

## COMUNICAÇÃO ZIGBEE APLICADA EM UM SISTEMA DE CONTROLE

F. D. FAGUNDES<sup>1\*</sup>, L. P. FAGUNDES<sup>1</sup>, M. J. CUNHA<sup>2</sup> e F. V. R. SILVA<sup>2</sup><sup>1</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais<sup>2</sup>Universidade Federal de Uberlândia

fredericofagundes.cefetmg@gmail.com\*

Artigo submetido em agosto/2015 e aceito em janeiro/2016

DOI: 10.15628/holos.2016.3786

## RESUMO

O presente artigo apresenta o desenvolvimento de uma interface de comunicação entre os padrões EIA RS-232 e ZigBee. Sistemas sem fio não apresentam custos extras com fiação e infraestrutura, permitem fácil realocação e a adição de novos dispositivos é simples. O padrão RS-232 é utilizado em diversas aplicações e o objetivo do projeto foi agregar as vantagens do padrão de comunicação sem fio ZigBee em um sistema que utilize o RS-232. O projeto

foi aplicado em sistemas didáticos de controle de processos, no qual foi desenvolvida uma placa com um módulo ZigBee e um sistema de conversão do sinal serial RS-232. Os testes mostraram que a interface não interferiu na infraestrutura do sistema existente, permitiu que a estação de trabalho fosse realocada e ainda permitiu que uma única estação se comunicasse com mais de um sistema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Comunicação sem fio, Controle de processos, Conversão de dados.

## ZIGBEE COMMUNICATION APPLIED IN A CONTROL SYSTEM

## ABSTRACT

This paper presents the development of a communication interface between the standards EIA RS-232 and ZigBee. Wireless systems do not have extra costs of wiring and infrastructure, allow easy relocation and addition of new devices is simple. The RS-232 is used in various applications and the project's goal was to add the standard advantages of ZigBee wireless communication in a system previously using the RS-232. The project was

implemented in educational process control systems. A board was developed, containing a ZigBee module and a conversion system for the RS-232 serial signal. The tests showed that the interface does not interfere with the existing system infrastructure, allowed the workstation to be reallocated and still allowed a single station to communicate with more than one system.

**KEYWORDS:** Wireless communication, Process Control, Data conversion.

## 1 INTRODUÇÃO

Na indústria, predomina a utilização de cabeamento para a comunicação dos instrumentos de campo com os controladores e sistemas de supervisão. São inúmeros cabos saindo das salas de controle e supervisão para o chão-de-fábrica, recebendo e transmitindo os mais diversos tipos de dados (RAMOS, 2012).

A principal vantagem do uso de cabos é a confiabilidade na transmissão de dados, ou seja, há poucas perdas nos dados que precisam ser transmitidos e recebidos de um ponto a outro. Outro fator importante é que os instrumentos instalados no campo necessitam de cabeamento para alimentação e, muitas vezes, é viável que a transmissão de dados seja feita através da mesma estrutura e, em alguns casos, até pelo mesmo cabo (ALVES, 2010).

Um padrão bastante utilizado em sistemas cabeados, desenvolvido pela EIA (*Electronic Industries Alliance*), é o RS-232. Consiste em um padrão de comunicação digital serial, utilizado tanto em portas seriais de computadores quanto em conjunto com protocolos de comunicação industrial (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2009).

Com o desenvolvimento no setor de transmissão de dados, surgem novas tecnologias, abrindo mais opções para as empresas. Uma das tecnologias que mais se desenvolveu é a transmissão sem fio (*wireless*), em que o transmissor e o receptor comunicam-se sem a necessidade de cabeamento (RAMOS, 2012).

Esse tipo de transmissão já é muito utilizado e substitui bem a comunicação por cabeamento em alguns casos, como na transmissão de voz por radiofrequência, na telefonia e na internet.

Inicialmente, não se utilizava essa tecnologia na indústria devido à perda relativamente alta de dados em sua transmissão, causada por interferências de campos magnéticos e barreiras físicas, por exemplo (RAMOS, 2012).

As redes industriais que utilizam transmissão por cabeamento necessitam de altos investimentos em infraestrutura e mão-de-obra, sempre que a rede industrial sofre manutenção ou é expandida. Já com a utilização de redes sem fio há redução do custo da infraestrutura e simplificação das instalações, pois não há necessidade de uso de bandejas e dutos. O custo de manutenção também é reduzido, pois, sem o cabeamento, a substituição de dispositivos é facilitada (RAMOS, 2012).

Atualmente, há opções de tecnologias de transmissão sem fio que prometem baixa interferência, alta confiabilidade na transmissão de dados e trabalham com baixa potência. Uma dessas tecnologias é o padrão ZigBee, que vem sendo utilizado com sucesso no processamento de sinais biomédicos (ANDRIGHETTO, 2008), no monitoramento de parques eólicos (PEREZ; HELENA, 2011) e até no sensoriamento remoto de pranchas de surfe (BONA; FERREIRA; SCHWARZ, 2012).

Entretanto, essas vantagens e aplicações consideram a implantação do padrão ZigBee desde o início do projeto. Em sistemas cuja estrutura já está cabeada, essa implantação pode não ser atrativa. Pensando nisso, o projeto visou agregar vantagens a um sistema já cabeado, mas que apresentava, principalmente, duas desvantagens. Primeira, se houver a intenção de expandir um sistema cabeado, o custo de infraestrutura é alto. Ademais, a mobilidade dos dispositivos é, no mínimo, trabalhosa.

Devido à ampla utilização do RS-232 (ou EIA232), foi pensado que uma interface entre este padrão e o padrão de comunicação sem fio ZigBee, demonstraria que um sistema cabeado pode apresentar as vantagens da transmissão de dados *wireless* sem que sua infraestrutura sofresse modificações.

O objetivo foi desenvolver uma placa de comunicação que servisse como interface entre os padrões RS-232 e ZigBee. Além disso, visou-se aplica-la em um sistema que utiliza o padrão RS-232, para avaliar sua efetividade.

Um dos sistemas onde a placa foi aplicada é uma planta didática de controle de temperatura CRT (*Controllo e Regolazione Temperatura*), da marca Didacta®, localizada no Laboratório de Automação e Controle do CEFET-MG, em Araxá. Seu esquema de funcionamento é ilustrado na Figura 1.

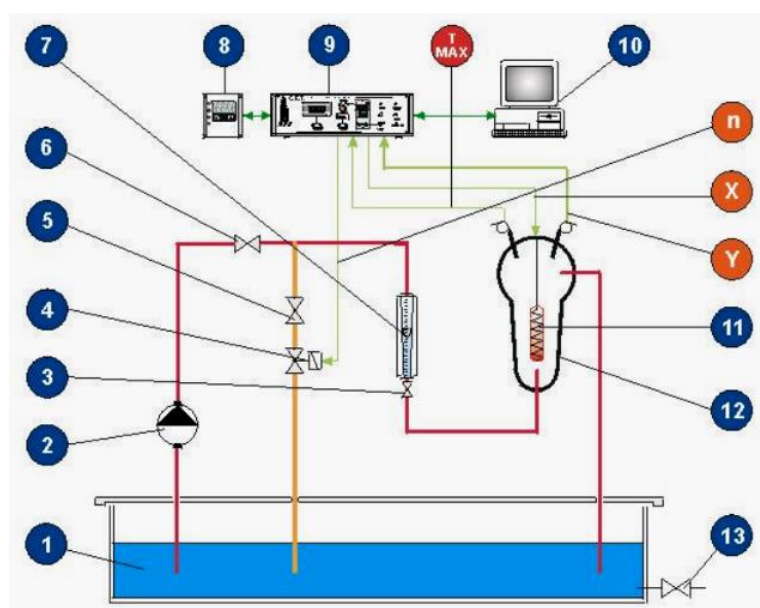


Figura 1: Esquema da planta didática CRT.

Fonte: Didacta Italia, 2012.

O sistema conta com um reservatório de água (1), uma bomba (2), uma válvula de controle de alimentação (3), uma válvula de simulação de distúrbio (4) (sinal representado por n) e uma resistência para aquecimento da água (11). A água do reservatório é bombeada para um bulbo (12), onde se encontram a resistência responsável pelo aquecimento da água (alimentação da resistência representada por X) e transmissores de temperatura (sinal representado por Y). A válvula de controle (3) tem sua vazão monitorada por um indicador (7). As válvulas (5) e (6) são para controle manual de abertura ou fechamento de suas respectivas tubulações. Há uma válvula para esgotamento do tanque (13), se necessário. Os equipamentos (8) e (9) representam a interface da planta, podendo também ser utilizados para controle eletrônico sem uso do computador (10). O computador (10) é uma estação de trabalho que recebe os dados da planta através de interface serial RS-232 e conta com um *software* próprio para controle, disponibilizado pelo fabricante (DIDACTA ITALIA, 2012).

Na seção 2 do trabalho, é descrita a metodologia de implantação do projeto e os testes realizados. Na seção 3, os resultados dos testes são apresentados, bem como as inferências

alcançadas com os resultados. A seção 4 apresenta as conclusões obtidas. As publicações e demais referências consultadas para o desenvolvimento desse trabalho são listadas na seção 5.

## 2 METODOLOGIA

O ZigBee é um padrão de comunicação aberto, por isso existem diversos fabricantes e dispositivos para realizar comunicação com esse padrão. Um desses fabricantes é a Fractum®, responsável pelo desenvolvimento do UBeeMax®. O dispositivo possui uma boa relação custo/benefício comparado com os módulos ZigBee de outros fabricantes, por isso foram escolhidos para a realização dos testes práticos.

Os módulos UBeeMax® contam com uma porta de comunicação serial assíncrona, que pode comunicar com outros dispositivos compatíveis com os níveis lógicos e de tensão do padrão USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*). O USART é um padrão de comunicação serial, usado como referência em dispositivos e padrões que utilizam tanto comunicação síncrona quanto assíncrona.

As plantas industriais do Laboratório de Automação e Controle enviam os dados para a estação de trabalho através de cabo par trançado, com base no padrão RS-232. O protocolo RS-232 pode tornar-se compatível com o padrão USART por meio da conversão do nível de tensão. Os módulos UBeeMax® utilizam níveis de tensão entre 2,4 e 3,6 Volts para seus *bits*, já o padrão RS-232 comunica-se utilizando níveis entre 3 e 25 Volts, positivos ou negativos.

Para que o módulo pudesse estabelecer a comunicação com o padrão RS-232 da planta, foi então, utilizado o Circuito Integrado (CI) Max3232®, da MaxStream®. O CI tem a função de baixar os níveis de tensão do padrão RS-232, para que se tornem compatíveis com a porta USART do módulo ZigBee, e aumentar os níveis de tensão da porta USART para conciliar com o padrão RS-232. Foram utilizados capacitores associados ao CI Max3232®, conforme indicação do fabricante (MAXIM INTEGRATED, 2007). A Figura 2 mostra o esquema de ligação do Max3232®.

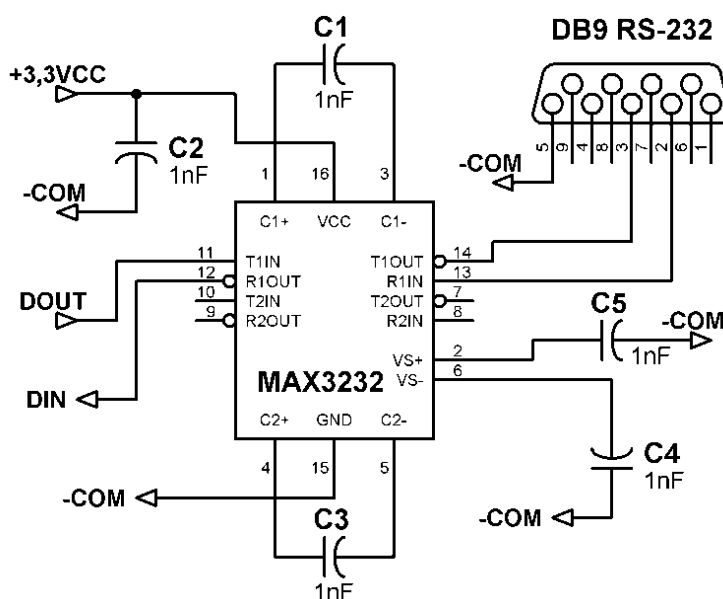


Figura 2: Diagrama de ligação do Max3232® com a porta serial RS-232.

Os terminais 11 (T1IN) e 12 (R1OUT) do CI MAX3232<sup>®</sup> estão em comunicação com os pinos 2 e 3, respectivamente, do módulo ZigBee. A ligação do módulo ZigBee pode ser vista na Figura 3.

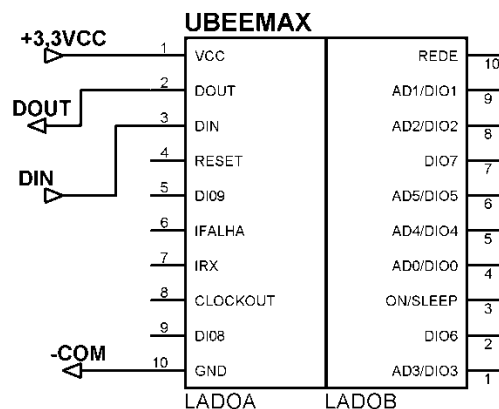


Figura 3: Diagrama de ligação do módulo UBeeMax<sup>®</sup>.

Ambos CIs necessitam de tensão de alimentação de 3,3 Volts, como pode ser visto nas Figuras 2 e 3. A placa foi desenvolvida de modo que pudesse receber diversos níveis de tensão. Para isso, foi utilizado o regulador de tensão ajustável LM317<sup>®</sup>, da Texas Instruments<sup>®</sup>, capaz de receber até 37 Volts na entrada. A tensão de saída é ajustada de acordo com a associação dos resistores R1 e R2, mostrados na Figura 4 (TEXAS INSTRUMENTS, 2014).

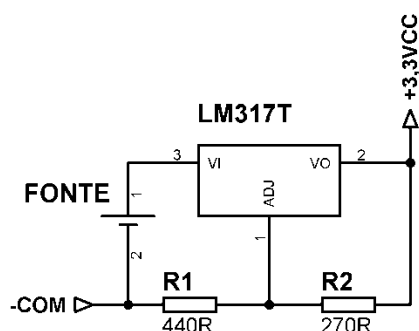


Figura 4: Diagrama de ligação do LM317<sup>®</sup>.

Seguindo o projeto, a placa foi desenvolvida e montada na saída da interface eletrônica da planta didática. A placa final, com a conexão RS-232, é mostrada na Figura 5.



Figura 5: Placa de comunicação finalizada conectada à porta serial RS-232 da planta.

Para se comunicar com a planta, a estação de trabalho conta com uma interface mais simples de trabalhar com ZigBee, que é a USB (*Universal Serial Bus*). O fabricante Fractum® fornece o dispositivo USBee® para que o módulo UBeeMax® possa ser conectado à porta USB da estação. O módulo USBee® associado ao UBeeMax® é mostrado na Figura 6.



Figura 6: Módulo USBee® associado ao UBeeMax®.

Com a placa de comunicação na planta e o módulo na estação de trabalho, foi iniciada a troca de dados através do padrão ZigBee. O teste inicial foi de mobilidade, utilizando um notebook como estação de trabalho e afastando-o da planta até que o sistema apresentasse perda de dados na comunicação. Para avaliar a perda de dados, foram quantificados os bits enviados e recebidos na comunicação e, quando houve perda ou alteração de valores nos bits, considerou-se falha na comunicação.

O segundo teste avaliou a expansibilidade da rede. Foram desenvolvidas outras duas placas iguais e as mesmas foram aplicadas a outras duas plantas didáticas de controle, do mesmo fabricante. Foram necessárias alterações no software responsável pelo envio de requisições e recebimento das respostas. Então, foi avaliada a possibilidade de comunicação com todas as três plantas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro teste, de mobilidade, mostrou que a comunicação entre os dispositivos começou a falhar quando a distância entre os mesmos chegou a aproximadamente 80 metros. Isso em uma situação onde a estação de trabalho estava em ambiente aberto e a planta didática no laboratório.

Quando a estação de trabalho passou para um ambiente fechado, aumentando assim os obstáculos físicos entre os dispositivos, a perda passou a ocorrer em uma distância de aproximadamente 40 metros. Esse teste foi feito mantendo a planta no laboratório e movendo a estação de trabalho para outro laboratório. A imagem de satélite da Figura 7 representa essas duas etapas.

O fabricante especifica que o módulo UBeeMax® alcança 300 metros em ambientes fechados (FRACTUM, 2015), entretanto, supõe-se que esse valor seja relativo a interrupção total na comunicação, não a ocorrência de falhas na transmissão. Para esse trabalho, a distância alcançada foi considerada aceitável. Em aplicações que exijam longas distâncias, é possível utilizar módulos ZigBee como roteadores (MESSIAS, 2008).

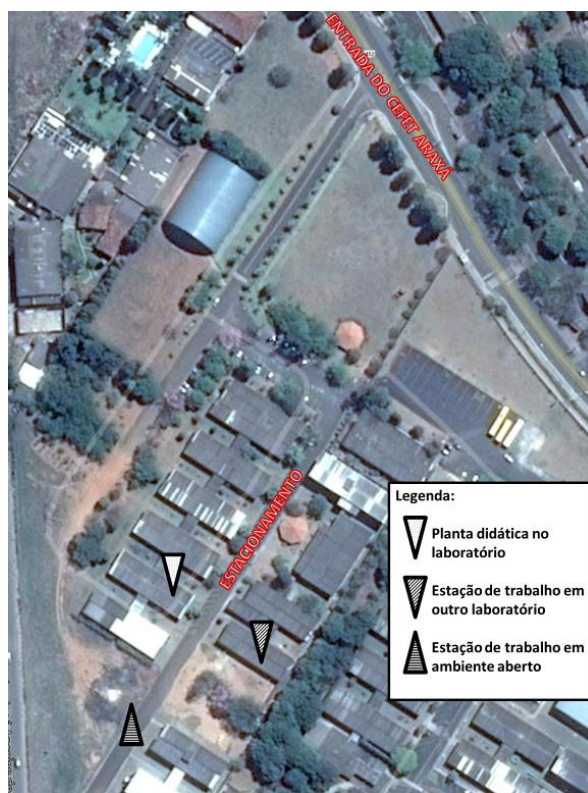


Figura 7: Local dos testes.

Em ambiente fechado, à distância de 40 metros, a transmissão apresentou falhas em 5,696% dos ciclos. Cada ciclo consiste de uma mensagem de requisição de 16 *bits* e uma mensagem de resposta de 16 *bits*. Considerando as perdas *bit a bit*, o percentual de falhas foi de 0,178%. A Tabela 1 demonstra as medições realizadas durante alguns testes. A Tabela 2 mostra os resultados dos testes. Os testes em ambiente aberto apresentaram resultados similares.

Tabela 1: Falhas ocorridas na comunicação entre a planta e a estação de trabalho.

Ciclos por teste	Falhas	Bits transmitidos	Bits com falha
35	1	1120	1
1	1	32	1
2	1	64	1
6	1	192	1
5	1	160	1
25	1	800	1
10	1	320	1
11	1	352	1
20	0	640	0
20	0	640	0
3	1	96	1

Tabela 2: Resultados das medições de falhas.

Resultado analisado	Valor
Total de ciclos	158
Total de falhas	9
Total de bits transmitidos	5056
Total de bits com falha	9
Percentual de falhas por ciclo	5,696%
Percentual de falhas por bit	0,178%

As falhas ocorridas na transmissão poderiam ser contornadas com algum algoritmo de verificação de erros, como a verificação de paridade, o *checksum* e o *Cyclic Redundancy Check*. Para a aplicação dessas técnicas, é necessária a adição de *bits*, o que não é possível, visto que a transmissão segue um padrão próprio nessas plantas de controle.

O segundo teste realizado foi de expansibilidade. Com ele a estação de trabalho passou a comunicar com três plantas de controle. Um *software* desenvolvido para esse fim mostra e armazena os dados das três plantas. A Figura 8 mostra um gráfico obtido durante o teste.

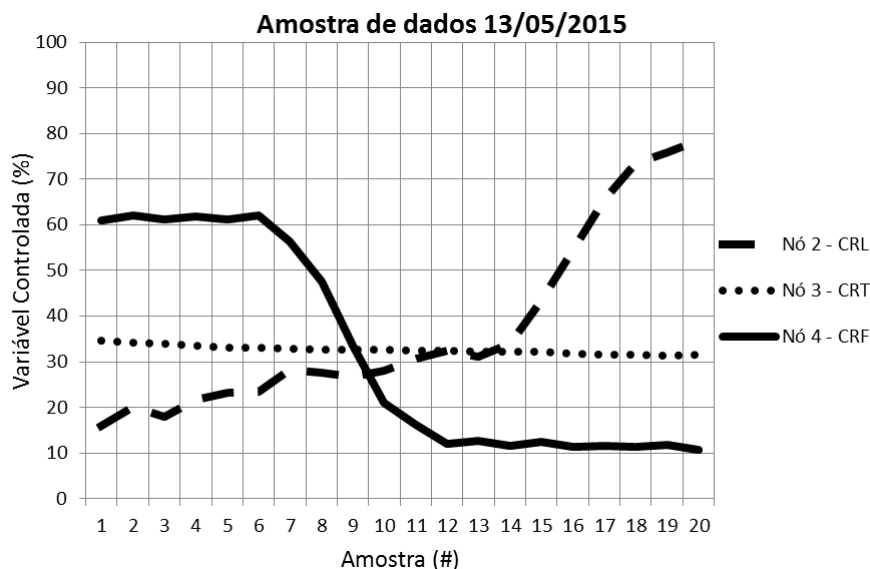


Figura 8: Amostra de dados.

A comunicação com as três plantas apresentou aumento de três vezes no tempo de varredura. Isso porque as plantas se comunicam com a estação de trabalho através de requisição e resposta, com isso para cada nova variável lida de uma nova planta de controle, o tempo para completar um ciclo de leitura aumenta proporcionalmente.

Com o monitoramento de três plantas de controle por uma estação de trabalho, foi demonstrada a expansibilidade do sistema. Essa expansão foi feita de forma simples, apenas com a adição de novas placas de comunicação e com alterações no *software*. Com essa aplicação, as plantas de controle, que são monovariáveis, podem ser consideradas como parte de um único sistema, possibilitando realizar estudos mais amplos envolvendo diversas variáveis.

## 4 CONCLUSÃO

O trabalho mostrou que é possível agregar vantagens de sistemas sem fio em sistemas cabeados. A implantação da interface possibilitou que a estação de trabalho fosse realocada, respeitando as limitações de distância, e que a rede fosse expandida sem dificuldades.

Além disso, a interface serial foi substituída pela USB. Isto eliminou uma limitação do sistema, que é o fato de *notebooks* geralmente não contarem com interfaces RS-232, ampliando as possibilidades de estações de trabalho.

Com a implantação da placa em diversas plantas de controle, também é possível desenvolver estudos em sistemas multivariáveis. Para verificação e correção dos erros na



transmissão, evidencia-se a necessidade de desenvolver uma técnica que não necessite de adição de *bits* na transmissão.

## 5 REFERÊNCIAS

1. ALBUQUERQUE, P. U., & ALEXANDRIA, A. R. (2009). Redes Industriais (2 ed.). São Paulo: Ensino Profissional.
2. ALVES, J. L. (2010). Instrumentação, Controle e Automação de Processos (2 ed.). Rio de Janeiro: LTC.
3. ANDRIGHETTO, E. (2008). Sistema de Processamento de Sinais Biomédicos: Rede Wireless ZigBee com Aplicação do Padrão IEEE 802.15.4. Florianópolis, SC: UFSC.
4. BONA, D. D., FERREIRA, G. d., & SCHWARZ, L. (2012). Sensoriamento Remoto em Pranchas de Surfe utilizando Tecnologia ZigBee. Florianópolis, SC: IFSC.
5. DIDACTA ITALIA. (2012). CRT - Temperature Control and Regulation Study Unit. Acesso em 12 de Maio de 2015, disponível em [http://didacta.it/allegati/main\\_catalogs/CE\\_CRT\\_E.PDF](http://didacta.it/allegati/main_catalogs/CE_CRT_E.PDF)
6. FRACTUM. (2015). Folha de dados Módulo RF U-BEEMAX. Acesso em 03 de Maio de 2015, disponível em [http://www.fractumrf.com/manuais/UBEEMAX\\_REV11.pdf](http://www.fractumrf.com/manuais/UBEEMAX_REV11.pdf)
7. MAXIM INTEGRATED. (2007). MAX3222/MAX3232/MAX3237/MAX3241. Acesso em 30 de Julho de 2015, disponível em Folha de dados do Max3232: <http://pdfserv.maximintegrated.com/en/ds/MAX3222-MAX3241.pdf>
8. MESSIAS, A. R. (2008). Controle Remoto e Aquisição de Dados via XBee/ZigBee (IEEE 802.15.4) . Acesso em 03 de Julho de 2015, disponível em <http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBee.htm>
9. PEREZ, F., & HELENA, E. S. (2011). Estudo de Viabilidade de uso de Redes Sem Fio no Monitoramento de Parques Eólicos. ULBRA. Canoas, RS: ULBRA.
10. RAMOS, J. d. (2012). Instrumentação Eletrônica Sem Fio. São Paulo: Érica.
11. TEXAS INSTRUMENTS. (Outubro de 2014). LM317 3-Terminal Adjustable Regulator. Acesso em 03 de Agosto de 2015, disponível em Folha de dados do LM-317: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf>