

AUTOMAÇÃO DA AQUISIÇÃO DE DADOS DE UM EXPERIMENTO DIDÁTICO DE POLARIZAÇÃO ÓPTICA ATRAVÉS DA INTEGRAÇÃO DA PLATAFORMA ARDUINO, MÓDULOS DE RÁDIO XBEE E O LABVIEW.



Revista
Desafios

Artigo Original
Original Article
Artículo Original

Data acquisition automation of a didactic experiment of optical polarization through the integration of the arduino platform, xbee radio modules and the labview.

Automación de la adquisición de datos de un experimento didáctico de polarización óptica a través de la integración de la plataforma arduino, módulos de rádio xbee y el labview.

N. M. Sotomayor^{*1}, L. Y. A. Davila¹, De Sousa R. L.¹, Da Rocha, A. S.¹

¹Laboratório de Materiais para Aplicações em Dispositivos Eletrônicos LABMADE, Curso Física, Universidade Federal do Tocantins, Campus de Araguaína, Unidade Cimba, Araguaína TO Brasil.

**Correspondência: Laboratório de Materiais para Aplicações em Dispositivos Eletrônicos LABMADE, Universidade Federal do Tocantins, Campus de Araguaína, Unidade Cimba, Av. Paraguai esquina com a rua Uxiramas s/n CEP 77824-838. Araguaína TO, Brasil. e-mail nmsch@uft.edu.br*

Artigo recebido em 02/04/2018 aprovado em 31/01/2019 publicado em 30/03/2019.

RESUMO

Relata-se a automação da aquisição de dados de um experimento para determinar o ângulo de polarização de uma fonte de luz laser de He-Ne através da integração de recursos atuais das tecnologias da informação e comunicação (TICs) tais como são os módulos de ondas de rádio com fator de forma compatível (Xbee), a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino e o ambiente de desenvolvimento de sistemas Labview. O intuito é introduzir o sistema protótipo como uma ferramenta de automação da aquisição de dados múltiplos em experimentos didáticos de Física que precisem simultaneamente do controle de atuadores ou servomecanismos diversos por radiofrequência. O dispositivo pode ser construído e utilizado por professores do ensino médio e superior e introduzido como ferramenta de apoio e motivação para a realização de atividades experimentais diversas. Foi empregado como equipamento base um sistema experimental da Lei de Malus, apenas demonstrativo, composto de uma fonte laser de gás He-Ne que emite luz de comprimento de onda de 632.8 nm, um suporte polarizador com rotação manual e um anteparo para visualização. O suporte rotatório manual do polarizador foi modificado para incluir rotação automática através de um mecanismo de engrenagens impulsionado por um motor de passo conectado a um dispositivo de ponte H, uma placa Arduino Uno e um módulo Xbee. O conjunto é controlado remotamente através de rádio frequência por um aplicativo de software desenvolvido na linguagem G do Labview. O anteparo foi substituído por um módulo sensor de intensidade luminosa com aquisição automática de dados através de uma placa Arduino Uno, conectada a outro módulo Xbee, que envia os dados digitais ao aplicativo de controle usando também ondas eletromagnéticas na faixa de rádio. O sistema experimental automático possibilita a realização do experimento em menor tempo, com a aquisição de maior número de dados, minimizando a introdução de erros e com armazenamento e visualização instantâneas dos resultados.

Palavras-chave: Xbee; Arduino; Aquisição de dados.

ABSTRACT

It is reported the automation of the data acquisition from an experiment to determine the polarization angle of a He-Ne laser light source through the integration of recent resources of information and communication technologies (TICs), such as the form factor compatible radio modules (Xbee), the Arduino electronic prototyping platform and the Labview environment development system. The aim is to introduce the prototype system as an automation tool for multiple data acquisition in didactic physics experiments that simultaneously require the control of actuators or various servomechanisms by radiofrequency. The device can be constructed and used by high school teachers and superior education professors and introduced as a tool of support and motivation for the accomplishment of diverse experimental activities. It was used as base equipment and experimental set-up system of the Law of Malus, only of demonstrative type, consisting of a He-Ne gas laser source emitting 632.8 nm wavelength light, a manual rotation polarizer holder and a display screen. The manual rotating polarizer holder

was modified to include automatic rotation through a gear mechanism driven by a stepper motor connected to an H-bridge device, an Arduino Uno board and an Xbee module. The rotating device is remotely controlled, via radio frequency, by a software application developed in the Labview G language. The screen has been replaced by a light intensity sensor module with automatic acquisition of data through an Arduino Uno board, connected to another Xbee module that sends the digital data to the control software application also using electromagnetic waves in the radio range. The automatic experimental system makes it possible to perform the experiment in a shorter time, with the acquisition of more data, minimizing the introduction of errors and with instantaneous storage and visualization of the results.

Keywords: Xbee; Arduino; Data acquisition.

RESUMEN

Se relata la automatización de la adquisición de datos de un experimento para determinar el ángulo de polarización de una fuente de luz láser de He-Ne a través de la integración de recursos actuales de las tecnologías de la información y comunicación (TICs) tales como los módulos de ondas de radio de factor de forma compatible (Xbee), la plataforma de prototipado electrónico Arduino y el entorno de desarrollo de sistemas Labview. La intención es introducir el sistema prototipo como una herramienta de automatización de la adquisición de datos múltiples en experimentos didácticos de Física que necesiten simultáneamente del control de actuadores o servomecanismos diversos por radiofrecuencia. El dispositivo puede ser construido y utilizado por profesores de la enseñanza secundaria y superior e introducido como herramienta de apoyo y motivación para la realización de actividades experimentales diversas. Se utilizó como equipo base un sistema experimental de la Ley de Malus, sólo de tipo demostrativo, compuesto de una fuente láser de gas He-Ne que emite luz de longitud de onda de 632.8 nm, un soporte polarizador con rotación manual y un mamparo para visualización. El soporte rotatorio manual del polarizador ha sido modificado para incluir rotación automática a través de un mecanismo de engranajes impulsados por un motor de paso conectado a un dispositivo de puente H, una placa Arduino Uno y un módulo Xbee. El conjunto es controlado remotamente a través de radiofrecuencia por una aplicación de software desarrollado en el lenguaje G del Labview. El mamparo fue sustituido por un módulo sensor de intensidad luminosa con adquisición automática de datos a través de una placa Arduino Uno, conectada a otro módulo Xbee, que envía los datos digitales a la aplicación de control usando también ondas electromagnéticas en la banda de radio. El sistema experimental automático posibilita la realización del experimento en menor tiempo, con la adquisición de mayor número de datos, minimizando la introducción de errores y con almacenamiento y visualización instantánea de los resultados.

Descriptor: Xbee; Arduino; Adquisición de datos.

INTRODUÇÃO

Atualmente as Tecnologias da informação e comunicação (TICs) tem se tornado ferramentas importantes de apoio e suporte particularmente para a pesquisa científica e o ensino e aprendizagem (CARDONA 2017; SANTOS 2014). As TICs referem-se à integração das telecomunicações (seja por fios, cabos óticos, ou sem fio), com todos os meios técnicos ou recursos tecnológicos usados para tratar a informação e auxiliar na comunicação, o que inclui microcomputadores e diversos sistemas de hardware, software, middleware, armazenamento e áudio visuais, os quais possibilitam ao usuário o acesso, armazenamento, transmissão e manipulação da informação.

No ensino da Física as TICs encontram aplicação direta na didática das atividades experimentais. O uso de experimentos didáticos como prática educacional em laboratórios é uma importante ferramenta de apoio e motivação que complementa o processo de ensino-aprendizagem. Contudo, o processo experimental frequentemente envolve processos de medição de grandezas físicas, a manipulação e tratamento desses dados como elaboração de tabelas, confecção de gráficos, e análise estatística. Dependendo da complexidade do experimento, o processo pode envolver medições e registros precisos e simultâneos de múltiplas variáveis, além do controle sistemático de determinados mecanismos. Isto torna o trabalho manual extremamente repetitivo, dilata o tempo das

experiências, consideravelmente, e contribui com o aumento da introdução e propagação de erros experimentais. Assim, perante estas dificuldades o uso de experimentos didáticos pode-se tornar uma desvantagem ao invés de uma ferramenta de apoio e motivação.

A introdução de sistemas de aquisição de dados (SAD) em experimentos didáticos remete ao advento dos microcomputadores e microprocessadores (HAAG 2005; TZAFESTAS 1991). O rápido desenvolvimento da eletrônica tem impulsionado o uso de sistemas de aquisição de dados e controle automático em experimentos didáticos, paralelamente o uso de interfaces de comunicação cada vez mais rápidas (RS232, USB, GPIB, ETHERNET, USART, IEEE 802.15.4, etc.) tem possibilitado o transporte de quantidades cada vez maiores de informação digital em menor tempo. Contudo, em experimentos onde há a necessidade da aquisição de múltiplas variáveis o emprego de conexões físicas através de cabos para conexões elétricas, de interfaces de comunicação e de servo mecanismos de controle pode se tornar um fator limitante. O assunto pode ser mais crítico quando é necessário coletar informação de experimentos em locais ou ambientes distantes das facilidades de um laboratório.

De um ponto de vista geral, os sistemas de aquisição de dados são projetados para coletar e armazenar informação em tempo real em situações em que o sistema de coleta da informação está próximo do lugar de processamento dos dados que ocorre geralmente em um laboratório quando há microcomputadores diretamente conectados aos SADs. Em situações em que a coleta de informação deve ser realizada em locais remotos são empregados data loggers, um tipo particular de SAD, que realiza o processo de aquisição e armazenamento dos dados, de

forma automática, para posterior acesso (MEASUREMENT COMPUTING CORPORATION, 2012, pag. 1-2).

No entanto, é frequente encontrar situações na pesquisa científica ou na realização de experimentos didáticos situações em que a aquisição de dados e ou controle de servo mecanismos de determinada experiência precisam ser realizados em locais remotos, afastados das facilidades de um laboratório, onde pode não haver acesso à internet e com a necessidade de acesso aos dados em tempo real. Nestas circunstâncias, é de interesse o emprego de sistemas de aquisição de dados e de controle de servo mecanismos que possibilitem a coleta e fluxo de informação em tempo real para processamento em locais distantes sem a necessidade do emprego de longos cabos de comunicação e ou alimentação.

Recentemente, a possibilidade de construção deste tipo de sistemas foi possível devido ao surgimento dos sistemas de comunicação sem fio que empregam módulos de rádio de baixa potência, com fator de forma compatível, para gerar ondas eletromagnéticas na banda de radiofrequência e criar redes locais de comunicação padronizadas entre dispositivos eletrônicos periféricos. Exemplos são: as redes sem fio, de âmbito pessoal (Wireless Personal Area Network WPAN), as redes sem fio de área local (Wireless Local Area Network WLAN), entre outras (CHOWDHURY e BISWAS, 2017, pag. 1). Estas tecnologias possibilitam a comunicação e transmissão de informação entre vários dispositivos periféricos compatíveis e computadores, além de fornecer acesso à internet. Entretanto, os dispositivos de hardware juntamente com os drivers ou softwares são proprietários e de acesso restrito o que limita parcialmente o seu emprego difundido para aplicações diversas.

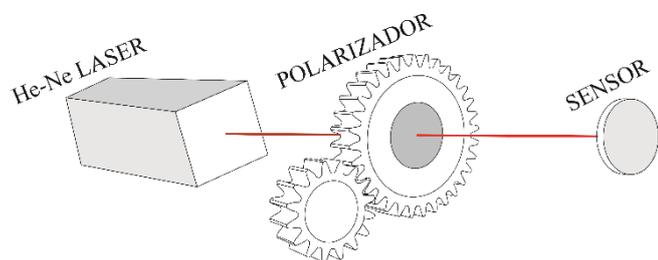
Muito recentemente a indústria tem disponibilizado de forma comercial módulos de rádio com placas de circuito compatíveis, de baixa potência, com alcance de mais de 60 km, e que empregam protocolos padronizados de comunicação. Estes módulos denominados Xbee (JONATHAN A TITUS, 2012, p. 1), podem ser usados juntamente com outros dispositivos, plataformas, ambientes ou sistemas de hardware compatíveis, muitos deles de acesso aberto, como é o caso da plataforma de prototipagem eletrônica Arduino e o ambiente de desenvolvimento de sistemas NI-Labview, para a construção de aparelhos de comunicação sem fio através de protocolos padronizados (HERRERA 2014, p. 1; TEODORESCU 2016, p. 13, KANANI 2015, p. 67). Desta forma, a disponibilidade destes novos sistemas abre a possibilidade de construção de sistemas de aquisição de dados e de controle de servo mecanismos à distância através do emprego de ondas eletromagnéticas na faixa de frequências de rádio. Neste sentido, no contexto do emprego das TICs nos experimentos didáticos e científicos descreve-se no presente trabalho o emprego de ondas de rádio direcionadas à automação da aquisição, armazenamento e apresentação de dados de experimentos didáticos. Foi construído um sistema de comunicação composto de unidades transmissoras e receptoras controladas por um aplicativo em Labview que pode ser adaptado a diversos experimentos onde há a necessidade de controle a distância de servomecanismos que possibilitem a aquisição sistemática de dados de grandezas físicas diversas. Particularmente, descreve-se a automação da aquisição de dados do experimento voltado à determinação da polarização de uma fonte de luz laser. O objetivo do trabalho é realizar o controle automático do ângulo de polarização e a aquisição

automática do valor numérico desta grandeza juntamente com a intensidade relativa da luz laser que passa através do polarizador. O processo de controle do polarizador e aquisição de dados é realizado através de duas plataformas de hardware e software: A plataforma de prototipagem Arduino (BANZI 2011) e o Ambiente de desenvolvimento de sistemas Labview (NIC 2001, TRAVIS 2002).

MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo o físico francês Étienne-Louis Malus quando um polarizador é colocado na frente de um feixe polarizado de luz, a intensidade (I) da luz que passa através do polarizador é dada por $I = I_0 \cos^2 \theta_i$ onde I_0 é a intensidade inicial e θ_i é o ângulo entre a direção de polarização inicial da luz e o eixo do polarizador. O experimento consiste em fazer incidir a luz polarizada de uma fonte laser de gás hélio-neônio, ou de um dispositivo laser de semicondutor, sobre a superfície de um filme polarizador como mostrado na Figura 1. Em geral, é usado um anteparo colocado de forma transversal ao feixe que sai do polarizador para observar a intensidade da luz laser. O polarizador deve ser girado manualmente entre 0° e 360° , e para cada valor de ângulo observa-se a intensidade da radiação laser que passou através do polarizador. Este é um experimento didático sem aquisição de dados que permite através da simples observação determinar como a intensidade do feixe polarizado pode ser maximizada ou atenuada em função do ângulo θ_i .

Figura 1. Esquema básico do experimento da determinação do ângulo de polarização da fonte laser. O polarizador fixado a um atuador rotatório pode girar 360°. A luz que passa através do polarizador é detectada por um sensor de luminosidade.



Para poder obter de forma experimental a expressão matemática para I é necessário controlar remotamente o movimento de rotação do filme polarizador, fazer aquisição de dados do valor do ângulo e da intensidade do feixe laser que passa através do filme. O filme polarizador precisa ser girado de 360° em relação à direção de incidência do feixe laser através de um suporte rotatório acionado por um motor de passo bipolar controlado remotamente por um programa de computador, para cada passo o ângulo de rotação deve ser armazenado. Para cada ângulo de rotação deve ser medida e armazenada a intensidade da iluminação em relação à intensidade I_0 com auxílio de um módulo sensor de luminosidade. Com esses dados armazenados é possível fazer um gráfico de $I(\theta_i)$ em tempo real.

Com base no esquema da Figura 1 foi projetado um sistema de controle de rotação do atuador rotatório do polarizador e da aquisição do valor instantâneo do ângulo de rotação, este sistema usa ondas de rádio. Também, projetamos um sistema de aquisição automático para a intensidade da luz laser incidente no sensor de luminosidade. Este sistema também usa ondas de rádio. Estes dois subsistemas estabelecem comunicação com um aplicativo instalado em um microcomputador através

de duas unidades receptoras/transmissoras de ondas de rádio.

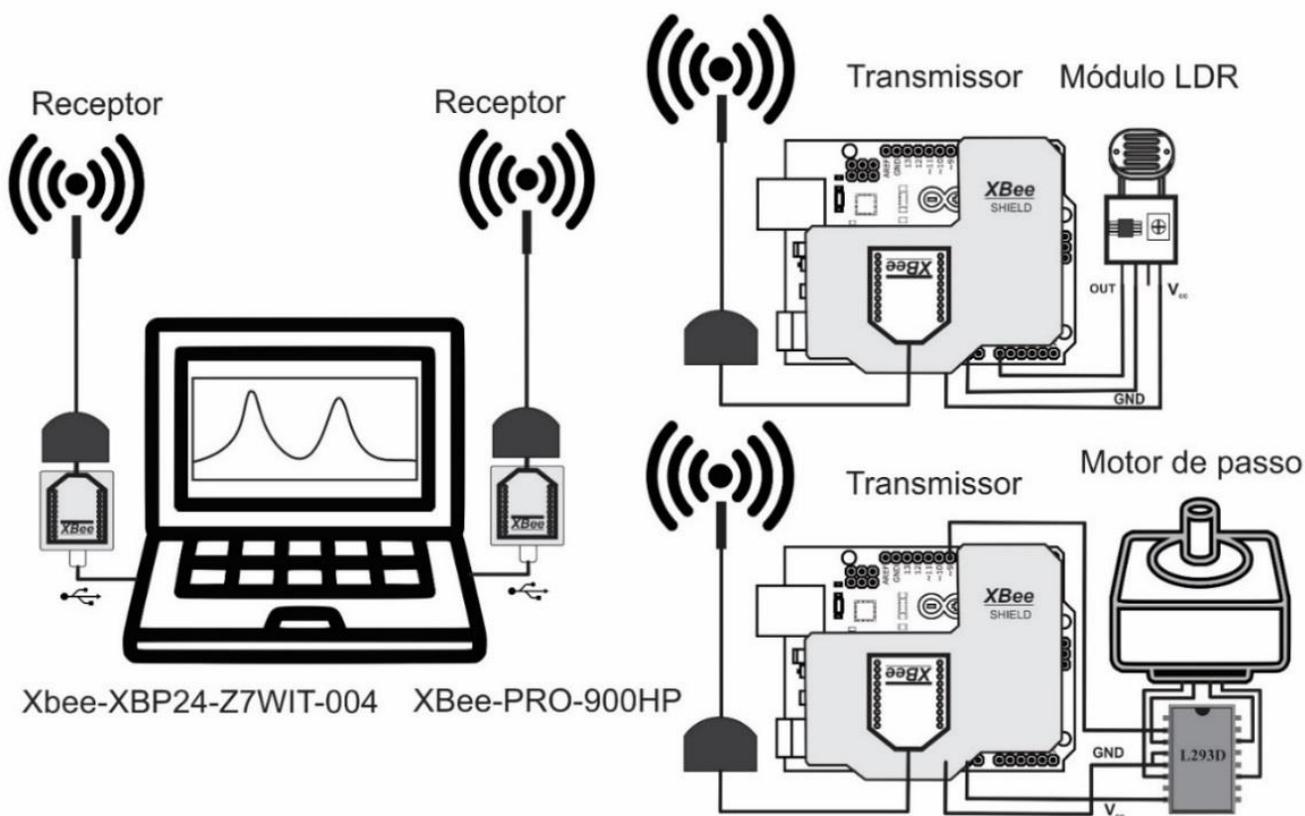
Os principais componentes dos sistemas de rádio comunicação são: dois módulos de radiofrequência XBee-PRO-900HP com potência de 250 mW e alcance de 45 km, operando na banda eletromagnética de 900 MHz denominada banda de rádio industrial, científica e médica (ISM), a qual é uma faixa de frequências de rádio reservadas internacionalmente para fins industriais, científicos e médicos que não sejam telecomunicações e não é necessária licença especial para o seu emprego. Também foram empregados dois módulos Xbee-XBP24-Z7WIT-004 com potência de 63 mW e alcance de 3 km, operando na banda eletromagnética de 2,4 GHz (ISM), duas antenas MU-00PI de 6,0 dBi, dois Shields Xbee compatíveis com a plataforma Arduino, dois adaptadores Xbee-USB do tipo explorer, da empresa Spark Fun, um motor de passo NEMA 17 (padrão da National Electrical Manufacturers Association), um componente ponte-H L293D, da empresa Texas Instruments, para rotação do motor de passo, um microcomputador, dois protoboards, duas fontes de alimentação de 5,0 Volts, o ambiente de desenvolvimento da plataforma Arduino, O software Labview 2010 da empresa National Instruments que é uma linguagem de programação gráfica denominada G e o kit de ferramentas para interface com o Arduino LIFA.

O esquema que mostra a configuração básica do sistema experimental construído é mostrado na Figura 2. Com esses materiais foi construído primeiramente um mecanismo rotatório para o suporte do polarizador com duas engrenagens plásticas com diâmetros externos de 20 mm e 100 mm e com diâmetros internos de 5 mm e 50 mm respectivamente. O conjunto é impulsionado por um

motor de passo padrão NEMA 17 que funciona com tensões de 3-20 V, possui ângulo de passo de 1,8 graus e torque de 2,7 kg/cm. O diâmetro de eixo do motor de passo é de 5,0 mm. A Figura 3 mostra o

atuador rotatório construído e adaptado ao suporte manual do filme polarizador.

Figura 2. Esquema que mostra a configuração do sistema de automação da aquisição de dados do experimento da determinação da polarização de luz laser. Um dos sistemas transmissores do tipo XBee-XBP24-Z7WIT-004 coleta os dados de luminosidade e envia a informação digital para o receptor do mesmo tipo conectado ao microcomputador. O outro transmissor do tipo XBee-PRO-900HP recebe e envia informação do/para o aplicativo em Labview, com objetivo de girar o motor de passo do atuador rotatório e envia o valor instantâneo do ângulo. Isto através do segundo receptor do mesmo tipo conectado a outra porta do microcomputador.



Para o controle a distância do motor de passo e a aquisição do valor instantâneo do ângulo de rotação foi empregada uma das placas Arduino Uno revisão 3, dois Shields XBee-PRO-900HP, as duas antenas de alto ganho (uma para cada módulo), o componente ponte-H L293D, um protoboard, e uma fonte de alimentação de 5,0 V de tensão contínua.

Para a detecção da intensidade da luz laser foi empregado o módulo sensor de luminosidade (LM393) com base em um resistor dependente de luz

(LDR) em um circuito composto de dois comparadores independentes de tensão (TEXAS INSTRUMENTS 2014). Este módulo é compatível com a placa Arduino Uno, funciona com tensões de 3,0 V a 5,0 V, e a sensibilidade é ajustada através de um potenciômetro.

Figura 3. Atuador giratório para a rotação do filme polarizador construído. O sistema é impulsionado por um motor NEMA 17 com torque de 2,7 kg/cm que aciona duas engrenagens plásticas. O filme polarizador está afixado à engrenagem de diâmetro maior, esta engrenagem pode girar entorno de um suporte metálico fixo o qual também serve como base para o motor de passo.

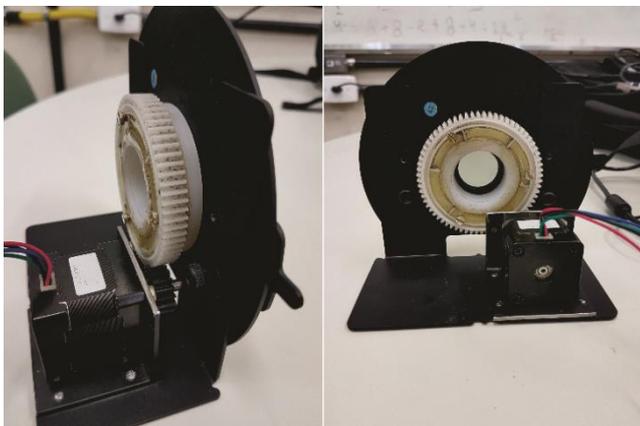
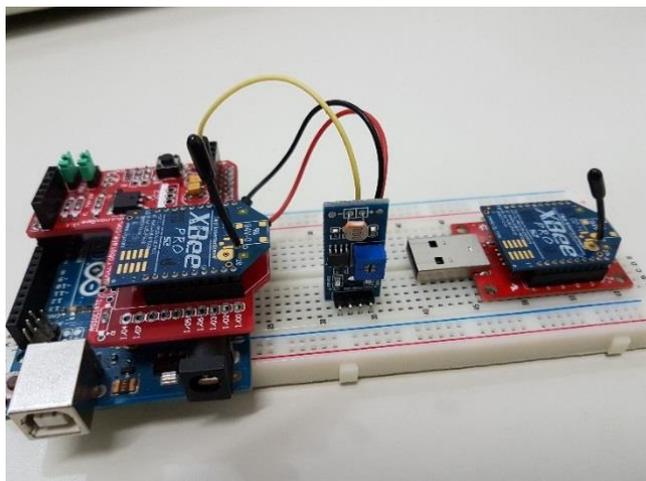


Figura 4. Fotografia do sistema de detecção e coleta de intensidade luminosa, juntamente com os sistemas Xbee (XBP24-Z7WIT-004), empregados para envio e recepção do sinal digital para o aplicativo localizado no microcomputador. A luz da fonte laser que passa através do filme polarizador incide sobre o módulo de intensidade luminosa o qual converte a resposta do sensor LDR em um sinal analógico de tensão que é enviado à placa Arduino Uno. O sinal digitalizado é enviado ao aplicativo através de ondas de rádio usando-se o módulo Xbee.

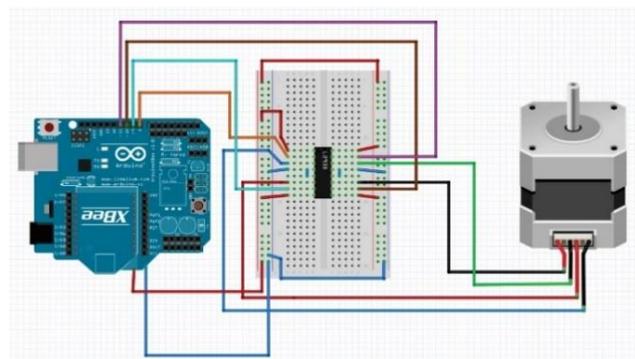


Quando há iluminação, a resistência do LDR se tornará baixa de acordo com a intensidade da luz. Quanto maior a intensidade da luz, menor a resistência do LDR. O potenciômetro pode ser ajustado para alterar a sensibilidade do LDR em direção à luz. Para

a conversão analógica-digital do sinal luminoso foi empregada uma placa Arduino Uno revisão 3. Esta placa possui o microcontrolador ATmega328p que possui um conversor analógico digital de 10 bits.

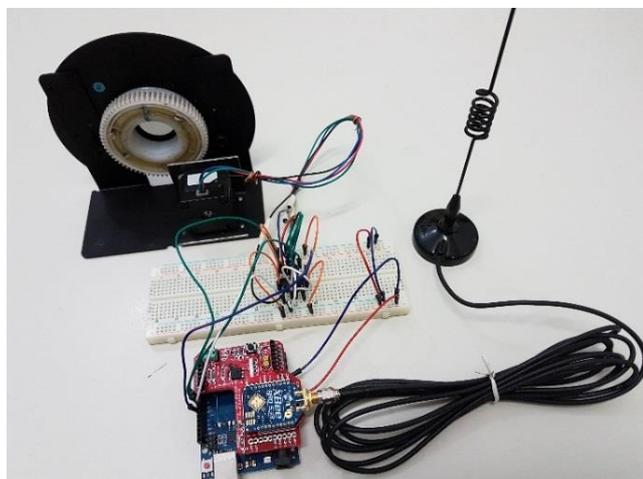
O sinal digital é radio difundido e recepcionado pelo segundo módulo Xbee (XBP24-Z7WIT-004), do mesmo tipo, conectado ao microcomputador. O aplicativo coleta o sinal recepcionado pelo segundo módulo e armazena os valores digitais de intensidade luminosa juntamente com os dados de posição angular recepcionados pelo outro módulo Xbee (XBee-PRO-900HP), localizado na segunda porta do microcomputador, para apresentação e visualização gráfica simultânea dos mesmos.

Figura 5. Esquema elétrico do sistema de controle a distância do motor de passo. Mostra-se do lado esquerdo o conjunto de placas Arduino Uno, Arduino Xbee shield e o módulo Xbee (XBee-PRO-900HP) formando o sistema que recepciona os comandos do aplicativo em Labview que comanda a aquisição. O motor de passo é acionado através de um circuito ponte H embutido no dispositivo L293D, o sistema funciona com tensão de 5,0 V.



A Figura 6 mostra uma fotografia do sistema completo de controle do atuador rotatório incluindo o driver de controle do motor de passo (L293D) montado em um protoboard e o sistema de recepção de ondas eletromagnéticas mostrado na Figura 5. Mostra-se também a antena conectada ao módulo Xbee (XBee-PRO-900HP).

Figura 6. Fotografia do sistema completo de controle a distância do atuador rotatório que gira o filme polarizador. Uma antena de alto ganho está conectada ao módulo XBee-PRO-900HP que recebe os comandos do aplicativo em Labview que conduz a aquisição. O motor de passo é acionado por um circuito do tipo ponte H implementado no dispositivo L293D o qual se encontra no protoboard.



A Figura 7 mostra o sistema de controle da aquisição de dados composta por um microcomputador onde está o aplicativo de software instalado. Há também dois módulos Xbee, o do lado esquerdo é do tipo XBee-PRO-900HP e possibilita o controle da comunicação com o atuador rotatório. O módulo do lado direito é do tipo Xbee XBP24-Z7WIT-004 e possibilita a comunicação com o sistema detector da intensidade luminosa.

O aplicativo foi redigido na linguagem G, em seguida um arquivo executável foi criado além de outro arquivo para instalar o aplicativo em qualquer microcomputador.

Figura 7. Sistema de controle da aquisição de dados composta por um microcomputador onde está o aplicativo de software instalado. Há também dois módulos Xbee, o do lado esquerdo é do tipo XBee-PRO-900HP e possibilita o controle da comunicação com o atuador rotatório. O módulo do lado direito é do tipo Xbee XBP24-Z7WIT-004 e possibilita a comunicação com o sistema detector da intensidade luminosa.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 8 mostra a montagem do sistema de controle automático da aquisição de dados do experimento da polarização de um feixe de luz laser. O sistema de controle a distância do experimento fica afastado do sistema experimental, podendo ficar em outro ambiente. O código executável em Labview foi instalado no microcomputador e ao ser iniciado mostra no display um painel frontal onde é possível selecionar primeiramente as portas de comunicação com as unidades Xbee, os tipos de placa Arduino empregados, o endereço de armazenamento dos dados e os parâmetros específicos da comunicação serial. Também é possível selecionar a velocidade do motor de passo assim como o número total de passos.

Um trilho óptico foi empregado para alinhamento do feixe laser com o polarizador e com o sensor de luminosidade. O alinhamento preciso do feixe com o filme polarizador e o sensor de luminosidade é necessário para obter resultados

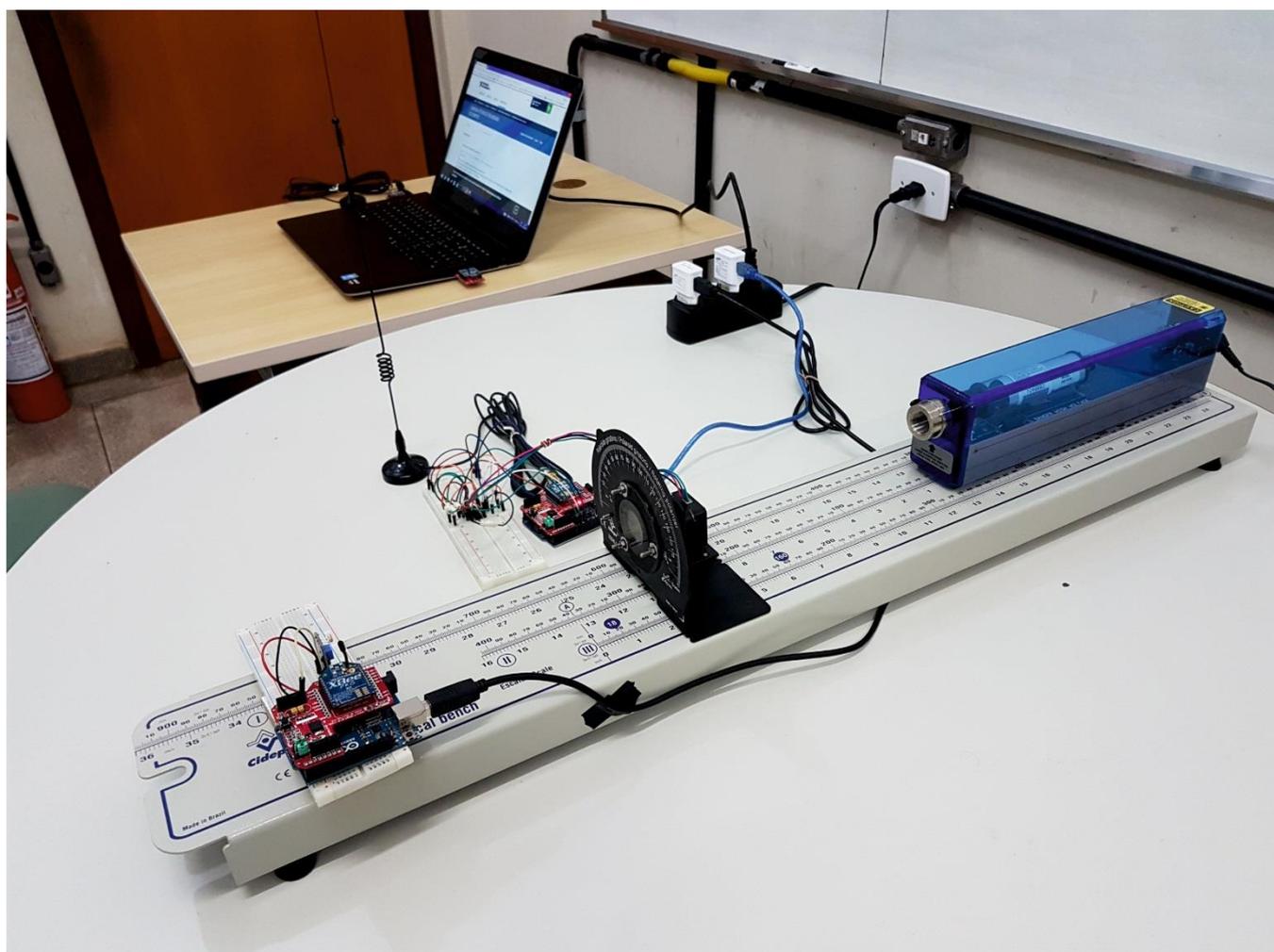
compatíveis com a teoria, o diâmetro do feixe laser é menor que o diâmetro do sensor que é composto fundamentalmente de um resistor dependente de luz. O experimento foi realizado em ambiente escuro sendo a potência da luz laser de 15 mW.

A Figura 9a mostra o painel frontal do aplicativo após o processo experimental. Uma curva indica os valores mínimos de intensidade do feixe laser que passa através do filme polarizador através de dois máximos de tensão. O atuador foi rotacionado de forma constante de 0° a 360° a uma velocidade que pode ser selecionada, neste caso usamos valores de 1 a

20 passos por segundo. O baud rate usado como padrão é de 115200 bps. A razão sinal-ruído do sensor de intensidade luminosa é 100, a resposta do sensor fornece um sinal analógico de 0 V a 1.0 V.

O experimento permite determinar os dois mínimos de intensidade luminosa defasados em 180° como descrita pela Lei de Malus, os dados de intensidade luminosa e ângulo são armazenados em um arquivo de texto, em tempo real, e podem ser plotados de forma instantânea tanto pelo aplicativo em Labview quanto por um outro software específico.

Figura 8. Sistema experimental do controle automático da aquisição de dados do experimento de polarização de luz laser. O sistema de detecção da luz e o sistema de controle do atuador rotatório possuem fontes de tensão independentes de 5,0 V. Há um trilho óptico para alinhamento do feixe laser com o polarizador e com o sensor de luminosidade.



Em relação ao experimento original, do tipo apenas demonstrativo, houve um grande avanço. No sistema fabricado é possível mensurar a intensidade relativa da radiação laser que passa através do filme polarizador e armazenar os dados em formato digital. Também é possível controlar a rotação do polarizador e armazenar o valor do ângulo.

O aplicativo permite a visualização gráfica instantânea da Lei de Malus com os dados armazenados, o experimento leva apenas de 2 a 3 minutos podendo ser mais rápido. Ao invés de observar apenas a variação da intensidade luminosa, no anteparo, em função da rotação do filme polarizador o estudante poderá verificar de forma quantitativa que os dados obtidos seguem exatamente a forma funcional descrita pela Lei de Malus.

Mesmo adaptando um sensor de intensidade luminosa ao equipamento demonstrativo o processo de fazer 360 medições, e registrar os valores desta intensidade, e do ângulo correspondente, para plotagem posterior pode ser bem demorado. Há ainda a possibilidade da introdução e propagação de erros experimentais se a posição do feixe laser sobre filme polarizador mudar ligeiramente. A precisão da forma funcional dos dados obtidos com o sistema construído pode evitar a realização de um processo de ajuste o qual se necessário pode ser realizado em um software específico ou ainda o processo implementado no próprio aplicativo em Labview.

Figura 9a. Imagem de captura de tela do aplicativo que comanda a aquisição de dados do experimento de polarização (painel frontal). São mostrados os parâmetros principais de funcionamento do sistema assim como a curva construída com os dados numéricos dos experimentais obtidos pelo processo automático.

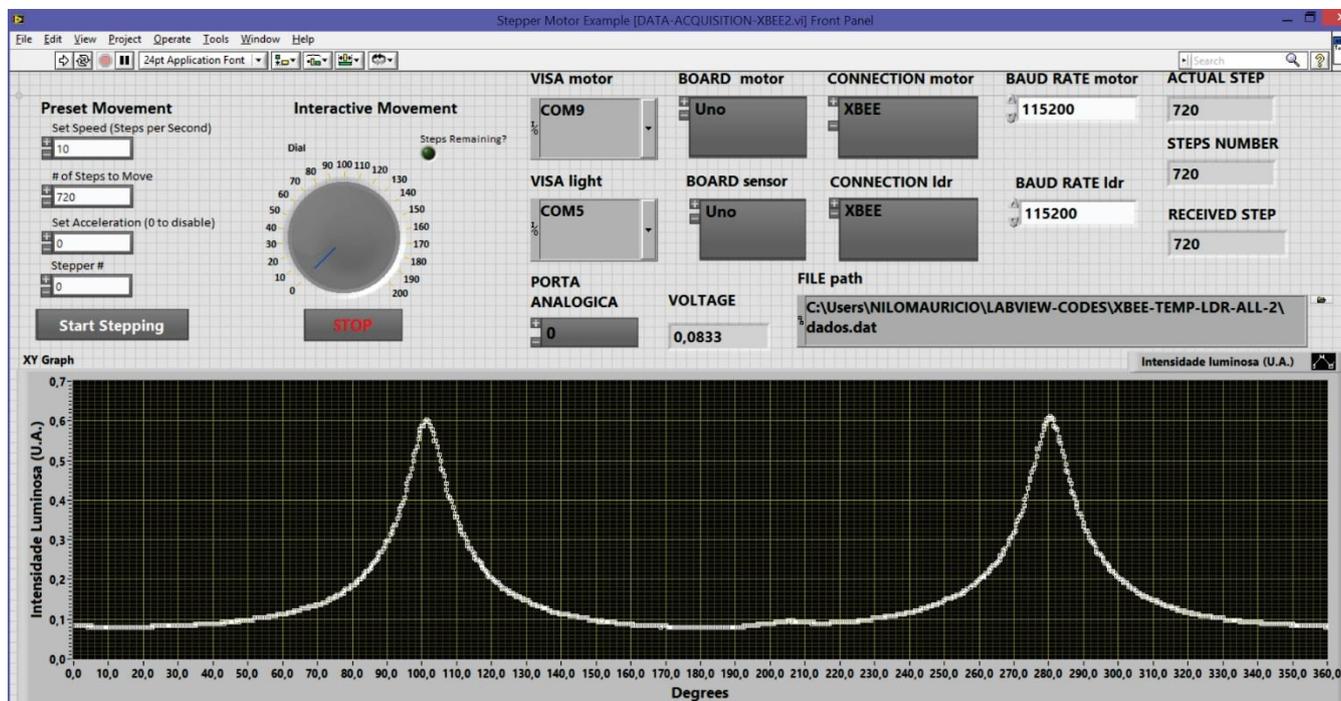
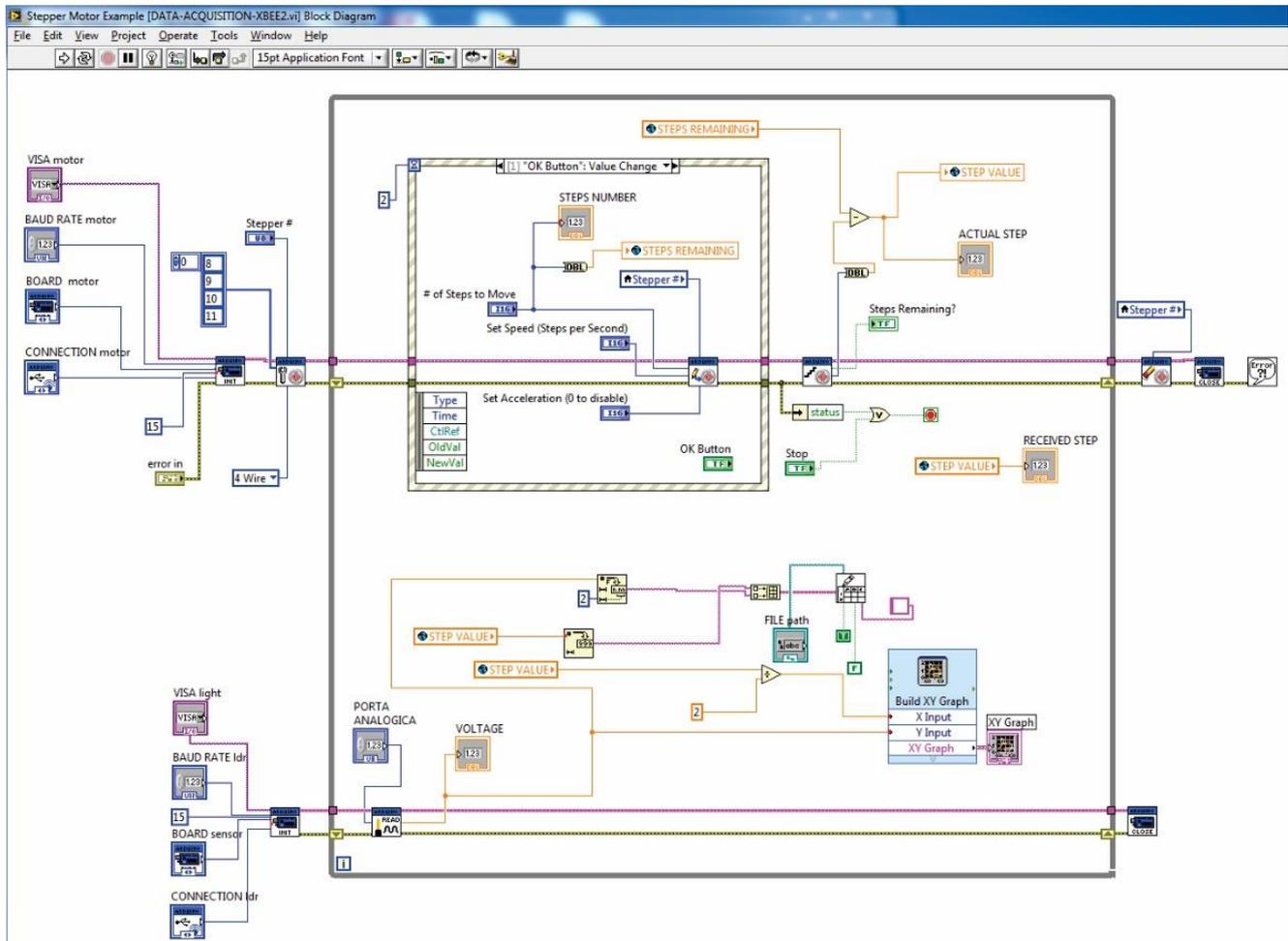


Figura 9b. Imagem de captura de tela do diagrama de blocos (ou código fonte gráfico), do aplicativo que comanda a aquisição de dados do experimento de polarização. Esta parte contém duas sub-rotinas dentro de um mesmo laço iterativo, uma para o controle dos processos relativos ao suporte rotatório e outra para a aquisição da luz laser que passa pelo polarizador.



A Figura 9b mostra o diagrama de blocos (código fonte na linguagem G), do aplicativo de software que comanda o processo de automação da aquisição de dados construído. O código é composto de um único laço iterativo que comanda os processos relacionados ao controle do motor de passo e também os processos relativos à detecção da intensidade da luz laser que passa através do polarizador. Cada sub-rotina pode ser adaptada para incluir outros sensores ou servomecanismos com relativa facilidade.

CONCLUSÃO

Foi construído um sistema de automação da aquisição de dados do experimento de polarização de uma fonte de luz laser de He-Ne de comprimento de

onda 632 nm. O sistema integra recentes inovações das tecnologias da informação e comunicação como são os módulos de rádio com fator de forma compatível Xbee, a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino e o ambiente de desenvolvimento de sistemas Labview para a sua introdução como ferramentas de automação da aquisição de dados em experimentos didáticos que precisam de atuadores diversos e coleta de dados múltiplos.

Um módulo de intensidade luminosa transforma o sinal luminoso do laser em um sinal elétrico analógico com razão sinal-ruído 100. O atuador rotatório controla com precisão o ângulo de rotação do filme polarizador. A comunicação é realizada usando ondas de rádio na faixa ISM. O aplicativo comanda o processo de forma correta, ágil

e muito precisa, armazenando e plotando, em tempo real, os dados relevantes do experimento.

O código de aquisição desenvolvido pode ser facilmente estendido para incluir diversos tipos de sensores e servo mecanismos podendo ser adaptado à automação da aquisição de dados para diversos experimentos didáticos de física.

AGRADECIMENTO

Agradecemos o suporte financeiro do Instituto Nacional de Eletrônica Orgânica INEO/MCT/CNPq.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

MÓNICA ELIANA CARDONA, SONIA LÓPEZ. A literature review about data acquisition system in physics education in middle and high school levels, and in teacher training; **Revista brasileira de ensino de física**, vol. 39, n. 4, E4404, 2017.

ELIO MOLISANI FERREIRA SANTOS. Arduino: uma ferramenta para aquisição de dados, controle e automação de experimentos de óptica em laboratório didático de física no ensino médio. **Dissertação de mestrado, mestrado profissional em ensino de física**; Universidade Federal de Rio Grande do Sul; Programa de Pós-graduação em Ensino de Física; Porto Alegre 2014.

RAFAEL HAAG, IVES SOLANO ARAUJO, ELIANE ANGELA VEIT. Por que e como introduzir a aquisição automática de dados no laboratório didático de física?; **Física na Escola**, v. 6, n. 1, 2005.

SPYROS G. TZAFESTAS. **Microprocessors in robotic and manufacturing systems**, Springer

science+business media, B. V. Athens, Greece, 1991.

MEASUREMENT COMPUTING CORPORATION. **Data acquisition handbook**. 3th Ed., MCCDAQ 133 P., 2012.

MAINAK CHOWDHURY, ARUMITA BISWAS. **Wireless communication. Theory and applications**. Ed. Cambridge university press, P. 568, 2017.

JONATHAN A TITUS. **The hands-on xbee lab manual: experiments that teach you xbee wireless communications**. 1st edition, newnes, 324 p. 2012.

JEAN HERRERA, MAURICIO BARRIOS, SAÚL PÉREZ. **Prospect**. vol. 12, n. 2, p. 65 2014.

RODICA MIHAELA TEODORESCU, ION BOGDAN CIOC, BOGDAN ANDREI VOCHIN, ADRIAN-IOAN LITA. LabVIEW application used for remote control of a mobile robot with xbee communication. 8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (**ECAI**) p. 13. Ploiesti, ROMÂNIA 2016.

NIDHI KANANI, MANISH THAKKER. Low Cost Data Acquisition System Using LABVIEW. **2nd International Conference on Multidisciplinary Research & Practice**. Vol. 3, Issue 2, p. 67. 2015.

MASSIMO BANZI. **Getting started with arduino**. 2nd editions, O'reilly 118 p. 2011.

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. **Getting started with Labview**. Worldwide technical support and product information, 1th edition, p. 47, 2001.

JEFFREY TRAVIS, JIM KRING. LABVIEW FOR EVERYONE: **Graphical programming made easy and fun**. 3th edition, U.S.A., Prentice Hall; 2006.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM35 precision centigrade temperature sensors**. Datasheet, U.S.A. 2016.