

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE E SENSORIAMENTO DE UMA USINA HIDROELÉTRICA PARA MONITORAMENTO REMOTO

Matheus Dorigatti Xavier dos Santos – mdorigattix@gmail.com

“Orientador” Prof. Dr. Msc. Ricardo Janes – ricardo.janes@mackenzie.br

RESUMO

Com o constante avanço das tecnologias de automação, surgem novas possibilidades e clamor por melhorias em diagnose, segurança, sistema autônomos entre outras coisas. No setor de energia hidrelétrica, a necessidade é a mesma e mais que somente isso, é de suma importância dados os casos de acidentes naturais e humanamente causais. Portanto este trabalho tem o propósito de identificar as grandezas e dados cruciais para o funcionamento de uma usina hidrelétrica, desenvolver o hardware simulado e programação fiel a uma hidrelétrica real, mais especificamente uma PCH (Pequena Central Hidrelétrica) com uma turbina Francis, a qual foi alvo de pesquisa, estudo e até mesmo visita durante o desenvolvimento deste trabalho. Com isto foi possível criar um sistema de partida e parada segura, com intertravamentos de emergência ativos e reativos, possibilidade de manutenção baseada em monitoramento e disponibilização de sinais para uma possível melhoria, sendo ela a possibilidade de um controle e monitoramento remoto via supervisório.

Palavras-chave: Usina Hidrelétrica. Automação. Diagnose para segurança.

DEVELOPMENT OF A SENSING SYSTEM FOR A SCALE HYDROELECTRIC PLANT FOR REMOTE MONITORING

ABSTRACT

Due the constant advance of automation technologies, new possibilities arise and calls for improvements in diagnosis, safety, autonomous systems, among other desires. In the hydroelectric power sector, the need is the same and more than that, it is of big importance given the cases of natural and humanly causal accidents. Therefore, this work has the purpose of identifying the crucial engineering magnitudes and data for the operation of a hydroelectric plant, developing the simulated hardware and programming faithful to a real hydroelectric plant, more specifically a SHPP (Small Hydroelectric Power Plant) in a Francis turbine, which was target of research, study and even visit during the development of this work. With this it was possible to create a safe start and stop system, active and reactive emergency interlocks, possibility of maintenance based on monitoring and

availability of signals for a possible future improvement, making possible the remote control and monitoring via supervisory.

Keywords: Hydroelectric Power Plant. Automation. Diagnosis for safety. Resumo.

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais a sociedade contemporânea se torna dependente da energia elétrica, seja na utilização industrial, como até mesmo para a utilização recreativa. Segundo Simabukulo et al. (2006, p.3) “O desenvolvimento tecnológico, o crescimento industrial e a melhora no padrão de vida em determinada sociedade são acompanhados pela evolução do consumo de energia através do aumento dos recursos energéticos.”

É evidente que o uso da energia elétrica para a sobrevivência do ser humano se tornou algo indispensável, e seus meios de produção têm sido motivos de estudos para um melhor aproveitamento sem grandes impactos socioambientais. Dentre os meios de produção este trabalho irá ter o foco nas usinas hidrelétricas, as quais são detentoras de uma fonte de energia totalmente limpa e renovável, que representa quase 70% do total da produção de energia no Brasil. Em contrapartida a seus benefícios têm os impactos que tais construções geram no espaço onde são inseridas estas grandes obras (DORANTE, 2020).

A ideia de utilizar a água em movimento para gerar energia mecânica ou elétrica é um modelo antigo. Gregos e Romanos utilizavam por exemplo a “roda de água” para girar engrenagens, que seguem o mesmo princípio das turbinas.

Temos também a necessidade de dados facilmente acessíveis e com praticidade e velocidade de visualização cada vez mais, como no caso dos veículos que temos a cada dia que passa, mais sensores e dados do veículo à fácil visualização, como calibragem de pneus, status de lâmpadas queimadas, direção assistida e muito mais. Isso se dá graças ao avanço dos sensoriamentos, e neste trabalho daremos ênfase máxima em CBM (condition based monitoring).

O principal foco deste trabalho é a criação de hardware simulado e software de uma usina hidrelétrica real em escala e simulada, com intertravamentos de segurança, sensoriamento, alarmes, e através de CBM, poder disponibilizar dados para uma possível integração com um sistema supervisor.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste item, serão abordados os aspectos teóricos e técnicos sobre o processo de automação e sensoriamento de usinas hidrelétricas, focando não somente em itens de sensoriamento, mas também utilizando de aspectos “CBM” para criação de intertravamentos, “pirâmide” da automação do nível 1 ao 5, e funcionamento de uma usina hidrelétrica.

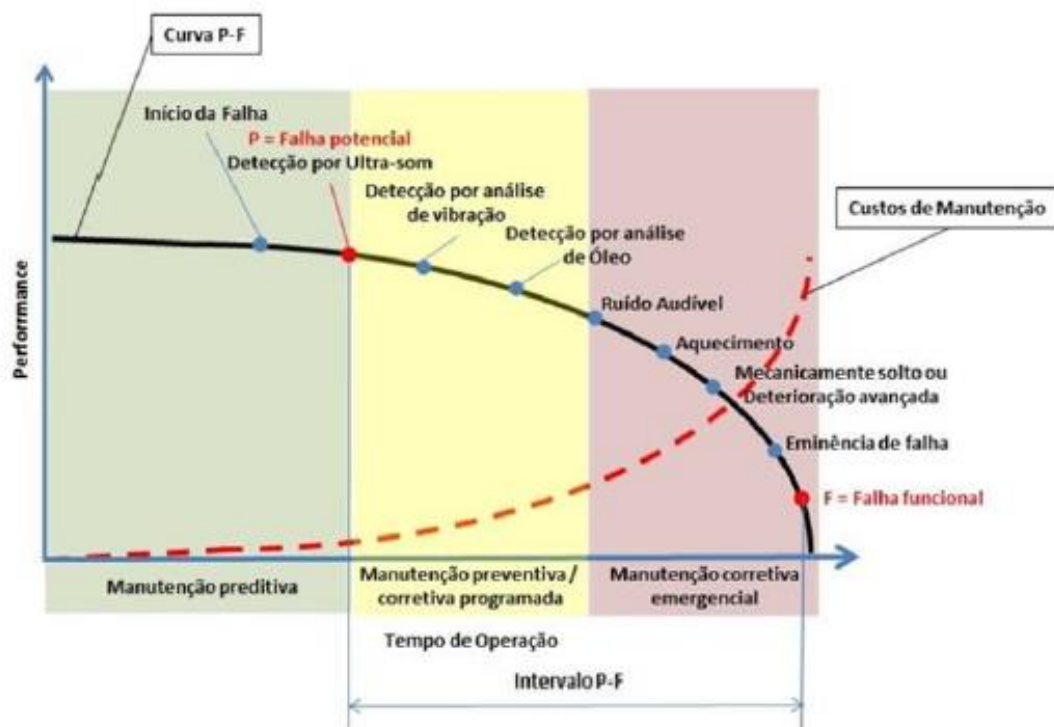
2.1 CBM

A manutenção baseada na condição ou manutenção baseada em monitoramento de condições, também conhecida como manutenção preditiva, visa a atuação de manutenção antes da quebra com dados de monitoramento via sensoriamento do equipamento, com o intuito de maior disponibilidade ao menor custo. Para Cláudia R. C. de Oliveira (2020, p.94),

A obtenção de maior confiabilidade e a otimização dos custos de manutenção, inicialmente vistos antagonicamente, têm sido parceiros e são obtidos através de um processo disciplinado de mudança onde o foco está, resumidamente, em mudar o objetivo da manutenção, de “preservar o equipamento” para “preservar a sua função” e em se executar somente o que e quando se fizer necessário para atingir os resultados esperados.

Manutenção por CBM visa a disponibilidade de equipamento, confiabilidade e segurança. Manutenção essa, que consiste na inspeção e medição (monitoramento) de parâmetros de funcionamento do equipamento como um todo ou à nível componente, através de sensores e sistemas desenvolvidos para esta finalidade. Visando que nenhum ativo é eterno, temos então uma deterioração com o tempo, e através destes equipamentos de campo, é possível acompanhar a evolução de um defeito em uma linha do tempo presente e através da criação de uma curva de tendência também sua linha futura, gerando um plano de manutenção com melhor gestão, aplicando no melhor momento as ações de correção antes de suas falhas. Podemos ver a exemplificação desta curva na imagem abaixo (figura 1).

Figura 1 - Curva P-F - Estratégia de manutenção X custos.



Fonte: REUCP, Petrópolis, volume 14. (2020).

No início da vida do equipamento já é iniciado também o desgaste dos componentes, e juntamente com esses dois itens, é dado início ao monitoramento do equipamento até o ponto de potencial falha do equipamento (Ponto P, Fig.1), onde é realizada a tomada de decisão para manutenção dado o diagnóstico do monitoramento, e gerando então um plano de atuação durante o intervalo P-F (potencial falha), antes de ocorrer realmente a falha (ponto F, fig.1).

Conforme a criticidade do equipamento, ou seja, o seu nível de impacto em uma possível parada durante a operação, é definido o tamanho do intervalo P-F, sendo para os de maior criticidade, o P se aproximando ao início da vida útil do equipamento e antagonicamente o de menor criticidade, se aproximando do ponto de falha. O custo monetário da intervenção e o tempo de duração da intervenção no equipamento são também, parâmetros auxiliares, que são usados para decisão do intervalo P-F mais correto.

Há uma ligação direta entre a intervenção no equipamento e o custo, visto que quanto mais tarde se atua, mais custoso é o reparo ou troca. Mesmo assim com os dados, cálculos e informações do fabricante, nem sempre é fácil ou 100% eficaz a precisão da degradação do equipamento ou seus sistemas, o que gera então a necessidade de inserção de monitoramento adicional.

A necessidade de inserção de CBM é gerada normalmente após a constatação de que os planos de manutenções estratégicos preventivos periódicos não estão sendo eficazes em atingir a

disponibilidade necessária do equipamento, confiabilidade baixa mesmo com os planos ou com conseguindo alcançar os requisitos de produção, porém com custos elevados.

É necessário se avaliar com cuidado a estratégia de implementação da CBM para não elevar os custos ultrapassando o custo normal de manutenção a longo prazo e para que se obtenha êxito nos resultados esperados após o período definido.

2.2 “Pirâmide” da automação

A automação tem aumentado sua complexidade nas últimas décadas, e se aplica em diversas áreas, sendo ampla e exigindo a realização de muitas etapas. Uma associação ao conjunto de funções e etapas é a “pirâmide” da automação que pode ser vista na imagem abaixo (figura 2). Para Moraes e Castrucci (2010, p.13),

Na base da pirâmide está frequentemente envolvido o CLP (controlador lógico programável), atuando via inversores, conversores ou sistemas de partida suave sobre máquinas e motores e outros processos produtivos. No topo da pirâmide, a característica marcante é a informatização ligada ao setor corporativo da empresa.

Figura 2 - Pirâmide da automação



Fonte: Andrade F. (2018)

Segundo Santos (2012), os 5 níveis da pirâmide da automação podem ser descritos e separados como na figura 2, porém devido ao foco do trabalho, resumiremos aos níveis 1 a 3, apresentados à seguir:

2.2.1 NÍVEL 1: DISPOSITIVOS DE CAMPO

O nível 1 é composto basicamente por máquinas, e componentes de planta, como sensores digitais e analógicos, atuadores e equipamentos que executam controle automático distribuído. Este nível é mais comumente conhecido como “chão de fábrica”, que é a base da pirâmide, sendo extremamente necessário para todo o processo da automação. Neste nível possuímos pouca inteligência, predominando apenas o controle local da operação, no geral sendo mais operado e não operador.

Ex.: linhas de montagem ou manufatura.

2.2.2 NÍVEL 2: CONTROLE DE PROCESSOS

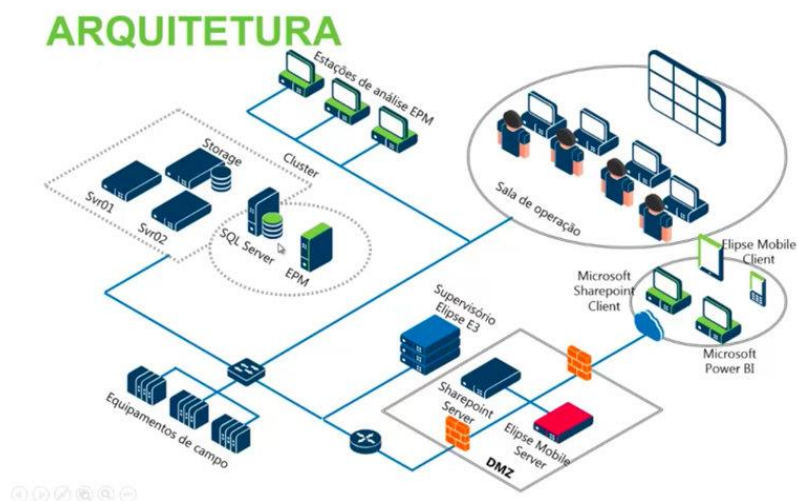
O nível 2 é onde encontramos os controladores digitais, dinâmicos e lógicos, e onde começam a surgir certa inteligência, sendo responsável por controlar a planta e supervisão junto ao processo. Neste nível reúne-se informações do nível 1 e as IHM (Interfaces Homem-Máquina).

Ex.: Controladores Lógicos Programáveis (CLP's), Sistemas Digitais De Controle Distribuídos (SDCD's), Comando Numérico Computadorizado (CNC). Funcionando como a operação básica automática de uma planta industrial.

2.2.3 NÍVEL 3: SUPERVISÃO DE PROCESSOS

O nível 3 é responsável por centralizar a supervisão dos processos da planta industrial. Neste nível temos a utilização de *softwares* supervisórios, localizados em *Control Rooms*, e também conhecidos como *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), que são sistemas usados para monitorar e supervisionar as variáveis e as grandezas físicas rastreadas em um processo produtivo ou instalação. As informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipuladas, analisadas, armazenadas e, posteriormente apresentadas aos operadores de forma amigável através de computadores ou IHM (Interface Homem-Máquina).Fig. 2.

Figura 2 - Arquitetura de supervisão corporativa

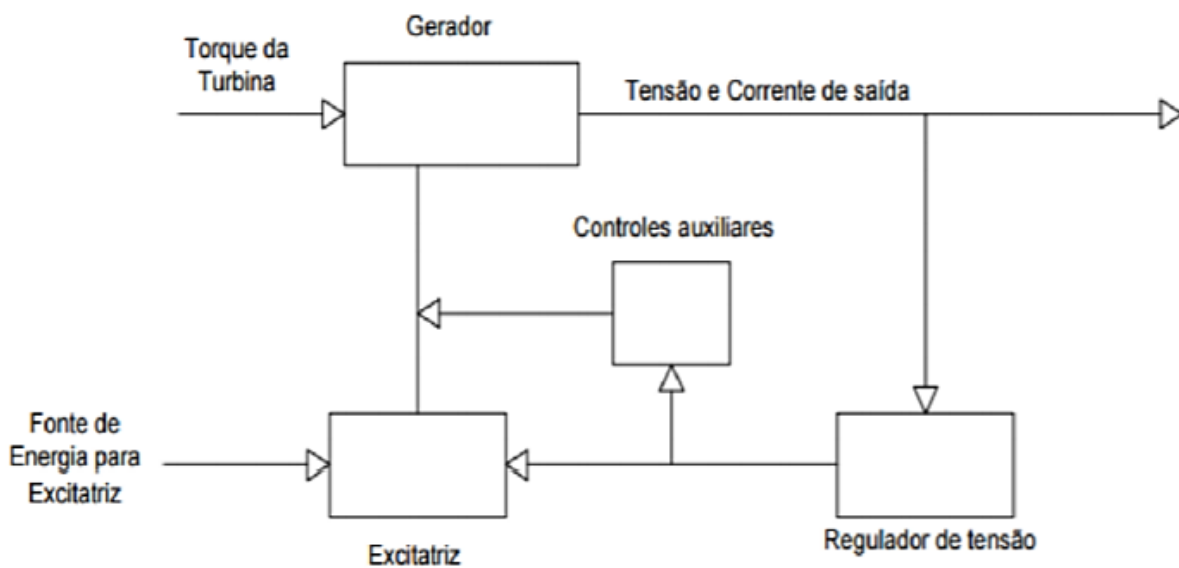


Fonte: Elipse Software (2020)

2.3 Funcionamento de uma usina hidrelétrica

O coração de uma usina hidrelétrica é sua turbina, chamada de máquina síncrona, que são conversores eletromecânicos rotativos que operam em velocidade constante quando em regime permanente senoidal e são utilizados para converter determinadas fontes de energia mecânica e energia elétrica como mostra o fluxograma 1. Com isso o sistema de excitação das máquinas síncronas segundo Soares (2017) tem como objetivo estabelecer a tensão interna do gerador, e por consequência, ele é responsável pela tensão de saída da máquina e pelo fator de potência e magnitude da corrente gerada.

Fluxograma 1 - Componentes do Sistema de Excitação



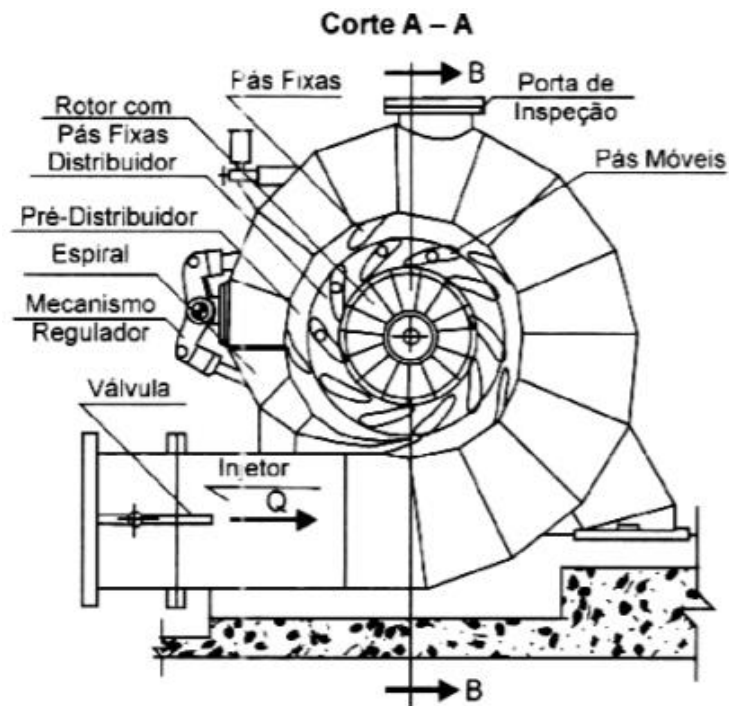
Fonte: Soares (2017)

A energia que chega no rotor mencionado anteriormente, é oriunda de três fontes. A primeira vem dos bancos de baterias que alimentam o rotor pelo eixo, com corrente contínua, dimensionado para auxiliar toda a usina. Este processo denomina-se Serviços auxiliares CC (Corrente Contínua). Caso os bancos de baterias estejam em manutenção a fonte de energia é derivada da própria rede elétrica sincronizada a qual passa pelo transformador abaixador e alimenta o que for necessário na usina, classificado então como Serviços Auxiliares CA (Corrente alternada). Por fim, a terceira opção de fonte é usada para emergências, que é o gerador diesel sendo também de corrente alternada e tem o funcionamento em paralelo com a alimentação da linha.

Sendo assim alimentada por alguma dessas fontes de energia, é sincronizada no sistema e já tem capacidade para se autoalimentar. Diante desses processos, o papel do sistema de excitação é pegar a tensão CA do gerador e notificá-la para CC e devolvê-la aos polos da máquina. Tal evento é dado por uma ponte de retificação que é trifásica e passa por uma ponte de tiristores e torna-se CC, e o disparo da ponte de tiristores é controlado pela excitação (POMILIO, 2014).

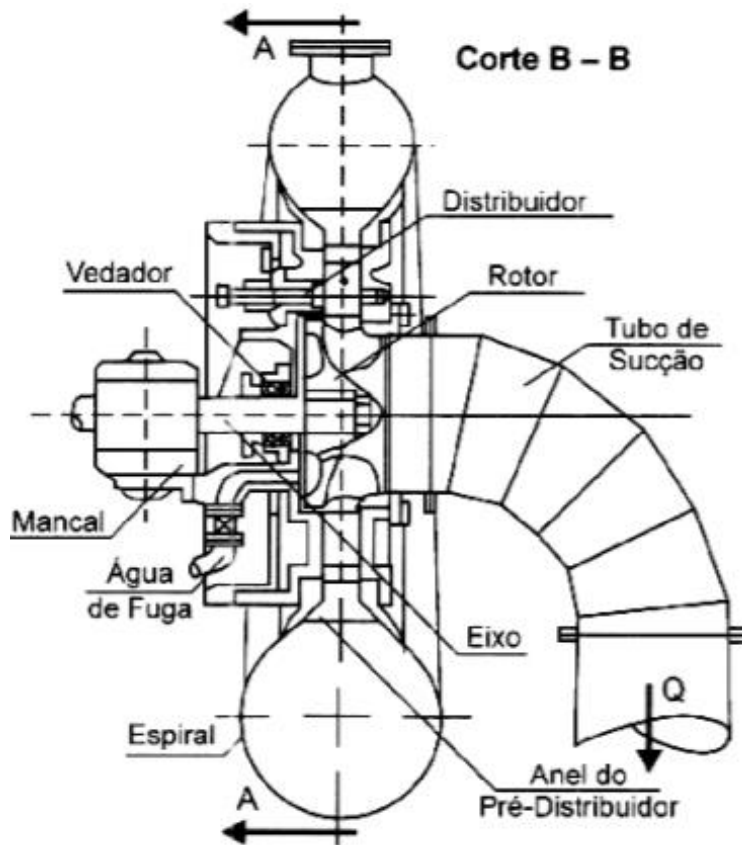
As turbinas hidráulicas utilizadas nas unidades geradoras de energia estudada em questão, é a Francis e é composta por um conjunto de componentes como mostrado nas figuras de corte A-A e B-B abaixo (figuras 3 e 4).

Figura 3 - Representação detalhada do conjunto de componentes da turbina Francis de eixo horizontal corte A-A.



Fonte: Ragney (2020).

Figura 4 - Representação detalhada do conjunto de componentes da turbina Francis de eixo horizontal corte B-B.



Fonte: Ragney (2020).

3 METODOLOGIA

A contribuição de energia elétrica do segmento hidrelétrico é a maior responsável pela geração de energia no Brasil e a automação seja em veículos, dia a dia e ambientes fabris, são o futuro do mundo. Ambos os assuntos podem parecer distantes, mas são diretamente vinculados, devido á automação necessitar obviamente de energia e para melhor, mais segura e mais eficiente geração de energia, precisa-se de automação de alto nível.

Portanto obteve-se o interesse por estudar e pesquisar como automatizar e melhorar o monitoramento dos equipamentos e a qualidade da energia gerada em uma usina hidrelétrica.

Para esta análise, entrou-se em contato com empresas de programação de sistemas lógicos e sistemas supervisórios, e também com a PCH Anhanguera, onde também foi feita uma visita para entender não só teoricamente, mas sim também na prática, participando de paradas de turbina, início de ciclo, checagem de condições para partida, questões de segurança e a programação utilizada.

A turbina escolhida para o estudo e simulação foi a Francis devido ser a mesma utilizada na PCH Anhanguera, a qual além da visita, foi feito um estudo em artigos científicos e informações de fabricantes.

O software de programação foi o Siemens TIA Portal V16, escolhido através de pesquisa de campo onde constatou-se a sua utilização na grande maioria das hidrelétricas e ambientes fabris e para o hardware o PLC escolhido também foi um Siemens pela praticidade.

4 RESULTADOS

Os resultados deste trabalho podem ser separados em 3 partes principais, sendo elas: bancada de teste, painel de potência e comando, programação de software e simulação forçada.

4.1 Bancada de teste

Uma vez que a construção de uma hidroelétrica mesmo que em escala seria inviável devido a custo e tamanho, optou-se pela utilização do desenvolvimento e montagem de uma bancada de testes, responsável por simular não somente os acionamentos de entrada como também de saída através de reles de interface 24VCA conectados ao PLC do painel de potência e comando através de bornes de passagem.

Foi criada uma estrutura simples com um trilho de montagem din, onde foram acoplados os reles como mostrado na figura 5 e feita a passagem de cabos através das canaletas com pentes para organização dos fios.

Figura 5 – Bancada de testes

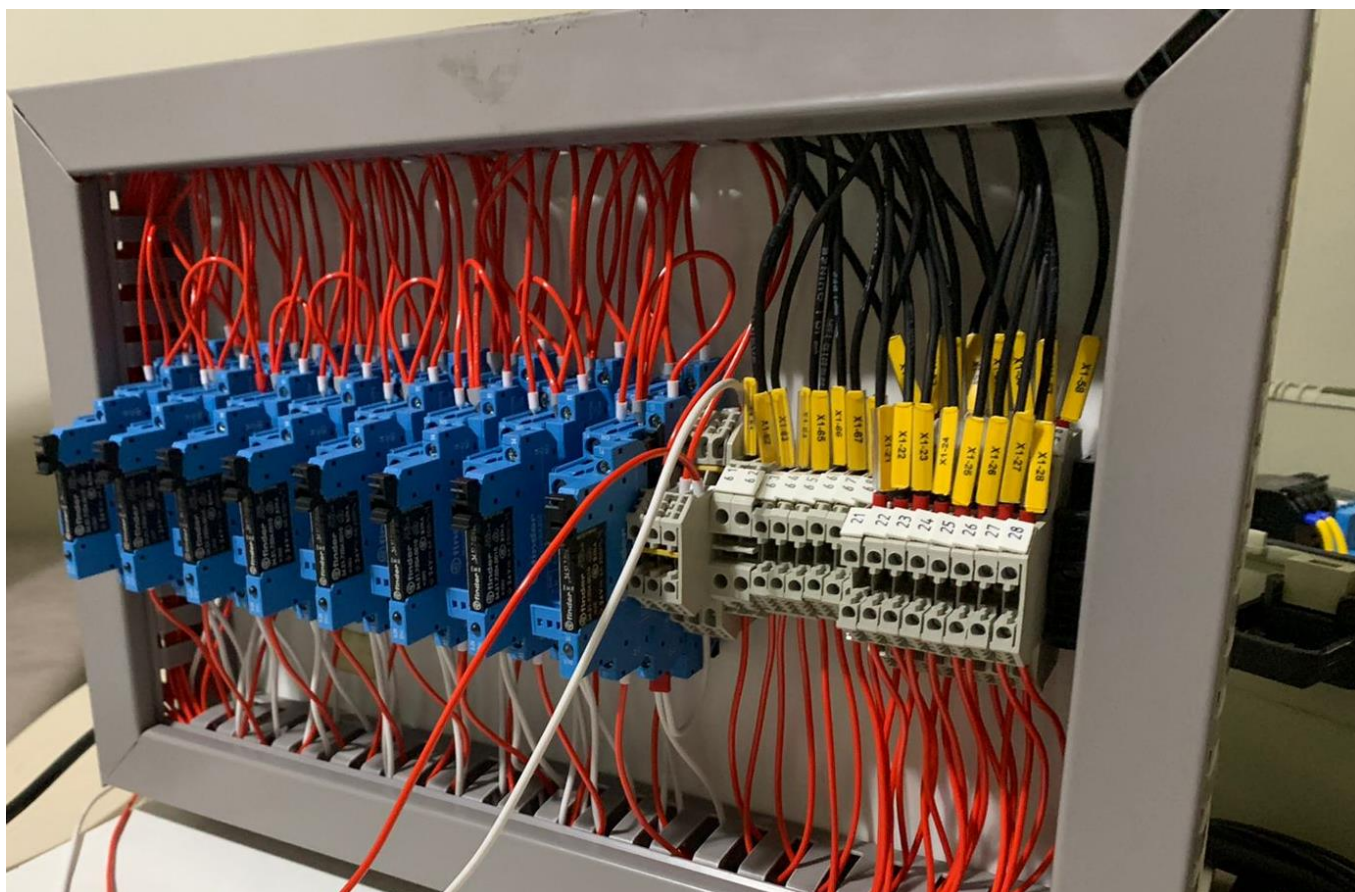


Imagem real do projeto, Matheus Dorigatti.

4.2 Painel de potência e comando

Após muitos estudos e pesquisa sobre qual controlador lógico utilizar, foi definido o uso do mais comum e confiável utilizado em hidroelétricas e ambientes industriais, que é a plataforma de PLC Siemens, mais especificamente escolhido para este projeto o modelo S7 1200, e a partir daí, devido a compatibilidade, utilizou-se cartões de entradas e saídas digitais e analógicas e também módulo para comunicação modbus, ambos Siemens, fonte 24VCC, disjuntor de entrada e disjuntor para distribuição de alimentação com bornes de passagens e relés. (figura 6)

Todos os cabos e hardwares foram inseridos em um painel elétrico simples somente com a modificação de adição de um botão para função de emergência centralizado no lado externo da porta.

Figura 6 – Painel de potência e comando

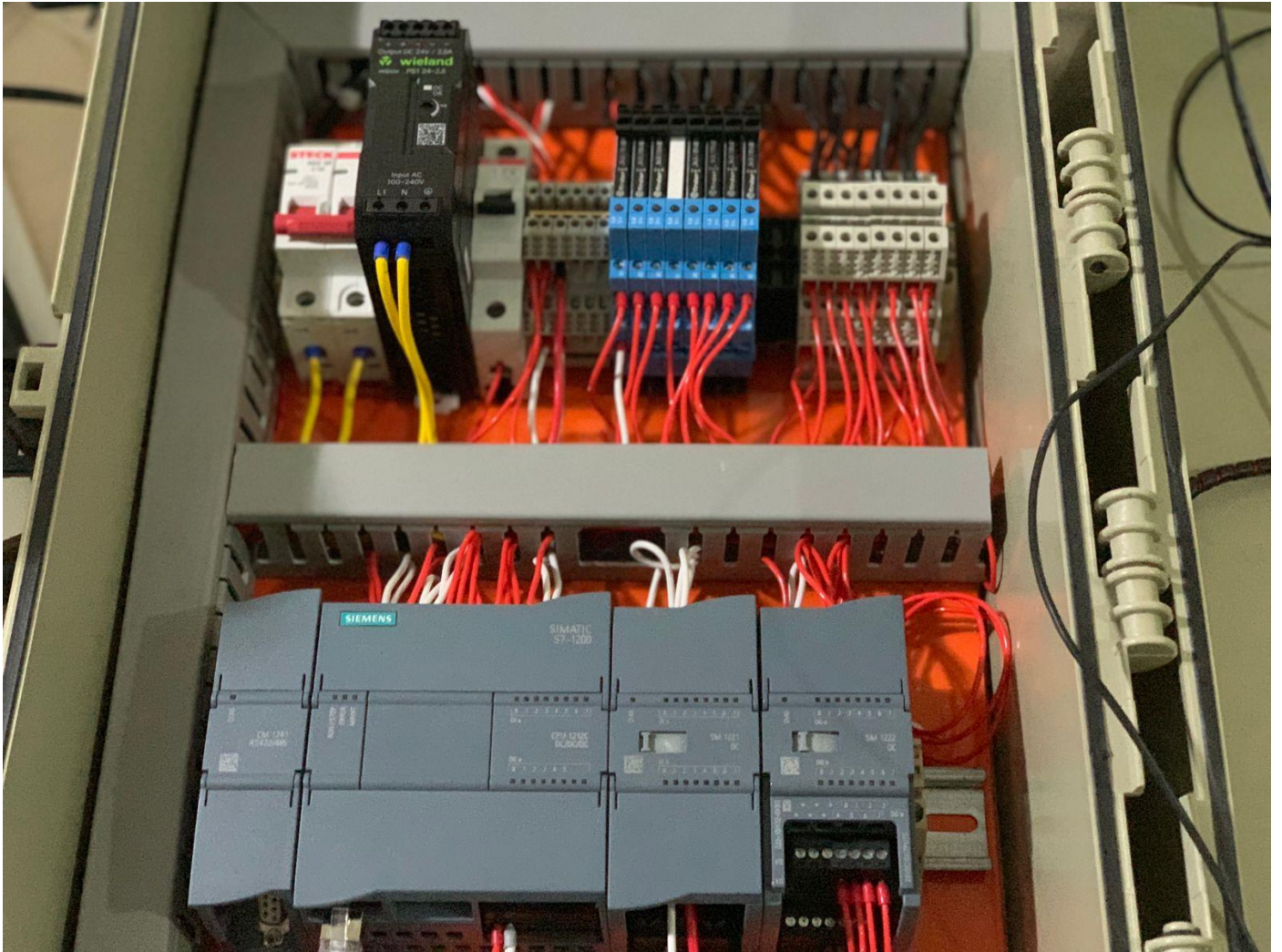


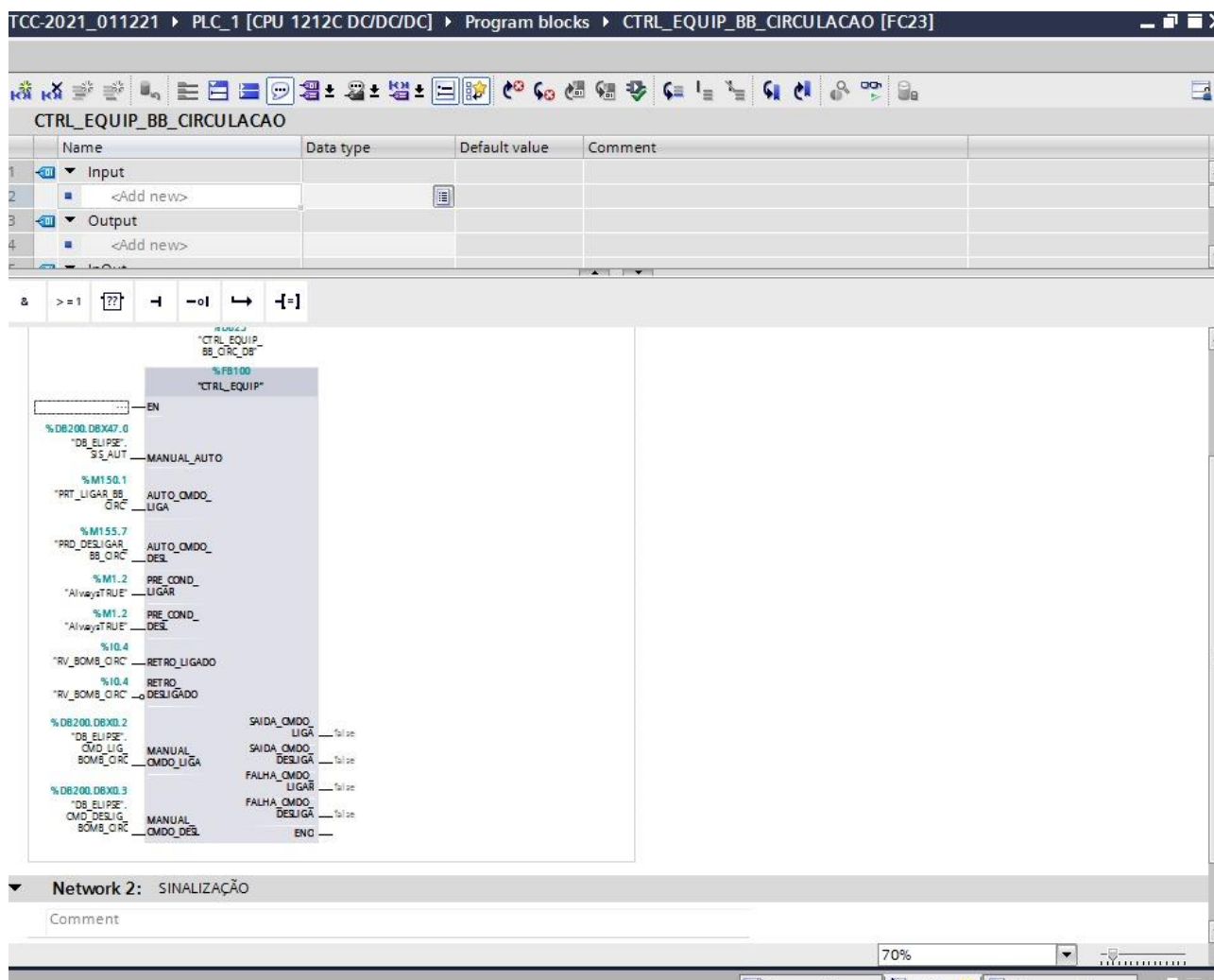
Imagem real do projeto, Matheus Dorigatti.

4.3 Programação de software e simulação forçada

O software para integração dos hardwares e criação da simulação de leitura de dados, entradas e saídas e sinais foi o TIA Portal 16.

Foram adicionados os hardwares no software, configurados os IP's, entradas e saídas utilizadas e iniciada a programação através de linguagem SCL, LADDER e Script onde foram inseridas as condições para partida, parada e funcionamento com seus devidos intertravamentos de segurança (figura 7).

Figura 7 – Pedaco da programação principal



Fonte: autor.

Pensando na parte de segurança, existe também o botão de emergência no painel de comando que tem a função de cortar o funcionamento da turbina, a parando com condições seguras para o equipamento.

A programação contempla um banco de dados com todos os sinais, comandos e entradas e saídas para uma possível integração com supervisor.

5 DISCUSSÃO

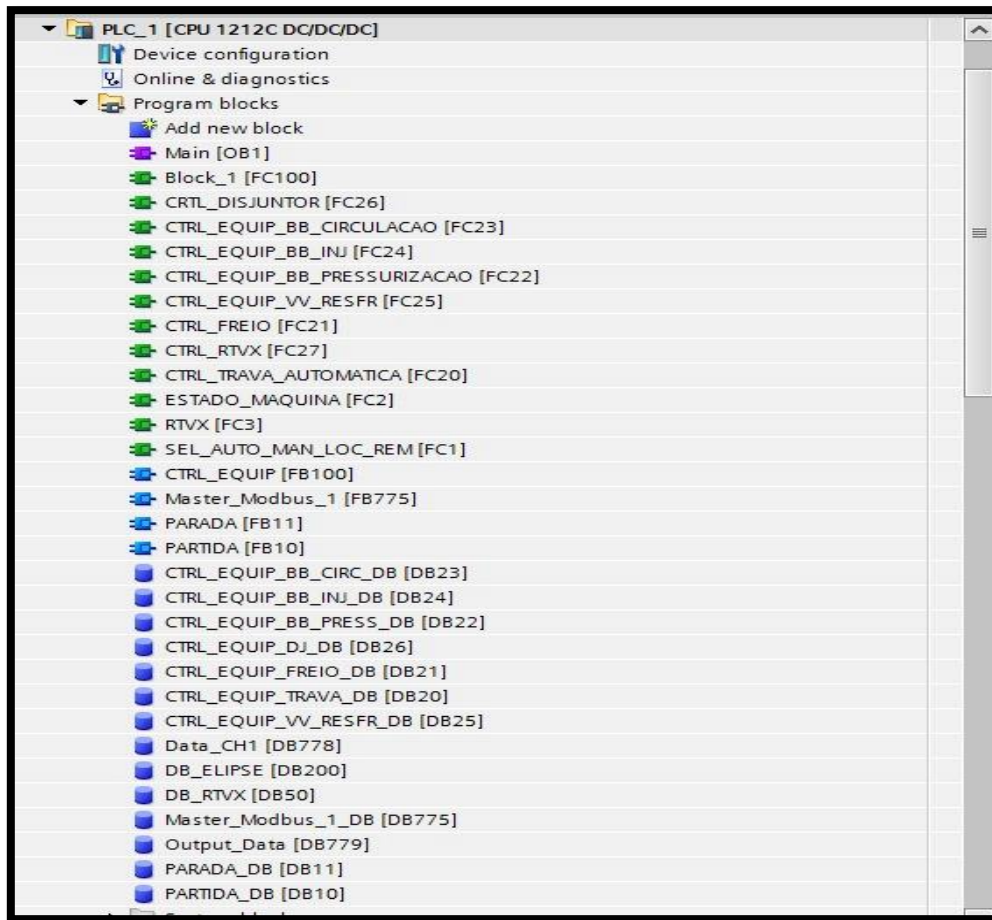
Como explicação e melhor definição, este tópico foi separado em 2 itens, sendo eles a bancada de testes interligada ao painel de potência e comando e programação de software e simulação forçada.

5.1 Bancada de testes interligada ao painel de potência e comando

Foi feito um estudo e desenvolvimento de um esquema elétrico para a montagem de ambas as partes e integração, vide esquema na figura 8, onde mostramos somente a ligação de um dos sinais, já que os demais são somente o mesmo replicados.

os blocos de dados do sistema criado e uma DB apresentada como exemplo nas figura 9 e 10 respectivamente abaixo.

Figura 9 – Blocos da programação



Fonte: autor.

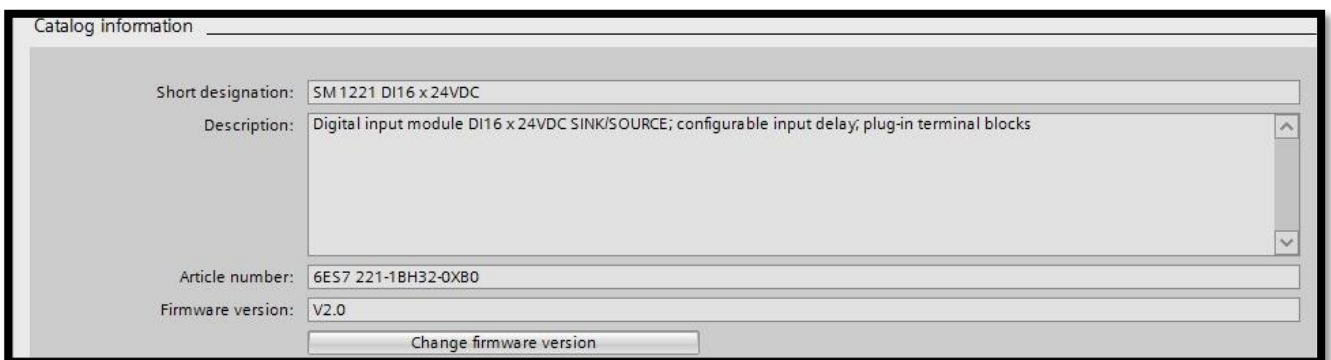
Figura 10 – Trecho das DB's da programação

DB_ELIPSE										
	Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Static									
2	CMD_LIG_BOMB_PRES...	Bool	0.0	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		LIGA BOMBA DE ...
3	CMD_DESLIG_BOMB...	Bool	0.1	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		DESLIGA BOMBA...
4	CMD_LIG_BOMB_CIRC	Bool	0.2	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		LIGA BOMBA DE ...
5	CMD_DESLIG_BOMB...	Bool	0.3	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		DESLIGA BOMBA...
6	CMD_LIG_BOMB_INJ	Bool	0.4	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		LIGA BOMBA DE ...
7	CMD_DESLIG_BOMB_I...	Bool	0.5	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		DESLIGA BOMBA...
8	CMD_LIG_AG_RESF	Bool	0.6	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		LIGA ÁGUA DE R...
9	CMD_DESLIG_AG_RESF	Bool	0.7	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		DESLIGA ÁGUA D...
10	CMD_FREIO_APLIC	Bool	1.0	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		APLICA FREIO
11	CMD_FREIO_DESAPLIC	Bool	1.1	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		DESAPLICA FREIO
12	CMD_TRAVA_APLIC	Bool	1.2	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		APLICA TRAVA A...
13	CMD_TRAVA_DESAPLIC	Bool	1.3	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		DESAPLICA TRAV...
14	CMD_LIG_RV	Bool	1.4	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		LIGA REGULADO...
15	CMD_DESLIG_RV	Bool	1.5	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		DESLIGA REGULA...
16	CMD_LIG_EXCIT	Bool	1.6	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		LIGA EXCITAÇÃO
17	CMD_DESLIG_EXCIT	Bool	1.7	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		DESLIGA EXCITA...
18	CMD_AB_DISJ	Bool	2.0	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		ABRE DISJUNTOR
19	CMD_FCH_DISJ	Bool	2.1	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		FECHA DISJUNTOR
20	CMD_PARTIDA_PROX...	Bool	2.2	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		COMANDO PROX...
21	CMD_PARADA_PROX...	Bool	2.3	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		COMANDO PROX...
22	CMD_SEL_AUTO	Bool	2.4	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		COMANDO SELE...
23	CMD_SEL_MANUAL	Bool	2.5	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		COMANDO SELE...
24	CMD_RESET_PART_PA...	Bool	2.6	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		COMANDO RESE...
25	CMD_SEL_LOCAL	Bool	2.7	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
26	CMD_SEL_REMOTO	Bool	3.0	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
27	CMD_RESERVA	Array[0..16] of Bool	4.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
28	BOMB_PRESS_LIG	Bool	8.0	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		BOMBA DE PRESS...
29	BOMB_PRESS_DESLIG	Bool	8.1	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		BOMBA DE PRESS...
30	BOMB_CIRC_LIG	Bool	8.2	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		BOMBA DE CIRC...
31	BOMB_CIRC_DESLIG	Bool	8.3	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		BOMBA DE CIRC...
32	BOMB_INJ_LIG	Bool	8.4	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		BOMBA DE INJEÇ...

Fonte: autor.

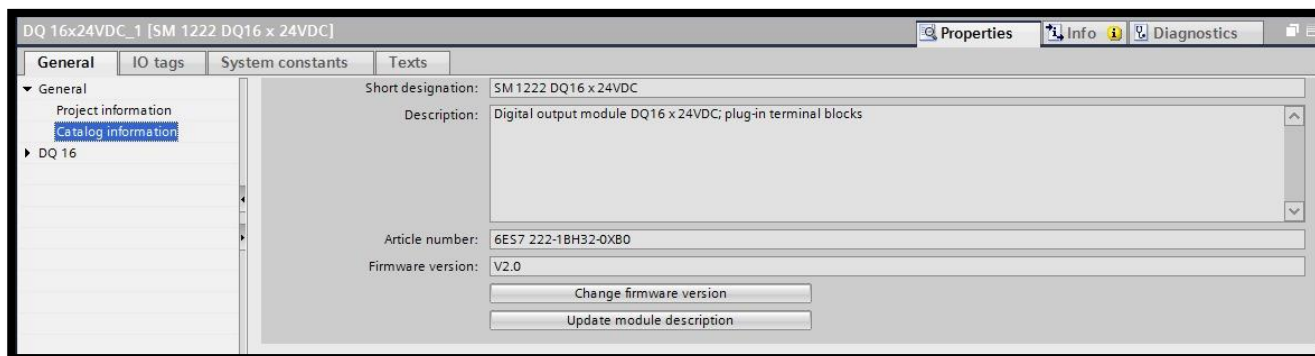
Para os sinais digitais, foi utilizado um cartão de sinais I/O, mostrado na figura 11 e 12 abaixo, e que através da função do software TIA Portal v16 “watch table”, é possível variar os sinais discretos entre “0” e “1”, simulando acionamento de botões e sensores do tipo booleanos, sendo a simulação dos digitais para representar: botão de início de ciclo, parada de ciclo, botão de emergência, relés atuados, iluminação de emergência, acionamento de alarmes, trava da turbina, fluxo de água, geração de energia conectada, rede conectada.

Figura 11 – Cartão Digital de saídas configurado no software TIA Portal



Fonte: autor.

Figura 12 – Cartão Digital de entradas configurado no software TIA Portal

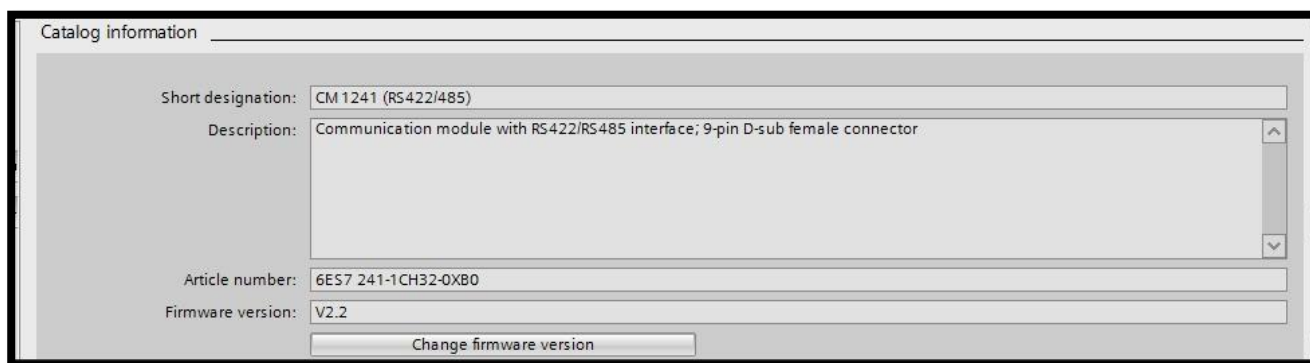


Fonte: autor.

Para os sinais analógicos, foi adicionado ao PLC Siemens S7-1200 um módulo de comunicação do tipo modbus RTU, mostrado na figura 13, que por sua vez foi conectado a um software de emulação de driver modbus RTU, onde é possível enviar dados analógicos para a leitura do PLC não sendo necessário o uso de sensores reais como temperatura, tensão, corrente, entre outros.

Na aplicação, foi utilizado este recurso para simular os sinais que existem em um sistema de usina hidrelétricos, sendo eles: Tensão e corrente da turbina Francis, tensão e corrente gerados, potência ativa, reativa gerada, temperatura do óleo de lubrificação do rotor, temperatura do ambiente, fluxo e vazão de água.

Figura 13– Módulo de comunicação Modbus configurado no software TIA Portal



Fonte: autor.

Todos os sinais simulados tanto via software modbus, quanto pela bancada de testes, apresentam exatamente todas as características reais de um sistema 100% funcional e de tamanho real de uma usina PCH (Pequenas Centrais Hidrelétricas), que é capaz de gerar de 1MW a 30MW, tornando então a simulação mesmo que forçada fidedigna.

Para os parâmetros de funcionamento foram usados os cálculos e dados, níveis de tensão, condições de partida, funcionamento e parada, foram utilizados valores reais aplicados em uma PCH do tipo Francis, vide figura 14, tornando também os valores de geração de energia, rede elétrica, consumo, rotação normal, em vazio e total, e desgastes e principalmente procedimentos de interrupção ou emergência 100% funcionais.

Figura 14 – Módulo de comunicação Modbus

	Tipo de Turbina	Francis Horizontal Simples	
z	Número de Unidades	Qt	2
Hl	Queda Líquida	m	41,28
Q	Vazão Unitária da Turbina	m ³ /s	2,9
N	Potencia Nominal da Turbina	kW	1075
n	Rotação Nominal da Turbina	rpm	720
Ø	Diâmetro do Rotor	mm	709
Ns	Rotação Específica	rpm	262,97
Nq	Vazão Especifica Nominal	rpm	75,29
η	Rendimento da Turbina	m ³ /s (%)	η (%)
		100	91,50%

Fonte: CAUS, Tuane Regina, 2017.

Os dados de Potência e geração, já que simulados, foram extraídos através de fórmulas matemáticas de outras grandezas, como por exemplo corrente, tensão e fluxo de água.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As usinas hidroelétricas são destaque no Brasil sendo responsáveis por 90% de toda a geração, sendo das PCH's 38% deste valor e sendo datadas sem sua maioria com pelo menos 15 anos de funcionamento, o que indica a real necessidade de atualização nos sistemas de atuação, segurança, funcionamento e manutenção.

Foram abordados temas críticos e essenciais ao foco do projeto, sendo eles a programação mais fiel possível a um case real, deixando a parte construtiva e sensores reais e não simulados como não sendo prioridade, já que tratia complexidade física e estrutural, além do elevado custo que traria dados semelhantes aos apresentados neste artigo.

A construção de um sistema para usina e sua programação demandam tempo elevado, e atenção extrema aos detalhes, uma vez que um erro no desenvolvimento de seu software pode levar a não atingir a eficiência máxima possível de uma turbina, a quebra dos elementos principais como seu rotor ou até mesmo, nos piores casos, acidentes ambientais e com risco de morte dos colaboradores da usina e dos locais próximos.

REFERÊNCIAS

ACHEK, Alex F.; SILVA, Fábio César da. Implantação de sistema de gestão ambiental em condomínio empresarial tech town em Campinas – SP. *In: ENVIRONMENTAL AND HEALTH WORLD CONGRESS*, 2006, Santos, Brasil. **Natural Resources for the Health of Future Generations**. Santos, Brasil: COPEC / Cláudio da Rocha Brito e Melany M. Ciampi (Ed.), 2006. Arquivo 39. PDF. 1 CD-ROM.

ALMEIDA, M. P. S. **Fichas para MARC** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por mtmendes@uol.com.br em 12 jan. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15287**: informação e documentação: projeto de pesquisa: apresentação. 1. ed. Rio de Janeiro: ABNT, dez. 2005.

BAGNOLI, Vicente. **O direito da concorrência e sua aplicação na área de livre-comércio das Américas**. 2003. Dissertação (Mestrado em Direito Político e Econômico) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2003.

BARROSO, Marta F.; BEVILAQUA, Diego; FELIPE, Geraldo. **Visualização e interatividade no ensino de física e a produção de aplicativos computacionais**. Trabalho apresentado no XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009, Vitória. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0082-1.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2010.

BRASIL. Medida provisória nº 1.568-9, de 11 de dezembro de 1997. Estabelece multa em operações de importação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 1997. Seção 1, p. 29.514.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade do ar**: informações: poluentes. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp. Acesso em: 27 ago. 2010.

DATUM CONSULTORIA E PROJETOS. **Hotel Porto do Sol São Paulo**: ar condicionado e ventilação mecânica: fluxograma hidráulico, central de água gelada. 15 jul. 1996. Projeto final. Desenhista: Pedro. N. da obra: 1.774/96/Folha 10.

DIAS, Roberto. Avilés se revitaliza com obra de Niemeyer. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 23 ago. 2010. Ilustrada, p. E5.

FOGLIATTI, Maria Cristina; FILIPPO, Sandro; GOUDARD, Beatriz. **Avaliação de impactos ambientais: aplicação aos sistemas de transporte**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

FRAIPONT, Edouard. Amilcar II. **O Estado de S. Paulo**, São Paulo, 30 nov. 1998. Caderno 2, Visuais. p.D2. 1 fotografia. Foto apresentada no Projeto ABRA/Coca-Cola.

HAUN, Gustavo Atallah. A. **Frases-modelo para o início da conclusão**. Disponível em: <http://oblogderedacao.blogspot.com.br/2012/12/frases-modelo-para-o-inicio-da-conclusao.html>. Acesso em: 30/11/2013.

JACOBI, Pedro. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, n. 118, p. 189-205, mar. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cp/n118/16834.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2010.

KOBAIASHI, K. **Doença dos Xavantes**. 1980. 1 fotografia.

MALAGRINO, W. *et al.* **Estudos preliminares sobre os efeitos de baixas concentrações de detergentes aniônicos na formação do bisso em *Branchidontas solisianos***. 1985. Trabalho apresentado ao 13º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Maceió, 1985.

MUSEU DA IMIGRAÇÃO (São Paulo, SP). **Museu da Imigração – S. Paulo**: catálogo. São Paulo, 1997.

ROMANO, G. Imagens da juventude na era moderna. *In*: LEVI, G.; SCHMIDT, J. (Org.). **História dos jovens 2**: a época contemporânea. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. p. 7-16.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Coordenadoria de Planejamento Ambiental. **Estudo de impacto ambiental – EIA, Relatório de impacto ambiental – RIMA**: manual de orientação. São Paulo, 1989. (Série Manuais).

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 42.822, de 20 de janeiro de 1998. **Lex**: coletânea de legislação e jurisprudência, São Paulo, v.62. n.3, p. 217-220, 1998.

SILVA, M. M. L. Crimes da era digital. **Net**, Rio de janeiro, nov. 1988. Seção Ponto de Vista. Disponível em: <http://www.brazilnet.com.br/contexts/brasilrevistas.htm>. Acesso em: 28 nov. 1998.

SOUZA, Douglas. **Concreto armado**. Trabalho apresentado no 3º Congresso de Engenharia, Recife, 2008. Apresentação Power point.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Biblioteca Central. **Normas.doc**. Curitiba, 1998. 5 disquetes.

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE. **Apresentação de trabalhos acadêmicos: guia para alunos da Universidade Presbiteriana Mackenzie**. 3. ed. São Paulo: Ed. Mackenzie, 2004.

VIEIRA, C. L.; LOPES, M. A queda do cometa. **Neo Interativa**, Rio de janeiro, n.2, inverno 1994. 1 CD-ROM.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos vão primeiro a Deus que trouxe sabedoria e possibilitou o encontro de pessoas incríveis que fizeram com que eu chegasse até aqui. Agradeço também as meus pais Marcos Xavier e principalmente minha mãe, Rosa Dorigatti que infelizmente faleceu durante a minha trajetória deste curso e que não pode ver a minha conclusão, porém é com grande alegria que finalizo este ciclo lembrando todo o carinho e esforços realizados por ambos para que minha formação fosse possível. Agradeço também a Universidade Presbiteriana Mackenzie e todo seu corpo de colaboradores que me acolheram e que junto a meus amigos, se tornou minha segunda família. E Por fim, agradeço à todos os amigos que direta e/ou indiretamente fizeram parte.