

# ANÁLISE DE SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA CONTROLE DE PROCESSOS

Willian S. Silva, Renato F. Fernandes

williansantosptc@gmail.com, rfernandes@eletrica.ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG,

**Resumo** - Sistemas de controle industrial é uma área essencial na engenharia e está em constante desenvolvimento. Para a pesquisa e o ensino de controle principalmente em laboratório é necessário o uso de sistemas reais que consigam conciliar a teoria com a prática dentro da disciplina de forma clara e objetiva para a melhor compreensão do aluno. A ferramenta LabVIEW tem um poder muito grande de integração entre o ambiente real e também possui uma biblioteca extensa de blocos e funções na área de controle, porém suas interfaces de hardware são caras para a utilização em laboratórios. Neste contexto, este trabalho tem por objetivo analisar diferentes plataformas de aquisição de dados para utilização em disciplinas de controle de processo utilizando a ferramenta LabVIEW. Para isso este projeto visa comparar quatro plataformas de aquisição para diferentes processos de controle e então mapear para cada placa de aquisição os limites de controle para os sistemas. Neste projeto especificamente somente será utilizado um sistema de controle de um motor DC.

**Palavras-Chave** - Aquisição de dados, LabVIEW, Serial, Controle PID.

## ACQUISITION SYSTEM DATA ANALYSIS FOR PROCESS CONTROL

**Abstract** - Industrial control systems is an important area in engineering and is in constant developing. In order to do researching and teaching control system mainly in laboratory is required of real systems that are able to reconcile the theory with the practice within the discipline of clear and objective way to a better understanding of the student. The LabVIEW tool has a very great power of integration the real environment and has an extensive library of blocks and functions in the control area. However, the LabVIEW hardware interfaces are expensive for use in laboratories. In this context, this work aims to analyze different data acquisition platforms for use in process control subjects using LabVIEW tool. In order to do that this project aims to compare four different acquisition platforms for control a DC Motor and then map for each acquisition card control limits for the systems.

**Keywords** - Data acquisition, LabVIEW, Serial, PID Control.

## I. INTRODUÇÃO

O universo industrial busca sempre altos níveis de qualidade e eficiência para confeccionar produtos cada vez melhores e mais competitivos no mercado. Esse resultado final só é alcançado em sua totalidade se seu desenvolvimento ou fabricação for altamente controlado, desde a matéria-prima até a eficiência das plantas industriais. A busca por otimização de processos leva a recorrer cada vez mais para sistemas de controle digital devido a grande vantagem deste controle.

Atualmente existem várias opções de ferramentas científicas e comerciais para executar o controle digital. Entre elas destacam-se o Matlab, SciLab, LabVIEW e outras de ambiente industrial como o Expertune [1]. Entre elas, a ferramenta LabVIEW tem uma característica importante de fácil integração com equipamentos de medição e possui várias ferramentas de controle que facilita muito o desenvolvimento de soluções de controle digital. E para a aquisição dos dados de sistema real é necessário um ambiente de aquisição de dados que deve ser suficientemente adequado para as características da planta a ser controlada.

Dentro do laboratório de controle e automação existe algumas placas DAQ6009 da empresa National Instruments que servem para o curso, que tem um preço caro e com limitada funcionalidade dentro do ambiente acadêmico. Porém as diferentes disciplinas do curso e a necessidade de mais placas faz com que surja a necessidade de desenvolver soluções alternativas de sistemas de supervisão e controle e também de aquisição de dados. Desta forma, procura-se uma solução que atenda a busca por outras soluções de Engenharia, além da possibilidade de obter soluções de baixo custo porém que explore toda a gama de recursos de análise e controle que é ministrado nas disciplinas.

Desta forma este trabalho tem por objetivo analisar diferentes plataformas de aquisição de dados para utilização em controle de processo. Especificamente este trabalho utiliza a plataforma LabVIEW como estação de trabalho. Como estudo de caso será utilizado um sistema de controle de velocidade de um motor DC. Para atender estes requisitos, este trabalho foi dividido em seis seções. A primeira seção corresponde a introdução. Na seção 2 é realizado uma revisão bibliográfica sobre controle de processos e as ferramentas para controle. Na seção 3 é apresentada a proposta do trabalho. Na seção 4 é mostrado os resultados preliminares. Por fim na seção 5 é feito a conclusão deste trabalho.



XIV CEEL - ISSN 2178-8308  
03 a 07 de Outubro de 2016  
Universidade Federal de Uberlândia - UFU  
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

## II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE FERRAMENTAS DE CONTROLE DE PROCESSOS

A grande maioria de processos onde é necessária uma ação de controle apresenta um comportamento dinâmico determinado por variáveis que são contínuas no tempo. Porém atualmente a grande maioria dos controladores são discretos realizados por um ambiente microprocessador [2].

Para a efetivação do controle discreto torna-se necessário a compatibilização dos vários sinais nos ambientes analógicos e digital. A compatibilização destes ambientes é realizada pelo bloco A/D para a conversão Analógica-Digital e pelo bloco D/A para a conversão Digital-Analógica [2].

A integração de um microprocessador na estrutura de controle possibilita a execução de outras tarefas além do controle propriamente, como supervisão do processo, emissão de relatórios, proteção, alarmes, coordenação, etc, permitindo a realização de sistemas com um alto grau de automatização. Outra característica muito importante é o grau de flexibilidade dos processos digitais. Isto é, um determinado processo pode ser redimensionado para fornecer um melhor rendimento ou performance, simplesmente através da reprogramação do algoritmo de controle ou de supervisão.

Segundo [3] no controle discreto um papel importante é realizado pelo sistema de aquisição de dados que é responsável por interfacear o ambiente contínuo a ser controlado e o discreto onde existira o ambiente de controle. Os sistemas de aquisição são também denominados de DAQ (*Data Acquisition*) ou DAS (*Data acquisition systems*). O DAQ basicamente é o módulo que faz a aquisição de dados dos sensores, podem fazer o condicionamento do sinal analógico, e então convertem o sinal analógico para digital. Também ele é responsável por fazer o processo inverso de converter o sinal digital em sinal analógico através de um conversor digital para analógico. Na figura 1 é mostrado um sistema de controle de processos típico com módulo de aquisição de dados [11].

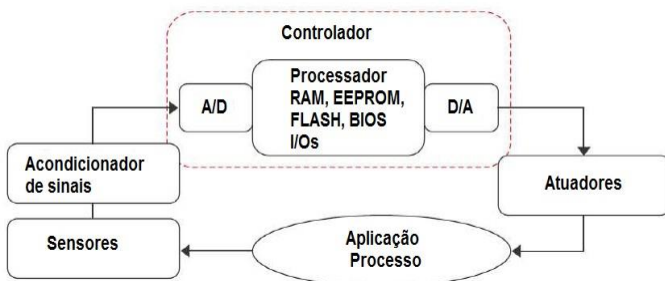


Fig. 1. Exemplo de Sistema DAQ[4].

No diagrama da figura 1 é mostrado um exemplo típico de um sistema malha fechada de controle de processos discreto. Na parte de baixo está o processo que se deseja controlar também chamado de “planta”. Em um sistema malha fechada com realimentação negativa o controlador calcula o erro entre a variável de processo (PV) e um valor de referência ou *setpoint* (SP). Para receber este sinal de entrada o controlador precisa de sensores que irá medir a variável do processo através de um sensor específico (por exemplo, um sensor de temperatura) e faz um condicionamento do sinal

para amplificar ou reduzir o sinal de forma que a rangeabilidade da medição seja a melhor possível. Opcionalmente também pode ser filtrado o sinal de ruído, o filtro *anti-aliasing*, e por fim passa pelo conversor analógico digital do microprocessador transformando a entrada “analógica” em uma entrada “digital”. Então dentro do processador é executado o algoritmo de controle através do cálculo do erro, quando o controlador for um PID. Por fim o sistema envia o novo valor da variável manipulada para o atuador. Neste caso, novamente tem de se passar pelo processo inverso de conversão de digital para analógico através de um conversor DAC ou mesmo pode ser uma saída PWM dependendo do elemento atuador. E isso fecha a malha de controle.

De acordo com o ambiente onde o controlador será executado, pode se classificar o sistema de controle como controle local ou distribuído [3].

No controle local a aquisição de dados e o controlador estão no mesmo hardware, por exemplo, um sistema de controle de temperatura de um ambiente com um Arduino. Neste caso todos os sensores e atuadores do sistema são levados para uma única placa e este realiza o controle. Este sistema de controle é dedicado, porém ele é específico para o projeto em questão e limitado em termos de aplicação.

No controle distribuído, o controlador pode estar remoto as variáveis controladas e tem uma arquitetura mais flexível tanto de projeto, quanto de segurança e expansão do sistema. Este tipo de controle é atualmente o mais comum em ambiente industrial através das redes chamadas de Fieldbus.

Atualmente, visando a melhoria dos processos cada vez mais é importante a utilização de técnicas de controle para a otimização dos processos, principalmente em ambiente industrial. E para explorar estes sistemas de controle e buscar a máxima otimização, softwares de simulação e sintonia são ferramentas importantes neste papel. Estes softwares permitem além de simular um sistema de controle permitem fazer a identificação do sistema e propor diferentes sintonias para seu controlador e simular antes de realmente efetivar no ambiente de controle real.

Atualmente, existem vários softwares de sintonia e controle de malhas, entre eles se destacam Matlab, Scilab [7], LabVIEW[5] e Experttune, entre outras [5], [6], [7]

O software Matlab (*Matrix Laboratory*) da empresa MathWorks é o software mais difundido em ambiente acadêmico e possui inúmeros recursos de ferramentas de simulação e controle, o Scilab que é uma versão aberta (não paga), porém não tem todos os recursos do Matlab. Todos os dois apesar de serem poderosos na simulação de projetos possuem interfaces com o mundo real limitada [8].

O LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) foi desenvolvido pela National Instruments para medições, automação, controle e instrumentação. Ele reúne várias características supervisão, ferramentas de controle e ambiente de interface com sistemas reais bem integrados. O LabVIEW é uma linguagem de programação gráfica, que propicia a criação de aplicações através da utilização de ícones no lugar de linhas de texto, e a execução dessas aplicações é determinada pelo fluxo de dados através desses ícones interconectados [5].

O LabVIEW é integrado para comunicações de diversos hardwares como GPIB,RS-232,RS-485,VXI,PXI, DAQ plug-in e para aplicações via internet pelo LabVIEW Web Server e aplicativos ActiveX e redes TCP/IP. Os programas criados são chamados de Vis (*Virtual Instruments- Instrumentos Virtuais*), sendo que seus componentes são o painel frontal, diagrama de bloco e painel de ícones e conectores. O programa não é processado por um interpretador, mas sim compilado, sendo desta forma comparado em sua performance por linguagens de programação de alto nível além de ser um compilador de 32 bits. Mais especificamente sua linguagem é chamada de “G”[5].

Especificamente para o ambiente industrial, o Expertune da Empresa Metso é uma ferramenta voltada para identificação, sintonia, simulação e de monitoramento das diversas malhas de controle da indústria. O PlantTriage é um software utilizado para monitoramento online e avaliação de malhas de controle industriais, além de diagnósticos de falhas e suas causas. Devido a alta disponibilidade de ferramentas de avaliação e a integração das mesmas, é possível visualizar dados sobre a avaliação de desempenho, diagnóstico, análise e sintonia das malhas de controle. Para tal, o PlantTriage conta com mais de 60 índices de avaliação [6]. Suas funcionalidades são as mais diversas como diagnóstico de problemas de sintonias de malhas, apresentação de desempenho pela web de várias malhas de controle em uma única tela (*treemap*), monitoração online passiva e diversos índices de avaliação.

Na literatura existem vários trabalhos acadêmicos utilizando estas plataformas de baixo custo para aquisição de dados em controle de processos como mostrados em [4], [10], [11], [14]. Porém não foi encontrado nenhum estudo comparativo entre as diferentes plataformas.

Apesar de existir várias ferramentas voltadas ao controle e otimização de processos industriais, neste trabalho foi escolhido o uso do LabVIEW como plataforma de desenvolvimento e de análise de sistemas de controle pela facilidade de implementação de soluções e também por ser uma ferramenta muito versátil com uma grande aceitação no mercado.

### III. DESENVOLVIMENTO

Como mencionado anteriormente, este trabalho tem por objetivo analisar diferentes plataformas de aquisição de dados para utilização em disciplinas de controle de processo utilizando a ferramenta LabVIEW. Para isso este projeto visa comparar quatro plataformas de aquisição para diferentes processos de controle e então mapear para cada placa de aquisição os limites de controle para os sistemas. Neste projeto especificamente somente será utilizado um sistema de controle de um motor DC. Outros trabalhos serão feitos controlando outros sistemas do laboratório porem com o mesmo ambiente de controle.

O sistema de controle que será utilizado neste projeto é mostrado na figura 2 onde basicamente é composto do sistema a ser controlado ou a planta, do módulo de aquisição de dados que poderá ser qualquer uma das quatro placas e da estação de supervisão e controle.

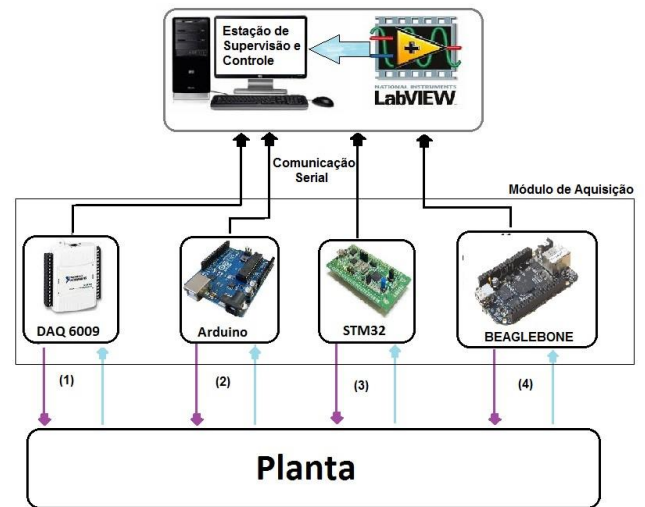


Fig. 2. Arquitetura do sistema de controle

De acordo com a figura 2, no nível mais baixo do sistema é constituído pela planta. A planta contém o processo a ser controlado. Neste caso, como se trata de um controle realimentado é necessário um sensor para leitura da variável a ser controlada (PV ou variável do processo) e do atuador responsável a alterar a variável manipulada (MV). Desta forma temos um sistema de controle em malha fechada. Neste trabalho será utilizado o controle de um motor DC 12V que precisa de um driver de potência para acionar o motor. O acionamento do motor ou da MV é feito através de um sinal PWM na saída de controle. Para medição da velocidade do motor será utilizado um tacogerador que é realizado utilizando um segundo motor acoplado neste primeiro para medição da velocidade. O tacogerador faz a leitura da velocidade através da variação de tensão de 0 a 5V e desta forma pode ser medido a velocidade do motor através de uma entrada analógica (ADC) que corresponde a entrada para o sistema de controle (PV).

Este projeto será utilizado o controle malha fechada de um motor DC porém, poderá ser trocado por qualquer outro processo desde que atenda aos requisitos de somente uma entrada analógica de entrada e uma saída PWM (ou analógica) como controle de temperatura, controle luminosidade, ou controle de vazão, entre outros [10].

Para o módulo de aquisição de dados, será utilizado quatro plataformas de comparação: DAQ6009, Arduino, STM32 e Beaglebone Black.

O primeiro módulo de aquisição utilizado neste trabalho é a placa DAQ 6009 da National Instrument. Este módulo possui oito entradas analógicas de 14 bits, duas saídas analógicas de 12 bits, e doze entradas e saídas discretas. A taxa de aquisição de dados é de 48 kS/s [12]. Possui interface totalmente integrada e fácil de desenvolvimento devido a ser do mesmo fabricante do LabVIEW.

A segunda placa de aquisição é a plataforma Arduino UNO que é bastante utilizada no ambiente acadêmico devido ao seu custo reduzido e de fácil programação em sistemas embarcados com uma vasta biblioteca de exemplos disponível. As características desta placa são: possui seis entradas analógicas com resolução de 10 bits com tensão de 0V até 5V. Como possui apenas 1 conversor AD, só poderá



ter 1 canal selecionado por vez, seu clock é de 10Mhz e taxa de amostragem de 1000 KS/s. Ela possui 14 pinos de entrada e saída discreta e não possui saída analógica [13].

A terceira placa de aquisição é o microcontrolador STM32F4Discovery. Esta placa é um processador ARM de CortexM4 de 32 bits com 168 Mhz de Clock. Ela possui 3 ADC de 12 bits de 2.4 MSPS (*mega sample* por segundo) com 24 canais. Possui também 2 saídas analógicas de 12 bits. Também possui 40 pinos de IO disponível. Ela trabalha com nível de tensão de 0 a 3.3V [14].

A última placa de aquisição é a Beaglebone. Ela é um microcontrolador ARM Cortex-A8 de 32 bits que roda ate 720MHz possui sete entradas para o conversor A/D por aproximação sucessiva, resolução de 12 bits, com tensão de entrada que pode variar de 0 a 3,3V [15].

Os módulos Arduino (2), STM32 (3), e Beaglebone (4) precisam de um firmware específico para desenvolver a função de módulo de aquisição. Para o módulo DAQ 6009 (1) não é necessário firmware pois ele já comunica com o software LabVIEW de fábrica.

A arquitetura básica do firmware dos módulos de aquisição 2,3 e 4 é mostrado na figura 3. O firmware é constituído basicamente de uma camada de aquisição que é responsável por fazer a leitura e escrita dos dados da planta e bufferizar os dados internamente para posterior envio para a comunicação serial. A camada de comunicação é responsável por montar o frame de dados do protocolo de comunicação e então é o envio para a estação de Supervisão.

O protocolo de comunicação entre as placas é da forma mestre escravo onde a estação de comunicação é mestre e sempre faz as requisições para o escravo. O protocolo é simples apenas colocando um cabeçalho inicial de dois bytes com o código 0xCAFE, seguido da quantidade de bytes da mensagem e um final de frame com checagem de CRC de 16 bits. Este protocolo é importante principalmente para o caso do controle, para garantir que toda a informação que é enviada para o controlador é confiável, evitando problemas como erros de leitura do sensor devido a problemas de comunicação.

Por fim a Estação de Supervisão de Controle recebe os dados do sistema de aquisição e atualiza o sistema. Como já dito anteriormente, a estação de Supervisão e controle utiliza o LabVIEW como plataforma de desenvolvimento e de visualização. O software utilizado será o NI LabVIEW 2013, e nele será feito a programação em blocos através de sua linguagem G e a tela de apresentação e interação. Conforme mostrado na figura 3 a estação de supervisão também precisa do protocolo de comunicação para comunicação com os módulos 2,3 e 4. Desta forma a camada inicial do LabVIEW é responsável pela leitura e escrita da placa de aquisição e então o dado é disponibilizado para ser utilizado no controle. Para o nosso caso foi utilizado um controlador PID bem como os ajustes dos parâmetros do PID e bem como a análise da estabilidade do sistema pode ser feito utilizando as técnicas de controle de lugar das raízes. No ambiente LabVIEW é fácil mostrar os gráficos de análise do sistema a partir do momento que o sistema já está disponível. A figura 6 mostra um exemplo de tela de controle PID utilizada no projeto.

O protocolo de comunicação entre a Estação de Supervisão e a placa utiliza comunicação serial usando o padrão RS232. Desta forma a comunicação máxima é de 115Kbps. O módulo DAQ 6009 utiliza comunicação por meio de USB 2.0 que trabalha em 2 Mbps. Portanto, a DAQ6009 na transferência de dados é a placa mais rápida pois comunica em uma taxa muito maior na transferência de dados para a estação de supervisão.

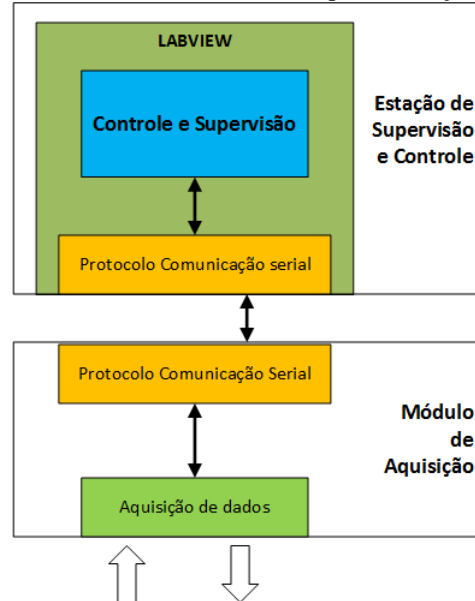


Fig. 3. Arquitetura de comunicação dos módulos 2,3e 4

Como é sabido, um sistema de controle local em comparação com um controle remoto se deve considerar o tempo morto. Assim sendo será analisado o tempo de comunicação e sua influência sobre o controle da planta. Pela comparação dos dados de desempenho dos microcontroladores, do modulo de aquisição, seus custos e a influência que cada um gera no tempo de resposta do controle da planta será possível definir quais os melhores métodos de se utilizar um sistema de aquisição e a melhor forma de implementar o controle deste sistema.

#### IV. RESULTADOS

Os experimentos reportados neste trabalho ainda são preliminares pois o trabalho está ainda em fase inicial.

Um primeiro levantamento que foi realizado buscou-se levantar a precisão e a taxa de amostragem do conversor analógico/digital (ADC) a ser utilizado. Os dados foram retirados dos *datasheets* e manuais dos equipamentos e alguns valores foram inferidos por uma ou outra variável. O resultado é mostrado na tabela 1.

Tabela I - Comparação entre aquisição de diferentes plataformas

Modulo De Aquisição	ADC [Bits]	Clock [MHz]	Resolução [%]	Taxa de Amostragem [KS/s]
1	14	?	0,006	48
2	10	20	0,10	1000
3	12	168	0,02	7000
4	12	720	0,02	30000

Na tabela 1, a coluna Módulo de Aquisição indica as diferentes placas de aquisição que são respectivamente: (1) NI-DAQ6009; (2) Arduino Uno; (3) ARM Cortex M4 (STM32F4Discovery); (4) BeagleBone. A coluna ADC mostra a resolução do conversor analógico digital da placa onde varia de 8 bits que é uma baixa resolução a 24 bits uma alta resolução. A coluna Clock indica o clock principal da CPU, onde para a taxa de amostragem as CPUs geralmente usam um barramento com uma velocidade de duas a quatro vezes menor que o clock principal para executar a conversão do conversor analógico/digital. A coluna Taxa de Amostragem indica o tempo entre cada amostra de dados que será feita e é medido em amostras por segundo (KSamples/seg) quanto maior o valor mais próximo o sinal amostrado estará do sinal analógico real.

Os testes de aquisição inicial usando o LabVIEW foram feitos utilizando a plataforma Arduino comunicando serial RS232 com o LabVIEW. Nesta configuração o Arduino foi configurado com baudrate 9600 bps, stop bit 1 e paridade none. O teste inicial consistia do Arduino, ler um potenciômetro no ADC e enviar este valor do potenciômetro para o LabVIEW. Para testar a saída o LabVIEW controlava a intensidade do brilho do LED através da variação da largura do PWM.

Com relação ao protocolo ele foi desenvolvido em partes tanto no Arduino como no LabVIEW. No Arduino é feito a programação em linguagem C usando a biblioteca padrão. Para facilitar o posterior uso e manutenção do código, as rotinas de acesso aos periféricos nas diferentes plataformas deverão ter o mesmo nome desta forma para chamar a leitura do ADC será utilizado a rotina “readadc” passando os mesmos parâmetros. Desta forma será feita a portabilidade do código e também a utilização será realizada de forma mais amigável.

Na parte do LabVIEW é utilizado os blocos Serial VISA que permite o acesso a comunicação serial. O protocolo ainda não possui CRC. A figura 4 mostra o código do LabVIEW utilizados como leitura e escrita dentro da camada de comunicação serial.

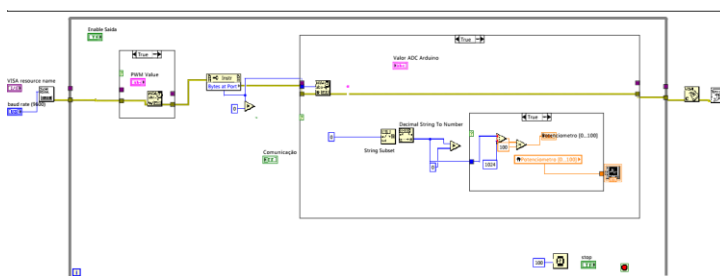


Fig. 4. Programa no LabVIEW para leitura e escrita no protocolo serial.

A figura 5 mostra uma captura de dados tanto de leitura do potenciômetro quanto escrita no Led. Apesar do potenciômetro ficar sempre na mesma posição de 50% o gráfico mostra picos que representam falhas na comunicação serial devido a não existência ainda do tratamento do CRC no protocolo o que mostra a necessidade deste componente para efetuar o controle.

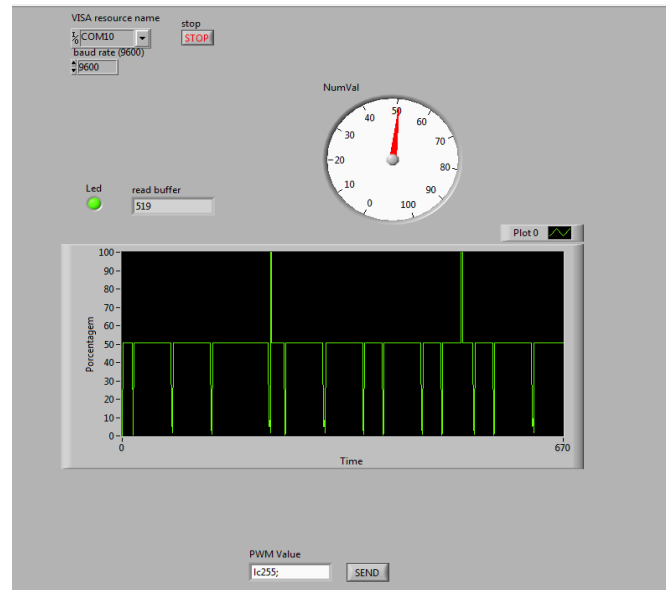


Fig. 5. Tela de interface através do LabVIEW mostrando a leitura de um potenciômetro e escrita em um Led.

Na figura 6 mostra a camada de controle com um PID simulado. O usuário pode escolher os parâmetros de Kp, Ti, Td do PID e analisar a resposta dinâmica do sistema. Ainda não foi possível ligar o PID no motor, porém já é possível executar todo o código necessário para este tratamento.

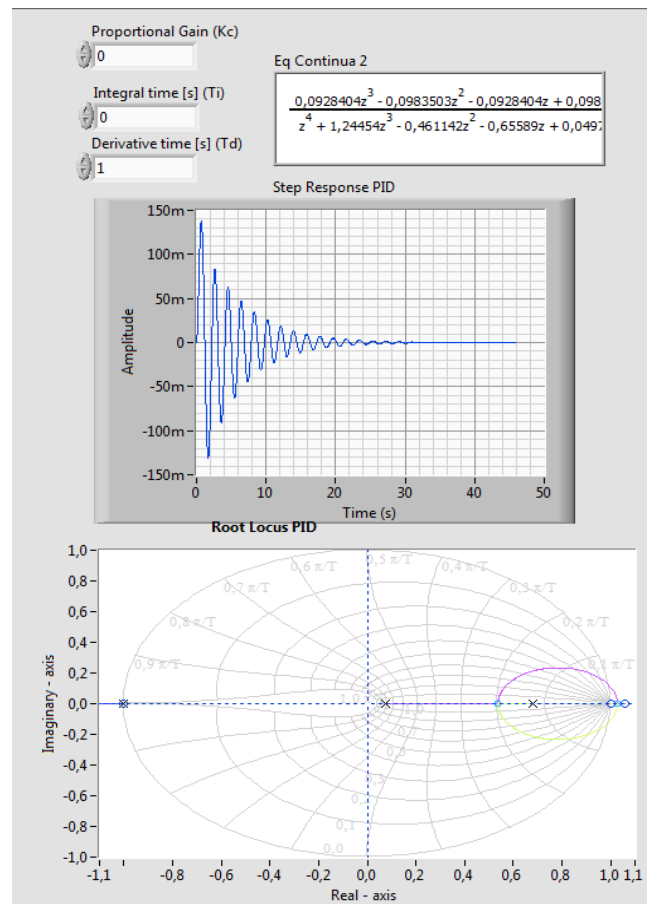


Fig. 6. Tela de Controle PID

## V. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como meta a análise diferentes plataformas de aquisição de dados para utilização em controle de processo. Porém ainda não foi possível obter os resultados esperados devido a ele estar ainda em desenvolvimento. Porém, este trabalho tem uma importância significativa visto a importância de se pesquisar a melhoria dos processos, da utilização de técnicas de controle, e também de utilizar diferentes plataformas de controle visando o ensino em engenharia e de soluções mais acessíveis.

Publicar estes resultados preliminares e o escopo deste projeto possibilitará avaliar a pesquisa como um todo, abrir espaço para contribuições e buscar a melhoria dos métodos de pesquisa utilizados.

## REFERÊNCIAS

- [1] FLORES, J.F., DIAZ, E., CABEZAS, Y.F.- Simulación y Control em Cascada de uma Planta POMTM em Tempo Real com RTAI-LAB. In XIII Congreso Latinoamericano de Control Automático, pages 852– 859, 2008.
- [2] PHILLIPS, N. – “Digital Control System Analysis and Design”, Third Edition, Prentice-Hall, 1995.
- [3] PLACIDO, Fernando Guessi. Introdução e Aplicação de Sistemas SCADA em Engenharia. Acedido em 31 Maio de 2016, em: [http://rexlabs.satc.edu.br/weel/arquivos/cursos/Sistemas\\_Scada.pdf](http://rexlabs.satc.edu.br/weel/arquivos/cursos/Sistemas_Scada.pdf).
- [4] ESTEVES, Carlos André de Matos. Estudo e aplicação de paradigmas multitoque no interface humano- computador de um sistema SCADA. Tese de Mestrado Integrado. Engenharia Informática e Computação. Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia. 2012. Acedido em 03 Junho de 2015, em: <http://hdl.handle.net/10216/63461>.
- [5] WINDERSON, E., PHILLYPE, M. Apostila Introdução a Programação com Labview, versão 8.0, Curitiba, 2009, Universidade Federal do Paraná.
- [6] METSO, “Software Expertune”. Acedido em 01 de Junho de 2016 em: <http://www.expertune.com/customersuccess.aspx>.
- [7] Ghizoni, R.C. “Scilab Introduções Básicas”. Acedido em 01 de Janeiro de 2016, em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAeufsAG/scilab-instrucoes-basicas>.
- [8] RODRIGUES, Bem-Hur Salles. Avaliação de desempenho de malhas de controle. 2010. Universidade Federal de Ouro Preto.
- [9] MOURA, Diogo Nogueira. Desenvolvimento de uma Solução de Aquisição de Dados para Laboratório. 2014. FEUP Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Dissertação em Automação Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica.
- [10] HUANG, G., LEE, S. – PC-based PID Speed Control in DC Motor, Audio, Language and Image Processing, 2008. ICALIP 2008. International Conference on, Shanghai, 2008, pp. 400-407.
- [11] YEUNG, Kin and HUANG, Jie, -“Development of a Remote-access Laboratory: A Dc Motor Control Experiment”, Comput. Ind., December 2003, vol. 52, number.3, pages 305-311.
- [12] NATIONAL INSTRUMENTS. National Instruments. 2015. Acedido em 30 de Maio de 2016, em: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/pt/>.
- [13] DAQ 6009 – “User Guide and Specifications NI USB-6008/6009”, Fev 2012. Acedido 28 de Junho de 2016, em: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>.
- [14] MATOS, S.N. – Tutorial para criar um sistema de aquisição de dados remoto, alimentado por células fotovoltaicas, Universidade Federal de Ouro Preto. Acedido em 28 de Abril de 2016, em: [http://professor.ufop.br/sites/default/files/adrielle/files/tutorial\\_para\\_sistema\\_telemetrico\\_sustentavel.pdf](http://professor.ufop.br/sites/default/files/adrielle/files/tutorial_para_sistema_telemetrico_sustentavel.pdf).
- [15] STM32 – “STM32F405xx, STM32F407xx User Guide”. Acedido em 28 de Junho de 2016, em: [http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user\\_manual/70/fe/4a/3f/e7/e1/4f/7d/DM00039084.pdf/files/DM00039084.pdf/jcr:content/translations/en.DM00039084.pdf](http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/70/fe/4a/3f/e7/e1/4f/7d/DM00039084.pdf/files/DM00039084.pdf/jcr:content/translations/en.DM00039084.pdf).
- [16] BEAGLEBOARD, “BeagleBone System Reference Manual. Rev. a6.0.0.”. Acedido em 20 de Março de 2016, em: [http://beagleboard.org/static/beaglebone/latest/Docs/Hardware/BONE\\_SRM.pdf](http://beagleboard.org/static/beaglebone/latest/Docs/Hardware/BONE_SRM.pdf)