

**REDE DOCTUM DE ENSINO
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE
DAS BOMBAS DO POÇO DE DRENAGEM E ESGOTAMENTO, ATRAVÉS DOS
SUPERVISÓRIOS DA SALA DE CONTROLE DA PCH AREIA BRANCA**

ÍTALO CÉSAR VIEIRA CIRINO

Trabalho de Conclusão de Curso

Caratinga/MG

2017

ÍTALO CÉSAR VIEIRA CIRINO

**ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE
DAS BOMBAS DO POÇO DE DRENAGEM E ESGOTAMENTO, ATRAVÉS DOS
SUPERVISÓRIOS DA SALA DE CONTROLE DA PCH AREIA BRANCA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Elétrica das Faculdades DOCTUM de Caratinga da DOCTUM Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Professor Orientador: Vinícius Murilo Lima Rodrigues.

Caratinga/MG

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE DAS BOMBAS DO POÇO DE DRENAGEM E ESGOTAMENTO, ATRAVÉS DOS SUPERVISÓRIOS DA SALA DE CONTROLE DA PCH AREIA BRANCA, elaborado pelo(s) aluno(s) ITALO CÉSAR VIEIRA CIRINO foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Caratinga 13 de Dezembro de 2017



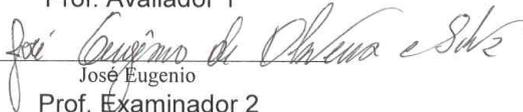
Vinicius Murilo

Prof. Orientador



Daniel Mageste

Prof. Avaliador 1



José Eugenio

Prof. Examinador 2

À Deus, por todas as bênçãos desta vida!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que me concedeu o dom da vida! À minha mãe Zélia e ao meu pai Antônio César, pelo amor e todos os incentivos. À minha avó Eunice, por sempre alimentar os meus sonhos. À minha noiva Júlia, por todo amor, incentivo e paciência. Aos meus amigos de trabalho (Energisa e Engie), Luã, Felipe, Carlos, Sanderson, José Eduardo, Fábio, Wallison e Rafael. Aos professores do Curso de Engenharia Elétrica, em especial ao meu orientador Vinícius Murilo Lima Rodrigues, por compartilhar experiências, ensinamentos, demonstrando paciência e dedicação. Aos meus colegas de curso e a todos que, de maneira direta ou indireta, tenham contribuído para o desenvolvimento do trabalho. A minha mais sincera gratidão!

*"A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último,
melhorar a humanidade"*
(NIKOLA TESLA)

VIEIRA CIRINO, Ítalo César. **Estudo para implantação de sistema de supervisão e controle das bombas do poço de drenagem e esgotamento, através dos supervisórios da Sala de Controle da PCH Areia Branca.** Caratinga, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades DOCTUM de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2017.

RESUMO

O presente trabalho trata da caracterização do atual cenário de automação do sistema de drenagem e esgotamento da PCH Areia Branca e realiza um estudo para identificação das necessidades de melhoria e descrição dos passos de implantação de uma infra-estrutura que permita a Supervisão e Controle das bombas desse sistema pela Sala de Controle da usina. Para isso foi desenvolvido um protótipo baseado na programação embarcada em placa microcontroladora e Supervisório configurado em software SCADA, no qual podemos simular o funcionamento do sistema e realizar testes a partir de procedimentos metodológicos. Em conjunto aos testes, foram realizadas entrevistas com os profissionais responsáveis pela Operação e Manutenção da PCH Areia Branca, visando estabelecer em que nível de relevância a implantação do sistema estudado agregaria valor na execução das suas atividades e no funcionamento da usina em geral.

Palavras-chave: Automação. Controle. Supervisório. Pequena Central Hidrelétrica.

VIEIRA CIRINO, Ítalo César. **Estudo para implantação de sistema de supervisão e controle das bombas do poço de drenagem e esgotamento, através dos supervisórios da Sala de Controle da PCH Areia Branca.** Caratinga, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades DOCTUM de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2017.

ABSTRACT

The present work deals with the characterization of the current scenario of automation of the drainage and depletion system of the Areia Branca SHP and performs a study to identify the needs for improvement and description of the steps of implantation of an infrastructure that allows the Supervision and Control of the pumps by the Control Room of the plant. For this, a prototype was developed based on the programming on board microcontroller and Supervisor configured in SCADA software, in which we can simulate the operation of the system and perform tests based on methodological procedures. In conjunction with the tests, interviews were carried out with the professionals responsible for the operation and maintenance of the Areia Branca SHP, aiming at establishing at what level of relevance the implementation of the system studied would add value in the execution of its activities and in the operation of the plant in general.

Key-words: Automation. Control. Supervisory. Small Hydropower Plant.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Fluxograma de Melhoria Contínua.	15
Figura 2	– Detalhamento do acionamento dos atuadores e variações do sistema ON / OFF.	20
Figura 3	– Microcontrolador ATMEL - ATMEGA2560.	21
Figura 4	– CLP Siemens.	22
Figura 5	– Interface de Programação Label CLP Siemens.	22
Figura 6	– Placa Arduino Mega2560.	23
Figura 7	– Interface Arduino de Programação em "C++".	24
Figura 8	– Sensor de Nível Piezoresistivo.	26
Figura 9	– Exemplo de Arquitetura de Equipamentos e Redes Industriais.	28
Figura 10	– Placa de Ensino - Protoboard.	30
Figura 11	– Display LCD (16 x 2).	30
Figura 12	– Esquema de ligação da Entrada Analógica.	31
Figura 13	– Tela de funcionamento Automático.	32
Figura 14	– Fluxograma de funcionamento Automático.	32
Figura 15	– Tela de funcionamento Manual.	33
Figura 16	– Protótipo.	33
Figura 17	– Motor1 e Motor2.	34
Figura 18	– Contatores.	34
Figura 19	– Gráfico de referência de Nível por Tensão.	36
Figura 20	– Comando de Interrupção.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Tabela de Níveis por referência de Tensão.	35
Tabela 2	– Tabela de acionamentos automáticos por Setpoint.	36
Tabela 3	– Tabela de Relevância das afirmações propostas em Entrevista.	38
Tabela 4	– Tabela de nível médio de relevância das afirmações referentes a implantação do Projeto.	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PCH	Pequena Central Hidrelétrica
UG	Unidade Geradora
ONS	Operador Nacional do Sistema
Km	Kilômetros (unidade de medida de distância)
MW	Megawatts (unidade de medida de potência)
V	Volts (unidade de medida de tensão)
KV	Kilovolts (unidade de medida de tensão)
CV	Cavalo-Vapor (unidade de medida de potência)
QLBD	Quadro Local de Bombas de Drenagem
m	Metro (unidade de medida de distância)
SDSC	Sistema de Supervisão e Controle
QDGCA	Quadro de Distribuição Geral de Corrente Alternada
BD-01A	Bomba primária do poço de drenagem
BD-01B	Bomba secundária do poço de drenagem
CLP	Controlador Lógico Programável
IHM	Interface Homem Máquina
SCADA	Control And Data Acquisition System
TCP	Transmission Control Protocol
IP	Internet Protocol
RS	Recommend Standard
Ω	Ohm (unidade de medida de resistência elétrica)
K Ω	Kilo Ohm (unidade de medida de resistência elétrica)

LISTA DE SÍMBOLOS

Ω	Letra grega Omega
\bar{X}	Média Aritmética

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Introdução à Melhoria Contínua dos Processos	14
1.2 Disponibilidade em Instalações de Energia	15
1.3 PCH Areia Branca	16
1.4 O Projeto	16
2 DESENVOLVIMENTO	19
2.1 Contextualização da Automação Industrial	19
2.2 Controle	19
2.2.1 Controle ON / OFF	19
2.3 Microcontroladores	20
2.4 Controlador Lógico Programável (CLP)	21
2.5 Arduino	23
2.6 Uma breve comparação entre CLP e Arduino	25
2.7 Instrumentação	25
2.7.1 Sensores de Nível Piezoresistivos	25
2.8 Supervisórios	26
2.9 Sistema SCADA	26
2.10 Redes de Comunicação Industriais	27
2.10.1 Protocolo Modbus RTU	27
2.10.1.1 Modo Unicast	28
2.10.1.2 Modo Broadcast	28
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	29
3.1 Características do atual sistema	29
3.2 As necessidades de otimização	29
3.3 Desenvolvimento do Protótipo	29
3.4 Desenvolvimento do Supervisório	31
3.5 Coleta de Informações para Entrevista	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1 Testes Realizados com o Protótipo	35
4.2 Aplicação de Entrevistas	37
4.2.1 Avaliação de relevância	38
5 CONCLUSÃO	40
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	40
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

APÊNDICE A Entrevistas	45
APÊNDICE B Programação	60

1 INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO À MELHORIA CONTÍNUA DOS PROCESSOS

A trajetória das empresas e organizações em geral está diretamente associada com as transformações ocorridas na história da humanidade. A importância do crescimento econômico vem muito antes até da própria Revolução Industrial e, desde aquele tempo o crescimento da produção era relacionado a determinadas ações e decisões a serem tomadas em uma visão de futuro [1].

No mundo atual, a concorrência acirrada, as constantes atualizações tecnológicas, a diminuição do ciclo de vida útil dos equipamentos e produtos em geral e o alto grau de exigência demandado pelos clientes requerem das organizações agilidade, produtividade e alta qualidade que, essencialmente, estão diretamente relacionadas à eficácia e eficiência dos seus processos. Apenas a manutenção do desempenho comumente obtido anos após ano não é suficiente para a elevação do grau de competitividade. Há a necessidade ainda, de um desenvolvimento das empresas em relação às melhorias nos seus atuais padrões. Pequenos incrementos ou progressos mais notórios podem ser proporcionados pelas ações de melhoria contínua promovidas pela empresa, estas estarão diretamente associadas aos recursos disponíveis para a implantação das melhorias [2][3].

A implantação de melhorias nos processos da organização é fator imprescindível para o sucesso institucional de qualquer empresa, seja ela pública ou privada, desde que tal implantação seja realizada de forma sistematizada e que seja absorvida por todas as pessoas na organização.

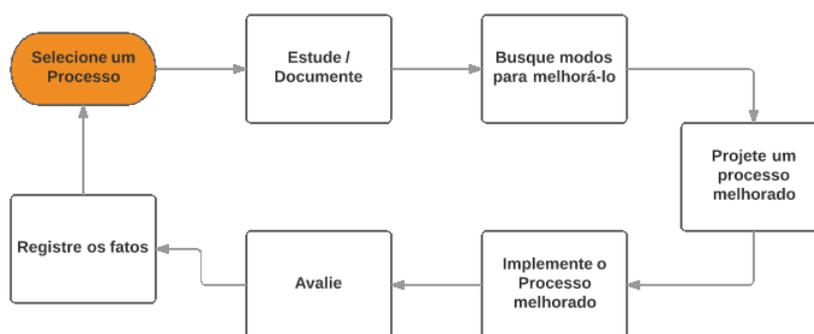
A razão das organizações vai além da busca e descoberta de novos clientes, sendo também associada com outros fatores que determinarão o seu sucesso ou o seu fracasso [4]. Como principais fatores podem ser citados:

- Satisfação total dos clientes;
- Gerência participativa;
- Desenvolvimento humano;
- Constância de propósitos;
- Melhoria contínua;
- Gestão de processos;
- Gestão de informação e comunicação;

- Garantia da qualidade;
- Busca da excelência.

Todas as alterações realizadas nos processos de operações e trabalhos que resultem em facilidades para o colaborador, redução de tempo gasto na realização de operações, redução de custos para a empresa ou o aumento da qualidade dos trabalhos é uma melhoria, que deve ser registrada e divulgada a todos os colaboradores envolvidos, de alguma forma, no processo. Assim estes terão conhecimento das alterações, sendo utilizado pela empresa como artifício, no intuito de motivar outros colaboradores a buscar novas possibilidades de inovação e aplicação, participando ativamente dos processos de melhoria. Como resultado tem-se o surgimento da melhoria continuada, que acontece quando os resultados obtidos pela implantação da melhoria contínua são registrados e, utilizando-se da avaliação destes, são traçadas novas metas visando à melhoria da qualidade [5].

Figura 1: Fluxograma de Melhoria Contínua.



Fonte: Autor, 2017.

1.2 DISPONIBILIDADE EM INSTALAÇÕES DE ENERGIA

Atualmente o principal indicador de desempenho a ser controlado referente às instalações de geração de energia é disponibilidade operacional de geração. Os parâmetros para acompanhamento dos indicadores de desempenho das instalações de geração de energia são estabelecidos pelos procedimentos do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico de Potência Brasileiro). Juntamente com os setores aeroespacial e militar, o setor de energia sempre é tido como referência no que diz respeito à utilização de métodos analíticos para identificação e acompanhamento de indicadores como manutenibilidade, disponibilidade e confiabilidade [6].

Não só os aspectos e requisitos funcionais devem ser observados pelos profissionais projetistas e desenvolvedores de um sistema, mas, sobretudo, os indicadores e resultados que serão gerados quando o sistema estiver em operação [7]. Contudo, aspectos como confiabilidade, produtividade e vida útil devem ser considerados em um projeto, que não deverá ser limitado

apenas na transformação de uma necessidade em uma solução definitiva em forma de um sistema [8].

A qualidade de seus componentes e a maneira na qual os mesmos estão interligados podem caracterizar o bom ou mau funcionamento de um sistema [9]. A otimização da qualidade, confiabilidade e segurança dos sistemas faz-se necessária diante do significativo aumento da dependência da sociedade em relação a estes sistemas e suas constantes evoluções referentes à sua complexidade [10].

1.3 PCH AREIA BRANCA

A PCH Areia Branca é uma Pequena Central Hidrelétrica pertencente ao grupo Engie Brasil Energia. Registrada como Hidrelétrica Areia Branca S.A, a PCH está situada no município de Caratinga-MG há 15 km do distrito de Santo Antônio do Manhuaçu, tendo como seu principal afluente o rio Manhuaçu.

Após três anos de construção, o empreendimento entrou em operação em março de 2010 e conta com duas turbinas modelo Kaplan Eixo Vertical acopladas a dois geradores de 9,9 MW cada, contabilizando uma potência nominal de 19,8 MW, transmitida por uma linha de transmissão na tensão de 69 KV até a Subestação de interligação com a linha de transmissão Caratinga/Ipanema, situada na PCH Pipoca há 17 Km da cidade de Ipanema-MG [11].

1.4 O PROJETO

O sistema de drenagem tem a finalidade de coletar e conduzir ao poço de drenagem as águas provenientes das infiltrações das estruturas de concreto, drenagem e vazamento de equipamentos, lavagem de pisos, e as águas que não podem ser conduzidas diretamente por gravidade ao poço de drenagem [12]. O sistema atende localidades como Sala de Controle, Sala de Baterias, Área de Montagem, Turbinas, Conduto Forçado, Sala de Filtros e Compressores, Sala do Gerador Diesel, Galeria Elétrica, Piso das Turbinas e Geradores e Piso das Unidades Hidráulicas de Regulação de Velocidade.

As águas provenientes de pisos situados em nível abaixo do canal de fuga são conduzidas por gravidade, através de canaletas e tubulações embutidas, até o poço de drenagem da casa de força, sendo bombeadas através de duas bombas centrífugas submersíveis de potência igual a 7,5 CV, para a caixa separadora de água/óleo onde, após passarem pelo processo de separação por decantação, seguem para o canal de fuga, retornando ao curso normal do rio.

As bombas centrífugas são uma classificação das bombas hidráulicas, funcionam a partir da força centrífuga realizada pelo giro do rotor que é constituído de palhetas e impulsores no interior de uma carcaça fechada, impulsionando o líquido do centro para a periferia do conjunto

girante, na maioria das vezes, encaminhando-o para dentro das tubulações [13].

O sistema de drenagem é composto por tubulações de captação da água, duas bombas centrífugas submersíveis, sensor de nível hidrostático tipo piezo-resistivo, Quadro Local de Bombas de Drenagem (QLBD), chaves de nível tipo bóia, instrumentos de medição e sinalização e indicador/controlador. O QLBD é constituído por lâmpadas de sinalização, sirene, botoeiras de comando, chave seletora de operação manual/automático e relés auxiliares.

O sensor de nível piezo-resistivo e as duas chaves de nível tipo bóia, instalados no interior do poço, são responsáveis pela sinalização e comandos de operação automática de partida / parada das bombas. As chaves de nível instaladas no poço são responsáveis pelas sinalizações de alarmes de nível muito alto e nível muito baixo, além de cumprirem a função de retaguarda do sinal disponibilizado pelo sensor piezo-resistivo, ou seja, na eventual falha do sensor piezo-resistivo ou do indicador/controlador, as chaves de nível assumem os comandos de partida (cota 259,10 m) e parada (cota 256,00 m) das bombas.

A indicação do nível do poço é visualizada através de um display de sete segmentos localizado na parte frontal do indicador/controlador de processos.

Para o sistema de drenagem, o SDSC (Sistema de Supervisão e Controle) somente supervisiona o status das bombas proveniente do painel de QDGCA (Quadro de Distribuição Geral de Corrente Alternada), recebendo sinalizações de Bomba principal ligada, Demarrador da bomba BD-01A disponível ou Defeito da bomba BD-01A, Bomba reserva ligada, Demarrador da bomba BD-01B disponível ou Defeito da bomba BD-01B.

O SDSC supervisiona apenas a partir do painel local do sistema, os sinais de nível e status das bombas, recebendo sinalizações de Nível muito alto atuado (via bóia e/ou indicador / controlador), Nível muito baixo atuado (via bóia e/ou indicador /controlador), Falha tensão de controle, Bomba BD-01A selecionada, Bomba BD-01B selecionada, Chave de seleção Automático/ Manual.

O Projeto é baseado na teoria da melhoria contínua, neste caso, visando solucionar problemas referentes às operações realizadas no sistema de drenagem, agregando valor operacional como um todo.

As falhas que porventura podem ocorrer no indicador/controlador NOVUS N1500, único responsável pela automação do sistema de drenagem e esgotamento, podem causar a indisponibilidade do sistema em si, além da indisponibilidade das Unidades Geradoras. Se por eventualidade, forem necessárias execuções de inspeções, manutenções preventivas ou até mesmo intervenções corretivas no interior das turbinas, tal sistema que é também responsável pela drenagem de água e esvaziamento da caixa espiral das UG's para que se tenha acesso às mesmas, em caso de falhas do sistema de drenagem nessa situação, as Unidades Geradoras permaneceriam indisponíveis ao Sistema Elétrico de Potência, acarretando perdas por indisponibilidade dos equipamentos, além de prejuízos financeiros causados pela perda em geração de energia elétrica.

Atualmente na PCH Areia Branca não se tem acesso a supervisão de nível do poço e as bombas de drenagem só se permitem serem operadas através do Quadro Local de Bombas de Drenagem (QLBD), situado no último piso da Casa de Força há aproximadamente 40 m de altura da Sala de Controle do empreendimento que conta com seis pisos denominados Área de Montagem, Galeria Elétrica, Galeria Mecânica, Galeria dos Geradores, Galeria das Turbinas e Galeria do Poço de Drenagem e Esgotamento.

Este trabalho tem como objetivo analisar o atual cenário de automação deste sistema e apresentar um estudo relacionado à implantação de um sistema que permita aos operadores da PCH Areia Branca supervisionar, controlar e operar o sistema de bombeamento do poço de drenagem e esgotamento através dos supervisórios situados na própria Sala de Controle do empreendimento.

Ao final será possível estabelecer conclusões a respeito do tema, relacionando algumas das melhorias que podem ser obtidas em caso de implantação do sistema estudado e fazer indicações a respeito das melhores práticas para a instalação do mesmo.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A automação pode ser entendida como qualquer sistema comandado por microcomputadores, visando alcançar os objetivos da indústria através da rapidez e de forma econômica. Os Controladores Lógicos Programáveis (CLP) são responsáveis pelo controle lógico do sistema, permitindo ajustes no processo através de simples alterações em seus programas [14].

A automatização de uma máquina, equipamento ou processo consiste na utilização de dispositivos, mecânicos, eletrônicos ou eletroeletrônicos com a finalidade de obter controle automático ou semi-automático sobre um sistema qualquer em favor da segurança das pessoas, da qualidade dos produtos, da rapidez da produção ou da redução de custos [15].

Ela traz consigo a implantação de sistemas interligados por redes de comunicação, contendo supervisórios e interfaces homem-máquina que possibilitam aos operadores de um determinado equipamento, máquina ou processo, realizar a supervisão, análise de falhas e realizar intervenções nos mesmos.

O entendimento do funcionamento de um sistema é de suma importância para a aplicação da automação do mesmo. Um sistema pode ser automatizado até o ponto em que se deseja, desde um nível simples, no qual o operador ainda é parte imprescindível para o funcionamento do processo, até um nível altíssimo, onde o operador deixa de executar tarefas antes obrigatórias para o funcionamento e passa a monitorá-las, interagindo com os resultados do processo [16].

2.2 CONTROLE

Podemos definir controle automático como sendo a manutenção de uma determinada variável ou estado em um valor ou condição pré-determinada. Considerando o valor que pretendemos como sendo o valor desejado.

Para atingir o valor desejado o sistema de controle opera medindo o valor atual da variável que se deseja controlar, comparando o valor medido com o valor desejado, utilizando a diferença entre esses valores (erro) para gerar um sinal de correção e aplicando um sinal de correção, de modo a reduzir ou eliminar o erro, ao sistema a ser controlado [17].

2.2.1 Controle ON / OFF

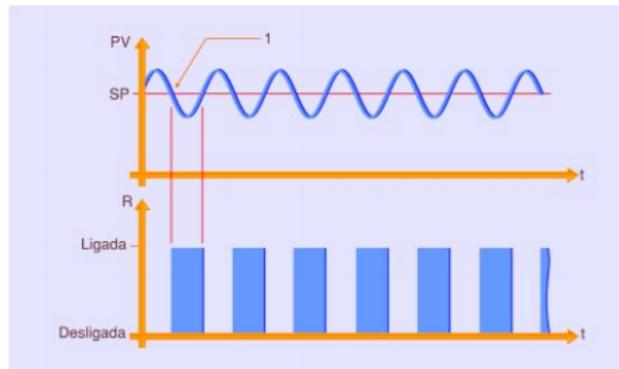
A estratégia de controle on / off também pode ser conhecida como de duas posições ou controle liga / desliga. Os sinais de saída ou comandos a serem executados variam entre dois

estados, indo de um extremo ao outro.

Tais estados podem ser exemplificados, de forma prática, com as situações de válvula aberta / válvula fechada, resistência ligada / resistência desligada, compressor ligado / compressor desligado, bomba ligada / bomba desligada, entre outras.

No exemplo abaixo temos um ambiente com nível controlado:

Figura 2: Detalhamento do acionamento dos atuadores e variações do sistema ON / OFF.



Fonte: coral.ufsm.br

O valor desejado de nível é dado por SP, o valor atual de nível (PV) é identificado através da leitura de um sensor de nível. A função do controlador, neste caso, é ligar ou desligar a bomba tendo como parâmetro o sensor de nível enviado pelo sensor, visando manter o nível no valor pré-determinado em SP no interior do ambiente [18].

Essa estratégia de controle pode ser considerada como a mais simples e mais econômica. Porém, este tipo de estratégia apresenta algumas limitações em relação ao comportamento dinâmico do sistema e em regime permanente quando em malha fechada.

A frequência e a amplitude das oscilações inerentes a este tipo de sistema são funções do intervalo pré-determinado para acionamento dos atuadores. A determinação desse intervalo deve ser realizada levando-se em consideração a precisão desejada, os níveis de ruído e a vida útil dos equipamentos [19].

2.3 MICROCONTROLADORES

Em análise, podemos considerar um microcontrolador como sendo um computador compactado em um único chip. Este chip é composto de processador (ULA – Unidade Lógica e Aritmética), memória, periféricos de entrada e saída, temporizadores, dispositivos de comunicação serial, dentre outros.

A evolução natural dos circuitos integrados, devido às atualizações constantes conforme as demandas e o aumento da complexidade dos mesmos deu origem ao surgimento dos microcontroladores [20].

Os microcontroladores são compostos internamente pelos seguintes dispositivos:

- CPU (Unidade de Processamento Central), responsável pela interpretação das instruções programadas;
- Memória PROM (Memória Programável - somente de leitura), nas quais são gravadas as instruções programadas;
- Memória RAM (Memória de Acesso Aleatório), responsáveis por guardar as variáveis declaradas na programação;
- Conjunto de I/O (Input / Output), utilizadas para controle de dispositivos externos, recepção de impulsos de interruptores, sensores, etc;
- Outros dispositivos auxiliares como gerador de clock, contadores, UASART referente a comunicação, etc.

Figura 3: Microcontrolador ATMEL - ATMEGA2560.



Fonte: embarcados.com.br

Com o intuito e a necessidade de facilitar o emprego dos microcontroladores nas diversas áreas, principalmente as industriais para automação e controle de processos, são criadas novas plataformas para o acoplamento dos mesmos, visando mais facilidade de configuração e comunicação através destas [21].

2.4 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

Um Controlador Lógico Programável é um computador com características parecidas as dos computadores pessoais, porém, são dedicados a exercer pré-determinados tipos de funções realizadas na automação de processos em geral.

Um CLP é constituído basicamente por dois módulos principais: A CPU (Unidade Central de Processamento) e os terminais de entradas e saídas digitais ou analógicas. Quando os sensores, instalados em campo, captam mudanças nas variáveis acompanhadas no processo, o CLP, que é munido de um programa para o processo em questão, age no sistema por meio de suas saídas executando partidas e paradas de motores e moto bombas, aberturas e fechamentos de válvulas, etc [22].

O controlador lê e processa o programa pré-instalado pelo programador em um ciclo fechado. Tal programa tem um início e um fim, o processador inicia o processamento na primeira linha do programa seguindo a leitura até o final do mesmo, uma vez chegado ao final, as entradas e saídas do CLP são atualizadas e o processamento é reiniciado [23].

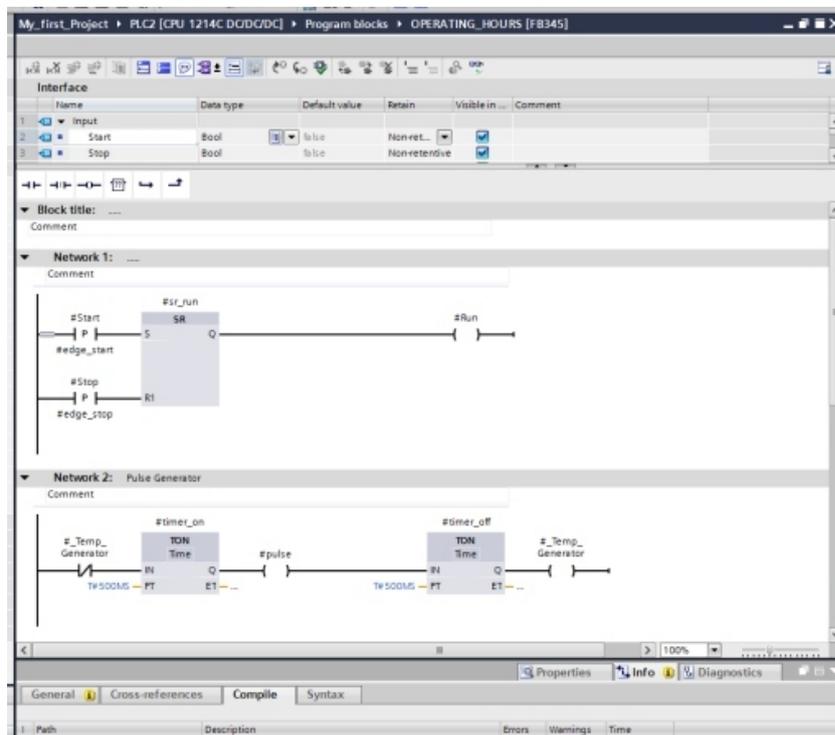
Para dinamizar e facilitar a lógica de programação dos CLP's foi desenvolvida, pelas empresas fabricantes, uma linguagem de programação unificada denominada de Label. Assim sendo, não seria necessário que os programadores aprendessem várias linguagens de programação diferentes cada vez que fossem programar um CLP de outras marcas, mas apenas se acostumarem com as particularidades na interface e quantidade de recursos disponibilizados pela marca em questão [24].

Figura 4: CLP Siemens.



Fonte: Siemens

Figura 5: Interface de Programação Label CLP Siemens.



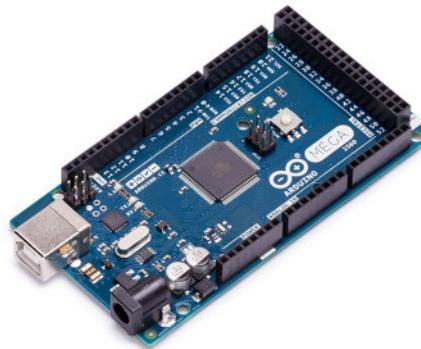
Fonte: Siemens.

2.5 ARDUINO

As características básicas do Arduino em relação a sua composição são a presença dos Microcontroladores Atmega, sua interface de programação baseada na linguagem “C++” e seus complementos, porém, por se tratar de um hardware livre podem ser encontradas diversas variações do Arduino no mercado.

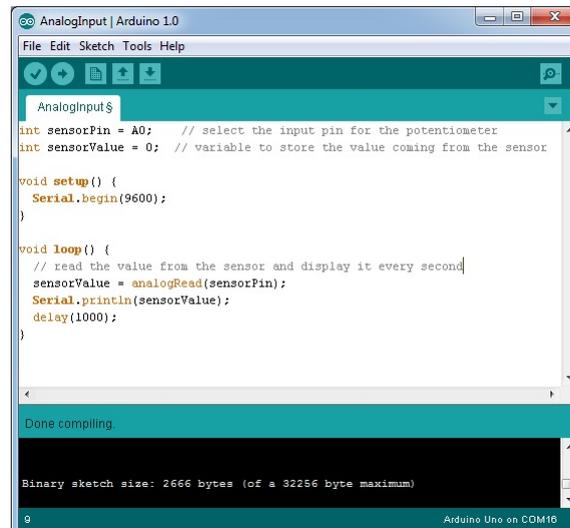
Suas diversas entradas e saídas de sinais analógicos e digitais permitem a expansão da placa do Arduino através da conexão dos denominados Shields, que são módulos compatíveis com a plataforma e facilitam o desenvolvimento de projetos mais complexos e de maior desempenho, permitindo o acoplamento de conversores de tensão-corrente, relés, servomotores, sensores, displays, etc.

Figura 6: Placa Arduino Mega2560.



Fonte: arduino.cc

O tipo de linguagem “C++” utilizada pelo Arduino é classificada como de nível médio, devido a possibilidade de combinação de caracteres de alto e baixo nível, permitindo a criação desde programas mais simples até os mais complexos e robustos. O ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do Arduino, além de permitir a programação e carregamento do programa no Microcontrolador e compilação do código criado em um editor de texto próprio, também permite a inclusão de novos códigos em forma de bibliotecas e o monitoramento e inserção de valores através da ferramenta denominada monitor serial.

Figura 7: Interface Arduino de Programação em "C++".

```
AnalogueInput | Arduino 1.0
File Edit Sketch Tools Help
AnalogueInput$
int sensorPin = A0; // select the input pin for the potentiometer
int sensorValue = 0; // variable to store the value coming from the sensor

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // read the value from the sensor and display it every second
  sensorValue = analogRead(sensorPin);
  Serial.println(sensorValue);
  delay(1000);
}

Done compiling.

Binary sketch size: 2666 bytes (of a 32256 byte maximum)

9 Arduino Uno on COM16
```

Fonte: robotshop.com

As entradas e saídas digitais e analógicas do Arduino podem ser divididas basicamente em cinco grupos, sendo eles:

Energia: Fazem parte desse grupo a porta de alimentação da placa, que recebe qualquer tensão entre 7V e 12V, convertendo-a em uma tensão constante de 5V, as portas GND, pinos de referência a terra, que atuam como entrada e saída de forma simultânea, além das duas saídas de tensão com valores de 3,3V e 5V.

Digital: Estas portas tanto emitem como recebem informações e trabalham com a informação digital, em que sua operação se caracteriza em trabalhar nos modos ligado ou desligado, 1/0. Através dessas portas pode-se ligar ou desligar um atuador ou obter informações sobre componentes do circuito, saber se estão ligados ou desligados.

Entradas analógicas: Estas portas são responsáveis por receber as informações analógicas, cujo sinal elétrico pode conter informações de até 10 bits e variar entre as tensões de 0V a 5V, estas são acompanhadas da descrição "A" junto ao número da porta. Através da análise realizada pelo programa em relação a essas portas pode-se identificar se um determinado equipamento está funcionando com potência, temperatura, posição, nível, etc, entre 0% e 100%, de acordo com o que foi definido no programa.

Comunicação: Acompanhadas das descrições "TX" ou "RX" junto ao número da porta, este grupo é responsável por realizar a comunicação, transmissão e recepção, de dados por meio Serial, Ethernet e Bluetooth [25].

PWM: Estas portas são responsáveis por variar o sinal de tensão de saída do Arduino de 0V a 5V, que é a tensão máxima de saída, em sinal de pulso, como resposta ao envio de sinais analógicos em sua entrada e, dessa forma, variar a potência do atuador entre 0% e 100% [26].

2.6 UMA BREVE COMPARAÇÃO ENTRE CLP E ARDUINO

Apesar de terem características semelhantes, existem grandes diferenças entre as duas plataformas, começando pela proposta à que ambos foram criados.

O Arduino teve sua criação baseada no propósito de ser um equipamento utilizado para estudos, simulações, testes e prototipagem, tendo um valor bem mais acessível, baseado no público alvo que compreende professores, estudantes, projetistas e leigos, porém, apresentou considerável aumento em sua utilização em residências e diversos setores da indústria, devido a sua grande capacidade e eficiência. Já o CLP teve seu desenvolvimento destinado a suprir a necessidade de se controlar diversos processos e máquinas de forma simultânea, fazendo com que suas características fossem de um equipamento robusto, de grande capacidade, direcionado à indústria e de elevado custo para aquisição [27].

2.7 INSTRUMENTAÇÃO

Instrumentação é a ciência responsável pelo estudo e desenvolvimento de técnicas utilizadas em medições, indicações, registros e controles de processos. A obtenção de dados seguros e precisos das variáveis de um processo para a melhoria da qualidade de um produto e aumento da produção é consequência da utilização de instrumentos. Para que um sistema seja confiável e eficiente é de extrema importância controlar e manter estável suas principais variáveis como: nível, vazão, pressão, temperatura, velocidade, etc. Os instrumentos nos permitem controlar e manter constantes tais variáveis de forma mais precisa em relação a um controle que pudesse ser feito manualmente pelo ser humano [28].

2.7.1 Sensores de Nível Piezoresistivos

Operam pelo princípio de Pascal, que diz que a pressão aplicada a um fluido se transmite integralmente a todos os seus pontos, assim como às paredes do recipiente que o contém [29].

Como princípio de funcionamento o sensor piezoresistivo converte a pressão aplicada pela coluna de fluido em sinal elétrico. Este sinal elétrico é amplificado, linearizado e disponibilizado em sinal padronizado por um circuito eletrônico de alta confiabilidade [30].

Figura 8: Sensor de Nível Piezoresistivo.

Fonte: tecnofluid.com.br

2.8 SUPERVISÓRIOS

Os sistemas supervisórios detêm a função de adquirir as informações da interação acontecida entre o CLP e o sistema por ele comandado e mostrá-las de forma interativa na tela de um computador. As informações apresentadas na tela de um supervisório são devidamente tratadas, representadas em unidades de engenharia, armazenadas em memória de dados e a todo instante verificadas quanto aos limites dos valores de operação. Um exemplo dessa aplicação seria o controle de nível, onde são estabelecidos os valores mínimos e máximos de operação.

Um sistema supervisório permite a alteração de valores de um controlador de forma remota através da utilização de um teclado ou tela touch screen como entrada. Nesse caso, o operador digita um determinado valor em um campo pré-estabelecido e o supervisório transmite a informação para o controlador.

No software supervisório são implementadas as estratégias de controle e supervisão desejadas pelo programador, as telas gráficas de interação com o meio, denominadas de interface homem-máquina, a aquisição e tratamento de dados referentes ao processo e gerência de relatório de eventos e alarmes. As telas de um supervisório devem permitir o operador realizar a supervisão e a operação de um sistema isolado ou de uma planta como um todo, dependendo do nível de automação dos sistemas, deverão ser organizadas de acordo com o grau de relevância, de modo que se obtenha acesso seqüencial e rápido [31].

2.9 SISTEMA SCADA

Um sistema de supervisão industrial também pode ser chamado de sistema SCADA (Control And Data Acquisition System). O sistema SCADA seria uma interface homem-máquina interativa e amigável, que se utiliza das tecnologias da computação e comunicação para a finalidade de supervisionar e controlar os processos, máquinas ou equipamentos automatizados, realizando o recolhimento de dados em ambientes complexos e muitas vezes localizados de forma dispersa geograficamente [32].

Dentre os softwares utilizados para elaboração de interfaces supervisórias há destaque para o Elipse SCADA, este é o atual software utilizado na PCH Areia Branca. Trata-se de um software nacional divulgado mundialmente utilizado para a criação de aplicativos de supervisão e controle de processos nas mais diversas áreas. Permite enviar ou receber mensagens para os equipamentos de aquisição de dados, monitorar variáveis em tempo real, fazer acionamentos, relacionando gráficos, imagens e objetos as variáveis físicas instaladas em campo. O funcionamento do software é baseado na definição e endereçamento de tags, cadastramento de informações de interesse e operações realizadas entre as mesmas. Nele é possível a criação de telas gráficas, gráficos de tendência, displays, animações, etc. [33].

2.10 REDES DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAIS

A otimização dos processos é cada vez mais freqüente no meio industrial e está diretamente relacionada com processo de automação. Como parte integrante destes processos estão os meios de comunicação, que exercem a função de transporte e entrega das informações que trafegam entre equipamentos da forma mais eficiente e precisa possível. Os meios de comunicação de dados industriais são as denominadas “Redes de Automação”. Entre os principais protocolos de comunicação estão o Modbus, Fieldbus, Profibus, CAN, entre outros.

Os dados que trafegam por uma rede industrial, normalmente é o pré requisito para a caracterização da mesma, tais dados podem ser bits, bytes ou blocos. As redes de comunicação industriais são utilizadas para interligar desde dispositivos mais genéricos como CLP’s, inversores e conversores de freqüência, relés de proteção até instrumentos analógicos de campo como transmissores de nível, vazão, pressão, temperatura, etc [34].

2.10.1 Protocolo Modbus RTU

Foi desenvolvido em 1979 pela Modicon e após ser rapidamente difundido tornando-se o protocolo de comunicação entre diferentes tipos de CLP’s mais utilizado, o ModBus RTU tornou-se um protocolo aberto, sendo considerado domínio público.

O ModBus utiliza como meio físico de comunicação, cabeamentos baseados nos métodos de comunicação RS232, RS422, RS485 ou Ethernet TCP/IP. O acesso e controle entre os módulos é do tipo Mestre-Escravo ou Cliente-Servidor. O funcionamento é baseado no envio de mensagens pelo Mestre, na maioria das vezes representado pelo CLP, aos escravos, que podem ser representados por controladores de temperatura, nível, rotação, inversores de freqüência, IHM’s, solicitando que envie os dados coletados no campo pelos instrumentos de medição ou enviando sinais atualizados para controle dos atuadores.

O Protocolo ModBus possui base tanto para envio e recebimento de dados discretos, representados pelas entradas e saídas digitais, quanto para envio e recebimento de dados nu-

méricos, representados pelas entradas e saídas analógicas. A comunicação é dividida em dois modos:

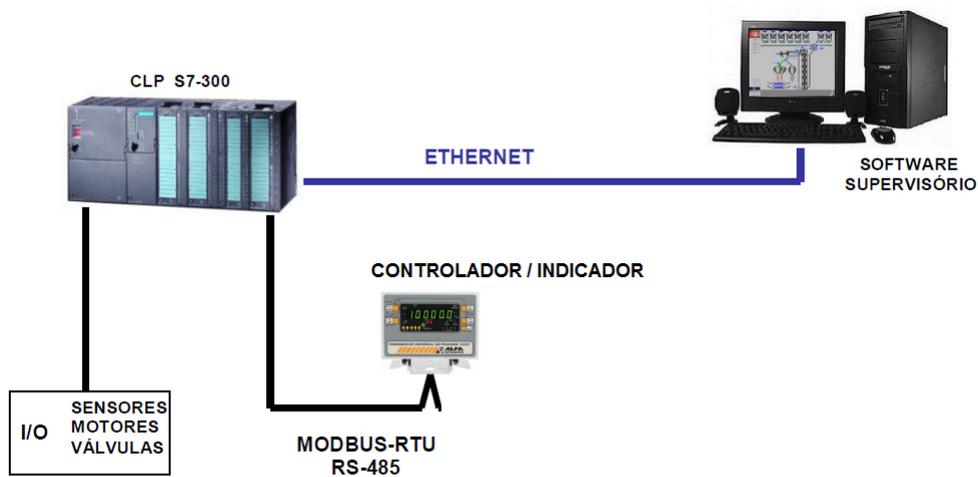
2.10.1.1 Modo Unicast

Neste modo a comunicação entre Mestre e Escravo é feita de forma individual. Uma mensagem de resposta é enviada ao Mestre pelo Escravo após recebida e processada a sua ordem. A comunicação ModBus é caracterizada por uma ordem do Mestre e uma resposta do Escravo. Para que a comunicação possa ser feita independente de outros nós, cada Escravo deve ter um único endereço.

2.10.1.2 Modo Broadcast

Neste modo a comunicação é realizada entre o Mestre e mais de um Escravo. Não é necessária a devolução de respostas pelos Escravos para que os pedidos enviados pelos Mestre sejam transmitidos. As escritas de comando caracterizam diretamente os pedidos de transmissão. No modo broadcast, todos os dispositivos envolvidos na comunicação devem ser compatíveis com a função de escrever [35].

Figura 9: Exemplo de Arquitetura de Equipamentos e Redes Industriais.



Fonte: GIMENES, 2009.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O projeto foi desenvolvido através do método de estudo de caso, em que os dados foram coletados in loco, sendo verificados através de desenhos técnicos de instalações elétricas e diretamente nos painéis onde foram realizadas as instalações.

3.1 CARACTERÍSTICAS DO ATUAL SISTEMA

O atual cenário de instalação do sistema de drenagem da PCH Areia Branca é constituído de um sensor de nível hidrostático piezoresistivo, localizado no interior do poço de drenagem e que é interligado como entrada analógica (4-20ma) em um controlador/indicador (NOVUS N1500), localizado na parte frontal do painel QLBD e interligado aos contatores de comando das bombas (BD-01A e BD-01B) do poço de drenagem por meio de suas saídas, contatos secos, disponibilizados pelos seus relés internos.

O sistema é considerado autônomo, pois a visualização de nível de água do poço e controle das bombas são realizados na íntegra pela programação pré instalada pelo usuário no controlador/indicador, não havendo infra-estrutura instalada e comunicações capazes de realizar intervenções no processo por meio de supervisórios e IHM.

3.2 AS NECESSIDADES DE OTIMIZAÇÃO

As necessidades de otimização desse sistema consistem na implantação de um Controlador Microprocessado e desenvolvimento de um supervisório, utilizando-se de software SCADA, junto ao sistema já instalado no empreendimento e que realizem as comunicações por meio do Protocolo Modbus entre si.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Diante da impossibilidade de se intervir no sistema real implantado na PCH, devido à necessidade de aprovação prévia pela Engie de um projeto específico para a execução das atividades e da interferência no tempo de disponibilidade do sistema, gerada para a execução das análises e testes diários, foi construído um protótipo baseado nas características reais do sistema e realizado um desenvolvimento da infra-estrutura necessária para demonstrar a eficácia do funcionamento do sistema proposto pelo projeto de pesquisa.

O Arduino foi definido como o Controlador Microprocessado do protótipo, devido ser uma plataforma desenvolvida para fins de estudo e prototipagem, que disponibilizava entradas

analógicas, utilizadas para a leitura do sensor, e número de saídas adequadas para o desenvolvimento do mesmo.

Durante a montagem do protótipo uma placa de ensino protoboard, foi utilizada para receber as conexões dos circuitos e dispositivos que seriam interligados como entradas / saídas no Arduino.

Figura 10: Placa de Ensino - Protoboard.



Fonte: baudaeletronica.com.br

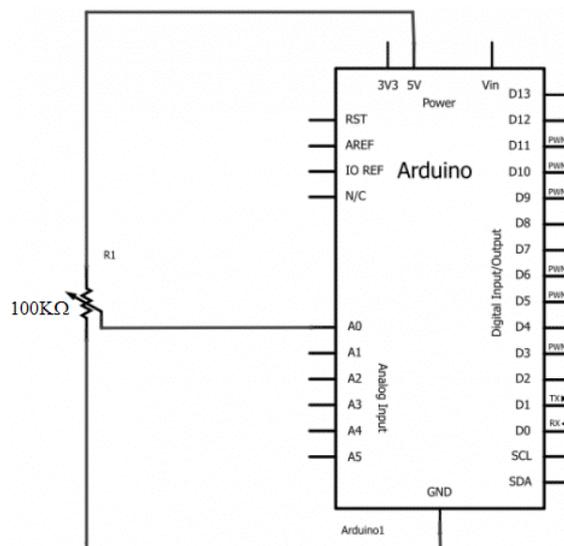
Um display LCD (16 x 2) foi conectado as saídas do controlador, responsáveis pela indicação de nível de água do poço de drenagem.

Figura 11: Display LCD (16 x 2).



Fonte: Autor, 2017

Para a simulação da variação de nível de água existente no poço de drenagem, foi construído um circuito utilizando-se um potenciômetro de $100K\Omega$, alimentado a uma tensão de 5V. O mesmo foi conectado a entrada analógica "A0" do Arduino, variando a tensão de entrada entre 0V e 5V, em que a tensão de 0V, corresponde ao nível mínimo de água do poço, e a tensão de 5V é correspondente ao nível máximo de água do poço de drenagem.

Figura 12: Esquema de ligação da Entrada Analógica.

Fonte: embarcados.com.br

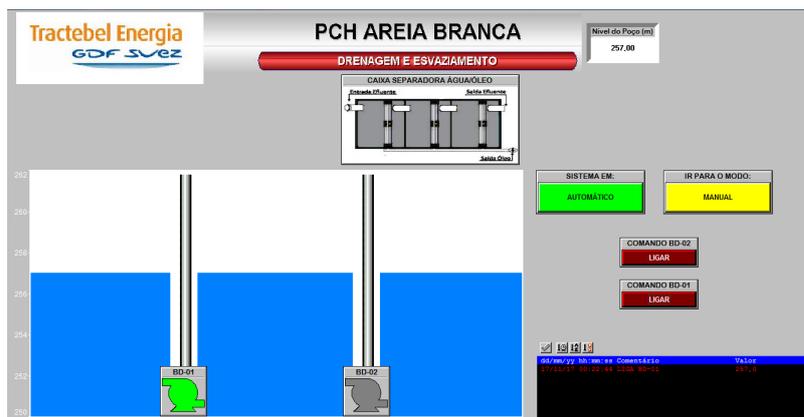
3.4 DESENVOLVIMENTO DO SUPERVISÓRIO

A Interface Homem Máquina foi construída a partir da utilização de software SCADA, comunicando com a plataforma Arduino pelo protocolo Modbus RTU de redes de comunicação industrial. Para a comunicação entre a placa controladora e a tela interativa de supervisão e comandos, foi instalado e configurado um driver “Modbus.dll” e na programação efetuada na IDE do Arduino em linguagem “C”, foi declarada a utilização da biblioteca “Modbusino.h”, de comunicação Modbus.

O desenvolvimento do supervisório foi baseado no atual modelo já existente na PCH Areia Branca. A interface conta com telas de funcionamento automático e acionamentos manuais das bombas do sistema de drenagem.

A tela de funcionamento automático do sistema é constituída da sinalização da variação, em tempo real, do nível do poço tanto numérica como também de forma animada e intuitiva em que mostra a variação do nível de água no interior de um poço, além desses parâmetros, a tela também representa as sinalizações das bombas BD-01A e BD-01B ligadas / desligadas, em tempo real, de acordo com os níveis predefinidos no programa embarcado na placa controladora.

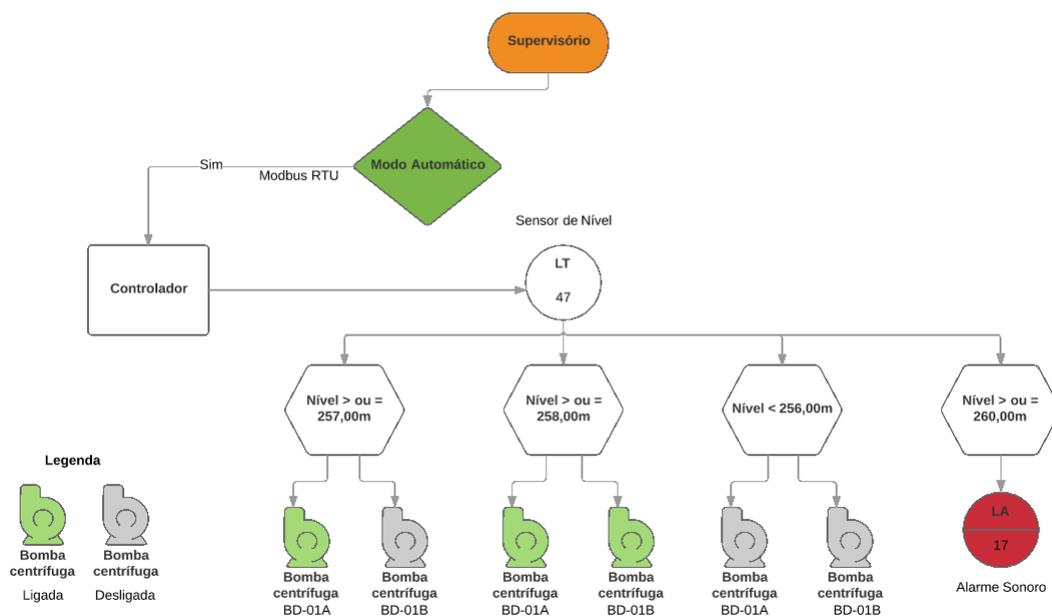
Figura 13: Tela de funcionamento Automático.



Fonte: Autor, 2017

No fluxograma representado abaixo, podemos observar a lógica de funcionamento automático do sistema.

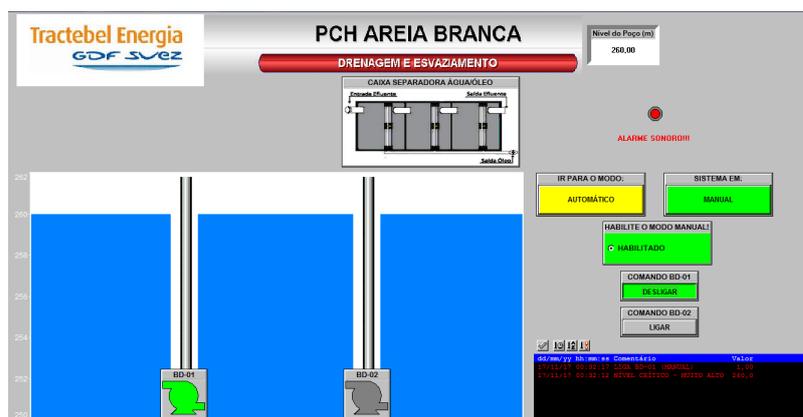
Figura 14: Fluxograma de funcionamento Automático.



Fonte: Autor, 2017

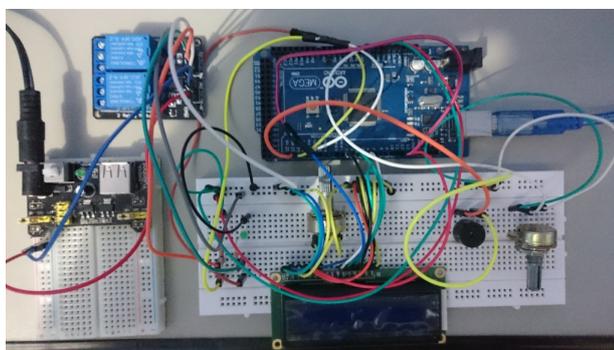
A tela de funcionamento manual do sistema é constituída, além dos parâmetros já citados contidos na tela de funcionamento automático, de botões que permitem ao operador ativar / desativar o funcionamento das bombas do sistema de forma independente ao nível do poço de drenagem. Porém, antes de realizar o acionamento das bombas, o modo manual de operação do sistema deverá ser habilitado.

Nas telas ainda foram implementadas as interfaces de alarmes e eventos, que listam todos os acionamentos que acontecem no sistema acompanhados de data e hora. Para o evento de nível crítico de água no poço, foi criada a interface de sinalização do acionamento do alarme sonoro, que já ocorre no meio físico.

Figura 15: Tela de funcionamento Manual.

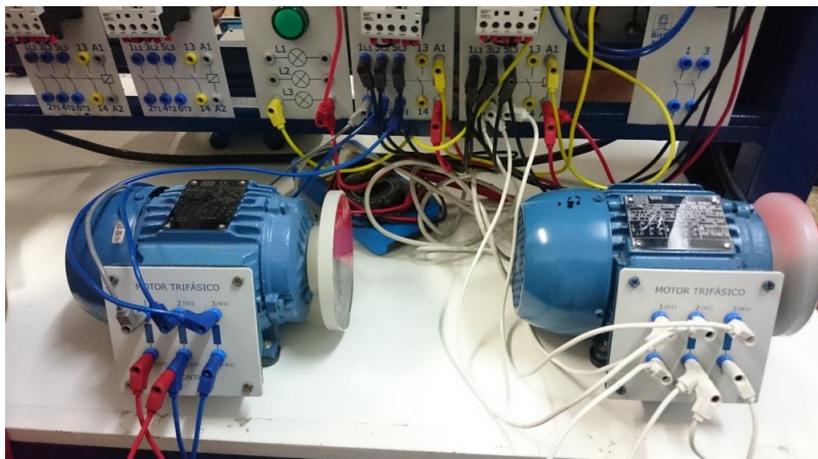
Fonte: Autor, 2017

Os passos para desenvolvimento do protótipo do sistema de supervisão e controle das bombas de drenagem da usina compreenderam a escolha do Arduino, verificação da compatibilidade de comunicação entre os equipamentos, elaboração do programa a ser embarcado no controlador microprocessado, elaboração da interface de interação do supervisor, configuração das tags de comunicação entre o controlador e o software de supervisão e testes de funcionamento do sistema.

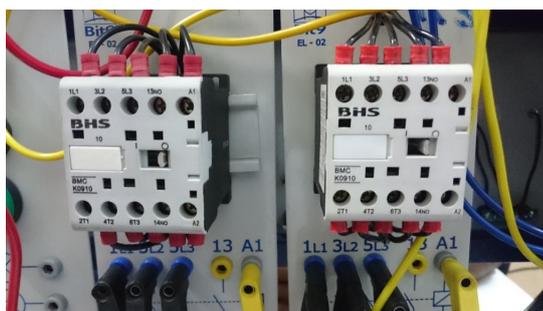
Figura 16: Protótipo.

Fonte: Autor, 2017

Os testes do sistema serão realizados utilizando-se de dois motores (motor1 e motor2), em simulação das bombas centrífugas do poço de drenagem. Conectados aos contadores de acionamento das bombas estão os relés, os mesmos são responsáveis pela mudança de estado (aberto / fechado) dos contadores de cada bomba, conforme o programa pré-instalado no controlador interpreta o sistema e disponibiliza as saídas correspondentes a interpretação naquele determinado momento.

Figura 17: Motor1 e Motor2.

Fonte: Autor, 2017

Figura 18: Contatores.

Fonte: Autor, 2017

Os testes de funcionamento deverão ser executados no Laboratório de Instalações Elétricas das Faculdades DOCTUM de Caratinga. Após a realização dos testes e constatação da eficácia do funcionamento do sistema, o estudo será apresentado a Engie, empresa proprietária da PCH Areia Branca, visando à aprovação dos setores responsáveis pela avaliação e liberação de implantações de melhorias no empreendimento.

3.5 COLETA DE INFORMAÇÕES PARA ENTREVISTA

Visando coletar informações e opiniões relacionadas à segurança e qualidade na operação, pertinentes à implantação do sistema de supervisão e controle das bombas do poço de drenagem, foi realizada uma entrevista aos Técnicos da PCH Areia Branca.

Em Apêndice A segue o modelo contendo as perguntas e afirmativas para avaliação dos Técnicos do empreendimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TESTES REALIZADOS COM O PROTÓTIPO

Após o desenvolvimento dos processos teóricos e metodológicos, foram realizados testes práticos para acompanhamento do funcionamento do protótipo e verificação de possíveis falhas do sistema que não houvessem sido previstas no projeto.

Para a simulação da variação de nível de água do poço lida pelo sensor de nível hidrostático piezoresistivo no campo, foi utilizado um potenciômetro de $100K\Omega$ ligado a entrada analógica “A0” do Arduino, dessa forma, a variação de nível no Display e no Supervisório ocorria a medida que o operador do protótipo girava a chave do potenciômetro, obtendo uma oscilação de leitura entre 0 m e 262,00 m, correspondente a variação de tensão da porta analógica entre 0V e 5V, de acordo com a programação embarçada no código fonte do Arduino.

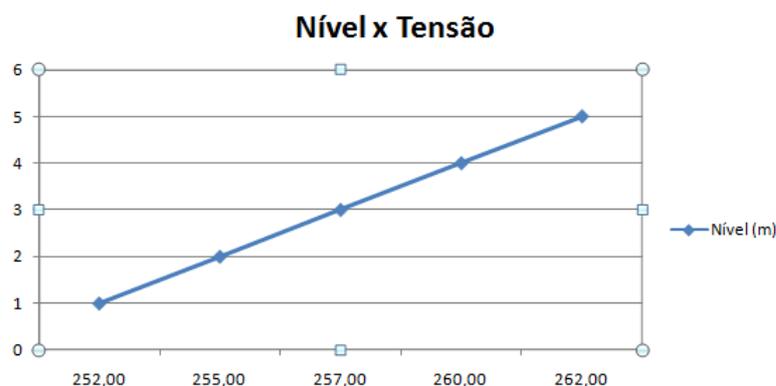
Como o nível mínimo de água no poço de drenagem é considerado a partir da cota altimétrica 256,00m, abaixo podemos relacionar os níveis obtidos a partir da variação de resistência do potenciômetro e, conseqüentemente, variação da tensão na porta analógica entre 0V e 5V.

Tabela 1: Tabela de Níveis por referência de Tensão.

Tensão (V)	Nível (m)
0	250,00
1	252,00
2	255,00
3	257,00
4	260,00
5	262,00

Fonte: Autor, 2017

A partir dessas informações, obtemos o seguinte gráfico abaixo:

Figura 19: Gráfico de referência de Nível por Tensão.

Fonte: Autor, 2017

Para sinalização de estado ligado / desligado das bombas BD-01A e BD-01B, foram ligados dois leds (1 verde e 1 vermelho), nas saídas digitais 19 e 18 do controlador, respectivamente.

Os setpoints para acionamentos das bombas e alarme sonoro foram parametrizados de acordo com as cotas altimétricas já utilizadas como referência no atual sistema de funcionamento.

Tabela 2: Tabela de acionamentos automáticos por Setpoint.

Nível (m)	Função
257,00	Liga BD-01A
258,00	Liga BD-01B
260,00	Aciona alarme sonoro
256,00	Desliga BD-01A e BD-01B

Fonte: Autor, 2017

Acima relacionamos as parametrizações dos acionamentos automáticos realizados pelo protótipo:

Além dos acionamentos relacionados acima, o sistema ainda permite-se ser acionado de forma manual pelo Supervisório, onde operador habilita o modo de operação manual e executa os comandos de liga / desliga as bombas no instante em que julgar necessário.

Ao alcançar os níveis para acionamento das bombas no modo automático e ao realizar-se o acionamento das mesmas no modo de operação manual, foram identificadas interferências nos valores lidos na entrada analógica da placa controladora. Tais interferências eram provocadas por um pico de sobretensão nos leds de sinalização e nos relés utilizados para o acionamento das cargas (motor 1 e motor 2), devido às alimentações desses circuitos serem todas provenientes da placa Arduino. Além dessas interferências, foram identificadas perdas da comunicação Modbus no Supervisório no instante em que ocorriam os comandos do sistema para fechamento dos contatores de acionamento dos motores. Observou-se que quando utilizado um circuito de

acionamento realizado diretamente pelo módulo de relés, as falhas na comunicação com o Supervisor não ocorriam.

Para controle dessas interferências nas leituras do nível de água, fato que poderia interferir na confiabilidade de funcionamento do sistema, foram implementados um resistor de 330Ω em série a cada led de sinalização.

Como medida de controle das interferências advindas dos acionamentos das cargas pelos relés foi implementado um módulo regulador de tensão a uma protoboard, para utilização da alimentação externa no módulo de relés, permitindo a independência à alimentação proveniente do Arduino. Tais medidas obtiveram um resultado satisfatório, em escala de metros, reduzindo a interferência de 1,5 m para 0,05 m, podendo-se considerar uma redução de 96,67%, entretanto, as perdas de comunicação do Supervisor permaneceram.

Para o funcionamento das bombas pelo modo de operação manual, foi observada uma falha ocorrida em alguns dos acionamentos realizados, em que o objeto botão referente a cada uma das bombas era acionado e, por vezes, o mesmo não era concretizado.

Como medida de controle dessa falha foi aplicado um tratamento de interrupção, no qual o programa executável pára no instante em que o comando de interrupção é efetuado e executa o que está declarado nas linhas de comando da interrupção.

Abaixo apresentamos o tratamento de interrupção utilizado:

Figura 20: Comando de Interrupção.



```
Teste_leitura_sensor$
uint16_t tab_reg[10]; //Define a quantidade de registradores

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); //Configura os pino do Arduino indicados para se comunicar com o LCD

void acionamentomanual(){
    digitalWrite(comandob1, digitalRead(19));
    digitalWrite(comandob2, digitalRead(18));
}

void setup()
{
    modbusino_slave.setup(9600);

    pinMode(bomba1, OUTPUT);
    pinMode(bomba2, OUTPUT);
    pinMode(alarmesonoro, OUTPUT);
    pinMode(POT, INPUT);
    lcd.begin(16, 2); //Inicia o LCD com 16 colunas e 2 linhas (colunas 16x2(Colunas x Linhas))

    attachInterrupt(0, acionamentomanual, RISING);
}

void loop()
{
}
```

Fonte: Autor, 2017

4.2 APLICAÇÃO DE ENTREVISTAS

Através das entrevistas aplicadas aos Técnicos de Operação e Manutenção da PCH Areia Branca, contidas em Apêndice A, foi possível a obtenção de alguns dados referentes à relevância

do tema de implantação do sistema de supervisão e controle das bombas do sistema de drenagem da usina.

4.2.1 Avaliação de relevância

Às afirmativas contidas na entrevista foram atribuídos níveis de relevância entre 1 e 5 em que :

- 1 = Não satisfaz;
- 2 = Satisfaz pouco;
- 3 = Satisfaz;
- 4 = Satisfaz bastante;
- 5 = Excelente.

A partir dos níveis de relevância atribuídos por cada Técnico, foi possível a obtenção da tabela seguir:

Tabela 3: Tabela de Relevância das afirmações propostas em Entrevista.

Nº Entrevista	Nível de Relevância		
	Afirmativa 1	Afirmativa 2	Afirmativa 3
1	5	3	5
2	5	4	5
3	5	4	5
4	5	5	4
5	5	4	5

Fonte: Autor, 2017

Aplicando os resultados da Média Aritmética dos níveis de relevância de cada afirmativa novamente à escala de níveis, podemos então definir o nível médio de relevância atribuído após as avaliações técnicas do projeto de implantação.

Obtemos a Média Aritmética dos níveis de relevância atribuídos, através da seguinte equação:

Equação 1

$$\bar{X} = \frac{1}{n}(x_1 + \dots + x_n) \quad (4.1)$$

Em que:

- \bar{X} = Média Aritmética;
- $(x_1 + \dots + x_n)$ = Somatório dos níveis de relevância atribuídos de cada entrevistado;
- n = Número total de entrevistados.

A partir dos níveis médios de relevância calculados através da Média Aritmética, obtemos a tabela abaixo:

Tabela 4: Tabela de nível médio de relevância das afirmações referentes a implantação do Projeto.

	Média (\bar{X})	Nível Médio de Relevância
Afirmativa 1	5	Excelente
Afirmativa 2	4	Satisfaz Bastante
Afirmativa 3	4,8	Excelente

Fonte: Autor, 2017

5 CONCLUSÃO

De acordo com o estudo realizado podemos concluir que a implantação do sistema de supervisão e controle das bombas do sistema de drenagem por supervisórios situados na Sala de Controle da PCH Areia Branca, poderá interferir diretamente, de forma benéfica, nas atividades desenvolvidas pelos Técnicos que desenvolvem suas funções no empreendimento.

Com a facilidade da supervisão e controle realizado remotamente através da Sala de Controle, os Técnicos poderão, de forma simultânea, executar outras atividades como: Supervisão e operação das Potências Ativa, Reativa e Aparente das Unidades Geradoras, supervisão e operação da Tensão Terminal dos Geradores, operações de partida e parada das Unidades Geradoras, monitoramento da afluência do rio, além da supervisão e operação de outros sistemas que são desenvolvidas no mesmo ambiente, permitindo, dessa forma, uma maior dinâmica entre os processos, agregando valor operacional como um todo.

Em caso de implantação do sistema estudado, o tempo de resposta para uma operação manual do mesmo será reduzido, tornando-se praticamente instantâneo, assim como a identificação de uma possível falha do sistema e um enchimento inesperado do poço, através da criação do monitor de alarmes e eventos e indicação de alarme sonoro na tela de supervisão, não sendo mais necessário um deslocamento da Sala de Controle até o último piso da Casa de Força para que os monitoramentos e acionamentos sejam efetuados, reduzindo, sobretudo, os riscos de porventura acontecer um acidente de trabalho durante o percurso de descida de 110 degraus de escadas do Técnico de Operação para acessar o painel local do sistema.

Vale ressaltar que, para efeitos de estudos e prototipagem, o sistema de supervisão e controle foi montado através da utilização do Arduino. Porém, para a implantação do sistema na PCH Areia Branca, visando uma maior robustez e confiabilidade, é indicado que a programação seja embarcada e os circuitos elétricos sejam conectados em outras plataformas que acoplam a microcontroladores como, por exemplo, os CLP's já existentes na planta ou que seja realizada a aquisição de um CLP que disponha de, no mínimo, uma entrada analógica, que seja dedicado ao sistema estudado ou até compartilhado com outros sistemas do empreendimento nos quais sejam identificadas oportunidades de melhoria.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Utilizar CLP com, no mínimo, uma entrada analógica e desenvolver programação em label correspondente;
- Desenvolver circuito de comando utilizando-se da placa de circuito impresso;
- Desenvolver Supervisório no Elipse E3;

- Testar outros padrões físicos de comunicação como: RS232, RS485, Ethernet TCP / IP;

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - SCARTEZINI, L. M. Bessa. Análise e Melhoria de Processos, Goiânia, 45 p. 2009.
- 2 - TOLEDO, J. C. & MARTINS, R. A. Proposta de modelo para a elaboração de programas de gestão para a qualidade total. Revista de Administração, FEA-Usp, Vol.33, n.2, p. 52-59, 1998.
- 3 - SIMÕES, Rosicler e ALLIPRANDINI, D. H. Gestão da melhoria contínua: modelo de boas práticas e aplicação em uma empresa de médio porte. XXVI ENEGEP, Ceará: UFSCar, 9 p. 2006.
- 4 - SCARTEZINI, L. M. Bessa. Análise e Melhoria de Processos, Goiânia, 45 p. 2009.
- 5 - SIMÕES, Rosicler e ALLIPRANDINI, D. H. Gestão da melhoria contínua: modelo de boas práticas e aplicação em uma empresa de médio porte. XXVI ENEGEP, Ceará: UFSCar, 9 p. 2006.
- 6 - MOREIRA, P. I. Modelagem da Disponibilidade de uma Unidade Geradora da UHE Tucuruí. Pará: Universidade Federal do Pará, 101 p. 2013.
- 7 - BLANCHARD, B. S. e FABRYCKY, W. J. Systems Engineering and Analysis. Saint Louis: Prentice Hall, 6 ed., 1998.
- 8 - MOREIRA, P. I. Modelagem da Disponibilidade de uma Unidade Geradora da UHE Tucuruí. Pará: Universidade Federal do Pará, 101 p. 2013.
- 9 - CARVALHO, A. L. Comparação de metodologias para cálculo de confiabilidade em sistemas reparáveis, PUC-MG, Simpósio Internacional de Confiabilidade, 2006.
- 10 - MOREIRA, P. I. Modelagem da Disponibilidade de uma Unidade Geradora da UHE Tucuruí. Pará: Universidade Federal do Pará, 101 p. 2013.
- 11 - FICHA técnica PCH Areia Branca. Caratinga, 2010. 4 p.
- 12 - SISTEMA de drenagem da usina passa por reforma e modernização. Paraná: Itaipú Binacional, 2015. 7 p. Disponível em <<http://jie.itaipu.gov.br/node/57826>>. Acesso em: 18 de março de 2017.
- 13 - SISTEMAS de abastecimento de água. Ceará: Universidade Federal do Ceará, 2008. 91 p. Disponível em <http://www.deha.ufc.br/ticiania/Arquivos/Especializacao/Cariri/6_Sistemas%20de%20Abast%20de%20C1gua/Hidr%E1lulica2-Bombas.pdf>. Acesso em: 18 de março de 2017.
- 14 - SOUZA, Alexandre S. e RAMOS, Leandro M.A. Sistema de Acesso Remoto Para Controle de um Processo Térmico. Brasília: UNB/Departamento de Engenharia Mecatrônica, 2003. 151 p. Projeto Final de Curso.
- 15 - ROSÁRIO, João Maurício. Automação Industrial. São Paulo: Editora Baraúna SE Ltda,

2009. 514 p.

16 - ANDRADE, William Jeferson. Aplicação Industrial de Controladores Lógicos Programáveis, Interfaces Homem Máquina e Computadores Industriais Bosch Rexroth. Curitiba: UTFPR/Departamento Acadêmico de Eletrônica, Especialização em Automação Industrial, 2013. 151 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização.

17 - FUNDAMENTOS de controle de processo. Espírito Santo: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, 1999. 72 p. Disponível em: <<http://www.dequi.eel.usp.br/felix/Controle.pdf>>. Acesso em: 19 de novembro de 2017.

18 - MATIAS, Juliano. Teoria de Controle PID. Rio Grande do Sul: UFSM, p. 17-25, abr./2002.

19 - BAZANELLA, Alexandre Sanfelice e DA SILVA JR., João Manoel Gomes. Ajuste de Controladores PID. Rio Grande do Sul: UFRGS/Departamento de Engenharia Elétrica, abr./2000.

20 - PENIDO, Édilus de Carvalho Castro e TRINDADE, Ronaldo Silva. Microcontroladores. Minas Gerais: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia/Departamento de Engenharia Elétrica, 80 p., 2013.

21 - PALMIERE, Sérgio Eduardo. CLP versus Microcontrolador. 2016. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/clp-versus-microcontrolador/>>. Acesso em: 07 de Outubro de 2017.

22 - NATALE, Ferdinando. Automação industrial. São Paulo: Editora Érica, 2000.

23 - DA SILVA, Danielle Simano e DO NASCIMENTO, João Maria Araújo. Automação industrial e Redes para Automação industrial. Rio Grande do Norte: UFRN, p. 1-5, mai./2003.

24 - PALMIERE, Sérgio Eduardo. CLP versus Microcontrolador. 2016. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/clp-versus-microcontrolador/>>. Acesso em: 07 de Outubro de 2017.

25 - MONK, Simon. Programação com Arduino. Ed.1, Porto Alegre. Bookman, 2013.

26 - SOUZA, Fábio. Arduino - Saídas PWM. 2014. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduinosaidas-pwm/>>. Acesso em: 07 de Outubro de 2017.

27 - PEREIRA, André De Souza. Controle e Monitoramento de Nível em Tanques Reservatórios de Líquidos . Minas Gerais: ITC/Departamento de Engenharia Elétrica, 2016. 65 p. Trabalho de Conclusão de Curso.

28 - DA SILVA, Danielle Simone e DO NASCIMENTO, João Maria Araújo. Automação industrial e Redes para Automação industrial. Rio Grande do Norte: UFRN, p. 1-5, mai./2003.

29 - HALLIDAY e RESNICK. Fundamentos de Física, v.2, Ed.9, Rio de Janeiro: LTC Editora, 2012.

30 - DO BRASIL, Tecnofluid. Transmissor de Nível Hidrostático: catálogo. Minas Gerais, 2014.

- 3 p. Disponível em: <<http://www.tecnofluid.com.br/wp-content/uploads/2013/11/CT-TH-01251-TNH-Rev.01.pdf>>. Acesso em: 16 de Março de 2017.
- 31 - DA SILVA, Danielle Simone e DO NASCIMENTO, João Maria Araújo. Automação industrial e Redes para Automação industrial. Rio Grande do Norte: UFRN, p. 1-5, mai./2003.
- 32 - ROSÁRIO, João Maurício. Princípios da Mecatrônica. São Paulo: Prentice Hall, 2005.
- 33 - SOUZA, Alexandre S. e RAMOS, Leandro M.A. Sistema de Acesso Remoto Para Controle de um Processo Térmico. Brasília: UNB/Departamento de Engenharia Mecatrônica, 2003. 151 p. Projeto Final de Curso.
- 34 - PEREIRA, João Paulo. Comunicação de Dados em Redes de Ambientes Industriais. Minas Gerais: UNIPAC/Departamento de Ciência da Computação, 13 p. 2006.
- 35 - REDE Industrial Fieldbus ModBus. Rio Grande do Sul: PUCRS, 2014. 29 p. Disponível em <http://www.feng.pucrs.br/professores/tergolina/Redes_e_Protocolos_Industriais/APRESENTACAO_-_Aula_09_Modbus.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

APÊNDICE A ENTREVISTAS

MODELO DE ENTREVISTA - PCH AREIA BRANCA

A. CARACTERIZAÇÃO – DADOS DO ENTREVISTADO E DA EMPRESA

01. Nome:

02. Sexo:

Masculino ()

Feminino ()

03. Idade:

04. Qual é o cargo / função exercido por você na empresa em que trabalha?

05. Nome da empresa / organização na qual trabalha:

06. Há quanto tempo você trabalha nesta empresa?

07. Qual o seu nível educacional / formação atual?

01. Ensino médio / Técnico completo

02. Ensino médio / Superior incompleto (parou de estudar)

03. Superior incompleto (está estudando)

04. Superior completo

05. Especialização incompleta (está estudando)

06. Especialização completa

07. Mestrado incompleto (está estudando)

08. Mestrado completo

09. Doutorado incompleto (está estudando)

10. Doutorado completo ()

08. Qual é a sua área de formação técnica ou superior?

09. Quantas pessoas fazem parte da sua empresa, considerando a sua pessoa também?

01. Uma pessoa (eu mesmo)

02. De 2 a 5 pessoas (micro-empresa)

03. De 6 a 9 pessoas (micro-empresa)

04. De 10 a 24 pessoas (pequena empresa)

05. De 25 a 49 pessoas (pequena empresa)

06. De 50 a 99 pessoas (média empresa)

07. 100 pessoas ou mais (grande empresa) ()

B. QUESTIONÁRIO DO PROCESSO DE MELHORIA

01. Em relação à Segurança , de que maneira a implantação do projeto poderá influenciar no seu trabalho?

02. De que forma, em questão de operacionalidade, a implantação do projeto poderá agregar valor?

03. Qual o tempo necessário para se deslocar ao painel em caso de operação manual do sistema?

04. Caso o sistema estivesse implantado, quais outras atividades poderiam ser desempenhadas de forma sinérgica e integradas?

05. Atribua uma pontuação entre 1 e 5 para as afirmações a seguir:

01. A implantação do projeto facilitará o acompanhamento do comportamento do sistema. ()

02. Em caso de operação manual, a implantação do projeto reduzirá o tempo de resposta para operação do sistema. ()

03. A implantação do projeto agregará qualidade operacional como um todo, devido à

possibilidade de supervisionar e controlar outros sistemas em um mesmo ambiente. ()

ENTREVISTA Nº1 - PCH AREIA BRANCA

A. CARACTERIZAÇÃO – DADOS DO ENTREVISTADO E DA EMPRESA

01. Nome: Carlos da Mata Campos.

02. Sexo:

Masculino (X)

Feminino ()

03. Idade: 30 anos.

04. Qual é o cargo / função exercido por você na empresa em que trabalha?

Técnico de Operação de Usina.

05. Nome da empresa / organização na qual trabalha:

Energisa Soluções / PCH Areia Branca.

06. Há quanto tempo você trabalha nesta empresa?

7 anos

07. Qual o seu nível educacional / formação atual?

01. Ensino médio / Técnico completo

02. Ensino médio / Superior incompleto (parou de estudar)

03. Superior incompleto (está estudando)

04. Superior completo

05. Especialização incompleta (está estudando)

06. Especialização completa
07. Mestrado incompleto (está estudando)
08. Mestrado completo
09. Doutorado incompleto (está estudando)
10. Doutorado completo (03)

08. Qual é a sua área de formação técnica ou superior?

Técnico em Eletromecânica / Cursando 8º período de Engenharia Elétrica.

09. Quantas pessoas fazem parte da sua empresa, considerando a sua pessoa também?

01. Uma pessoa (eu mesmo)
02. De 2 a 5 pessoas (micro-empresa)
03. De 6 a 9 pessoas (micro-empresa)
04. De 10 a 24 pessoas (pequena empresa)
05. De 25 a 49 pessoas (pequena empresa)
06. De 50 a 99 pessoas (média empresa)
07. 100 pessoas ou mais (grande empresa) (07)

B. QUESTIONÁRIO DO PROCESSO DE MELHORIA

01. Em relação à Segurança , de que maneira a implantação do projeto poderá influenciar no seu trabalho?

O Sistema de Drenagem é um dos mais complexos e importantes da Planta industrial. Através dele é direcionado todas as águas deslocam das canaletas das galerias e em caso de um vazamento ou inundação da Casa de Força, esse sistema tem o objetivo não permitir este processo de inundação. Com a atuação das duas bombas se o nível continuar a elevar ocorre o desligamento automático das Unidade Geradoras. Sobre essa complexidade com o controle full time do poço com o seu nível no supervisório, o operador no local ou no Centro de operação em caso de operação desassistida poderá ter um tempo de reação mais rápido e eficaz para executar a intervenção e assim evitar danos maiores a Planta Industrial.

02. De que forma, em questão de operacionalidade, a implantação do projeto poderá agregar valor?

O primeiro fator importante em caso da manutenção o operador necessita de estar próximo ao poço para monitorar o nível, no projeto o operador poderá controlar e inspecionar o nível da Sala de operação realizando outras funções simultaneamente. O segundo fator importante é o tempo de reação do operador em caso de falha do sistema, assim podendo acionar a equipe de apoio da manutenção em tempo para sanar a avaria em um menor tempo possível evitando problemas maiores.

03. Qual o tempo necessário para se deslocar ao painel em caso de operação manual do sistema?

Aproximadamente 7 minutos se não ocorrer nenhuma problema ao longo do trajeto, esse tempo é crítico principalmente no período das chuvas no qual a defluência do rio está muito elevada.

04. Caso o sistema estivesse implantado, quais outras atividades poderiam ser desempenhadas de forma sinérgica e integradas?

O sistema pode ser completado com o sistema de esvaziamento que também está interligado ao sistema de drenagem. Assim podendo ter controle do tempo de esvaziamento de cada Unidade Geradora permitindo maior controle do esvaziamento do túnel, caracol e a jusante da turbina tornando mais confiável o bloqueio para a manutenção do sistema da turbina onde fica submerso.

05. Atribua uma pontuação entre 1 e 5 para as afirmações a seguir:

01. A implantação do projeto facilitará o acompanhamento do comportamento do sistema. (5)

02. Em caso de operação manual, a implantação do projeto reduzirá o tempo de resposta para operação do sistema. (3)

03. A implantação do projeto agregará qualidade operacional como um todo, devido à possibilidade de supervisionar e controlar outros sistemas em um mesmo ambiente. (5)

ENTREVISTA Nº2 - PCH AREIA BRANCA**A. CARACTERIZAÇÃO – DADOS DO ENTREVISTADO E DA EMPRESA**

01. Nome: José Eduardo Ribeiro Toledo.

02. Sexo:

Masculino (X)

Feminino ()

03. Idade: 26 anos.

04. Qual é o cargo / função exercido por você na empresa em que trabalha?

Técnico de Montagem e Manutenção Mecânica.

05. Nome da empresa / organização na qual trabalha:

Energisa Soluções / PCH Areia Branca.

06. Há quanto tempo você trabalha nesta empresa?

5 anos.

07. Qual o seu nível educacional / formação atual?

01. Ensino médio / Técnico completo

02. Ensino médio / Superior incompleto (parou de estudar)

03. Superior incompleto (está estudando)

04. Superior completo

05. Especialização incompleta (está estudando)

06. Especialização completa

07. Mestrado incompleto (está estudando)

08. Mestrado completo

09. Doutorado incompleto (está estudando)

10. Doutorado completo (03)

08. Qual é a sua área de formação técnica ou superior?

Técnico em Mecânica / Cursando 4º período de Engenharia Elétrica.

09. Quantas pessoas fazem parte da sua empresa, considerando a sua pessoa também?

01. Uma pessoa (eu mesmo)
02. De 2 a 5 pessoas (micro-empresa)
03. De 6 a 9 pessoas (micro-empresa)
04. De 10 a 24 pessoas (pequena empresa)
05. De 25 a 49 pessoas (pequena empresa)
06. De 50 a 99 pessoas (média empresa)
07. 100 pessoas ou mais (grande empresa) (07)

B. QUESTIONÁRIO DO PROCESSO DE MELHORIA**01. Em relação à Segurança , de que maneira a implantação do projeto poderá influenciar no seu trabalho?**

Está diretamente ligado a segurança devido a uma possível falha no acionamento das bombas, podendo ocasionar um alagamento na casa de força, assim comprometendo os equipamentos da usina e até mesmo a integridade física dos colaboradores, e com o sistema implantado a probabilidade disso ocorrer é reduzida, devido ao acompanhamento do nível dos poços 24 horas com interface automatizada. Em relação ao poço de esvaziamento no meu ver o sistema é ainda mais importante, devido as frequentes manutenções nas unidade geradoras, pois o poço é utilizado para drenar a água da sucção, caixa espiral, condutor forçado e túnel, e em caso de falha na vedação de uma das comportas ou falha em uma das válvulas de drenagem, poderá ocorrer o acionamento das duas bombas do poço, e mesmo com as duas bombas em operação o nível do poço continuar subindo, fazendo com que alague a usina, e com o sistema implantado, a equipe de operação conseguiria identificar o ocorrido com antecedência, assim realizando as manobras necessárias para normalização do sistema.

02. De que forma, em questão de operacionalidade, a implantação do projeto poderá agregar valor?

A Hidrelétrica Areia Branca disponibiliza apenas um operador por turno para realizar a operação da usina, com o sistema implantado vejo um avanço importantíssimo na operacionalidade, pois irá facilitar o acompanhamento do nível dos poços de drenagem e esvaziamento pela sala de controle, possibilitando também o acionamento das bombas, evitando que o operador do turno desloque até o local para realizar o comando ou verificar o nível, assim ganhando tempo para realizar outras atividades, e também o monitoramento de outros equipamentos.

03. Qual o tempo necessário para se deslocar ao painel em caso de operação manual do sistema?

Aproximadamente 5 minutos sendo um deslocamento cansativo para realizar com frequência devido ao grande número de escadas, são 110 degraus.

04. Caso o sistema estivesse implantado, quais outras atividades poderiam ser desempenhadas de forma sinérgica e integradas?

Acompanhamento da vazão de cada bomba dos poços, calculando da sala de controle o tempo de esvaziamento de cada bomba, facilitando a identificação de possíveis falhas no sistema.

05. Atribua uma pontuação entre 1 e 5 para as afirmações a seguir:

01. A implantação do projeto facilitará o acompanhamento do comportamento do sistema. (5)

02. Em caso de operação manual, a implantação do projeto reduzirá o tempo de resposta para operação do sistema. (4)

03. A implantação do projeto agregará qualidade operacional como um todo, devido à possibilidade de supervisionar e controlar outros sistemas em um mesmo ambiente. (5)

ENTREVISTA Nº3 - PCH AREIA BRANCA

A. CARACTERIZAÇÃO – DADOS DO ENTREVISTADO E DA EMPRESA

01. Nome: Fábio da Silva Duque.

02. Sexo:

Masculino (X)

Feminino ()

03. Idade: 37 anos.

04. Qual é o cargo / função exercido por você na empresa em que trabalha?

Técnico de Montagem e Manutenção Elétrica.

05. Nome da empresa / organização na qual trabalha:

Energisa Soluções / PCH Areia Branca.

06. Há quanto tempo você trabalha nesta empresa?

5 anos.

07. Qual o seu nível educacional / formação atual?

- 01. Ensino médio / Técnico completo
- 02. Ensino médio / Superior incompleto (parou de estudar)
- 03. Superior incompleto (está estudando)
- 04. Superior completo
- 05. Especialização incompleta (está estudando)
- 06. Especialização completa
- 07. Mestrado incompleto (está estudando)
- 08. Mestrado completo
- 09. Doutorado incompleto (está estudando)
- 10. Doutorado completo (01)

08. Qual é a sua área de formação técnica ou superior?

Técnico em Eletrotécnica.

09. Quantas pessoas fazem parte da sua empresa, considerando a sua pessoa também?

- 01. Uma pessoa (eu mesmo)
- 02. De 2 a 5 pessoas (micro-empresa)
- 03. De 6 a 9 pessoas (micro-empresa)
- 04. De 10 a 24 pessoas (pequena empresa)
- 05. De 25 a 49 pessoas (pequena empresa)
- 06. De 50 a 99 pessoas (média empresa)

07. 100 pessoas ou mais (grande empresa) (07)

B. QUESTIONÁRIO DO PROCESSO DE MELHORIA

01. Em relação à Segurança , de que maneira a implantação do projeto poderá influenciar no seu trabalho?

De uma Maneira simples e segura na qual as leituras podem ser acompanhadas direto do Supervisório.

02. De que forma, em questão de operacionalidade, a implantação do projeto poderá agregar valor?

De uma forma na qual a operação poderá ser controlada e supervisionada de um mesmo ambiente.

03. Qual o tempo necessário para se deslocar ao painel em caso de operação manual do sistema?

Leva no mínimo ums 5 minutos devido a segurança com a descida das escadas.

04. Caso o sistema estivesse implantado, quais outras atividades poderiam ser desempenhadas de forma sinérgica e integradas?

Além do bom desempenho e qualidade de resposta poderia ser implantado um sistema de leitura das correntes e tensão das bombas.

05. Atribua uma pontuação entre 1 e 5 para as afirmações a seguir:

01. A implantação do projeto facilitará o acompanhamento do comportamento do sistema. (5)

02. Em caso de operação manual, a implantação do projeto reduzirá o tempo de resposta para operação do sistema. (4)

03. A implantação do projeto agregará qualidade operacional como um todo, devido à possibilidade de supervisionar e controlar outros sistemas em um mesmo ambiente. (5)

ENTREVISTA Nº4 - PCH AREIA BRANCA

A. CARACTERIZAÇÃO – DADOS DO ENTREVISTADO E DA EMPRESA

01. Nome: Felipe de Carvalho Moraes.

02. Sexo:

Masculino (X)

Feminino ()

03. Idade: 26 anos.**04. Qual é o cargo / função exercido por você na empresa em que trabalha?**

Técnico de Operação de Usina.

05. Nome da empresa / organização na qual trabalha:

Energisa Soluções / PCH Areia Branca.

06. Há quanto tempo você trabalha nesta empresa?

6 anos.

07. Qual o seu nível educacional / formação atual?

01. Ensino médio / Técnico completo

02. Ensino médio / Superior incompleto (parou de estudar)

03. Superior incompleto (está estudando)

04. Superior completo

05. Especialização incompleta (está estudando)

06. Especialização completa

07. Mestrado incompleto (está estudando)

08. Mestrado completo

09. Doutorado incompleto (está estudando)

10. Doutorado completo (03)

08. Qual é a sua área de formação técnica ou superior?

Técnico em Eletromecânica / Cursando 8º Período de Engenharia Elétrica.

09. Quantas pessoas fazem parte da sua empresa, considerando a sua pessoa também?

01. Uma pessoa (eu mesmo)
02. De 2 a 5 pessoas (micro-empresa)
03. De 6 a 9 pessoas (micro-empresa)
04. De 10 a 24 pessoas (pequena empresa)
05. De 25 a 49 pessoas (pequena empresa)
06. De 50 a 99 pessoas (média empresa)
07. 100 pessoas ou mais (grande empresa) (07)

B. QUESTIONÁRIO DO PROCESSO DE MELHORIA

01. Em relação à Segurança , de que maneira a implantação do projeto poderá influenciar no seu trabalho?

A implementação de um sistema de monitoramento automático dos poços de drenagem e esgotamento da PCH Areia Branca proporcionará um eficaz controle deste processo, tendo em vista o monitoramento constante resultado do emprego de sensores, bombas e controladores. O controle de nível automatizado dentro dos patamares operacionais evita o enchimento inadequado e possibilidade de inundação da casa de força, evita também que ocorra a sucção de ar através das bombas de drenagem após o esvaziamento total dos poços. Esta automatização também previne possíveis quedas do operador durante o percurso até o quadro local de comando das bombas.

02. De que forma, em questão de operacionalidade, a implantação do projeto poderá agregar valor?

Com a implementação deste sistema haverá um aumento da confiabilidade operacional deste processo. Com a leitura de informações disponíveis na sala de controle através do supervisor, o operador conseguirá efetuar o monitoramento dos poços constantemente sem sair da sala de controle.

03. Qual o tempo necessário para se deslocar ao painel em caso de operação manual do sistema?

Aproximadamente 4 minutos.

04. Caso o sistema estivesse implantado, quais outras atividades poderiam ser desempenhadas de forma sinérgica e integradas?

Confecção de relatórios, inspeções, monitoramento das UG's, operação dos demais sistemas e equipamentos, execução de manutenções.

05. Atribua uma pontuação entre 1 e 5 para as afirmações a seguir:

01. A implantação do projeto facilitará o acompanhamento do comportamento do sistema. (5)

02. Em caso de operação manual, a implantação do projeto reduzirá o tempo de resposta para operação do sistema. (5)

03. A implantação do projeto agregará qualidade operacional como um todo, devido à possibilidade de supervisionar e controlar outros sistemas em um mesmo ambiente. (4)

ENTREVISTA Nº5 - PCH AREIA BRANCA

A. CARACTERIZAÇÃO – DADOS DO ENTREVISTADO E DA EMPRESA

01. Nome: Rafael Campos da Silva.

02. Sexo:

Masculino (X)

Feminino ()

03. Idade: 33 anos.

04. Qual é o cargo / função exercido por você na empresa em que trabalha?

Coordenador de Usina.

05. Nome da empresa / organização na qual trabalha:

Engie Brasil Energia / PCH Areia Branca.

06. Há quanto tempo você trabalha nesta empresa?

1 ano.

07. Qual o seu nível educacional / formação atual?

01. Ensino médio / Técnico completo
02. Ensino médio / Superior incompleto (parou de estudar)
03. Superior incompleto (está estudando)
04. Superior completo
05. Especialização incompleta (está estudando)
06. Especialização completa
07. Mestrado incompleto (está estudando)
08. Mestrado completo
09. Doutorado incompleto (está estudando)
10. Doutorado completo (03)

08. Qual é a sua área de formação técnica ou superior?

Técnico em Eletromecânica / Cursando 4º Período de Engenharia de Produção.

09. Quantas pessoas fazem parte da sua empresa, considerando a sua pessoa também?

01. Uma pessoa (eu mesmo)
02. De 2 a 5 pessoas (micro-empresa)
03. De 6 a 9 pessoas (micro-empresa)
04. De 10 a 24 pessoas (pequena empresa)
05. De 25 a 49 pessoas (pequena empresa)
06. De 50 a 99 pessoas (média empresa)
07. 100 pessoas ou mais (grande empresa) (07)

B. QUESTIONÁRIO DO PROCESSO DE MELHORIA**01. Em relação à Segurança , de que maneira a implantação do projeto poderá**

influenciar no seu trabalho?

A automatização do sistema dos poços de drenagem e esgotamento da Hidrelétrica Areia Branca será de vital importância para segurança do empreendimento. Com o monitoramento via SDSC sala de controle, o técnico de operação terá total supervisão e controle do sistema, podendo atuar de imediato em caso de falha no sistema, conseguindo evitar danos maiores aos equipamentos da Usina, como uma possível inundação e cuidando para a segurança dos colaboradores que estiverem no local.

02. De que forma, em questão de operacionalidade, a implantação do projeto poderá agregar valor?

O automatismo do sistema de drenagem e esgotamento terá grande valia no empreendimento, com inspeções visuais no SDSC, acompanhando o funcionamento do sistema e alarmes com descrição do defeito ou nível anormal dos poços, com estas indicações o técnico de operação poderá atuar de forma mais ágil e certa, dando uma maior confiabilidade na operação da Usina.

03. Qual o tempo necessário para se deslocar ao painel em caso de operação manual do sistema?

Cerca de 4 minutos, se caminhando com segurança.

04. Caso o sistema estivesse implantado, quais outras atividades poderiam ser desempenhadas de forma sinérgica e integradas?

Com o técnico de operação tendo a supervisão e o controle via SDSC do sistema de drenagem e esgotamento não será necessário o deslocamento do mesmo para efetuar manobras locais, em caso de partida / sincronismo e parada de UG's o técnico não precisa interromper o processo para se deslocar até o painel local do sistema de drenagem e esgotamento.

05. Atribua uma pontuação entre 1 e 5 para as afirmações a seguir:

01. A implantação do projeto facilitará o acompanhamento do comportamento do sistema. (5)

02. Em caso de operação manual, a implantação do projeto reduzirá o tempo de resposta para operação do sistema. (4)

03. A implantação do projeto agregará qualidade operacional como um todo, devido à possibilidade de supervisionar e controlar outros sistemas em um mesmo ambiente. (5)

APÊNDICE B PROGRAMAÇÃO

Código fonte elaborado sob autoria própria no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do Arduino.

```

const int bomba1=19; //Inclui indicacao bomba1
const int bomba2=18; //Inclui indicacao bomba2
int comando=6; //Habilita comando manual das bombas
int comandob1=7; //Comando manual bomba1
int comandob2=10; //Comando manual bomba2
int setPoint=257.00; //Nivel liga bomba1
int setPoint2=258.00; //Nivel liga bomba2
int setPoint3=256.00; //Nivel desliga bomba1 e bomba2
int setPoint4=260.00; //Nivel aciona alarme sonoro
int alarmesonoro=20;
int POT=A0; //Define POT como A0
float Vo = 0.0, Vi = 262.0;
float value_aux = 0, value = 0;

long previousMillis = 0; // Variavel de controle do tempo
long interval = 500; // Tempo em ms do intervalo a ser executado

#include <LiquidCrystal.h> //Inclui a biblioteca do LCD
#include <Modbusino.h> //Inclui a biblioteca de comunicacao Modbus

ModbusinoSlave modbusino_slave(1); //Biblioteca comunicacao Modbus

uint16_t tab_reg[10]; //Define a quantidade de registradores

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); //Configura os pinos do Arduino indicados para se
comunicar com o LCD

void acionamentomanual(){ //Define comandos da Interrupcao

    digitalWrite(comandob1, digitalRead(19));
    digitalWrite(comandob2, digitalRead(18));

}

void setup()
{
    modbusino_slave.setup(9600); //Inicia comunicacao Modbus

    pinMode(bomba1,OUTPUT); //Define bomba1 como saida
    pinMode(bomba2,OUTPUT); //Define bomba2 como saida
    pinMode(alarmesonoro, OUTPUT); //Define alarme sonoro como saida
    pinMode(POT,INPUT); //Define Potenciometro como entrada
    lcd.begin(16, 2); //Inicia o LCD com dimensoes 16x2(Colunas x Linhas)

    attachInterrupt(0, acionamentomanual, RISING); //Aciona a Interrupcao
}

```

```
void loop()
{
  for(int i=1000;i>0;i--){ //Coleta amostras de leitura do Potenciometro
    value_aux = analogRead(POT); //Armazena leitura do Potenciometro em value_aux
    value += pow(value_aux ,2);
    tab_reg[0] = Vo;

  }

  if(Vo>=setPoint & tab_reg[3] == LOW){
    digitalWrite(bomba1,HIGH); //liga bomba1
    tab_reg[3] == comando;
    tab_reg[1] = HIGH;

  }

  if(Vo>setPoint2 & tab_reg[3] == LOW){
    digitalWrite(bomba2,HIGH); //liga bomba2
    tab_reg[3] == comando;
    tab_reg[2] = HIGH;

  }

  if(Vo<=setPoint3 & tab_reg[3] == LOW){
    digitalWrite(bomba1,LOW); //desliga bomba1
    tab_reg[1] = LOW;
    digitalWrite(bomba2,LOW); //desliga bomba2
    tab_reg[2] = LOW;
    digitalWrite(alarmesonoro , LOW);
    tab_reg[6] = LOW;

  }

  if(Vo>=setPoint4 & tab_reg[3] == LOW){
    digitalWrite(alarmesonoro , HIGH);
    tab_reg[6] = HIGH;

  }

  if(tab_reg[3] == HIGH){
    digitalWrite(comando == HIGH); //Leitura do comando manual habilitado
    tab_reg[3] == comando;
    digitalWrite(bomba1,LOW);
    digitalWrite(bomba2,LOW);

  }

  if(tab_reg[4] == HIGH){
    digitalWrite(comandob1 == HIGH); //Leitura do comando manual da bomba1
    tab_reg[4] == comandob1;
    digitalWrite(bomba1,HIGH);

  }

  if(tab_reg[5] == HIGH){
    digitalWrite(comandob2 == HIGH); //Leitura do comando manual da bomba2
    tab_reg[5] == comandob2;
```

```
digitalWrite(bomba2,HIGH);

}

//=====================================================

value = sqrt(value/1000); //Faz a media da coleta das mostras de leitura
Vo = ((value * 262.00 / 1023.0)); //Transforma a leitura da porta analogica na escala
de nivel
if (Vo<0.09) {Vo=0.0;} // Filtrando medicoes erroneas

unsigned long currentMillis = millis(); //Tempo atual em ms

//Logica de verificacao do tempo
if (currentMillis - previousMillis > interval) {
    previousMillis = currentMillis; // Salva o tempo atual
    lcd.begin(16, 2); // Inicia o LCD com dimensoes 16x2(Colunas x Linhas)
}
if (currentMillis - previousMillis < 0) {
    previousMillis = currentMillis;
}

lcd.setCursor(1,0); //Posiciona o cursor na primeira coluna(0) e na primeira linha(0)
do LCD
lcd.print("Nivel do Poco:"); //Imprime no LCD " Nivel do Poco"

lcd.setCursor(5,1);
lcd.print(Vo,2); //lcd.print(nivel); //Imprime o valor do nivel

lcd.print("m"); //Imprime "m" indicando que o nivel esta na esacla de metros

modbusino_slave.loop(tab_reg , 10); //Reinicia a comunicacao dos registradores

}
```