



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ

LUIZ GUSTAVO CANDIDO

**SISTEMA SUPERVISÓRIO DE CONTROLE E CALIBRAÇÃO DE
INSTRUMENTOS DE PLANTA DIDÁTICA DE PRESSÃO**

ARAXÁ/MG
2016

LUIZ GUSTAVO CANDIDO

**SISTEMA SUPERVISÓRIO DE CONTROLE E CALIBRAÇÃO DE
INSTRUMENTOS DE PLANTA DIDÁTICA DE PRESSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Automação Industrial, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientador: Prof. Me. Frederico Duarte Fagundes

**ARAXÁ/MG
2016**

FOLHA DE APROVAÇÃO
LUIZ GUSTAVO CANDIDO

**SISTEMA SUPERVISÓRIO DE CONTROLE E CALIBRAÇÃO DE
INSTRUMENTOS DE PLANTA DIDÁTICA DE PRESSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Automação Industrial, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Araxá, 12 de julho de 2016.

Presidente e Orientador: Prof. Me. Frederico Duarte Fagundes

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade
Araxá

Membro Titular: Prof. Artur de Almeida Rios

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade
Araxá

Membro Titular: Prof. Me. Marcos Cícero Faria da Silva

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade
Araxá

DEDICO ESTE TRABALHO

Aos meus pais,
Aos meus irmãos e
À minha namorada
esses que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços
para que chegasse até esta etapa de minha vida.
Hoje colhemos juntos, os frutos de nosso empenho.

AGRADECIMENTOS

Neste momento de grande realização pessoal, no qual já não há mais distinção entre lágrimas de alegria e cansaço, torna-se difícil agradecer com palavras todos os amigos e colegas que participaram dessa jornada, mas, de coração, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho e a conquista do título de Engenheiro de Automação Industrial. Em especial, agradeço: A Deus, centro e fundamento de tudo em nossas vidas, por renovar a cada momento a força e a disposição para o trabalho e também por não fazer minhas vontades e sempre atender às minhas necessidades.

À minha família que, por muitos momentos, me deu forças para não desistir. Em particular, à minha querida namorada Franciely Teixeira, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e me encorajando, que definitivamente foi meu porto seguro nessa reta final, essa que será definitivamente uma conquista realizada por dois.

Ao meu orientador e professor, Frederico Duarte Fagundes, pela cobrança, pelo auxílio e pela disponibilidade de tempo, sempre à disposição para ajudar.

A todos os professores, funcionários e alunos do Centro Federal de Educação Tecnológica em Araxá, por fazerem deste lugar uma escola da vida. Em especial, aos docentes do curso de Engenharia de Automação pela convivência, pelas trocas de conhecimento e pelas experiências que foram tão importantes em nossa vida acadêmica.

Aos professores Domingos Sávio e Luís Paulo que, de alguma forma, contribuíram com a realização deste trabalho. Em particular, à querida professora Érica Daniela de Araújo que, sem sua vontade de nos ajudar e conhecimento, não seria possível a elaboração e a formatação desse trabalho.

Aos meus colegas de turma que, além de se tornarem amigos, dividiram as angústias e os desafios que o CEFET nos proporcionou. Um agradecimento especial ao colega de curso e amigo Carlos Dias por toda ajuda na realização deste trabalho e por ter dedicado parte do seu tempo a mim.

A todos que torceram e que, de certa forma, contribuíram para essa realização. A todos deixo meus sinceros agradecimentos. Obrigado!

“Minha energia é o desafio, minha motivação é o impossível, e é por isso que eu preciso ser à força e a esmo, inabalável.”

Augusto Branco

RESUMO

Este trabalho tem por intuito desenvolver um sistema supervisorio capaz de eliminar ou diminuir o erro embutido nos instrumentos analógicos de uma planta didática de pressão, por meio da calibração desses, via *software*. Esse *software* foi elaborado e aplicado na planta de pressão localizada no Laboratório de Controle do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, unidade Araxá. O trabalho foi dividido em duas partes, sendo uma a calibração das variáveis envolvidas na planta, e a outra o controle PID e plotagem do gráfico correspondente ao controle. Foram utilizadas equações de regressão, tanto linear quanto exponencial, para a calibração de dados, de tal modo a permitir a calibragem dos erros integrados em instrumentos da planta, tais como: válvulas, manômetros, entre outros. Tal proposta se justifica, haja vista que o atual supervisorio da planta de pressão não permite a calibração dos instrumentos tornando, assim, o tratamento de dados com valores distantes dos valores reais. Tanto é que o controle realizado atualmente está carregado de erros, devido ao desgaste dos sensores. Com a elaboração desse projeto cria-se a possibilidade de trabalho com valores de erro próximo a 2%, possibilitando um controle mais preciso, e a opção de se calibrar os instrumentos de plantas semelhantes.

Palavras-chave: Calibração. Planta de pressão. Automação. SCADA. PID.

ABSTRACT

This Project intends to develop a supervisory system capable of either to eliminate or decrease in its maximum value the inbuilt error in the analog apparatus of the pressure plant, by means of their calibration. This software will be elaborated and applied in the pressure plant located in the control laboratory from Centro Federal de Educação Tecnologia de Minas Gerais – CEFET-MG, Campus of Araxá, in such a way to allow the calibration of integrated errors in the apparatus of the plant, such as: valves, manometers, among others. Such proposal justifies itself, considering that the current supervisory of the pressure plant doesn't allow the calibration of the apparatus from the plant, thus making the data treatment with distant values from the real ones. IN fact the control performed recently is full of errors due to the wear of the sensors. Therefore, the capacity of performing a correct control with sensors, without any kind of calibration, becomes minimum, taking into consideration that the values we are working with are not real. Thus, with the elaboration of a new software, it is believed that there will be a possibility of such calibration. The processing of data with distant values of the actual values . Any control which is currently performed is loaded errors, due to wear of the sensors. With the development of this project it creates the possibility of working with error values close to 2 % , allowing more precise control , and the option to calibrate the instruments of similar plants.

Keywords: Calibration. Pressure plant. Automation. SCADA.PID.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Esquemático de uma planta de pressão genérica.....	15
Figura 2: planta de pressão do laboratório do CEFET.	16
Figura 3:Níveis de acesso de redes	23
Figura 4: Diagrama de blocos e esquemático da pressão do laboratório do CEFET.	25
Figura 5:Trandutor de pressão	27
Figura 6:: Atuador pneumático	28
Figura 7: : (esquerda) parâmetros de configuração do Windows. Diagrama de tempo real.	29
Figura 8: sequência DB 9 Macho.	30
Figura 9: Interface gráfica QT.....	32
Figura 10: Diagrama de blocos típico de um sistema de controle com realimentação Fonte: Maya; Leonardi, 2014.....	35
Figura 11: gráfico da resposta K_p	36
Figura 12: Placa descritiva do atuador e da válvula de controle	40
Figura 13: Exemplo de dado de comando para o funcionamento da válvula de controle.....	42
Figura 14: soma por porta And do cabeçalho "C0" ao dado de exemplo..	42
Figura 15: supervisorio aba de gráficos.....	43
Figura 16: Supervisorio , aba de calibração.	43

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela01: Especificação do atuador 2780	28
Tabela 02 Funções dos pinos do RS-232	31
Tabela 03: gráfico com calibração e 2 pontos	45
Tabela 04: gráfico com calibração e 5 pontos	45
Tabela 05: gráfico com calibração e 10 pontos	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEFET-MG – Centro Federal de educação Tecnológica de minas gerais

CLP- Controlador Lógico Programável

HMI – do ingles- man-machine interface

IBM - International Business Machines™

IHM – Interface homem Máquina

PID – (controle) Proporcional, Integral, Derivativo.

PLC –do inglês - Programmable Logic Controller

P2P – Peer To Peer, Ponto a ponto.

QT – do inglês – Cute,

SCADA- do inglês- Supervisory Control and Data Aquisition.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. Revisão teórica	19
2.1 Sistema Supervisório	19
2.2 Planta de pressão didática	24
2.2 Supervisório da planta de pressão	29
2.3 Comunicação Serial RS-232	30
2.4 ProGrama usado para criar o software (qt)	31
2.5 Método de regressão.....	33
2.5.3 Linear	33
2.5.4 Exponencial	34
3. PID	35
4. mATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1 Protocolo de comunicação	37
4.2 Adequação do protocolo e controle da válvula	39
4.3 comunicação com a válvula de controle	41
4.4 Supervisório.....	42
5. Resultados	44
6. Conclusão	46
REFERÊNCIAS	47
Apêndices.....	49

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, a Automação Industrial inicia seu processo de desenvolvimento em meados de 1920 na linha de produção de automóveis de Henry Ford. Após isso, na década de 1960, inicia-se o desenvolvimento da microeletrônica, assim, possibilitando a criação dos CLP's (Controladores Lógicos Programáveis), que foram os responsáveis pela substituição dos painéis com lâmpadas e relés. Em 1990, foram desenvolvidos novos sistemas de supervisão e de controle, objetivando o aumento da produtividade, da qualidade e da competitividade em vista de um mercado consumidor diferente daquele das décadas anteriores (ALVES, 2010).

Sendo assim, com o surgimento desses sistemas, os novos sistemas de supervisão começaram a se estruturar basicamente a partir de três funções, a saber: supervisão, operação e controle. A função de supervisão é aquela responsável pelo monitoramento do processo, para tanto, emprega gráficos de tendência, variáveis analógicas e digitais, relatórios, dentre outros mecanismos para o monitoramento. A função de operação, por sua vez, substitui vantajosamente as funções de mesas de controle manuais, maximizando os modos de controle e de operação de equipamentos. Por fim, a função de controle é aquela que permite o controle sem a necessidade de níveis intermediários de processo, por isso, conta com a possibilidade do sistema supervisorio, por meio do qual o controle pode ser realizado em tempo real, a partir da necessidade e das características pré-determinadas do processo (BOYER, 2004; DORF; BISHOP, 2013).

Diante do exposto, com a evolução e a necessidade de uma maior especialização na área de controle, a engenharia de automação industrial tornou-se mais abrangente, com inúmeras possibilidades de aplicação. Ela comporta desde sistemas parcialmente automáticos, com presença de alguns procedimentos manuais, até sistemas totalmente sem interferência humana. Essa capacidade de trabalhar sem ou com quase nenhuma interferência faz com que esses sistemas possibilitem aumento da produção e da velocidade na obtenção de dados, fato que gera uma diminuição de custos. Em vista disso, pode-se compreender a automação como um conjunto de técnicas e de estratégias matemáticas e computacionais com o objetivo de otimizar uma determinada produção visando maiores condições de segurança (CASTRUCCI; BITTAR; SALES, 2011). Dentre os tipos de automação

(por exemplo, residencial, industrial, controle etc.), há a automação de plantas industriais, a qual será o foco deste estudo.

Uma planta industrial constitui um conjunto de máquinas, válvulas e aparelhos instalados convenientemente em um local predeterminado, permitindo a execução de processos. Nessa medida, esse conjunto de máquinas “fixas”¹ e industriais corresponde a tudo aquilo que pertence à indústria e que tenha como função transformar matéria ou energia a partir de um processo pré-planejado. Assim, as plantas industriais são instalações que possuem os meios necessários para um processo de fabricação (ALVES, 2010).

No sistema acadêmico, que preza pela boa formação de seu corpo discente, é comum a prática de simulações em escalas menores nas plantas industriais, de tal modo a propiciar que o aluno entre em contato com o controle e a manipulação de dados sem que haja contato direto com o ambiente industrial, estando em um ambiente seguro e controlado, acessível aos alunos; não sendo uma única estrutura a ser observada, mas que pode ser operada. Desse modo, as plantas didáticas demonstram diversas operações e malhas de controle utilizando *softwares* e supervisão semelhantes aos utilizados na indústria, possibilitando ao aluno intervir diretamente, modificar valores internos, determinar *setpoints*, alterar valores de ganhos de controle PID e simular processos básicos industriais, como controle de nível, pressão e temperatura. Na sequência ilustra-se, por meio da figura 1, o esquemático de uma planta de pressão genérica:

¹ Utiliza-se o termo “fixas” no sentido de deslocamento, podendo haver movimentos rotativos ou em um perímetro determinado.

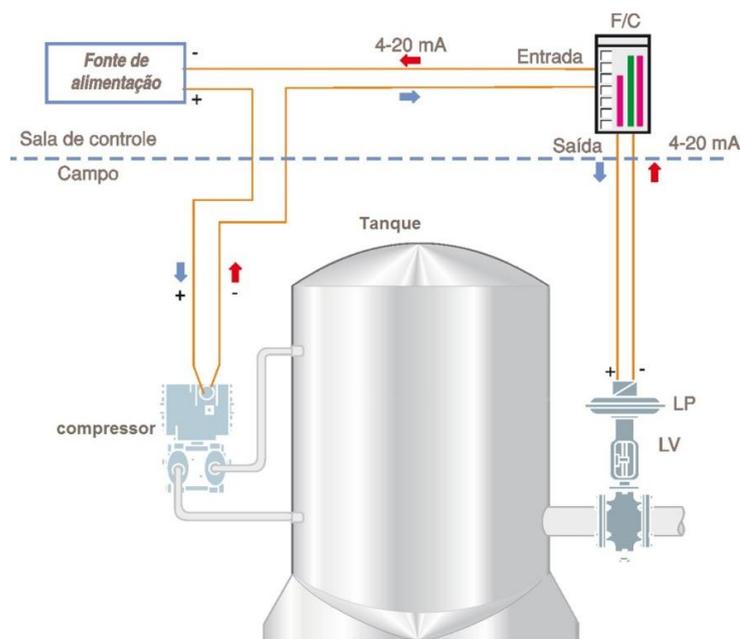


Figura 1: Esquemático de uma planta de pressão genérica

Fonte: Mecatrônica Atual nº23 - Agosto/Setembro - 200555

Entre os já citados tipos de plantas industriais e plantas didáticas, este trabalho possui como objeto de estudo uma planta de pressão. De forma geral, uma planta de pressão é constituída de um tanque, que é alimentado com gás (ar comprimido, por exemplo) por um compressor, e que possui uma válvula de saída. Essa válvula controla a saída de gás do tanque, manipulando, dessa forma, a pressão no mesmo (PESSA, 2006).

A planta de pressão objeto deste estudo, mostrada na Figura 2, é constituída por controladores, válvulas e sensores, os quais permitem a análise e o controle da variável de processo que, neste caso, é a pressão no tanque. As válvulas e os sensores, com o tempo e o desgaste, tendem a intensificar o erro integrado no instrumento, fazendo com que o controle seja ineficiente e necessite de calibrações. Contudo, muitos equipamentos, inteiramente montados por uma empresa, muitas vezes, são vendidos com seus protocolos de comunicação fechados, o que impossibilita o manuseio de sinais dos sensores e, assim, a calibração desses. Dessa forma, a criação de um novo supervisório, com a capacidade de diminuir em tempo real o erro do instrumento, torna-se uma necessidade imprescindível em ambiente universitário, haja vista a pouca disponibilidade de recursos financeiros para a substituição de equipamentos.



Figura 2: planta de pressão do laboratório do CEFET.

Fonte: Autoria própria

Diante desse contexto, para a elaboração de um sistema com tal capacidade, inicialmente é necessário medir as variáveis, mas em todos os instrumentos de medição estão contidos erros, independente da sofisticação do instrumento. Os resultados, em sua grande maioria, não são apresentados com valores exatos, ou seja, por definição, não existem instrumentos por mais calibrados que estejam, sem erros. Nessa medida, o que existe é uma faixa de trabalho que varia pela qualidade do instrumento de medição. Essa faixa conhecida tem o nome de faixa de incerteza, isso porque, quanto menor a incerteza, maior a qualidade das medições efetuadas pelo instrumento e vice-versa (PESSA, 2006). Logo, esse é o intento deste trabalho: possibilitar, embora reconhecendo a presença da faixa de incerteza, a calibração dos instrumentos analógicos da planta de pressão acima citada, de tal modo a permitir maior qualidade nas medições.

Em vista disso, Saraiva (2011, p.1) expõe uma definição para o termo calibração. Segundo esse autor, durante anos, esse termo foi associado, sinonimicamente, com o termo ajuste, contudo:

De acordo com o novo Vocabulário de Metrologia (aprovado pela portaria 319 do Inmetro) calibração é a operação que estabelece, numa primeira etapa e sob condições especificadas, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; numa segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação

visando à obtenção de um resultado de medição a partir de uma indicação.

De forma geral, a calibração consiste na comparação de valores confiáveis, fornecidos por outro instrumento padrão, com os valores fornecidos pelo instrumento a ser calibrado. Nessa medida, qualquer diferenciação entre esses valores deve ser levada em consideração quando o instrumento é utilizado, isso porque, com o tempo e/ou grande utilização, os instrumentos perdem a qualidade metrológica, aumentando a incerteza. Em vista disso, alguns fatores devem ser considerados para identificar se o instrumento necessita de calibração, tais como: a incerteza de medição, o custo da correção do instrumento, o tipo de instrumento, a tendência no uso e na deriva, a severidade do uso e as condições ambientais (climáticas, ambiente eletromagnético, limpeza etc.) (PESSA, 2006).

Diante do exposto, com este trabalho, intenta-se atualizar a planta de pressão do Laboratório de Controle do CEFET-MG, unidade Araxá-MG, com a substituição do supervisor já existente. Em outros termos, este trabalho tem por objetivo geral desenvolver um sistema supervisor capaz de diminuir em seu valor máximo o erro embutido nos instrumentos analógicos de uma planta de pressão, localizada no Laboratório de Controle do CEFET-MG, por meio de calibração, utilizando um *software* que será desenvolvido. Dessa forma, será possível integrar o controle, que já era realizado, com a possibilidade de se calibrar os instrumentos da planta. Logo, este trabalho parte do seguinte questionamento de pesquisa: é possível, por meio do desenvolvimento de um sistema supervisor específico, eliminar ou diminuir o erro embutido nos instrumentos analógicos da planta de pressão do CEFET-MG, unidade Araxá?

A fim de responder a esse questionamento, alguns objetivos específicos foram considerados na elaboração esta pesquisa, quais sejam: a) obter os seguintes dados e especificações da planta de pressão a ser trabalhada: variável manipulada (pressão do tanque); quantidade de válvulas e instrumentos atuantes no controle do processo; tempo de *scan*; tipo de comunicação e protocolo da planta; função correspondente ao erro; b) elaborar estratégia de calibração; c) desenvolver o ambiente visual, Interface Homem-Máquina (IHM), atendendo às necessidades do estudo (calibração e controle), através da elaboração de um programa em

linguagem de alto nível (Basic), de tal modo a corrigir e processar os dados e fornecer a possibilidade de calibração.

Diante do exposto, com este trabalho aventa-se a seguinte hipótese de pesquisa: se adicionar, com um novo supervisor, a possibilidade de calibrar a planta de pressão do CEFET-MG, então obter-se-ia diminuição de erro e aumento da confiabilidade do controle. Se essa hipótese, em seu plano de prova, for confirmada, este trabalho proporcionará aos alunos da instituição mencionada uma aproximação maior com realidade que será encontrada no ambiente industrial, haja vista o trabalho com valores reais. Logo, uma maior qualidade de aprendizado será obtida ao se trabalhar com o a planta didática tendendo a valores de uma planta industrial.

Nessa medida, este trabalho se justifica, uma vez que, no mercado de trabalho, no ramo da automação industrial, hoje, existe uma grande diversidade de áreas de atuação, por exemplo: em redes industriais, na otimização de processo, no controle, na automação residencial e industrial, entre outras. Dessa forma, uma melhor capacitação e especialização daqueles que estão ingressando no mercado de trabalho faz-se necessária. Logo, um bom treinamento, com processos alinhados e calibrados, facilita o aprendizado, além de possibilitar uma maior verossimilhança do aluno com o ambiente industrial. Assim, é importante, para a formação profissional de engenheiros, o contato deles com processos de controle, com supervisão, para que tenham habilidades para trabalhar com erros e que sejam fiéis aos processos produtivos reais das indústrias.

Nessa medida, em instituições federais, nas quais a requisição de novos instrumentos, válvulas e outros materiais, é muito burocrática, a possibilidade de se manter um controle com precisão, sem que haja a substituição frequente de válvulas, é extremamente justificável. Logo, possibilitar um aprendizado de qualidade, em qualquer período, por meio do uso dos materiais adquiridos pela instituição, é essencial, além de diminuir os gastos com a substituição de instrumentos.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1 Sistema Supervisório

Os Sistemas de Controle têm como objetivos primários a modularidade, o desempenho e a expansibilidade da planta. Para isso, a planta industrial deve ser estruturada e organizada em seus constituintes (CLP's, dispositivos de aquisição de dados, instrumentos, entre outros). Logo, torna-se necessária a criação de uma arquitetura que seja capaz de conter as hierarquias de rede: controle e informação; tendo como informação o nível mais alto da arquitetura e as redes de controle, que interligam os sistemas, representadas pelos controladores, e a aquisição de dados aos sistemas industriais (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2009; ALVES, 2010).

Os Sistemas Supervisórios são *softwares* que permitem o monitoramento e a obtenção de informações de um processo produtivo, podendo ou não permitir a interferência no processo. Nessa medida, um Sistema Supervisório tem por função monitorar e rastrear informações do processo produtivo. Essas informações são adquiridas através dos equipamentos de aquisição de dados, as quais posteriormente são armazenadas, analisadas e apresentadas ao usuário. Tal sistema também é conhecido como SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) (BOYER, 2004).

Segundo Boyer (2004), além da função antes expressa, todo Sistema Supervisório deve conter algumas funções básicas, as quais serão descritas a seguir:

- **Aquisição:** consiste na coleta e transmissão de dados das estações remotas até as estações centrais. As remotas leem os dados (valores) dos dispositivos que estão conectados a eles. Com os dados lidos, as remotas os transmitem em modo de comunicação *polling*(*explicado na página 23*), ou em modo de comunicação por interrupção. A rede de comunicação transmite esses dados até a estação central. Tais dados são armazenados na base de dados;
- **Visualização:** a visualização é a apresentação dos dados através de uma Interface Homem-Máquina (IHM), informando, por meio de gráficos, animações e relatórios, a evolução e o estado dos dispositivos do processo industrial;

- **Processamento de alarmes:** os alarmes são classificados pela gravidade da função e do nível de prioridade, utilizando, na maioria dos casos, a maior prioridade para alarmes relacionados à segurança. O sistema permite, em caso de falha, tanto de rede quanto de servidor, o armazenamento de alarmes em *buffer*, que, junto à capacidade de se transmitir mensagens de alarme para vários servidores, proporciona uma maior tolerância a falhas. Dentre as funções já citadas, o processamento de alarmes está entre as mais importantes, devido à capacidade de informar erros no processo, de sugerir medidas e, em alguns casos, de realizar automaticamente, com base em parâmetros predeterminados, alguns comandos. O Sistema Supervisório pode acionar tais alarmes não somente em decorrência de uma situação isolada, mas também quando há combinação de eventos;
- **Tolerância a falhas:** Para que os níveis de falha sejam aceitáveis, é convencional a existência de informações redundantes na rede, assim como máquinas de *backup* dentro e fora das instalações industriais, isso porque, sempre que existir uma falha em um computador, o controle é transferido para outro computador automaticamente. Esse computador possuirá os dados espelhados do outro, fazendo, assim, que a interrupção seja mínima.

Os sistemas SCADA, basicamente, em seu surgimento, eram usados com tecnologia de telemetria², ou seja, informavam o estado do processo em intervalos de tempo pré-estabelecidos, fornecendo estados dos dispositivos, através de lâmpadas em painéis, sem haver interferência aplicacional com o operador. Os sistemas de automação modernos utilizam computadores, redes e dispositivos para monitorar e controlar os processos industriais, realizando coleta de dados em ambientes complexos e oferecendo ao operador uma interface simples com recursos gráficos e elaborados (IHM). Para realizar essa interação, os sistemas SCADA identificam todas as variáveis numéricas ou alfanuméricas que, nesse caso, são conhecidas como *tags*, podendo, assim, executar operações matemáticas e lógicas nos pontos de entrada/saída de dados do processo, que correspondem às variáveis reais (nível, vazão etc.). Assim, os dados apresentados ao usuário são dependentes

² Conforme Guimarães (2015), telemetria é um sistema tecnológico de monitoramento utilizado para comandar, medir ou rastrear algo à distância, através de comunicação sem fio (sinais de rádio ou satélite).

diretos dos valores das *tags*. Ademais, o sistema SCADA também permite a verificação de alarme, envio de mensagens por e-mail, alarmes sonoros e outros recursos audiovisuais. Logo, algumas das vantagens da implementação do sistema SCADA seriam: economia devido à redução de painéis de controle; redução de espaço para a sala de controle e acesso a dados em tempo real, o que facilita a geração de relatórios e a integração de ERP's³ (BAYLEY; WRIGHT, 2003; BOYER, 2004).

Diante do exposto, o objetivo principal dos sistemas SCADA é propiciar uma interface de alto nível do operador com o processo, informando-o, “em tempo real”, todos os eventos de importância da planta. Logo, essa versatilidade do sistema SCADA faz com que ele seja encontrado em diversas aplicações industriais (química, metalurgia, petróleo etc.), controle ferroviário, aeroviário e, até mesmo, em controles residenciais ou comerciais.

Resumidamente, destaca-se, ainda, que um sistema SCADA é composto por atuadores sensores, remotas e estações de controle central, sendo a comunicação realizada através de uma rede. Os atuadores e sensores são dispositivos do sistema que são monitorados e controlados pela rede. A conversão dos sinais físicos para sinais analógicos e digitais é realizada pelos sensores, tais como níveis, pressão, temperatura e velocidade. Logo, após a conversão, os sinais são enviados para as remotas. Os atuadores, como o nome sugere, atuam ligando ou deligando equipamentos. As estações remotas (centrais), por sua vez, controlam a obtenção de dados, por CLP's, efetuada pelos sensores em seus diversos tipos (temperatura, pressão, presença, luminosidade, dentre outros), juntamente com os atuadores, levando as informações à rede (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2009; BAYLEY; WRIGHT, 2003).

Conforme salientado, as redes de comunicação são extremamente importantes, visto que, por meio delas, as informações são enviadas para o controle central. A criação do meio físico de uma rede pode ser implementada pelos seguintes meios de transmissão: a) Cabos coaxiais e de par trançado: indicados a pequenas aplicações em redes, seguindo as normas para cabeamento estruturado

³ O ERP é um sistema integrado que utiliza um mesmo banco de dados, facilitando o fluxo de informações entre todas as áreas de uma empresa. Ele integra os dados e os processos de vários departamentos, possibilitando a automação e o armazenamento de todas as informações do negócio.

comercial; b) Cabos de fibra óptica: indicados para redes com grande extensão, indicado para áreas com interferência eletromagnética ou com necessidade de uma rede mais robusta; c) Serviços discados: indicados para sistemas de acesso remoto que não justifiquem uma conexão permanente ao sistema de supervisão; d) Serviços dedicados: diferentemente dos serviços discados, esse serviço é indicado quando existe a necessidade de conexões com a remota permanente ao sistema de supervisão; e) Dispositivos sem fio: indicados para qualquer tipo de rede, utilizada frequentemente em locais que não permitam acesso a cabeamento tradicional ou onde exista uma interferência magnética (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2009).

Nessa medida, as redes de comunicação incluem ainda as redes de campo, necessárias para a comunicação dentro do processo industrial. Essas redes de campo atendem pelo nome genérico de “*fieldbus*” ou barramento de campo e podem ser divididas em três tipos diferentes (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2009; VERHAPPEN; PEREIRA, 2012):

- a) Redes de Sensores ou “*Sensorbus*” – são redes apropriadas para interligar sensores e atuadores discretos, tais como chaves limites, contadores etc. Como exemplos, tem-se as redes CAN e LonWorks;
- b) Redes de Dispositivos ou “*Devicebus*” – são aquelas capazes de efetuar a conexão entre dispositivos mais complexos, tais como CLP’s, conversores AD/DC, remotas etc. Como exemplos, cita-se Foundation Fieldbus, DeviceNet, Interbus-S, LonWorks, CAN , ModbusPlus, ControlNet;
- c) Redes de Instrumentação ou “*Fieldbus*” – são redes para a integração de instrumentos analógicos na indústria, tais como transmissores de pressão, vazão, temperatura, válvulas controladas etc. Exemplos: HART, Profibus-PA, IECSP50-H1. Essas são redes concebidas para integrar instrumentos analógicos ao ambiente industrial, como transmissores de vazão, de pressão, de temperatura, válvulas de controle, etc.

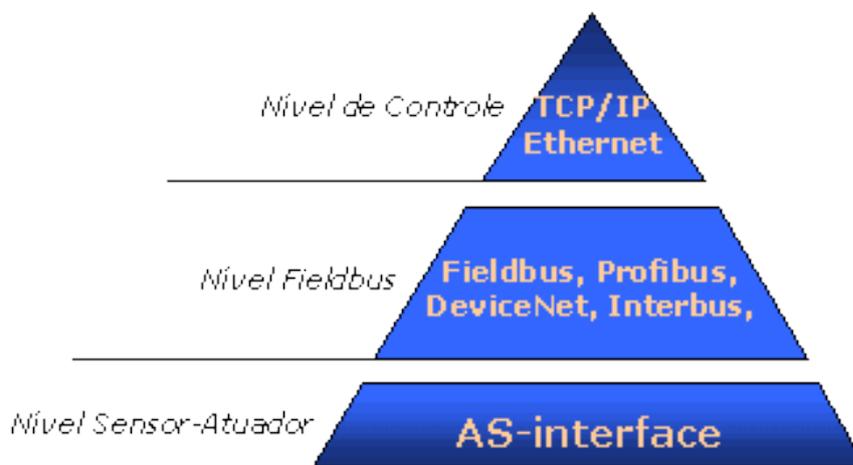


Figura 3: Níveis de acesso de redes

Fonte: Mecatrônica Atual nº23 - Agosto/Setembro - 200555

As estações de controle central têm como responsabilidade o monitoramento e a supervisão de todo o sistema; essas são as principais unidades do sistema SCADA, dado que são responsáveis por recolher dados enviados pelas remotas e atuar no sistema de acordo com o evento e as informações detectadas. Dessa forma, as estações de controle central podem estar distribuídas em uma rede de computadores para um maior compartilhamento de dados ou concentradas em um único computador. O usuário interage com a estação de controle pela interface HMI, por meio da qual é fornecido o diagrama da planta industrial, as representações gráficas das estações remotas, os valores de sensores e atuadores, e os alarmes de rede (BAYLEY; WRIGHT, 2003).

No que se refere aos modos de comunicação, de forma geral, o sistema SCADA utiliza dois modos de comunicação: por *Polling* e comunicação por interrupção. No que concerne à primeira, por *Polling*, a estação central (Master) determina o controle da comunicação, utilizando sequência de *polling* na obtenção de dados das remotas (*slave*), sendo que apenas responde a estação central após um pedido da mesma; constituído, assim, um sistema Half-duplex. Logo, a cada remota é atribuído um único endereço. Caso a resposta da remota não chegue à estação central, por um período estabelecido de tempo, são enviadas novas solicitações antes de avançar para a próxima remota. Na comunicação por interrupção, por sua vez, a remota verifica se há alterações em valores de dados que ultrapassem limites predeterminados. Esse sistema é configurado para a detecção de erros e para a recuperação de colisões. Ao se iniciar a transmissão, a

rede é verificada pela remota se existe disponibilidade de transmissão, ou seja, se está sendo usada por outra estação. A verificação continua por um tempo estabelecido até que se consiga realizar a transmissão. Nesse modo, a estação remota monitora os valores de entrada de dados e, quando detecta alterações significativas ou valores que ultrapassam limites predefinidos, inicia a comunicação com a estação central para a transferência de dados. Se acontecer muitas colisões de dados, o sistema é significativamente afetado; a transmissão é cancelada pela remota até que a estação central proceda a leitura dos valores pela comunicação de *polling* (BAYLEY; WRIGHT, 2003).

Por fim, ressalta-se que, através de um *login*, o sistema SCADA obtém informação de cada operador, identificando-o, de modo a filtrar alarmes, devido à área de competência, funções e responsabilidades de cada operador. Dessa forma, são gerados arquivos de *log* com informações relativas aos alarmes gerados, permitindo, assim, posteriormente, uma análise detalhada da origem do ocorrido. Para minimizar a chance de falhas, o sistema conta com dados redundantes na rede, utilizando servidores de *backup* (BAYLEY; WRIGHT, 2003; BOYER, 2004).

2.2 Planta de pressão didática

Uma planta didática de pressão é um equipamento laboratorial que simula o ambiente industrial em menor escala, fornecendo a possibilidade de controlar a pressão dos tanques. A planta didática do Laboratório de Automação e Controle do CEFET-MG, em Araxá, conta com válvulas solenoides, tanques, instrumentos de medição analógicos/digitais e compressor. Os equipamentos analógicos, por si só, não fornecem os dados da pressão para o operador, necessitando do sistema supervisorio para tal atividade. Os sensores, acoplados ao processo, monitoram e fornecem os dados a serem trabalhados, assim, o sistema supervisorio fornece os resultados computados na tela de um computador anexado à planta (DIDACTA ITALIA, 2012).

Na sequência, ilustra-se, por meio da figura 4, um diagrama de blocos e esquemático da planta de pressão, objeto de estudo deste trabalho:

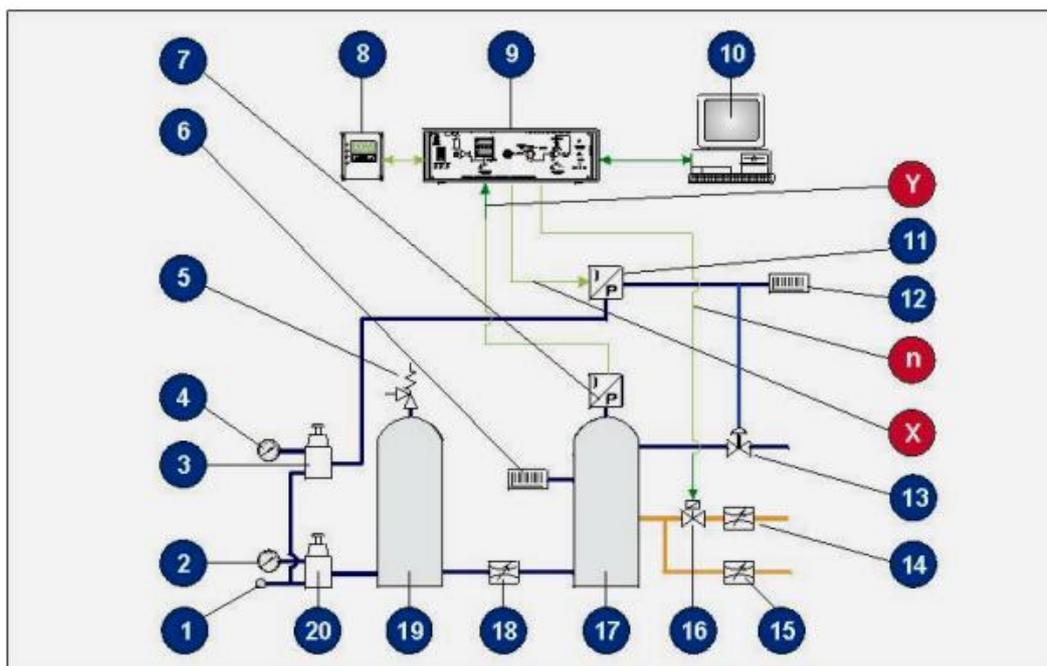


Figura 4: Diagrama de blocos e esquemático da pressão do laboratório do CEFET.

Fonte: Manual da planta de pressão Didacta Italia CRP (2012).

- | | |
|---|---|
| 1. Entrada de ar comprimido | 13. Válvula pneumática proporcional |
| 2. Medidor de pressão para o ar de entrada tanque auxiliar | 14. Válvula manual para introduzir a perturbação |
| 3. Regulador manual para o ar de entrada do conversor I / P | 15. Válvula para o distúrbio de ajuste manual |
| 4. Medidor de pressão para o ar de entrada do conversor I / P | 16. Válvula de solenoide para introduzir a perturbação |
| 5. Redutor de pressão de segurança para tanque auxiliar | 17. Tanque principal |
| 6. Medidor de pressão para o tanque principal | 18. Válvula manual para o ar de entrada tanque principal |
| 7. Pressão / transdutor | 19. Tanque de reserva auxiliar |
| 8. Regulador eletrônico | 20. Regulador manual para a entrada de ar tanque auxiliar |
| 9. Equipamento elétrico | X. Sinal de atuação |
| 10. Computador | Y. Sinal variável controlada |
| 11. Corrente / conversor de Pressão/medidor de pressão | n. sinal de perturbação |
| 12. Sinal de atuação | |

O objetivo desse processo é controlar a pressão do ar num reservatório de metal (17) na presença de perturbações externas. O ar entra no tanque principal (17), através de um tanque tampão (19), por meio de uma válvula ajustável manualmente (18). A saída de ar do tanque principal é ajustada por uma válvula pneumática proporcional (13). Trabalhando sobre essa válvula, é possível controlar a pressão no interior do tanque. As válvulas manuais (14) e (15) e a válvula de solenoide (16) tornam possível ajustar um canal de saída, de modo a simular a ocorrência de perturbações (ruídos), independentes das atividades normais de regulação. Os sensores P/I (6) e (12) tornam possível medir, respectivamente, a pressão no tanque principal (quantidade controlada). O valor da quantidade controlada (0 a 2,5 bar) é adquirido por meio de um transdutor de pressão (7) (DIDACTA ITALIA, 2012).

No que se refere ao controle em circuito fechado, esse pode ser realizado de maneiras diferentes: via *software*, usando o programa que é executado no computador pessoal (10) ou através do regulador eletrônico, MiniReg (8). A ação de controle de tipo PID (Proporcional Integral Derivativo) é obtida por comparação do sinal correspondente à taxa real de caudal (Y) com um sinal do ponto de ajuste selecionado pelo utilizador. Como uma função da lógica de controle, o regulador gera um sinal de acionamento (X) que, convertido num sinal de pressão por meio do conversor I / P (11), atua sobre a válvula pneumática (13) e modifica a taxa de fluxo de saída a partir do tanque principal. Além disso, o computador pessoal pode controlar a taxa de fluxo de perturbação, através da geração de um sinal (n), que atua sobre a válvula solenoide (16). Os equipamentos elétricos (9) incluem os controles para os principais componentes elétricos da unidade, placa de conversão de um AD / DA à interface com o computador pessoal, através da porta USB. Um indicador digital para exibir o valor da pressão instantânea no tanque principal (DIDACTA ITALIA, 2012).

Por variável compreendem-se as grandezas que traduzem transferências de energia no interior do processo (condutividade, controle de nível, vazão etc.). No caso da planta de pressão, a variável é a própria pressão no tanque. Os transdutores (Figura 5) convertem um sinal de entrada de corrente ou tensão para uma saída de pressão pneumática linearmente proporcional, trata-se de uma força

balanceada onde uma bobina é suspensa no campo de um ímã por uma flexão. A corrente que flui através da bobina gera um movimento axial da bobina e da flexão.



Figura 5: Transdutor de pressão

Outro instrumento da planta são os atuadores pneumáticos. Recebem esse nome porque são eles que realizam a ação diretamente no processo, possibilitando um acionamento a distância e não diretamente na válvula, em sistemas automáticos.

Os atuadores pneumáticos, como todo equipamento pneumático, funcionam com ar comprimido e pode exercer movimentos lineares, rotativos e semi-rotativos ou angulares. O princípio de funcionamento é o controle das seguintes variáveis: sentido de movimento, velocidade e força. Nessa medida, há: Válvulas Direcionais para controlar o sentido de movimento, Válvulas de Fluxo para controlar a velocidade e Válvulas de Pressão para controlar a força. Os atuadores pneumáticos trabalham com a pressão de ar entre 6 e 8 bar, por se tratar de uma faixa de trabalho com uma economia maior.

Atuadores lineares, também chamados de cilindros pneumáticos dado que sua forma geométrica é cilíndrica, operam normalmente até 3000 km sem

lubrificação, caso dos atuadores construídos para trabalhar nessa condição, e 6000 km com lubrificação, podendo aceitar ou não o reparo.

Tipo	2780
Área Cm ²	120
Curso mm	de 6 a 12
Folha de dados	T 5840

Tabela 01: Especificação do atuador 2780
Fonte: Catálogo Geral Samson (2000)



Figura 6: Atuador pneumático

O regulador proporcional de pressão, como o próprio nome sugere, regula a pressão, eletronicamente, com valores variáveis, em função do comando na entrada. O valor da pressão, a título de informações e de diagnósticos, é continuamente visível no *display* encontrado no equipamento eletrônico da planta (8). O controle da pressão é feito em “malha fechada”, com um sensor de pressão eletrônico de precisão, que sente o valor da pressão de saída.

2.2 Supervisório da planta de pressão

Controle PID – Baseia-se na resposta a uma modelagem matemática do processo. Há a união de ações derivativa, integral e proporcional, fazendo, assim, com que o sinal de erro seja minimizado, zerado e antecipado pela ação proporcional, integral e derivativa. Trata-se de uma técnica que corrige o valor medido/manipulado ao valor desejado.

Elemento Final de Controle – É o instrumento que atua diretamente no processo, variando a troca de gás no tanque, comandado pelo Controle PID.

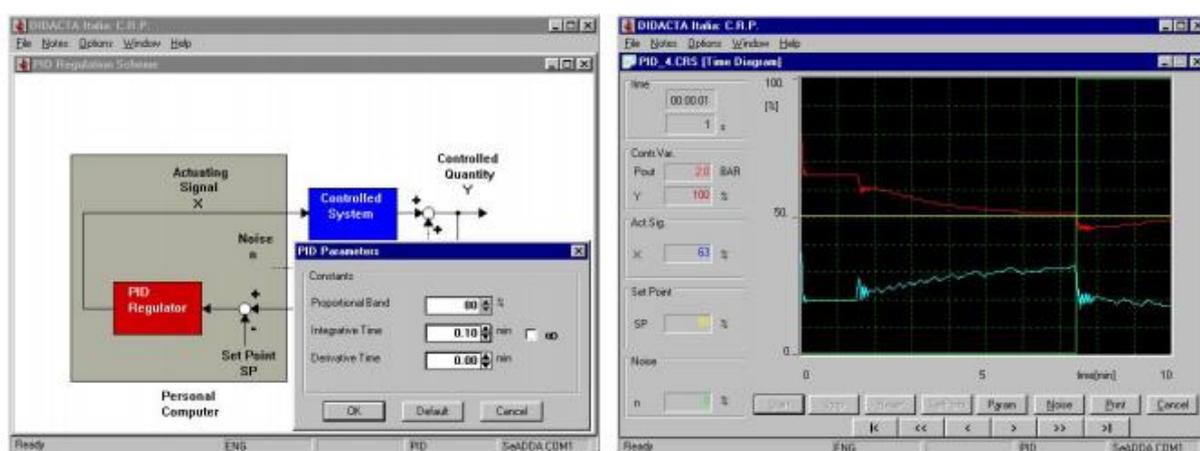


Figura 7: (7a) parâmetros de configuração do Windows. (7b) Diagrama de tempo real.

Fonte: Imagens retiradas da Planta do CEFET-MG campus Araxá

CRS / Controle F e software de monitoramento. O software de controle e monitoramento, em execução no ambiente MS-Windows, faz com que seja possível a realização de controle do tipo PID via software. Parâmetros de controle podem ser definidos de forma independente e em tempo real (ver Fig. 7b) e pode ter definidos os sinais de perturbação e Set-Point. O software faz com que seja possível observar o processo em tempo real, pelo que são visualizadas no ecrã do diagrama da controlada quantidade, o sinal de acionamento, o sinal de ponto de ajuste e o sinal de perturbação como uma função do tempo (ver fig. 2). Este diagrama pode ser impresso a qualquer momento, enquanto que as amostras dos sinais e os parâmetros de controle podem ser salvos em um arquivo, em formato ASCII, ou impressos. É também possível usar o software somente para observar o processo,

utilizando um regulador externo (por exemplo, o MiniReg opcional). Dentro Neste caso, é possível transmitir o ponto de ajuste para o regulador via software.

2.3 Comunicação Serial RS-232

A comunicação serial é muito utilizada em computadores e dispositivos de instrumentação. Em sua maioria, utiliza-se portas seriais baseadas em Rs-232, as quais serão melhor detalhadas posteriormente. Essa comunicação pode ser utilizada para aquisição de dados junto a equipamentos de uso remoto (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2009).

A porta serial funciona com o envio e o recebimento de dados de informação, *bit a bit*, diferentemente da porta serial paralela que envia e recebe um *byte* inteiro por vez. Por ser constituída por um número menor de fios em relação à comunicação paralela, pode ser utilizada em distâncias maiores, abrangendo distâncias de até 1200 metros (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2009; ELECTRONIC INDUSTRIES ASSOCIATION, 1969).

RS-232 (Norma ANSI/EIA-232) é um tipo de comunicação serial muito utilizado. As aplicações são muitas, desde conectar um mouse e uma impressora a comunicação entre equipamentos industriais (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2009).

O RS-232 é uma conexão P2P, ou seja, ponto a ponto, entre as portas seriais conectadas nas duas vias do cabo nos dispositivos. O cabo RS-232 (*hardware*) pode ser utilizado para comunicação de até 15,24m, previsto na norma ANSI/EIA-232 (ELECTRONIC INDUSTRIES ASSOCIATION, 1969). Os pinos do conector DB-9 são mostrados na Figura 9 e descritos na Tabela 2.

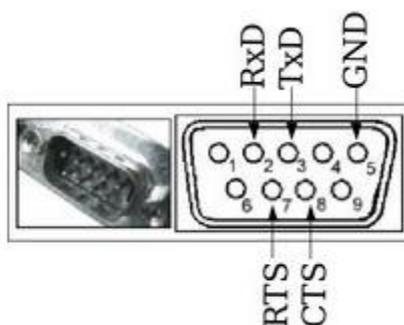


Figura 8: sequência DB 9 Macho.

Fonte: <<http://www.c2o.pro.br/automacao/x834.html>>

Pinos	
TXD (pino 3)	Saída de dados
RXD (pino 2)	Entrada de dados
RTS (pino 7)	Request to Send
CTS (pino 8)	Clear
DSR (pino 6)	Data Set
DCD (pino 1)	Data Carrier
DTR (pino 4)	Data Terminal
GND (pino 5)	Terra
RI (pino 9)	Ring Indicator

Tabela02 Funções dos pinos do **RS-232**

Fonte: <<http://www.c2o.pro.br/automacao/x834.html>>

2.4 PROGRAMA USADO PARA CRIAR O SOFTWARE (QT)

O QT é um *software* framework, ou seja, possibilita o desenvolvimento interagindo diferentes classes de programas, como interface gráfica, bibliotecas e ambiente de desenvolvimento. Conforme Fayad e Schimid (1997, p.1), “Framework é um conjunto de classes que colaboram para realizar uma responsabilidade para um domínio de um subsistema da aplicação”.

Multiplataforma, possibilita o uso em diversas plataformas como, por exemplo, Linux e Windows, para desenvolvimento de sistemas supervisórios. Utiliza a linguagem de C++ e foi desenvolvida pela Trolltech, uma empresa de origem Norueguesa. Com ele é possível criar aplicativos, sistemas

supervisórios e bibliotecas e compilá-los para diversas plataformas, sem que seja necessário alterar o código fonte. Tuukka turunen (2015, p.1)

Esse *software* tem a utilização bastante difundida em ambiente *desktop* KDE e em outras plataformas para dispositivos móveis, como Nokia e BlackBerry10, e outros *softwares* usados internamente por empresas na área de tecnologia, tais como Google, HP, Adobe etc.

Qt é mantido pelo Qt Project, uma iniciativa Open Source, assim favorecendo uma maior usabilidade por meio da grande gama de utilizadores.

Além da linguagem C++, o usuário pode se conectar a linguagem ao framework através das bibliotecas, permitindo, assim, acesso a outros módulos conhecidos na programação. As comunidades de desenvolvedores criaram *bindings* que contam com as principais linguagens de desenvolvimentos, linguagens como: Tcl, Scheme, Ruby, Python, PHP, Perl, Pascal, Lua, C# e .Net, D, Haskell, Harbour, Java, Lisp e QML linguagem declarativa pertencente ao Qt.

Qualquer aplicação pode ser configurada por *scripts* através do QtScript.

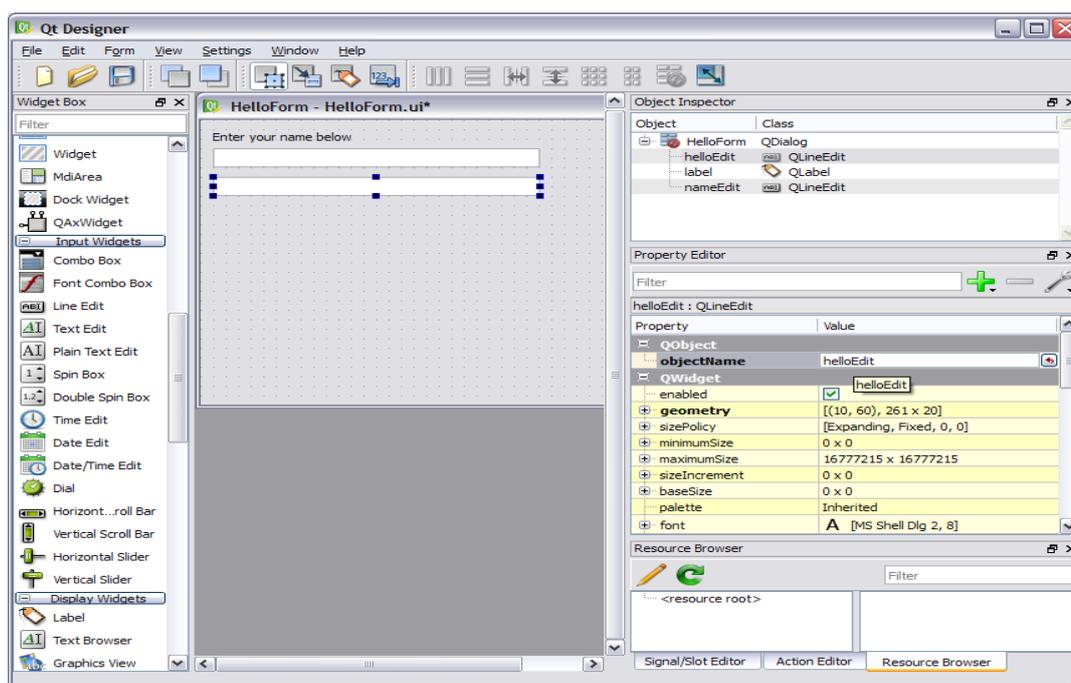


Figura 9: Interface gráfica QT.

Fonte: QT (2013).

2.5 MÉTODO DE REGRESSÃO

No estudo estatístico de dados, a regressão constitui-se de procedimentos e de técnicas que possibilitam estabelecer uma relação entre variável dependente e uma(s) variável(is) independente(s). Trata-se de uma função matemática que compreende a relação entre variáveis. A análise da regressão pode ser usada como o ajustamento de curvas, ou seja, estabelecendo relações sem serem necessárias; quaisquer suposições acerca dos processos que permitiram gerar os dados. Alguns exemplos de técnicas de regressão são: Linear, Linear Múltipla, Não Linear, Exponencial, Logarítmica (Elizabeth, 1994, p.164).

A regressão é uma análise estatística com o propósito de verificar se existe uma relação de funcionalidade entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independente. Portanto, tal análise consiste na obtenção de uma equação para tentar explicar a variabilidade da variável dependente pela variação da(s) independente(s).

- Variável explicada (dependente); é o valor que se quer atingir;
- É uma constante, que representa a interceptação da reta com o eixo vertical;
- É outra constante, que representa o declive (coeficiente angular) da reta;
- Variável explicativa (independente), representa o fator explicativo na equação.

2.5.3 Linear

O nome "linear" deve-se a resposta às novas equações, que serão respostas de uma em uma função linear. A equação não linear é ajustada com a técnica dos mínimos quadrados, mas que também pode ser montada de outras maneiras, tal como minimizando a "falta de ajuste" por exemplo. Tais técnicas transformam equações não lineares em equações lineares, facilitando o cálculo estatísticos e ao tratamento dos dados. "Elizabeth"(1994, p.163)

$$\hat{A} = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum(xy) \sum x}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (1)$$

$$B = \frac{n \sum(xy) - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (2)$$

Definindo $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$ e $\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$, temos a e b se relacionado por:

$$A = \bar{y} - B\bar{x} \quad (3)$$

2.5.4 Exponencial

Em certos casos experimentais, a correlação entre as variáveis X e Y não é linear e mas há uma correlação conhecida, a de forma exponencial. Por meio de uma transformação linear, usando logaritmos neperianos, é possível trabalhar o problema por meio de regressão linear. "Elizabeth"(1994, p.166)

$$\frac{y}{a} = e^{bx} \quad (4)$$

$$\ln(y/a) = bx * \ln(e)$$

$$\ln(y) - \ln(a) = bx$$

$$\ln(y) = bx + \ln(a) \quad (5)$$

Onde:

$$b = \frac{\sum xy - \bar{y} \sum x}{\sum x^2 - \bar{x} \sum x}$$

$$a = \bar{y} - (b\bar{x})$$

3. PID

Os controladores PID são controladores com malha fechada amplamente utilizados na indústria. Esse controle calcula a diferença entre o valor de saída e o valor desejado criando assim um erro. Com o cálculo do erro o controlador trabalha ajustando o sistema em sua entrada, para diminuir o erro na saída (MAYA; LEONARDI, 2014).

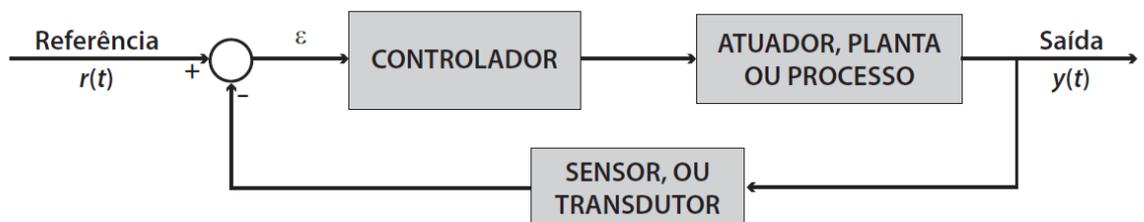


Figura 10: Diagrama de blocos típico de um sistema de controle com realimentação
Fonte: Maya; Leonardi, 2014.

O cálculo do PID é dado por:

$$y(t) = K_p \varepsilon(t) + K_I \int_0^t \varepsilon(t) dt + K_D \frac{d}{dt} \varepsilon(t) \quad (1)$$

Onde:

$y(t)$ = saída em relação ao tempo

$\varepsilon(t)$ = erro, em relação ao tempo

K_p : constante proporcional

K_i : constante integral

K_d : constante derivativa

O PID fornece um valor proporcional ao erro obtido na realimentação. Os valores de K_p podem ser ajustados, modificando a resposta proporcional, sendo assim, ao

aumentar o valor de K_p maior será o ganho do erro aumentando também sua instabilidade. Ao diminuir o valor de K_p , diminui-se o tempo resposta. O integrador tem a função de acelerar a ação do PID, esomar todos os erros e multiplicar pelo valor da constante K_i e eliminar o erro que ocorre na função anterior. Quando a somatória do erro instantâneo ultrapassar o set- point é denominado “overshoot”. A função derivativa tem como objetivo retarda a variação na saída do PID, diminuir o “overshoot” e melhorar a estabilidade do controlador. Uma consideração importante sobre a função derivativa é que por retardar a resposta torna-se muito suscetível à ruídos podendo causar instabilidade dependendo do processo. Assim para uma melhor estabilidade no sistema usamos o controlador PID deve se avaliar a necessidade de se usar as três funções e dependendo do sistema qual delas utilizar (DORF; BISHOP, 2013; MAYA; LEONARDI, 2014). Os gráficos da figura 12 mostram o comportamento das variáveis com a atuação do K_p , K_i , K_d respectivamente.

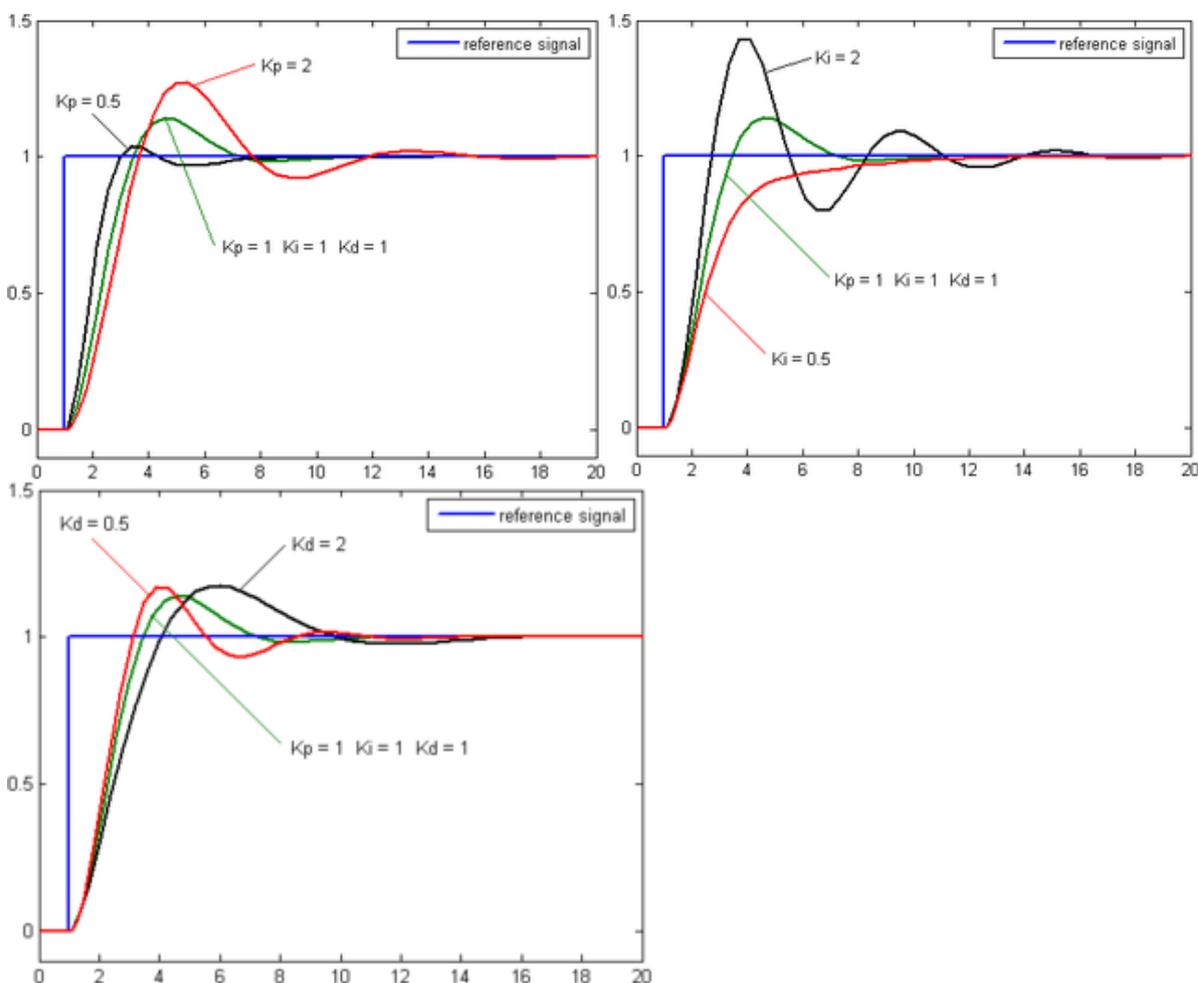


Figura 11: gráfico da resposta K_p .

Fonte: < <http://labdegaragem.com/profiles/blogs/artigo-controlador-pid-proporcional-integral-derivativo-parte-1> >. Acessado. 18/07/16

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para estabelecer uma comunicação entre o programa e o a planta de pressão, foi necessário identificar e compreender o tipo de comunicação que a planta utiliza para que a partir disso desenvolver o método de envio.

O método que norteará este trabalho irá consistir na criação de protocolo pedido e resposta com dados correspondidos a 12 bits (explicado no tópico 4.1) por meio de um supervisor em linguagem C++. Tal programa contém um campo para se calibrar os valores enviados pela planta diminuindo seu erro, sendo que, os erros mencionados são erros de sinais e não erros embutidos em hardware, ou seja, erro propagados devido ao desgaste de instrumentos, má utilização etc. O segundo campo ou aba do programa consiste em um gráfico que é plotado em tempo real contendo campos para o controle PID. Dessa forma, foram empregadas as seguintes etapas metodológicas:

- Mapeamento do protocolo utilizado pela planta de pressão.
- Minimização dos erros de envio e recebimento pelo protocolo atual;
- Elaboração da função matemática compreendida pelo comportamento do erro pelo sensor P/I;
- Engenharia reversa para o uso de outros *softwares*, além do já utilizado na planta de pressão (Basic), para a criação do modelo supervisor de calibração em C++;
- Criação do software no multiplataforma e framework QT, o qual possui todas as funções citadas a seguir: comunicação com a planta de pressão, tratamento dos dados, linearização da função, resposta a planta com dados modificados para, plotagem de gráfico e controle PID.

4.1 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO

Para a elaboração do programa, torna-se necessário conhecer o protocolo utilizado pela planta de pressão em estudo, assim podendo solicitar os dados à planta, tratá-los e, posteriormente, devolvê-los ao supervisor.

Inicia-se o protocolo identificando a velocidade e método de comunicação utilizado pela planta:

Utilização da porta serial 'COM 1', 8 bits de dados BaudRate em 19200 bps, 1 bit para "stop bit", sem utilização de bit de paridade e sem controle de fluxo (no flow control)

Ao se definir os parâmetros de velocidade e forma de comunicação inicia as pré-definições, onde temos configuramos o conversor AD e habilitamos o canal 0 conforme as linhas de código em sequência.

```

QByteArray confData;

    //Joga a MV em 0
    charA = 0xA0;
    charB = 0xB0;
    charC = 0xC0;

    //Comanda calibração do conversor AD
    confData.append(0x08);
    confData.append(0x0F);

    // Escreve valor 0 no Canal 0
    confData.append(charA);
    confData.append(charB);
    confData.append(charC);

    // Joga o ruído para zero
    confData.append("\xD0");
    confData.append("\xE0");
    confData.append("\xF0");
    qDebug() << "Dados de conexão: " << confData;
    serialIn->write(confData);          serialIn-

```

O tempo de amostragem foi calculado da seguinte forma:

Temos o pacote de dados enviados correspondido pela soma dos seguintes bits, 8 bits do comando a ser enviado, 1 bit do startbit e 1 bit do stopbit esses dois últimos necessários para limitar o que é a mensagem no meio de uma infinidade de bits, totalizando assim, pacote de dados = 10 bits.

$$\frac{19200 \text{ bps}}{10 \text{ bits}} = 1920 \text{ (pacotes/segundo)}.$$

Onde temos:

+3 pacotes, ativar A/D e o canal 0.

+2 pacotes, ativar LSB E MSB.

+2 pacotes, de pedido de LSB MSB.

+3 controle da valvula

Assim, temos 10 pacotes/requisição.

$$\frac{1920 \text{ bps}}{10 \text{ pacotes}} = 192 \text{ requisições/s assim,}$$

190 ----- 1 s

1 ----- x s

$$\frac{1}{190} = 5,265 \text{ ms.}$$

Ao considerarmos o tempo do Conversor a/d converter, enviar dados, o tempo de atuação, uma margem de segurança para que não seja feita atuação no mesmo valor duas ou mais vezes mais ao fato de que o programa foi elaborado em “orientada a eventos”, ou seja, há tempos de pausas que não são cronometrados, mas estão no processo, foi escolhido o tempo de 100 ms para o tempo de amostragem. Garantindo que todo o evento tenha ocorrido e diminuindo as variações ao plotar o gráfico.

4.2 ADEQUAÇÃO DO PROTOCOLO E CONTROLE DA VÁLVULA

Um problema crônico da planta de pressão observado por mim e por outros projetos desenvolvidos na mesma, é que a válvula de controle só respondia a comandos superiores a 30% de atuação. Valores de 0 a 4095 correspondente a 30% abertura ou inferior não atuava a válvula.

Ao observarmos as placas descritivas dos dois sensores observamos que o transdutor atua em uma faixa de 3 a 15 psi que corresponde a 0,2 a 1 bar, e a válvula de controle de 0,4 a 1 bar. Assim podemos chegar a valores correspondente a essa discrepância:

Transdutor (conversor A/D): $1 - 0,2 = 0,8$ bar (de variação).

Válvula: 0,4 a 1 bar.

Valor de pressão que não atua a válvula: $0,4 - 0,2 = 0,2$.

Valore em porcentagem correspondido a essa perca:

$$\frac{0,2 * 100}{0,8} = 25\%$$

Ou seja, foi descoberto que a impossibilidade dessa atuação parte de um dimensionamento inapropriado.



Figura 12: Placa descritiva do atuador e da válvula de controle

Para contornarmos esse problema foi feita uma adequação nos valores de controle para que possam ser utilizados todos os valores da válvula de controle. Foram retirados os valores abaixo da linha de atuação da válvula por uma equação e calibrada por faixas. Ao contrário do que normalmente era usado, uma única equação que abrangia toda variação da válvula, optou-se por equações fracionadas onde conseguimos uma melhor resposta do que utilizar uma única equação.

Linhas de códigos do processo:

```
void MainWindow::sendOut () {

    if(setpointMV<20)
        setpointMV = ((setpointMV*2047)/100)+2047;

    else if(setpointMV<30)
        setpointMV = ((setpointMV*2000)/100)+1980;

    else if(setpointMV<40)
        setpointMV = ((setpointMV*2000)/100)+1975;

    else if(setpointMV<50)
        setpointMV = ((setpointMV*2000)/100)+1950;

    else if(setpointMV<=60)
        setpointMV = ((setpointMV*1990)/100)+1910;
```

```

else if(setpointMV<70)
    setpointMV = ((setpointMV*1990)/100)+2025;

else
    setpointMV = ((setpointMV*1900)/100)+1900;

charC = 0xC0 + ((setpointMV>>8) &0x00F);
charB = 0xB0 + ((setpointMV>>4) &0x00F);
charA = 0xA0 + ((setpointMV)      &0x00F);

QByteArray sendMVData;
sendMVData.append(charA);
sendMVData.append(charB);
sendMVData.append(charC);
serialIn->write(sendMVData);
}

```

4.3 COMUNICAÇÃO COM A VÁLVULA DE CONTROLE

O controle da válvula é realizado manipulando sua abertura, variando-a em uma faixa que parte de 0%, ou seja, totalmente aberta a 100%, que, por conseguinte significa totalmente fechada. Os valores correspondidos para efetuar essa movimentação da válvula são valores de 0 a 4095, pois o conversor D/A trabalha com 12 bits. Ao enviar valores nessa faixa à válvula abre e fecha proporcionalmente a esses valores,

Em uma comunicação serial o número de bits de dados é igual a um byte, portanto oito bits, como o conversor A/D e D/A da planta trabalham com o número de bits de dados igual a doze, torna-se impossível o envio destes dados em um só pacote. Alternativa realizada no protocolo é a de fragmentar o dado em três partes.

Para que o sistema identifique que os dados recebidos são destinados ao controle da válvula há três cabeçalhos que são recebidos juntos com a parte do dado correspondendo o nível de significância atribuído a cada um deles. O número A0 (em Hexadecimal) corresponde à parte menos significativa do dado, B0 a parte do meio e C0 a parte mais significativa conforme a Figura 11. A utilização de valores dos cabeçalhos em Hexadecimal é atribuída a uma melhor leitura do código. Assim é somado o valor correspondente do dado ao cabeçalho conforme o exemplo da figura 15.

$$\begin{array}{r}
 \text{C0} \quad \text{B0} \quad \text{A0} \\
 + \quad + \quad + \\
 \hline
 1001 \quad 1111 \quad 1010
 \end{array}$$

Figura 13: Exemplo de dado de comando para o funcionamento da válvula de controle

Fonte: acervo do autor.

$$\begin{array}{r}
 \text{C0} \\
 \text{---} \\
 \& \quad 1100 \quad 0000 \\
 \quad \quad 0000 \quad 1010 \\
 \hline
 \quad \quad 1100 \quad 1010
 \end{array}$$

Figura 14: soma por porta And do cabeçalho "C0" ao dado de exemplo.

Fonte: Acervo do autor.

4.4 SUPERVISÓRIO

O supervisório elaborado em C++ conta com duas abas, onde uma é destinada ao tratamento de dados (figura 16) e a outra ao controle PID juntamente com o seu gráfico gerado.

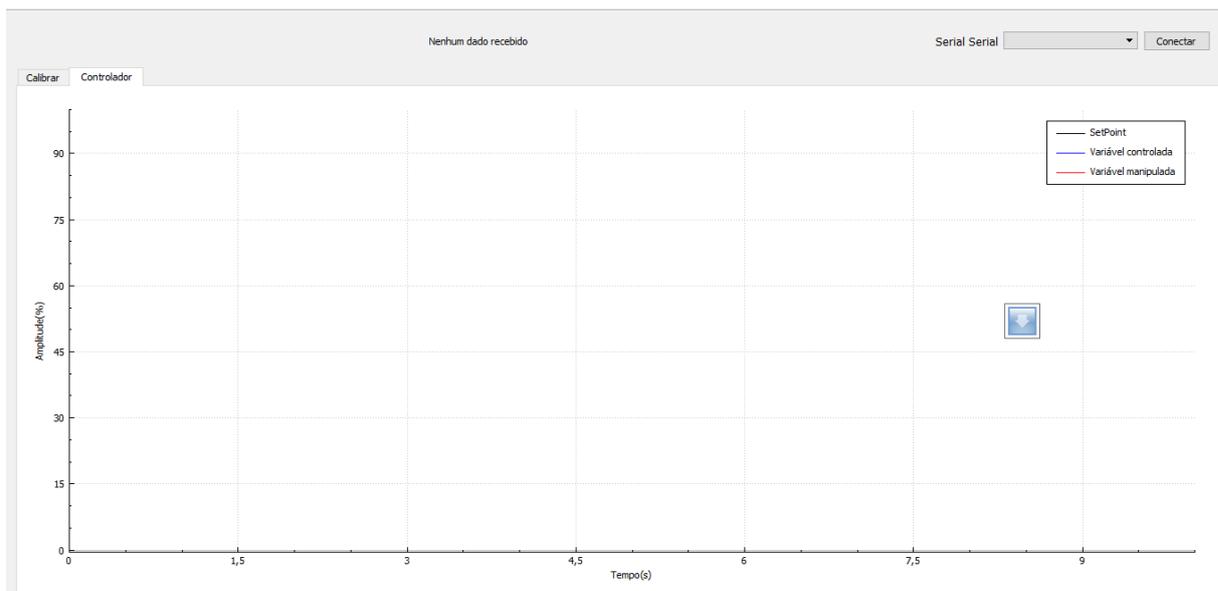


Figura 15: Supervisório aba de gráficos.

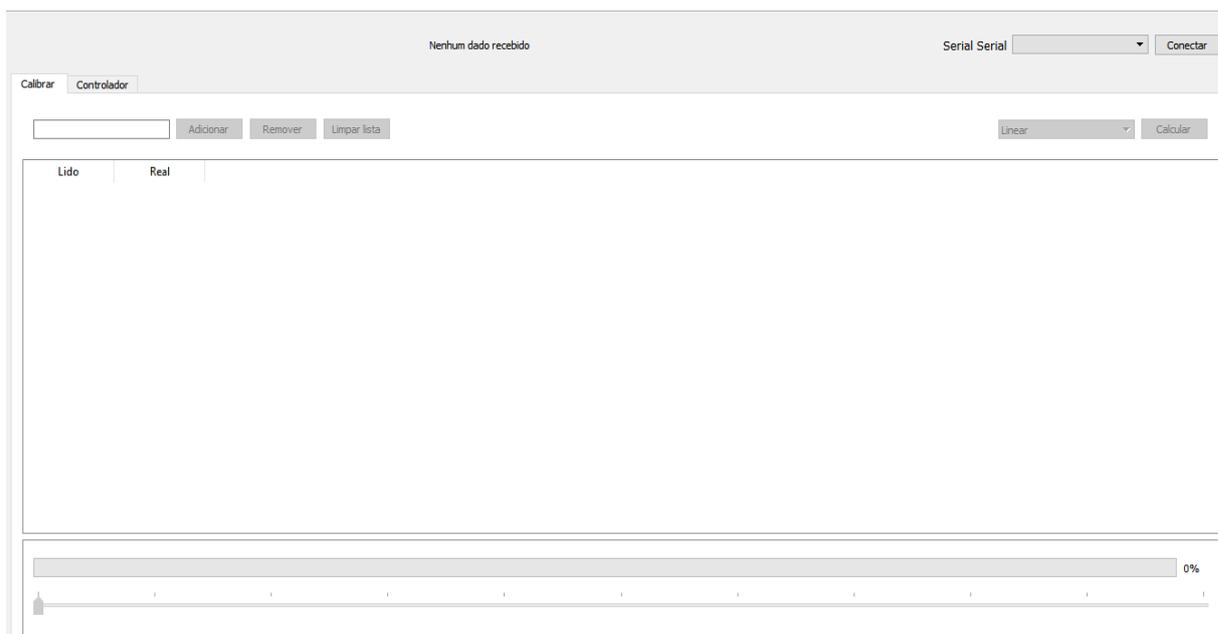


Figura 16: Supervisório, aba de calibração.

5. RESULTADOS

Foi elabora gráficos contendo valores lido pelo controlador (que é fornecido em porcentagem) sem a utilização do programa e comparados com os valores calibrados pelo programa em 3 tipos de amostragens. Com a possibilidade de se utilizar inúmeros valores na calibração, foi realizado três experimentos, onde utilizamos quantidades variadas de pontos em cada, 2,5 e 10 pontos respectivamente conforme as tabelas abaixo.

Calibração de dois pontos (0,25 ; 2,5)							
Valor real		Valor da planta			Valor do programa		
Manômetro (Bar)	Válvula de controle (%)	Valor da planta (%)	Valor da planta (bar)	Erro da planta (%)	Valor do programa (bar)	Erro do programa (%)	
2,50	10	55,0	1,38	45,00	2,50	0,00	
2,50	20	55,0	1,38	45,00	2,50	0,00	
2,50	30	54,8	1,37	45,20	2,50	0,00	
0,95	40	20,6	0,52	17,40	1,00	2,00	
0,65	50	14,4	0,36	11,60	0,81	6,40	
0,35	60	8,7	0,22	5,30	0,53	7,20	
0,30	70	7,4	0,19	4,60	0,53	9,20	
0,25	80	6,3	0,16	3,70	0,25	0,00	
0,25	90	5,6	0,14	4,40	0,25	0,00	
0,25	100	5,4	0,14	4,60	0,25	0,00	
				Erro médio (%)	18,68	Erro médio (%)	2,48

Tabela 03:
gráfico com
calibração de 2
pontos

Calibração de cinco pontos (2,5 ; 2 ; 1,5 ; 1 ; 0,25)							
Valor real		Valor da planta			Valor do programa		
Manômetro (Bar)	Válvula de controle (%)	Valor da planta (%)	Valor da planta (bar)	Erro da planta (%)	Valor do programa (bar)	Erro do programa (%)	
2,50	10	52,9	1,32	47,10	2,50	0,00	
2,50	20	53,0	1,33	47,00	2,50	0,00	
2,50	30	53,0	1,33	47,00	2,50	0,00	
0,75	40	16,1	0,40	13,90	0,80	2,00	
0,65	50	13,5	0,34	12,50	0,80	6,00	
0,35	60	8,2	0,21	5,80	0,53	7,20	
0,30	70	7,2	0,18	4,80	0,50	8,00	
0,25	80	5,9	0,15	4,10	0,25	0,00	
0,25	90	5,4	0,14	4,60	0,25	0,00	
0,25	100	5,3	0,13	4,70	0,25	0,00	
				Erro médio (%)	19,15	Erro médio (%)	2,32

Tabela 04:
gráfico com
calibração de 5
pontos

Calibração de dez pontos (0,25 ; 0,5 ; 0,8 ; 1 ; 1,3 ; 1,5 ; 1,8 ; 2 ; 2,3 ; 2,5)							
Valor real		Valor da planta			Valor do programa		
Manômetro (Bar)	Válvula de controle (%)	Valor da planta (%)	Valor da planta (bar)	Erro da planta (%)	Valor do programa (bar)	Erro do programa (%)	
2,50	10	51,6	1,29	48,40	2,49	0,40	
2,50	20	51,6	1,29	48,40	2,49	0,40	
2,50	30	54,5	1,36	45,50	2,49	0,40	
0,90	40	20,2	0,51	15,80	1,00	4,00	
0,65	50	14,2	0,36	11,80	0,72	2,80	
0,35	60	8,7	0,22	5,30	0,48	5,20	
0,30	70	7,3	0,18	4,70	0,40	4,00	
0,25	80	6,2	0,16	3,80	0,22	1,20	
0,25	90	5,5	0,14	4,50	0,20	2,00	
0,25	100	5,3	0,13	4,70	0,20	2,00	
				Erro médio (%)	19,29	Erro médio (%)	2,24

Tabela 05: gráfico com calibração de 10 pontos

6. CONCLUSÃO

Tendo em vista os dados levantados, utilizando o programa, o erro que permanecia em aproximadamente de 19,29%, caiu para 2,24%, considerando ainda possíveis erros de paralaxe e erros de hardware que são adicionados ao cálculo.

A elaboração de um programa nos permitiu a utilização da planta didática com os sensores que estão disponíveis (hoje) na instituição, tornando o controle em questão mais próximo do real e mais factível de aprendizado.

Como há outras plantas didáticas no laboratório do CEFET-MG, campus Araxá, e que se enquadram na situação, onde a utilização instrumentos não adequados para a aplicação é uma realidade, deixo como proposta de se utilizar o programa de calibração adequado para as outras plantas.

REFERÊNCIAS

DORF, Richard C.; BISHOP, Roberth H.. **Sistema de controle modernos**. 8. ed. New York: Ltc, 2001. 838 p.

BOYER, Stuart A. **SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition**. ISA: The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2009.

Catalogo geral SAMSON. 2000. Disponível em: <http://www.samsoncontrol.com.br/downloads/catalogo_k_20_br.pdf>. Acesso em 14 jul. 2016.

FAYAD, M. E.; SCHMIDT, D. C. Object-oriented application frameworks. In: **Communications of the ACM**, v. 40, issue 10, oct. 1997, p. 32-38. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=262798>>. Acesso em: 2 fev. 2016.

GORDON, Gordon; REYNDERS, Deon; WRIGHT, Edwin. **Practical modern Scada protocols**. Austrália: IDC, 2004.

GUIMARÃES, Dilva. **O que é telemetria**. Disponível em: <<http://www.significados.com.br/telemetria/>>. Acesso em: 17 set. 2015.

PINHEIRO, José Maurício dos Santos. **Guia completo de cabeamento de redes**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SARAIVA, Celso. Calibração na era digital. In: **Revista Controle & Instrumentação**, nº 167, 2011. Disponível em: <http://controleinstrumentacao.com.br/arquivo/ed_167/cv1.html>. Acesso em: 17 set. 2015.

SMAR – Industrial Automation. Disponível em: <<http://www.smar.com/>>. Acesso em: 15 set. 2015.

Tuukka Turunen < <http://blog.qt.io/blog/2015/07/01/qt-5-5-released/> > (em inglês). blog.qt.digia.com. Consultado em 29 de junho de 2016.

REIS, Elizabeth., **Estatística Descritiva** (2ª ed.). Lisboa: Edições Sílabo, 1994

ALBUQUERQUE, P. U. B. D.; ALEXANDRIA, A. R. D. **Redes Industriais**. 2. ed. São Paulo: Ensino Profissional, 2009.

ALVES, J. L. L. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

BAYLEY, D.; WRIGHT, E. **Practical SCADA for Industry**. 1ª. ed. Oxford: Elsevier, 2003. 298 p.

BOYER, S. A. **SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition**. 3. ed. EUA: ISA, 2004.

CASTRUCCI, P. D. L.; BITTAR, A.; SALES, R. M. **Controle Automático**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

DIDACTA ITALIA. CRP - Pressure Control and Regulation Study Unit, 2012.
Disponível em: <http://didacta.it/allegati/main_catalogs/CE_CRP_E.PDF>. Acesso em: 20 Junho 2016.

DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Sistemas de Controle Modernos**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

ELECTRONIC INDUSTRIES ASSOCIATION. **Interface between Data Terminal Equipment and Data Communication Equipment Employing Serial Binary Data Interchange**. Washington: Electronic Industries Association, 1969. 29 p.

MAYA, P. A.; LEONARDI, F. **Controle Essencial**. 2ª. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014. 347 p.

MORAES, C. C. D.; CASTRUCCI, P. D. L. **Engenharia de Automação Industrial**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

PESSA, R. **Instrumentação Básica para Controle de Processo**. 2ª. ed. Sertãozinho: Smar, 2006. 233 p.

VERHAPPEN, I.; PEREIRA, A. **Foundation Fieldbus**. 4ª. ed. [S.I.]: ISA, 2012.

APÊNDICES

Link da linha de código.

http://www.4shared.com/file/AE6dcXxNce/Linha_de_codigo.html

A parte técnica está ok!

Poderia ter feito uma conclusão melhor.

E o supervisor, ficou instalado na planta?

Melhorar e muito a formatação.

Faltou mais dedicação na hora de revisar, o dito “hora/bunda” rsrs