management Information).

Os equipamentos podem ser executados como um gerente ou um agente. O gerente é responsável pela coleta de informações que se deseja gerenciar e o agente é a entidade instalada nos diversos nós da rede que se pretende gerenciar e que coleta informações no hardware e no SO para repassá-las para o gerente [13].

Quando o gerente envia uma mensagem para o agente, ele solicita o envio de um objeto de gerenciamento ou mesmo um

conjunto deles. O conjunto de objetos gerenciados conhecidos por um agente são chamados de MIB. O nome do identificador de objeto (OID) é um nome único que define o objeto que está sendo gerenciado.

IV. CIRCUITO ELETRÔNICO

O circuito eletrônico do dispositivo desenvolvido é composto por três circuitos distintos associados em uma placa de circuito impresso. O primeiro circuito é uma fonte linear de alimentação que converte a tensão da rede elétrica de 220/110 V AC para uma tensão de 12 V DC. O segundo circuito é uma fonte de alimentação chaveada que converte a tensão 12 V para o nível de operação TTL do circuito, ou seja, 5 V. Finalmente temos o circuito responsável pelo controle do sistema e conexão entre microcontrolador e dispositivos de entrada e saída.

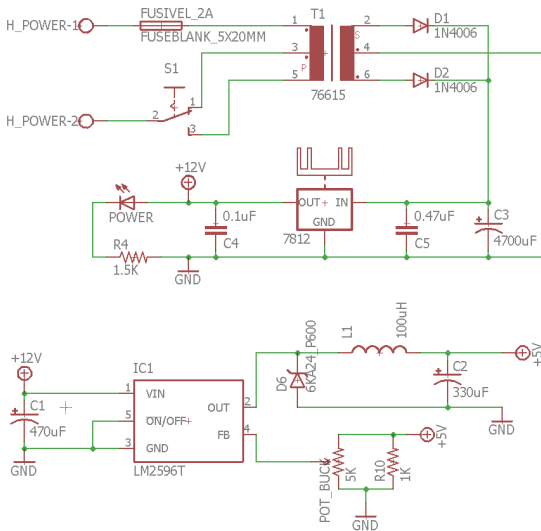


Fig. 1. Esquemático das fontes primária e secundária

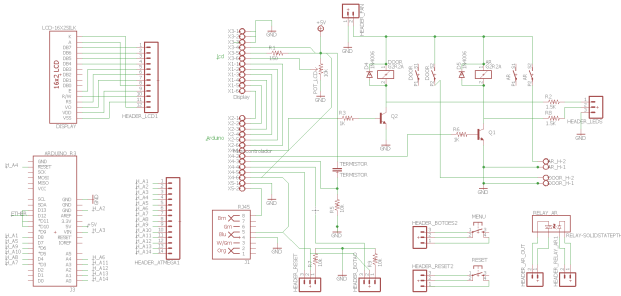


Fig. 2. Esquemático do circuito de controle

A. Fonte primária de 12 V

Uma fonte linear de tensão foi desenvolvida para alimentar todo o circuito. O dimensionamento dos parâmetros da fonte foram definidos de acordo com os dispositivos eletrônicos usados. O componente de maior potência do sistema é a fechadura magnética, que tem um consumo de corrente de

aproximadamente 400 mA em 12 V DC. Já para o microcontrolador, foi necessário realizar um o cálculo teórico de consumo a partir das especificações do fabricante. O resultado obtido foi de aproximadamente 200 mA de consumo de corrente em 5 V DC.

A partir desses dados, foi projetado uma fonte linear de tensão de 1 A de corrente de saída para 12 V DC. O transformador usado foi um de derivação central com entrada 110 V ou 220 V selecionados através de um chaveamento entre entradas no primário do transformador.

Foi adicionado um fusível de proteção de 2 A na entrada do primário do transformador para evitar eventuais acidentes de sobrecarga do sistema. O cálculo de corrente máxima foi obtido mensurando-se a corrente de consumo total do circuito, que foi bem inferior a 1 A em 220V AC. A saída do secundário do transformador passa por um circuito retificador de onda completa composto por dois diodos de corrente máxima de 1 A cada. A saída do retificador é então conectada a um regulador de tensão de uso geral LM7842. Um LED que indica o funcionamento da fonte foi acoplado ao circuito usando um resistor limitador de corrente. Para mudar a tensão de entrada entre 110 V ou 220 V, foi acionado uma chave seletora que se conecta a placa eletrônica através de um conector do tipo borne. Devido a alta potência de energia dissipada na forma de calor pelo regulador de tensão, foi necessário acoplá-lo a um dissipador de calor de alumínio e adicionar uma ventoinha ao equipamento.

B. Fonte secundária de 5 V

O microcontrolador, assim como os sensores, Shield Ethernet e display LCD funcionam com alimentação de 5V. Para que o sistema obtivesse uma alta eficiência energética, foi projetado um conversor de tensão do tipo step-down (buck) que converte os 12 V da fonte principal em 5 V para alimentação do circuito. Um conversor buck é usado quando necessita-se converter uma tensão DC para outra tensão DC de valor mais baixo. O circuito consiste em um transistor que faz o chaveamento da tensão na saída e um circuito de flywhell composto por um indutor, um capacitor e um diodo. A eficiência de fontes de tensão buck é muito superior a de fontes lineares baseadas em transformadores e reguladores de tensão como mostrado por Dantas et al. [12].

Para implementação do conversor de tensão *buck* foi escolhido o circuito integrado LM2596, cujas relações entre as tensões de referência e de saída e as resistências de realimentação estão representadas na equação 1 [15].

$$V_{saída} = V_{feedback} \times \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \quad (1)$$

onde

$$V_{feedback} = 1,23 V \quad (2)$$

A partir das equação 1 e 2, e escolhendo o valor de $R1 = 1 k\Omega$ podemos obter a simplificação apresentada na 3.

$$R2 = R1 \times \left(\frac{V_{saída}}{V_{feedback}} - 1\right) \quad (3)$$

A partir de disso, obtivemos $R_2 = 3,06 \text{ k}\Omega$. O indutor usado foi um de núcleo de ferrite de valor 100 mH . A escolha de um indutor com alta indutância seu deu para que variações bruscas de corrente de carga, como o fechamento da porta do rack por exemplo, tenham pouca influencia na alimentação do circuito de controle. Em outras palavras, buscou-se reduzir o *ripple* da saída do conversor de tensão.

C. Circuito de controle

O circuito de controle é responsável pelo o acionamento do ar-condicionado e por controlar os sensores externos de temperatura. Este circuito recebe a alimentação das duas fontes de tensão e faz a conexão entre o microcontrolador, o display LCD, os LEDs, o botão do menu, a fechadura magnética e o relé de estado sólido que aciona o ar-condicionado.

Foram usados dois relés para o acionamento da fechadura magnética e do relé de estado sólido do acionamento do ar-condicionado. Quando o relé é desligado, pode surgir uma tensão elevada entre os terminais de sua bobina, visto que esta possui uma indutância que se opõe a variações bruscas de corrente. Para evitar o surgimento dessa tensão, foram adicionados aos terminais dos relés diodos de roda-livre em antiparalelo, de forma a prover um caminho para a dissipação da energia armazenada na bobina na qual não ocorra danos ao circuito. O acionamento dos relés é feito por transistores NPN de uso geral para pequenas cargas. Em cada transistor foi conectado um resistor de $1 \text{ k}\Omega$ em sua base. Um LED em série com um resistor de $1,5 \text{ k}\Omega$ foi adicionado na saída de cada relé para indicar o seu estado (ligado ou desligado). Um relé de estado sólido de 40 A foi usado para acionar o ar-condicionado.

V. SOFTWARE DATA CENTER CONTROL (DC CONTROL)

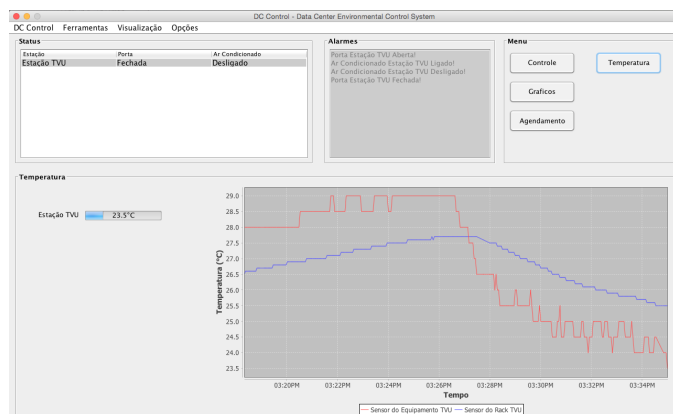


Fig. 3. Interface de monitoramento do sistema desenvolvido

Em adição a arquitetura de hardware proposta, também foi desenvolvido um software capaz de monitorar e controlar múltiplas estações de monitoramento. O software de monitoramento DC Control é baseado na linguagem Java e usa o protocolo de gerenciamento SNMP para comunicação com as estações, através do qual são coletadas informações do estações e são controlados remotamente a porta do rack e o estado do ar-condicionado (Figura 3).

VI. EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO

O sistema microcontrolado projetado foi encapsulado em um equipamento de uso industrial para facilitar a instalação e o uso em ambientes de data centers. As dimensões foram projetadas de acordo com o padrão de equipamentos de redes para racks de comunicação. Para construção do equipamento, foi utilizada uma carcaça vazia de um switch 3Com SuperStack II Switch 3300. A carcaça foi pintada e no seu interior foram colocados o display LCD, uma ventoinha para resfriamento do equipamento, o relé de estado sólido para o acionamento do ar-condicionado, uma chave seletora da tensão de entrada $110/220 \text{ V}$, a placa de circuito impresso desenvolvida e os conectores para a porta do rack e para a fase do condicionador de ar.



Fig. 4. Equipamento desenvolvido

O equipamento ocupa 2U de espaço em um típico rack de comunicação. Ele possui abas de fácil fixação no trilho do rack e a conexão do sensor de temperatura é feita com uma cabo ethernet de uso geral, com conector RJ45. Todas essas características visam facilitar a instalação e a manutenção do equipamento. Na parte frontal se encontram o display LCD, que mostra informações úteis para o operador, LEDs que indicam o estado da porta do rack e do ar-condicionado, um botão de menu, uma porta USB padrão B para atualização de firmware, e uma porta Ethernet para conexão do equipamento a rede de comunicação (Figura 4).

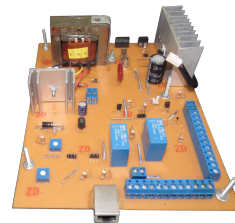


Fig. 5. Placa eletrônica confeccionada



Fig. 6. Sensor de temperatura e umidade projetado

A placa de circuito impresso pode ser vista na figura 5. As legendas de todos os componentes foram impressas na parte frontal da placa. Devido a placa utilizada possuir apenas a face inferior revestida de cobre, foi necessário que as trilhas da face superior fossem feitas com fios de cobre.

O sensor de temperatura e umidade foi projetado com objetivo de facilitar a instalação e manutenção deste. Para isso, o sensor foi acondicionado em uma caixa plástica e um conector RJ45 foi usado para conexão deste com o equipamento (Figura 6).

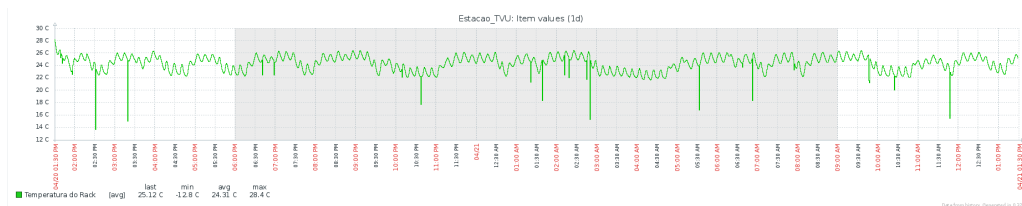


Fig. 7. Zabbix - Temperatura para um dia de monitoramento

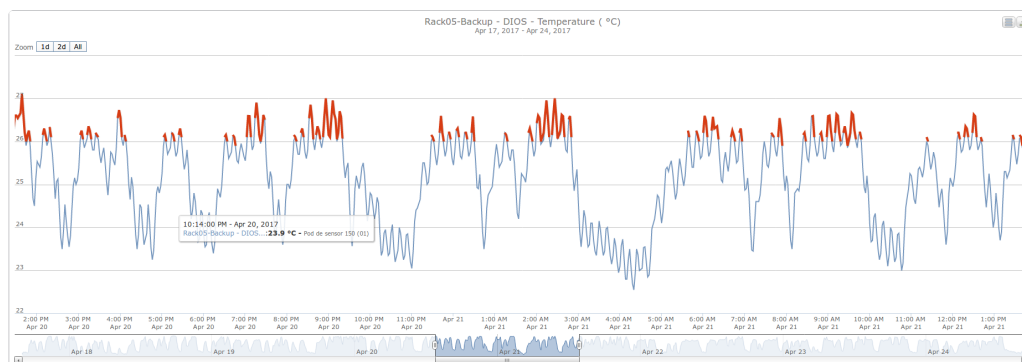


Fig. 8. Netbotz - Temperatura para um dia de monitoramento

VII. RESULTADOS OBTIDOS

O equipamento desenvolvido foi instalado em um dos racks do datacenter do PoP-RN, e os dados de monitoramento coletados foram analisados e comparados com a solução comercial Netbotz da APC que já estava instalada no rack.

A partir dos gráficos apresentados nas figuras 7 e 8, verificou-se que o equipamento desenvolvido possui um nível de precisão e confiabilidade semelhante à solução comercial da APC, apresentando apenas erros em algumas amostras, provavelmente ocasionadas por erros de bit na comunicação entre o sensor e o microcontrolador.

VIII. CONCLUSÕES

Um sistema embarcado baseado em tecnologias de baixo custo capaz de realizar o acionamento de condicionadores de ar e a abertura de fechaduras magnéticas de portas de rack de comunicação foi proposto neste trabalho. Além disso, o sistema apresentado é capaz de realizar o monitoramento de sensores internos e externos de temperatura e umidade através do protocolo de gerenciamento SNMP. Uma das maiores vantagens do projeto é seu baixo custo de fabricação. Custando aproximadamente R\$ 300,00 o equipamento proposto se enquadra na categoria das soluções mais baratas e eficientes para realizar o monitoramento de data centers e de outros ambientes industriais.

A arquitetura criada é composta por um microcontrolador ATmega328p, um Shield Ethernet W5100, sensores DHT11 e DHT22, e uma placa eletrônica contendo duas fontes de tensão e um circuito de controle. [1], [2], [3], [5], [4].

REFERÊNCIAS

- [1] A. Araújo e I. V. Junior, "Protocolo de Transmissão de Dados SNMP em Redes de Sensoriamento Sobre a Plataforma Arduino," *IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN*, 5 Julho 2013.

- [2] E. Gionet, "Agentuino Library," 2010. [Online]. Disponível em <https://code.google.com/archive/p/agentuino/wikis/AgentuinoLibrary.wiki>
- [3] SNMP4J, "SNMP4J - The Object Oriented SNMP API for Java Managers and Agents," 2015. [Online]. Disponível em <http://www.snmp4j.org/index.html>
- [4] Schneider Electric, "APC NetBotz," 2016. [Online]. Disponível em <http://www.apc.com/shop/us/en/categories/security-and-environmental-monitoring/sensors-cameras-licenses-accessories/netbotz-sensors/>
- [5] V. Fernández, A. Pazos, J. Saborio e M. Seco, "Arduino and Nagios integration for monitoring," *20th International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics*, p. 8, 2014.
- [6] L. Machado, A. Mota e L. Mota, "SNMP Management of Urban Areas Remote Monitoring via Open Platform Proxy-IP," em *1st International Electronic Conference on Remote Sensing*, Basel, 2015.
- [7] J. C. M. d. Santos, "Projeto de um sistema microcontrolado utilizando Internet embarcada para monitoramento remoto em tempo real de temperatura e disponibilização dos dados na WEB através de conexão de rede", UFRN, Natal, 2009.
- [8] W. Romeiro e F. Costa, "Monitoramento Residencial Utilizando o Zabbix e o Padrão IEEE 802.15.4," em *32nd HOLOS*, Natal, 2016.
- [9] B. Born, "Arduino HTTP Temperature sensor (formerly SNMP)," Jan. 2012. [Online]. Disponível em <http://openhardware.gridshield.net/home/arduino-snmp-temperature-sensor>
- [10] S. Ferdoush e X. Li, "Wireless Sensor Network System Design using Raspberry Pi and Arduino for Environmental Monitoring Applications," *The 9th International Conference on Future Networks and Communications*, pp. 103-110, 2014.
- [11] A. Sehgal, V. Perelman e S. Kuryla, "Management of resource constrained devices in the internet of things," *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, nº 12, Dez. 2012.
- [12] J. Dantas, P. Alsina, C. Júnior, I. Santiago, J. Ramos e J. D. Dantas, "Arquitetura de Hardware Embarcado em Carga Recuperável Ejetável para Veículo Aéreo Não Tripulado", em *VI Fórum de Pesquisa e Inovação do CLBI*, Parnamirim, 2016.
- [13] M. Santos, L. Tarouco, L. Bertholdo, F. M. Lima e V. Vasconcellos, *Gerência de Redes de Computadores*, 2. ed. ed., Rio de Janeiro: Escola Superior de Redes RNP, 2015.
- [14] D. R. Mauro e S. J. Kevin, *Essential SNMP*, 2. ed. ed., Sebastopol: O'Reilly Media, 2005.
- [15] Texas Instrument, "LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator (Rev. D)", disponível em http://www.ti.com/product/LM2596/datasheet/application_and_implementation.html#SNVS1249258