

MÁRIO BERTT DE ARRUDA RAMOS

PROPOSTA DE PLANTA DIDÁTICA MULTIPROCESSO E MULTITAREFA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia de São
Carlos, da Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase
em Sistemas de Energia e Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr. Dennis Brandão

São Carlos
2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

R175p

Ramos, Mário Bertt de Arruda
Proposta de planta didática multiprocesso e
multitarefa / Mário Bertt de Arruda Ramos; orientador
Dennis Brandão. São Carlos, 2013.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2013.

1. Planta didática. 2. Multiprocessos. 3.
Multitarefa. 4. Redes de campo. 5. Controle de
processos. 6. Modelagem 3D. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Mário Bertt de Arruda Ramos

Título: "Proposta de planta didática multiprocesso e multitarefa"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 18 / 11 / 2013,
com NOTA 8,2 (ots , dom), pela Comissão Julgadora:

Prof. Associado Dennis Brandão - (Orientador - SEL/EESC/USP)

Prof. Assistente Edson Gesualdo - (SEL/EESC/USP)

Prof. Dr. Manoel Luís de Aguiar - (SEL/EESC/USP)

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Homero Schiabel

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me apoiaram e me incentivaram durante todo o percurso dessa longa jornada.

SUMÁRIO

Lista de figuras	VII
Lista de siglas	IX
Resumo	XI
Abstract	XII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Plantas didáticas.....	1
1.2. Motivação	1
1.3. Objetivos.....	2
2. TEORIA APLICADA.....	3
2.1. Controle	3
2.1.1. Variáveis de processo.....	3
2.1.1.1. Variável controlada.....	3
2.1.1.2. Meio controlado.....	4
2.1.1.3. Variável manipulada (MV).....	4
2.1.1.4. Agente de controle	4
2.1.2. Malhas de controle	5
2.1.2.1. Malha aberta	5
2.1.2.2. Malha fechada.....	5
2.2. Tipos de Controle	6
2.3. Tecnologias de redes de campo (<i>Fieldbus</i>)	9
2.3.1. PROFIBUS.....	10
2.3.2. Foundation Fieldbus (FF).....	12
2.3.3. HART	14
3. PROJETO	16
3.1. Concepção.....	16

3.2. Diagrama P&ID	17
3.3. Características construtivas	18
3.3.1. Descrição de componentes mecânicos	19
3.3.2. Descrição de componentes elétricos	27
3.3.3. Dimensionamento dos componentes elétricos	38
3.3.3.1. Acionamento:.....	38
3.3.3.2. Proteção	39
3.3.4. Estrutura completa.....	39
3.4. Topologia das redes propostas.....	45
3.4.1. Rede PROFIBUS.....	45
3.4.2. Rede Foundation Fieldbus.....	46
3.4.3. Rede HART.....	46
 4. PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO E FUNCIONALIDADES	47
4.1. Proposta didática para malha de nível.	47
4.2. Proposta didática para malha de temperatura.	48
4.3. Proposta didática para malha de controle de fluxo.	48
4.4. Proposta didática para automação da planta	49
 5. CONCLUSÃO	50
 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	51
 7. BIBLIOGRAFIA	52
 Apêndice A: DIAGRAMA P&ID	54
Apêndice B: LISTA COMPLETA DE COMPONENTES.	55
Apêndice C: DIAGRAMA ELÉTRICO DO PAINEL.....	57
Apêndice D: DIAGRAMA BINÁRIO DE SEGURANÇA.	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de sistema de aquecimento.	4
Figura 2: Diagrama de blocos de uma malha aberta.	5
Figura 3: Exemplo de controle de processo em malha fechada.	6
Figura 4: Diagrama de blocos - controle antecipatório.	8
Figura 5: Diagrama de blocos - malha em cascata.	9
Figura 6: Camadas do sistema OSI.	10
Figura 7: Exemplo de topologia de rede PROFIBUS.	12
Figura 8: Chaveamento por deslocamento de frequência (FSK).	15
Figura 9: Os dois canais de comunicação da tecnologia HART.	15
Figura 10: Representação do perfil de alumínio.	20
Figura 11: Representação do conector rápido para perfis.	20
Figura 12: Modelo 3D do rodízio giratório 100 mm.	21
Figura 13: Modelo 3D da canaleta (Hellerman).	21
Figura 14: União soldável de 1/2" (Amanco).	22
Figura 15: Modelo 3D das mangueiras de conexão do radiador e eletrobomba.	22
Figura 16: Modelo 3D da válvula solenoide.	23
Figura 17: Modelo 3D da válvula manual e sensor; (a) Aberta (b) Fechada.	24
Figura 18: Modelo 3D da caixa d'água 100 litros (Fortlev).	24
Figura 19: Dimensões do tanque de mistura (cm).	25
Figura 20: Foto da caldeira.	26
Figura 21: Modelo 3D da estrutura de proteção da caldeira.	26
Figura 22: Modelo 3D do radiador.	27
Figura 23: Modelo 3D do transmissor de pressão PROFIBUS-PA (Smar).	27
Figura 24: Modelo 3D transmissor volumétrico HART. (Metroval).	28
Figura 25: Sensor e transmissor de temperatura FF (Rosemount).	29
Figura 26: Modelo 3D do conversor FF para 4-20mA (Smar).	29
Figura 27: Inversor de frequência CFW08 (Weg).	30
Figura 28: Modelo 3D da bomba d'água (Ferrari).	31
Figura 29: Modelo 3D da chave boia (Margirius).	31
Figura 30: Modelo 3D da eletrobomba (Emicol).	32
Figura 31: Mini ventilador 1/40 (Elgin).	32

Figura 32: CLP Citrino com tecnologia HART (Fertron).	33
Figura 33: CLP DF51 com módulos FF (Smar).	33
Figura 34: CLP S7-1200, CPU e módulo mestre PROFIBUS-DP (Siemens®).	34
Figura 35: CLP S7-1200, CPU e módulo de expansão (Siemens®).	34
Figura 36: Acoplador de segmento DP-PA (Pepperl Fuchs®).	35
Figura 37: Modelo 3D – Vista dos prensa cabos na parte inferior do painel.	36
Figura 38: Modelo do painel elétrico e seus equipamentos (Cemar Legrand®).	37
Figura 39: Modelo 3D da estrutura de perfis (dimensões em cm).	40
Figura 40: Plano de corte dos perfis.	40
Figura 41: Modelo 3D da planta montada (vista frontal).	41
Figura 42: Modelo 3D da planta montada; (a) lateral esquerda, (b) lateral direita.	41
Figura 43: Modelo 3D da planta montada (vista superior).	42
Figura 44: Modelo 3D da planta montada (perspectiva frontal).	42
Figura 45: Modelo 3D da planta montada (perspectiva posterior A).	43
Figura 46: Modelo 3D da planta montada (perspectiva posterior B).	44
Figura 47: Topologia proposta para a rede PROFIBUS.	45
Figura 48: Topologia proposta para a rede FF.	46
Figura 49: Topologia proposta para a rede HART.	46

LISTA DE SIGLAS

3D	Três Dimensões
AC	<i>Alternating current</i>
Bps	Bits por segundo
BSP	<i>British Standard Pipe</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CV	Cavalo Vapor
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EN	Normas Europeias Harmonizadas
FF	<i>Foundation Fieldbus</i>
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
HART	<i>Highway Addressable Remote Transducer</i>
HCF	<i>HART Communication Foundation</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
ISA	<i>International Society of Automation</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
Kbit/s	Mil bits por segundo
KW	Mil <i>watts</i>
LAS	<i>Link Active Schedule</i>
l/min.	Litros por minuto
MAC	<i>Medium Access Control</i>
Mbit/s	Um milhão de bits por segundo
MV	<i>Manipulate value</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
P&ID	<i>Piping and instrumentation diagram</i>
PFD	<i>Process Flow Diagram</i>
pH	<i>Potencial Hidrogeniônico</i>
PID	Proporcional Integral Diferencial

PROFIBUS	<i>Process Field Bus</i>
PROFIBUS-DP	<i>Process Field Bus - Decentralized Peripherals</i>
PROFIBUS-FMS	<i>Process Field Bus - Fieldbus Message Specification</i>
PROFIBUS-PA	<i>Process Field Bus - Process Automation</i>
PV	Process Value
PVC	<i>Polyvinyl Chloride</i>
RTD	<i>Resistance Temperature Detector</i>
SEL	Departamento de Engenharia Elétrica e Computação
SP	<i>Set Point</i>
USP	Universidade de São Paulo
VA	Volt-ampère

RESUMO

Este trabalho apresenta a proposta de construção de uma planta didática a ser implantada no laboratório de ensino deste Departamento para servir de ferramenta no ensino da disciplina SEL0431 - “Laboratório de controle de processos industriais”. A proposta foi elaborada de tal maneira que a planta contenha três tipos diferentes de malha de controle, são elas: controle de temperatura, controle de nível e controle de fluxo. Cada malha de controle usará um protocolo de comunicação industrial diferente, proporcionando ao aluno um conhecimento abrangente da área. Os três protocolos selecionados foram: PROFIBUS, FOUNDATION FIELDBUS e HART. A proposta também prevê a capacidade da planta proporcionar o ensaio para até quatro grupos de estudo ao mesmo tempo, por essa razão a planta é designada como multitarefa. Outro atributo buscado foi o custo. O projeto construtivo foi elaborado usando a técnica de modelagem 3D via *software*, possibilitando assim a visualização integral da estrutura completa. Conclui-se esse trabalho com a apresentação da proposta completa atendendo aos requisitos iniciais incluindo, modelos 3D do conjunto, diagrama de processo, lista de materiais, diagramas elétricos e diagramas de segurança. Durante o desenvolvimento foi possível verificar a enorme importância dos *softwares* de modelagem 3D, permitindo um projeto mais preciso, dessa maneira diminuindo os imprevistos na construção.

Palavras-Chave: Planta didática, multiprocessos, multitarefa, redes de campo, controle de processos, modelagem 3D.

ABSTRACT

This work presents a proposal to build a didactic plant to be implemented in the teaching laboratory of this department to serve as a tool in teaching the discipline SEL0431 - "Laboratory of industrial process control." The proposal was developed in such a way that the plant contains three different types of control loop, they are: temperature control, level control and flow control. Each control loop will use a different industrial communication protocol, providing the student with a comprehensive knowledge of the area. The three protocols that were selected are: PROFIBUS, FOUNDATION FIELDBUS and HART. Moreover, the proposal provides the ability of the plant to provide the test with four study groups at the same time for this reason the plant is designated as multi-tasking. Another attribute sought was the cost. The construction project was prepared using the technique of 3D modeling via *software*, allowing full visualization of the complete structure. It is concluded this work with a presentation of the full proposal meeting the initial requirements including 3D models of the assembled set, process diagram, materials list, electrical diagrams and safety diagrams. During development it was possible to see the huge importance of 3D modeling *software*, allowing for a more accurate design, thus reducing the unforeseen construction.

Key words: Didactic Plant, multiprocessors', multitask, fieldbuses, process control, 3D modeling.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Plantas didáticas

No ensino de modo geral, o aprendizado prático é um grande aliado na fixação e compreensão de determinado assunto. Ao realizar determinada atividade na prática, o estudante é capaz de fixar com maior rapidez o assunto em questão.

Nos cursos de engenharia de um modo geral os aspectos teóricos são trabalhados de forma completa enquanto a prática em instrumentos reais muitas vezes dá lugar às simulações, mais especificamente na engenharia elétrica, na área de controle de processos, o uso de plantas didáticas possibilita aos estudantes se familiarizarem com redes industriais, comunicação e controle de processos na prática. [1]

Uma planta didática tem por objetivo simular em laboratório o comportamento de processos comuns nos mais diversos ramos industriais, como por exemplo: químico, papel e celulose, mineração, farmacêutico, açúcar e álcool, alimentício, petróleo, e outros.

A planta didática disponibiliza o processo de controle e supervisão em um sistema compacto e ao mesmo tempo fiel à realidade da automação industrial, proporcionando ao aluno uma visão realista dos problemas enfrentados no dia-a-dia de um engenheiro que atue nessa área.

No Brasil a comercialização de plantas em larga escala se resume ao fabricante Smar. Cada vez mais presentes nesse cenário, são os projetos de pesquisa dentro das faculdades, onde os próprios professores e alunos desenvolvem suas plantas didáticas, da mesma maneira como esse trabalho propõe-se a fazer.

1.2. Motivação

Cada vez mais o Brasil sente a carência de mão de obra qualificada, fazendo com que a demanda por especialização seja crescente. Levando em conta os benefícios do ensino prático, a planta didática torna-se um importante recurso acadêmico na área de redes industriais e controle de processos.

Uma vez que a aquisição de plantas comerciais é excessivamente dispendiosa e conciliando esse fato com a oportunidade de aperfeiçoamento da infraestrutura do laboratório do Departamento é que surgiu a iniciativa desta proposta.

1.3. Objetivos

O objetivo desse trabalho é montar uma proposta de construção de uma planta didática com três processos distintos e com múltiplas redes de campo utilizando diferentes protocolos de comunicação. Além dessas características, propõe-se o uso simultâneo pelos alunos, tornando a planta também multitarefa.

Esse objetivo foi traçado, tendo em vista a falta de plantas com essas características no mercado e a possibilidade de se trabalhar com um maior número de alunos apenas com um único equipamento.

Pressupõe-se a posterior execução dessa proposta e introdução da planta no laboratório do Departamento onde a planta será utilizada como apoio nas aulas da disciplina SEL0431 - “Laboratório de controle de processos industriais” ministradas no Departamento de Engenharia elétrica da EESC-USP.

Nesse trabalho será apresentada a lista de equipamentos, a função de cada um na planta, as imagens dos modelos 3D de cada componente, o diagrama de tubulação e instrumentação, o dimensionamento dos componentes, o diagrama elétrico do painel, as topologias de redes definidas, as propostas de funcionamento da planta, as imagens da estrutura proposta completamente montada em 3D e o diagrama lógico de segurança.

2. TEORIA APLICADA

2.1. Controle

A teoria de controle dentro da engenharia e da matemática trata do comportamento de sistemas dinâmicos. A saída desejada de um sistema é chamada de referência. Quando uma ou mais variáveis de saída necessitam seguir certa referência ao longo do tempo, um controlador manipula as entradas do sistema para obter o efeito desejado nas saídas. A seguir, serão elencados alguns termos relacionados à teoria de controle na engenharia.

2.1.1. Variáveis de processo

Geralmente, existem várias condições internas e externas que afetam o desempenho de um processo. Estas condições são denominadas de variáveis de processo, são elas: temperatura, pressão, nível, vazão, volume, pH, etc. O processo pode ser controlado medindo-se a variável que representa o estado desejado e ajustando automaticamente as demais, de maneira a se conseguir um valor desejado para a variável controlada. As variáveis ambientais devem sempre ser incluídas na relação de variáveis do processo.

2.1.1.1. Variável controlada

É também denominada de variável de processo (PV). Indica mais diretamente a forma ou o estado desejado do produto controlado. Considere, por exemplo, um sistema de aquecimento mostrado na figura 1. Supondo que a finalidade do sistema é fornecer uma determinada vazão de fluido aquecida, a variável mais indicativa deste objetivo é a temperatura do fluido de saída do aquecedor, que deve ser então a variável controlada.

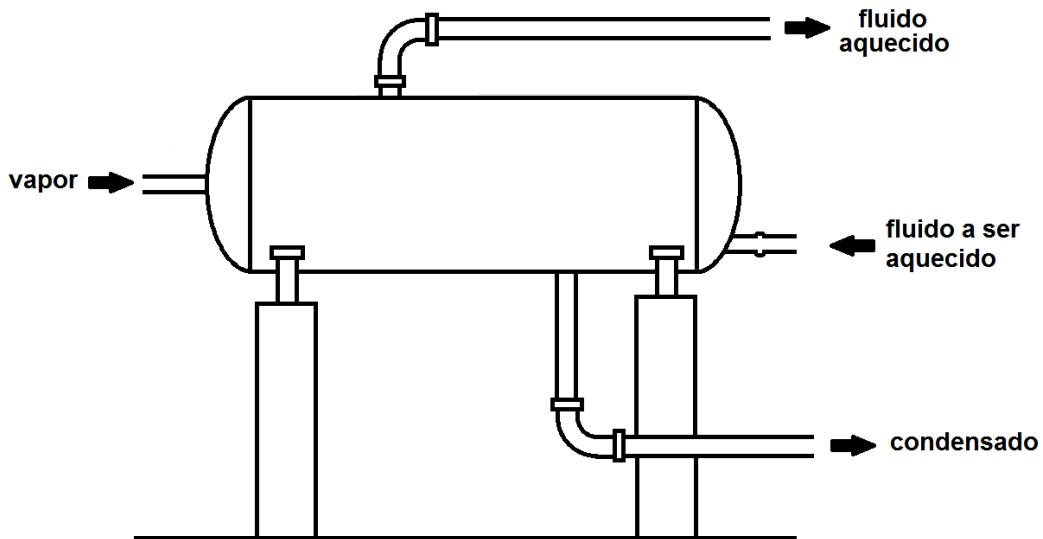


Figura 1: Exemplo de sistema de aquecimento.

2.1.1.2. Meio controlado

É a energia ou material no qual a variável é controlada. No processo anterior, o meio controlado é o fluido na saída do processo, e a variável controlada a temperatura do fluido.

2.1.1.3. Variável manipulada (MV)

É aquela sobre a qual o controlador atua, no sentido de mantê-la no valor desejado. A variável manipulada pode ser qualquer variável que cause uma variação rápida na variável controlada do processo.

2.1.1.4. Agente de controle

É a energia ou material do processo usado para controlar o sistema. Enquanto a variável manipulada corresponde a uma condição ou característica do agente de controle. No exemplo acima, o agente de controle é o vapor e a variável manipulada é a vazão do vapor.

2.1.2. Malhas de controle

Quando se fala em regulação ou controle, deve-se necessariamente subentender uma medição de uma variável qualquer do processo, isto é, a informação que o regulador recebe para tomar suas decisões. Recebida esta informação, o sistema regulador compara com um valor preestabelecido denominado *set point (SP)*, verifica-se a diferença entre ambos e age-se de maneira a diminuir a diferença entre a medida e o *set point*, denominando-se malha de controle. As malhas de controle podem ser do tipo aberta ou fechada.

2.1.2.1. Malha aberta

Na malha aberta, a informação sobre a variável controlada não é usada para ajustar qualquer entrada do sistema. Esse tipo de malha não é usualmente utilizado no controle de processos industriais. Na figura 2 é mostrado o diagrama de blocos de uma malha aberta.

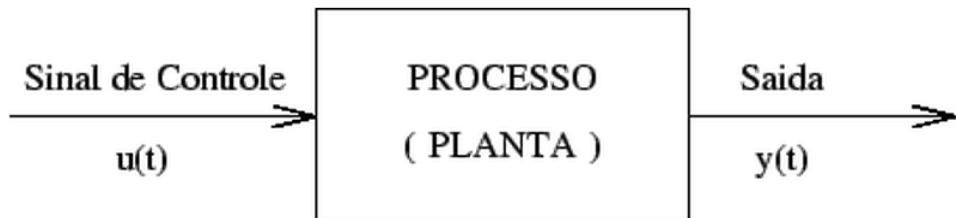


Figura 2: Diagrama de blocos de uma malha aberta.

2.1.2.2. Malha fechada

Por outro lado, na malha fechada, a informação sobre a variável controlada, com a respectiva comparação com o valor desejado (SP), é usada para manipular uma ou mais variáveis do processo. Na figura 3, temos o exemplo do controle em malha fechada de nível de líquido em um tanque.

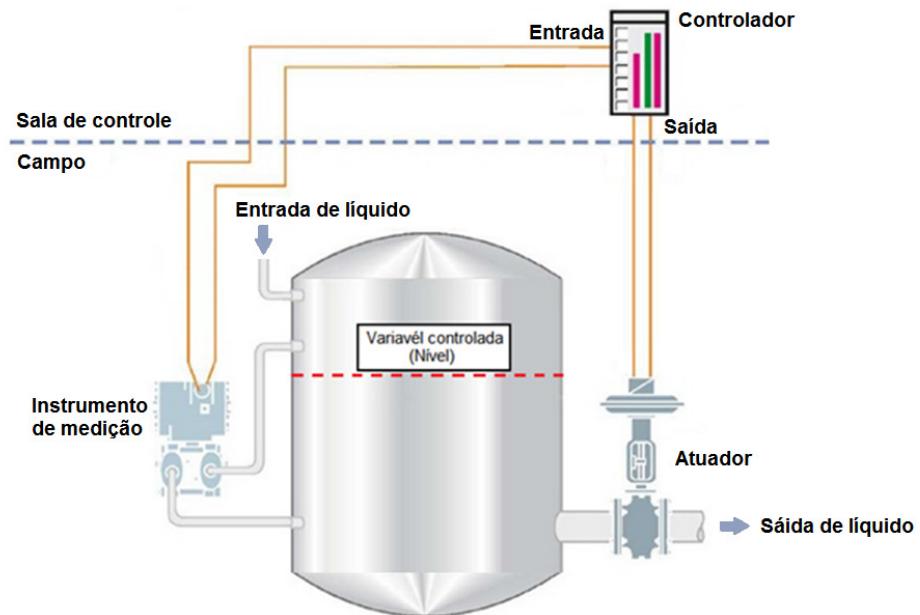


Figura 3: Exemplo de controle de processo em malha fechada.

Na figura 3 a informação acerca do nível de líquido no tanque vai acarretar uma regulação de uma variável do processo, no caso, o percentual de abertura ou fechamento da válvula. Caso o nível do líquido esteja acima do desejado, abre-se mais a válvula, provocando um escoamento maior de líquido. Caso contrário, se o líquido estiver abaixo do valor desejado, a válvula é fechada, diminuindo o escoamento do líquido, fazendo o nível se aproximar novamente do SP.

2.2. Tipos de Controle

Na indústria de processos existem muitos tipos e estratégias diferentes de controle. Embora a maioria seja feita com base no controle de clássico de malha fechada, existem outros, cada qual com suas próprias características, limitações e área de aplicação específica.

No controle em malha fechada o tipo mais comum de controle utilizado na indústria é o controle PID (Proporcional Integral Derivativo).

De uma maneira geral cada uma dessas letras corresponde a uma ação do controlador.

P = Correção proporcional ao erro. A correção a ser aplicada ao processo deve crescer na proporção que cresce a diferença entre PV e SP.

I = Correção proporcional ao produto erro x tempo. Erros pequenos, mas que persistem por muito tempo requerem correções mais intensas.

D = Correção proporcional à taxa de variação do erro. Se o erro varia muito rapidamente, o controle responde intensamente.

A equação I é a mais utilizada para representar o controlador PID.

$$MV(t) = K_p \times \left[E(t) + K_i \times \int E(t)dt + K_d \times \frac{dE(t)}{dt} \right] \quad (I)$$

Onde K_p , K_i , e K_d são os ganhos de cada parcela e $E(t)$ representa o erro entre SP e PV. Dessa maneira, com a variação dos ganhos consegue-se definir a intensidade de cada ação. Contudo, os fabricantes de equipamentos disponibilizam ao usuário outros parâmetros de ajuste, alterando a forma básica da equação mostrada acima. O exemplo mais comum é mostrado na equação II:

$$MV(t) = \frac{100}{P_b} \times \left[E(t) + I_r \times \int E(t)dt + D_t \times \frac{dE(t)}{dt} \right] \quad (II)$$

Onde P_b é chamado de “banda proporcional”, I_r de “taxa integral” e D_t de “tempo derivativo”.

Atualmente no panorama industrial, existe uma grande variedade de controladores que fazem o ajuste desses parâmetros automaticamente (*self-tunning*) e que também são capazes de se ajustar automaticamente devido a mudanças nos processos, por essa razão são chamados de “auto-adaptativos”.

Outro tipo de controle muito usado na indústria é o controle liga/desliga (*ON/OFF*), seu princípio de funcionamento é mais básico e geralmente não é utilizado em processos contínuos. Esse tipo de controle é mais frequentemente usado em áreas onde não é necessário o controle rigoroso das variáveis de processo, por exemplo, uma válvula de drenagem em um tanque. A grandeza do sinal de erro não tem qualquer influência sobre sinal de saída do controlador. Dessa forma, quando o nível atingir a condição alta, a válvula é totalmente aberta, permanecendo aberta até o tanque chegar à condição de nível baixo. Além dessas duas técnicas ainda existem outras técnicas de controle: auto-operado, avanço de fase, atraso de fase, multivariável, adaptativo, ótimo, não linear, preditivo, robusto, lógica *fuzzy*, redes neurais e outras.

Além dos métodos diferentes do controlador obter a MV para levar o processo ao SP, também existe a possibilidade de diferentes arranjos de instrumentos e obtenção de variáveis de processo, possibilitando alcançar melhores desempenhos de controle em um determinado processo. Os arranjos mais comuns são: controle antecipatório (*feed forward*) e controle em cascata.

Um exemplo de controle antecipatório pode ser visualizado no diagrama de blocos da figura 4, o processo tem com objetivo manter a temperatura em um valor fixo. A malha de temperatura é a malha principal, esta recebe um ganho proveniente do fluxo de água fria, para acelerar a demanda de potência necessária para manter a temperatura constante. Esta estratégia garante respostas rápidas às variações de fluxo na entrada de água no tanque de aquecimento.

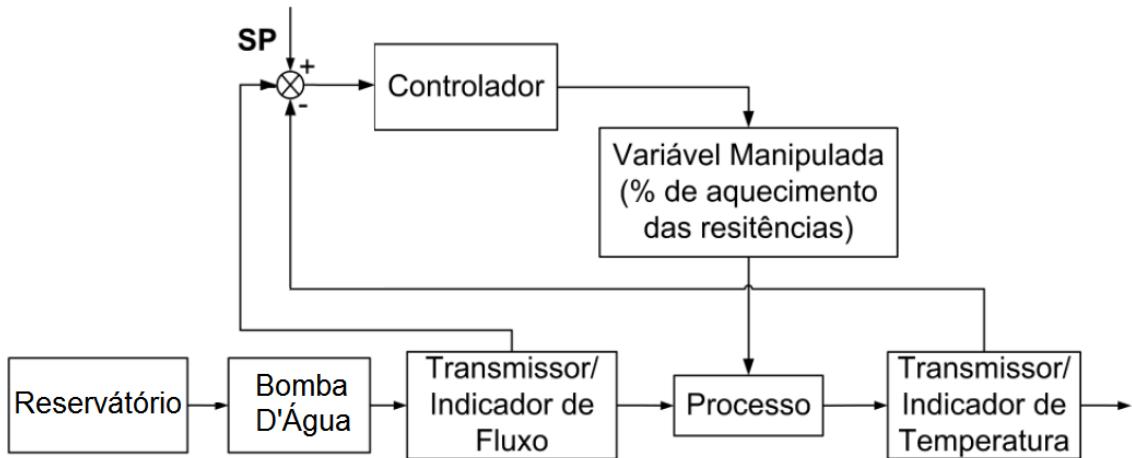


Figura 4: Diagrama de blocos - controle antecipatório.

Já o controle em cascata toma uma ação corretiva no sistema antes que a variável de controle primária seja afetada, mas depois que uma perturbação já atingiu o processo. Trata-se de duas variáveis controladas atuando em uma mesma variável manipulada, no qual o *set point* do controlador da malha interna (controlador escravo) é dado pela saída do controlador da malha externa (controlador mestre) [2]. No exemplo mostrado na figura 5, o controle em cascata é aplicado em um tanque de mistura, ele possui duas malhas de controle: malha principal (controle de temperatura) e malha secundária (controle de vazão).

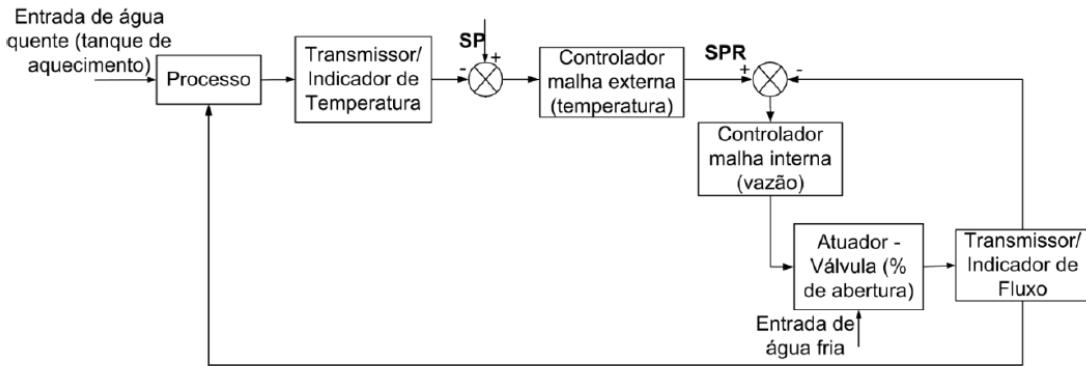


Figura 5: Diagrama de blocos - malha em cascata.

2.3. Tecnologias de redes de campo (*Fieldbus*)

A comunicação entre os instrumentos de campo vem passando por atualizações no decorrer de 30 anos. No início, a comunicação era essencialmente ponto a ponto, utilizando-se de sinais analógicos (tensão e corrente). Com o avanço tecnológico, plantas industriais cada vez maiores, mais instrumentos inteligentes e a necessidade de uma integração maior dos processos das plantas, a demanda por sistemas de comunicação digital no ambiente industrial cresceu rapidamente.

Nesse processo, cada fabricante de instrumentos passou a desenvolver seu próprio protocolo de comunicação, tornando a interoperabilidade impossível.

Um protocolo de comunicação define a forma como duas ou mais estações ou dispositivos trocam dados usando mensagens ou “frames” em uma rede de computadores ou de campo. Um *frame* de dados contém diferentes campos para informações de controle e para dados. Uma característica das redes de campo é que elas possibilitam uma transmissão eficiente de pequenos volumes de dados em tempos críticos de forma sincronizada com a aplicação ou com o sistema controlado.

Para organizar e padronizar esse setor, de 1978 a 1984, a ISO (*International Organization for Standardization*) desenvolveu o modelo de referência OSI (*Open Systems Interconnection*) para este propósito (padrão ISO 7498).

Este modelo define os elementos, estruturas e tarefas requeridas para comunicação e as organiza em sete camadas, como pode ser visto na figura 6. Cada camada deve cumprir uma função específica dentro do processo de comunicação. Contudo, um protocolo específico não necessita conter todas as camadas previstas pelo modelo de referência. [3]



Figura 6: Camadas do sistema OSI.

Em se tratando de redes industriais (*Fieldbus*), a maioria dos protocolos apresentam somente três das sete camadas previstas no modelo OSI: física, enlace e a de aplicação.

Atualmente existem diversos protocolos diferentes no mercado. Porém os mais difundidos são: *AS-Interface*, *CANopen*, *DeviceNet*, *Foundation Fieldbus*, PROFIBUS (DP e PA), HART, *EtherNet/IP*, PROFINET, *Interbus*, *Modbus TCP/IP*, *Ethernet TCP/IP* e *Ethernet-Power Link*.

As normas internacionais que regulamentam as redes de campo são a IEC61158 e a IEC61784.

A seguir será feita uma breve descrição da histórica e princípios de funcionamento de cada uma das três redes abordadas nesse trabalho.

2.3.1. PROFIBUS

O protocolo PROFIBUS foi definido em 1991/1993 na norma DIN 19245, movida em 1996 para EN 50170, e desde 1999 está incorporado na IEC 61158 e IEC 61784. O padrão é mantido, atualizado e comercializado pela “*Profibus International*”, uma organização sem fins lucrativos com sede em Karlsruhe na Alemanha. [4]

Até o presente momento existem três variações de redes PROFIBUS:

- PROFIBUS-DP (*Decentralized Peripherals*) este protocolo foi a primeira variação criada. Indicada para o chão de fábrica, onde há um grande volume de

informações e há a necessidade de uma alta velocidade de comunicação para que os eventos sejam tratados num tempo adequado. Atualmente existem três versões de DP, a DP-V0, DP-V1 e DP-V2. As novas versões foram surgindo conforme foram propostas novas funcionalidades de comunicação dentro da rede.

- PROFIBUS-FMS (*Fieldbus Message Specification*) esta variação é uma evolução do PROFIBUS DP e destina-se a comunicação ao nível de células, onde se encontram os CLP's (Controlador Lógico Programável). O FMS é tão poderoso que pode suportar o volume de dados até o nível gerencial, mesmo que isso não seja indicado.
- PROFIBUS-PA (*Process Automation*) é a versão mais moderna do PROFIBUS. Uma característica interessante deste protocolo é que os dados podem trafegar pela mesma linha física da alimentação CC, o que economiza tempo de instalação e cabos, diminuindo o custo da instalação. Seu desempenho é semelhante ao DP. Uma característica interessante nesse protocolo é o fato dele ser intrinsecamente seguro, podendo ser usado em áreas classificadas.

Todas as variações citadas acima podem funcionar em conjunto. Os sistemas DP e FMS compartilham o mesmo meio elétrico de transmissão (RS-485). A versão PA utiliza o sistema de transmissão chamado MBP (*Manchester Bus Powered*), definido na IEC 61158-2. Trata-se de um cabo de par trançado blindado que suporta até 32 estações por segmento e condensa a alimentação e os dados no mesmo cabo. Mesmo com meios de transmissão diferentes, a variação PA compartilha o mesmo protocolo básico da DP.

A figura 7 mostra um exemplo de topologia de uma rede PROFIBUS.

Uma única rede pode conter 126 estações, no entanto, por conta de limitações dos sistemas RS485 e MBP, cada seguimento de rede pode conter somente 32 estações. Os seguimentos são construídos através de três opções: repetidores, *couplers* ou *links* de fibra ótica.

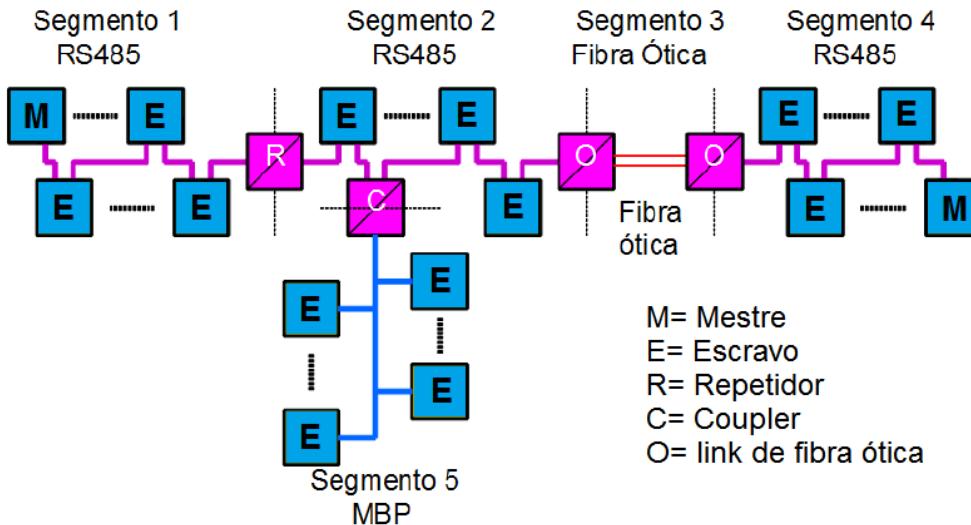


Figura 7: Exemplo de topologia de rede PROFIBUS.

A troca de dados é feita por meio de mensagens, que circulam entre todas as estações da rede. A estação responsável pelo gerenciamento da comunicação é a estação “mestre”. As estações escravas só se manifestam para responderem as mensagens de seus mestres, porém na versão mais recente (DP-V2), é possível a troca de mensagens diretamente entre escravos. Uma mesma rede pode conter um ou mais mestres, sem restrições.

Para que a mensagem chegue corretamente ao seu destino, cada estação possui um endereço. Esse endereço é definido pelo engenheiro durante o comissionamento da rede. Existem diversas maneiras de realizar essa definição: *dip switches*, *software*, ou *hand-held*.

A taxa de comunicação das redes DP pode variar de 9,6Kbit/s a 12Mbit/s. A seleção de faixa faria de acordo com o cabo utilizado e com o comprimento dos seguimentos, visto que, conforme se aumenta a velocidade de transmissão, o comprimento máximo aceitável do seguimento se reduz. Já nas redes PA a taxa de comunicação é fixa em 31.25Kbit/s.

2.3.2. Foundation Fieldbus (FF)

O protocolo *Foundation Fieldbus* (FF) foi criado no final de 1994 por uma fusão do WorldFIP (*World Factory Instrumentation Protocol*) e do ISP (*Interoperable Systems Project*).

O FF é um sistema de comunicação totalmente digital, em série e bidirecional que conecta equipamentos tais como sensores, atuadores e controladores. O FF é uma rede local para automação e instrumentação de controle de processos, com capacidade de distribuir o controle no campo.

Ao contrário dos protocolos de rede proprietários, o FF não pertence a nenhuma empresa. A tecnologia é controlada pela “*Fieldbus Foundation*” uma organização não lucrativa que consiste em mais de 100 dos principais fornecedores e usuários de controle e instrumentação do mundo. O FF mantém muitas das características operacionais do sistema analógico 4-20mA, tais como uma interface física padronizada da fiação, os dispositivos alimentados por um único par de fios e as opções de segurança intrínseca.

A *Fieldbus Foundation* baseia-se apenas na utilização de pares-trançados como meio físico, havendo divisão quanto à velocidade de comunicação:

- H2, denominado de *higher-speed fieldbus*, emprega 1Mbit/s e 2,5Mbit/s para interligar equipamentos de usuário, como computadores e também para interligar os dispositivos mais rápidos do chão de fábrica;
- H1, denominado de *lower-speed fieldbus*, emprega 31,25 Kbit/s, para interligar dispositivos mais lentos de chão de fábrica. A vantagem da versão de H1 é possibilitar a operação nas mesmas instalações do padrão 4-20 mA, o que é útil para atualizações graduais das plantas industriais.

O padrão permite o uso de até 32 dispositivos conectados ao barramento, porém este número cai de acordo com o comprimento do cabo ou se o mesmo fornece energia aos dispositivos junto com os dados.

Na segunda camada do modelo OSI (enlace de dados) o protocolo FF funciona com dois modos de transmissão de mensagens, agendadas e não agendadas.

Os dispositivos de rede são divididos em dois grupos: “*link mestre*” e “dispositivos básicos”. Apenas os dispositivos “*link mestre*” possuem a capacidade de agendar mensagens, quando nessa posição são chamados de LAS (*Link Active Schedule*). As transferências de dados agendados são tipicamente usadas para regular o transferidor cíclico de dados da malha de controle entre os dispositivos e a rede.

Já a mensagens não agendadas podem ser enviadas a qualquer momento por qualquer dispositivo da rede. Para isso o LAS concede permissão para um dispositivo usar a rede emitindo a mensagem de sinal de passagem (*Token*) para o dispositivo. Quando o dispositivo recebe o *Token*, este tem permissão para enviar suas mensagens até termina-las ou até esgotar o "máximo tempo de *hold* do sinal".

A fundação “*Foundation Fieldbus*” [5] promove seu protocolo de rede informando as seguintes vantagens:

- Redução de cabeamento;
- Simplificação de triagem;
- Permitir o controle em tempo real digital de uma malha fechada;
- Garantir a interoperabilidade de múltiplos fornecedores;
- Expandir a inteligência do dispositivo
- Permitir a manutenção baseado em diagnósticos;
- Liberar a planta de protocolos proprietários.

2.3.3. HART

O protocolo HART (*Highway Addressable Remote Transducer*) foi desenvolvido em meados da década de 1980 pela Rosemount Inc., para ser utilizado com uma série de instrumentos de medição inteligentes. Originalmente proprietário, o protocolo foi logo publicado para uso gratuito e, em 1990, formou-se o Grupo de Usuários HART. Em 1993, a marca comercial registrada e todos os direitos autorais do protocolo foram transferidos para a “*HART Communication Foundation*” (HCF).

O protocolo HART utiliza o padrão Bell 202 de chaveamento por deslocamento de frequência (FSK) para sobrepor os sinais de comunicação digital sobre o sinal de 4-20mA. A figura 8 representa o funcionamento dessa técnica. Esse padrão utiliza dois valores de frequência para representar os dois bits 1200Hz para representar o bit “1” e 2200Hz para representar o bit “0”.

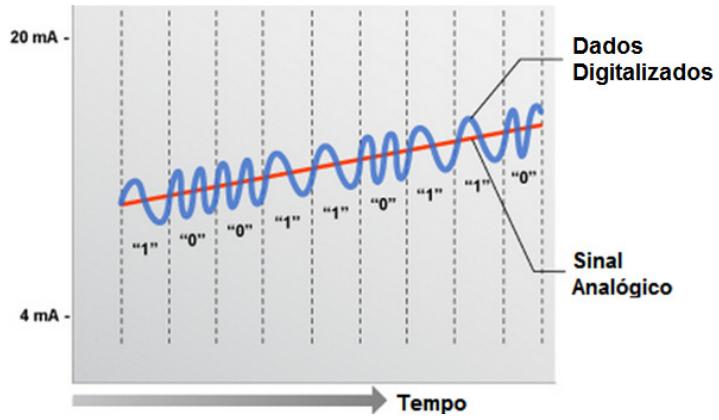


Figura 8: Chaveamento por deslocamento de frequência (FSK).

Isso permite a comunicação de campo bilateral e possibilita que informações adicionais, além da variável normal de processo, sejam comunicadas “de” e “para” um instrumento de campo inteligente. O protocolo HART comunica-se a 1,2Kbit/s sem interromper o sinal de 4-20mA e permite que o mestre obtenha duas ou mais atualizações digitais por segundo a partir de um dispositivo de campo inteligente. Uma vez que o sinal digital de FSK é de fase contínua, não há interferência com o sinal de 4-20mA.

O protocolo HART pode ser utilizado em vários modos, tais como ponto a ponto ou multiponto, para transmitir informações entre instrumentos de campo inteligentes e sistemas centrais de monitoramento ou controle, a figura 9 mostra a comunicação ponto a ponto. Em redes HART são permitidos até dois mestres simultaneamente.



Figura 9: Os dois canais de comunicação da tecnologia HART.

O sinal digital contém as informações do dispositivo, tais como *status*, diagnósticos, valores adicionais medidos ou calculados, etc. Juntos, os dois canais de comunicação oferecem uma solução de comunicação de campo extremamente sólida e completa, de baixo custo e de fácil utilização e configuração. [6]

3. PROJETO

3.1. Concepção

Para atender os objetivos propostos, foram traçados os seguintes requisitos:

- A planta deve possuir baixo custo de construção;
- Deverão ser aproveitados os dispositivos presentes no laboratório;
- O equipamento deve ser móvel;
- Utilizar circuito hidráulico fechado;
- Deve dispor de válvulas capazes de isolar determinados trechos e componentes do sistema;
- Ter a capacidade de atender quatro alunos (ou grupos) simultaneamente;
- Permitir a programação da lógica de segurança e automação;
- Possuir três malhas de controle distintas (nível, fluxo e temperatura);
- Conter três redes de campo com protocolos distintos (PROFIBUS, *Foundation Fieldbus* e HART);
- Deve possuir quatro controladores;
- Não trabalhar com temperaturas na caldeira acima de 60°C;
- A posição e instalação de componentes deve permitir a facilidade de remoção em caso de manutenção;
- Deve conter quadro elétrico para proteger os componentes;
- Deve prever comutações automáticas da tubulação em caso de operação incorreta das válvulas manuais;
- Deve possuir sistemas de segurança que garantam a integridade do usuário e do equipamento;
- Deve ter disponível sistema de parada de emergência.

O baixo custo é uma característica essencial para que a mesma planta possa ser implantada em outros laboratórios caso exista interesse. Entretanto, ao atender o segundo requisito da lista acima, acabou-se não necessariamente usando itens de baixo custo. Ainda assim, o restante dos equipamentos foi definido pensando em soluções econômicas.

A mobilidade da planta é importante caso exista a necessidade da mesma ser usada em mais de um laboratório.

Com a utilização de um circuito fechado de água, a instalação da planta torna-se mais versátil, dispensando assim a necessidade de preparação de instalações hidráulicas nos locais onde ela será utilizada, além de facilitar sua locomoção.

Para tornar o sistema prático e de fácil manutenção, cada módulo da planta poderá ser isolado fazendo-se o uso de válvulas manuais ou solenoides. Assim em ocasiões que se deseje trabalhar apenas com uma malha de controle é possível isolar um trecho específico do sistema.

A característica multitarefa possibilita que a planta seja utilizada em aulas com um maior número de alunos diminuindo a necessidade de possuir mais de um equipamento por sala, visto que é possível montar grupos de alunos para trabalhar em cada uma das malhas. Essa característica não deve impedir a possibilidade de ensaiar cada malha isoladamente. Além das três malhas, um quarto aluno (ou grupo) pode trabalhar no programa lógico de automação e intertravamentos da planta.

A disponibilidade de diferentes tipos malhas e diferentes redes de comunicação proporciona ao aluno uma visão mais abrangente do cenário de redes industriais e controle de processos.

Para que um experimento não interfira no outro, cada uma das três redes será gerenciada por um controlador diferente, e ainda, a automação dos componentes será realizada por um quarto controlador.

Por se tratar de um equipamento para uso didático, não há necessidade de alcançar temperaturas elevadas, evitando colocar em risco a segurança dos usuários.

Pela mesma razão os instrumentos serão instalados em locais de fácil acesso e através de componentes que facilitem a remoção quando necessário. Outra necessidade quando se trata de equipamentos didáticos, é o sistema de segurança. Tanto para garantir a segurança do usuário quanto do equipamento.

3.2. Diagrama P&ID

Segundo os pré-requisitos iniciais de projeto e usando as referências disponíveis, tomando exemplos de malhas típicas de controle [7], aplicação de redes digitais no controle de processos [8] e técnicas de controle [9] e automação [10] foram

feitos diversos esboços e propostas de sistemas. Após a realização de algumas reuniões e descarte de versões preliminares, que não alcançaram plenamente todos os requisitos desejados, foi definido o esquema P&ID (*Piping and instrumentation diagram*), ou PFD (*Process Flow Diagram*) da planta, respectivamente em português: “diagrama de tubulação e instrumentação” ou “diagrama de fluxo de processo”. O mesmo foi elaborado seguindo os padrões gráficos recomendados pelas normas ISA5.1[12] e ISA5.3[13].

O diagrama P&ID proposto é apresentado no apêndice A, com a devida identificação dos instrumentos e controladores.

Essa etapa inicial é importantíssima no desenvolvimento do projeto, pois ela delimitará todas as próximas etapas, visto que, com o diagrama P&ID definido, já se obtém uma boa representação do sistema proposto.

Conjuntamente ao desenvolvimento do diagrama P&ID, foram feitas estimativas e cálculos a fim de atribuir as características construtivas dos elementos da planta.

3.3. Características construtivas

Após a criação do diagrama P&ID e a definição das vazões, potências envolvidas e capacidades dos tanques, chegou-se a seguinte lista de itens:

- Dois tanques reservatórios de 100 litros cada;
- Dois tanques de 40 litros cada;
- Uma caldeira com aquecedor resistivo de 2kW;
- Um radiador;
- Um mini ventilador;
- Onze válvulas esfera manuais de 1/2";
- Cinco válvulas solenoides normalmente fechadas de 1/2";
- Sete sensores indutivos;
- Duas bombas d’água de 1/3CV e vazão de 35 l/min.;
- Dois inversores de frequência de 1/2CV;
- Uma eletrobomba de 34VA e vazão de 10 l/min.;

- Duas chaves-boia;
- Quatro CLP's, sendo três com capacidade de gerenciar as redes propostas;
- Um conversor de sinais;
- Dois instrumentos de medição e transmissão de nível;
- Dois instrumentos de medição e transmissão de temperatura;
- Um instrumento de medição e transmissão de vazão;
- Uma chave de nível da caldeira (liga/ desliga);
- Um painel elétrico.

Com o diagrama P&ID definido e alguns componentes já selecionados, devido suas disponibilidades no laboratório, foi possível começar o processo de modelagem dos componentes e a estrutura da planta em 3D. O programa CAD utilizado foi o AutoCAD® 2011.

Para especificar o restante dos componentes adequados, tanto mecânicos quanto elétricos, numerosos sites e catálogos de fabricantes foram consultados. Observando sempre o compromisso com o baixo custo, dessa maneira foi selecionado o restante dos equipamentos. No final deste trabalho é apresentada a lista completa de componentes e seus respectivos modelos e códigos (apêndice B).

3.3.1. Descrição de componentes mecânicos

Neste item serão apresentados os principais componentes mecânicos definidos. Juntamente, será feita uma breve apresentação de sua função na planta e a apresentação de seu modelo 3D ou ilustração.

O sistema estrutural adotado para sustentar a planta foi o perfil de alumínio *Rexroth*® (empresa do grupo *Bosch*®), representado na figura 10, que possui 40x40 milímetros. Mesmo não sendo um item de baixo custo, foi adotado no projeto, pois o laboratório possui barras disponíveis.

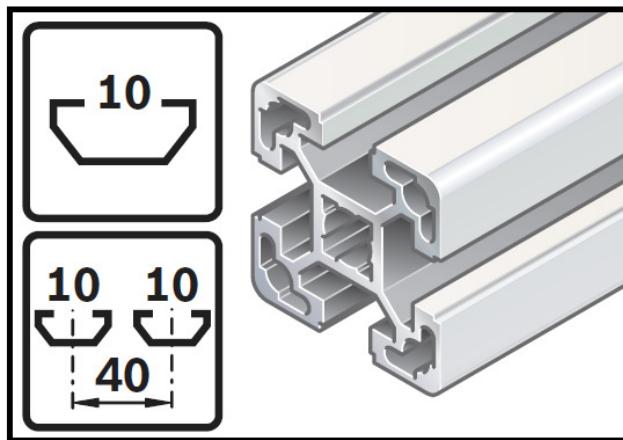


Figura 10: Representação do perfil de alumínio.

O sistema de perfis *Bosch Rexroth*[®] possui inúmeros acessórios e métodos de fixação [14]. O escolhido em nesse projeto é denominado pelo fabricante como “*quick connector*”, sua representação é mostrada na figura 11. A sua escolha se deu devido ao laboratório também possuir esses itens.

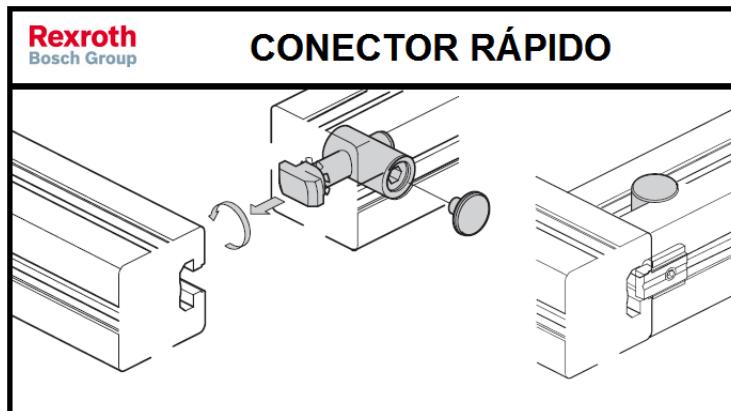


Figura 11: Representação do conector rápido para perfis.

Para facilitar a locomoção do conjunto, a estrutura será apoiada sobre seis rodízios giratórios como modelo mostrado na figura 12. Tornando possível a locomoção da planta entre laboratórios, caso necessário. O modelo escolhido possui rodas de 100 milímetros de diâmetro, freio e é fabricado pela Schirroppa.



Figura 12: Modelo 3D do rodízio giratório 100 mm.

O cabeamento de toda a planta será alojado em canaletas plásticas como ilustrado pelo modelo 3D da figura 13. Suas dimensões serão trinta milímetros de largura e cinquenta de altura e serão fornecidas pela Hellerman®. Isso facilita quaisquer necessidades de manutenção ou modificação devido ao fácil acesso ao cabeamento. As mesmas serão fixas aos perfis de alumínio por meio de porcas e parafusos adequados pertencentes ao próprio sistema Rexroth®.

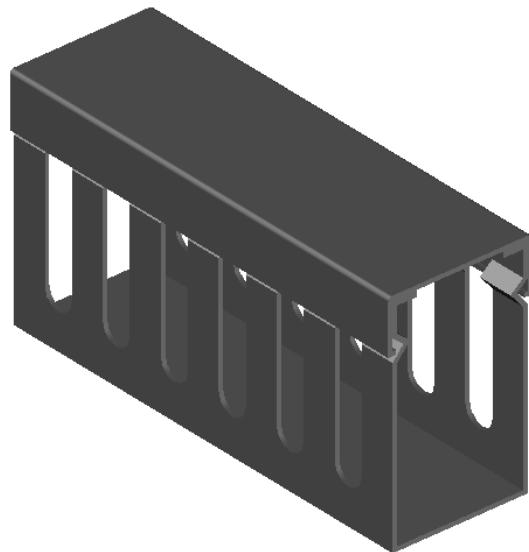


Figura 13: Modelo 3D da canaleta (Hellerman).

Os tubos e conexões adotados foram os de PVC de 1/2", normalmente utilizados para instalações hidráulicas residenciais de água fria. Todas as conexões com os instrumentos e válvulas serão feitas através de uniões, mostrada na figura 14, facilitando assim a troca dos instrumentos caso necessário.



Figura 14: União soldável de 1/2" (Amanco).

As conexões à eletrobomba e ao radiador serão realizadas por meio de mangueiras de borracha e abraçadeiras de aperto do tipo fita. Mostradas na figura 15 através de seus modelos 3D.



Figura 15: Modelo 3D das mangueiras de conexão do radiador e eletrobomba.

As válvulas solenoides utilizadas serão do tipo normalmente fechado, de 1/2", com corpo em latão e rosca BSP. O modelo especificado pertence à série 1335 do fabricante Jefferson.

Elas serão responsáveis pelo controle da tubulação. Com a comutação adequada do conjunto de solenoides, será possível, por exemplo, excluir ou incluir o radiador do circuito da planta. Outra função importante é a proteção das bombas, gerando um caminho de alívio caso o aluno bloquee a tubulação incorretamente através das válvulas manuais. Seu modelo 3D é mostrado na figura 16.

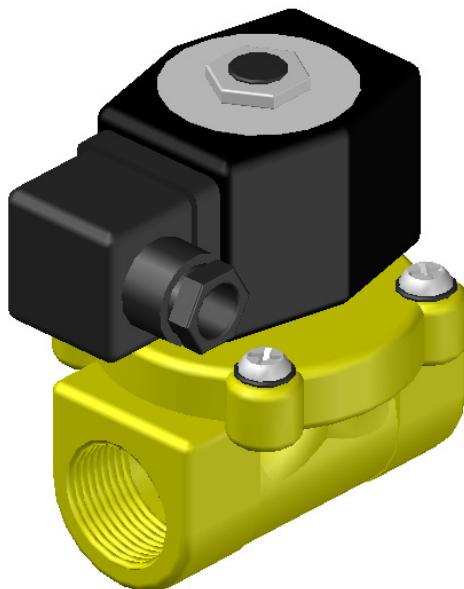


Figura 16: Modelo 3D da válvula solenoide.

Em conjunto com as válvulas solenoides serão utilizadas válvulas manuais do tipo esfera, também com corpo em latão e de 1/2". Essas farão função semelhante às válvulas solenoides. Entretanto, por meio do ajuste manual o aluno poderá mudar as características de funcionamento da planta, como vazões dos tanques de mistura e a restrição nas tubulações tanto na malha de fluxo quanto na malha de temperatura.

Com a comutação completa das válvulas manuais é possível eliminar determinado módulo do circuito fechado. Assim pode-se selecionar o percurso conforme a necessidade.

A fim de monitorar o posicionamento das válvulas, as mesmas serão acopladas a sensores indutivos fornecidos pela Sense. O mesmo será instalado de forma a sinalizar quando a válvula estiver na posição totalmente fechada. Esse artifício permite incorporar ao CLP inter-travamentos de segurança, evitando que o sistema seja

bloqueado. O suporte de fixação foi idealizado apenas usando cantoneiras de alumínio, barras roscadas e porcas. Na figura 17 podemos ver a o modelo 3D da válvula e o suporte acoplado. Na figura 17 (a), a válvula encontra-se na posição totalmente aberta, já na figura 17 (b), a válvulas esta totalmente fechada, acionando o sensor indutivo.

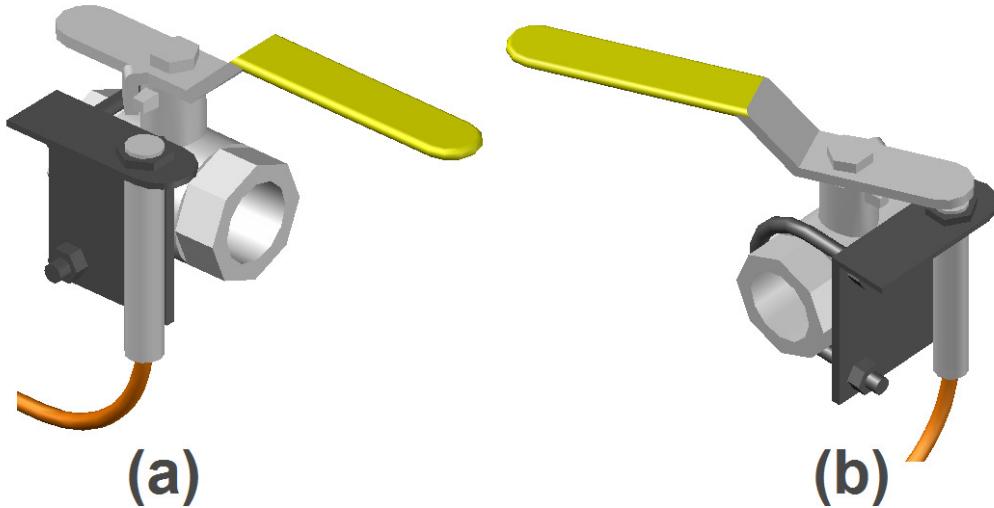


Figura 17: Modelo 3D da válvula manual e sensor; (a) Aberta (b) Fechada.

Para realizar a função dos tanques reservatórios, foram adotadas caixas d'água de polietileno com capacidade de 100 litros, fabricadas pela Fortlev. Seu modelo 3D é apresentado na figura 18.



Figura 18: Modelo 3D da caixa d'água 100 litros (Fortlev).

Além dos tanques reservatórios, o projeto propõe o uso de dois tanques menores, chamados de tanques de mistura, ambos terão a capacidade de quarenta litros. Sua fabricação será feita via encomenda conforme dimensões da figura 19. Eles serão confeccionados em acrílico para facilitar a visualização do nível de líquido. A espessura das paredes será de oito milímetros para garantir boa resistência e possibilitar uma fixação confiável dos instrumentos de medição.

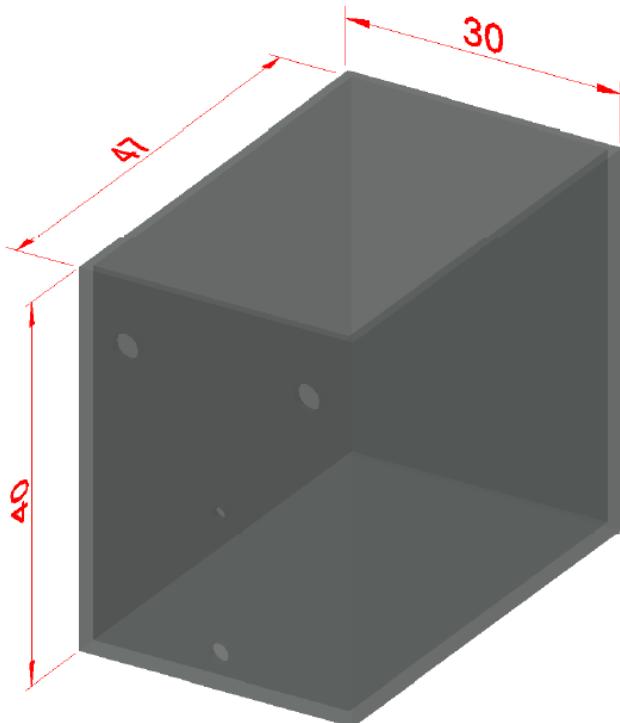


Figura 19: Dimensões do tanque de mistura (cm).

A caldeira a ser utilizada também está disponível no laboratório, ela possui a chave de nível e resistência de aquecimento já instalada que será acionada via relé de estado sólido modelo 3FR23 da Siemens. A foto da caldeira é mostrada a seguir na figura 20. A fim de proporcionar maior segurança aos usuários, a caldeira ficará confinada em uma estrutura de proteção conforme o modelo da figura 21.



Figura 20: Foto da caldeira.

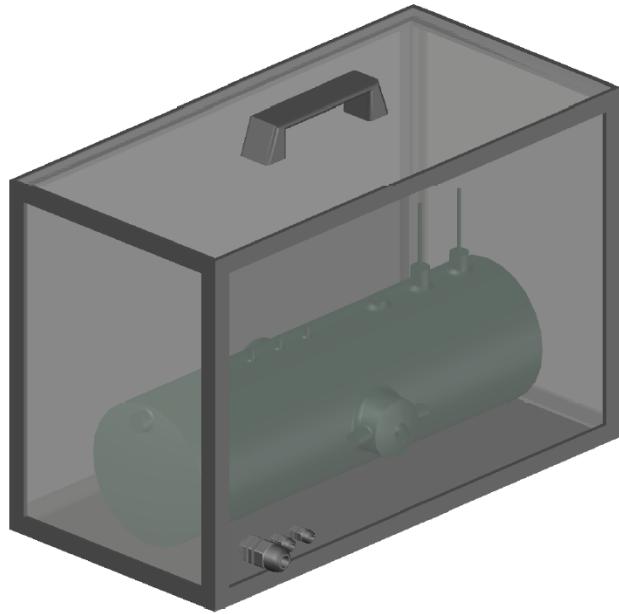


Figura 21: Modelo 3D da estrutura de proteção da caldeira.

O radiador será responsável por resfriar a água do sistema. Isso se faz necessário por se tratar de um sistema fechado e por conter um sistema de aquecimento, dessa maneira, precisamos reduzir a temperatura da água antes da mesma retornar a caldeira. O radiador dimensionado para resfriar a água do sistema é um radiador comum de carro popular. O mesmo será usado juntamente com um mini ventilador para aumentar sua capacidade de resfriamento. Seu modelo 3D é ilustrado na figura 22.

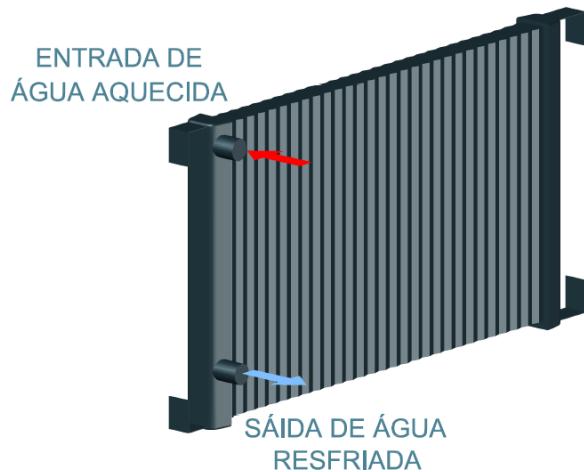


Figura 22: Modelo 3D do radiador.

3.3.2. Descrição de componentes elétricos

Os instrumentos elétricos e eletrônicos, são os componentes mais importantes do projeto, são eles que definirão a forma de funcionamento de toda a planta. A seguir é abordado cada um deles.

Para realizar a medição de nível nos tanques de mistura, serão utilizados dois transmissores inteligentes de pressão. No diagrama P&ID, são identificados pelo *TAG* “*LIT103*” A tecnologia escolhida para a rede desses instrumentos foi a PROFIBUS, dessa maneira foi selecionado o modelo LD303 fabricado pela Smar, representado na figura 23 pelo seu modelo 3D.

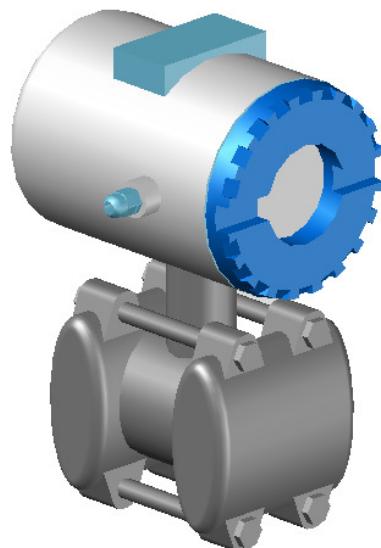


Figura 23: Modelo 3D do transmissor de pressão PROFIBUS-PA (Smar).

Na malha de controle de fluxo foi utilizado um transmissor volumétrico. Esse é um dos equipamentos existentes no laboratório. O modelo é CVM-01 da METROVAL ilustrado na figura 24 pelo seu modelo 3D. Esse instrumento utiliza como elemento sensor um conjunto de engrenagens ovais, e o transmissor possui tecnologia de comunicação HART. Ele é identificado no diagrama P&ID com o TAG “*FIT101*”.

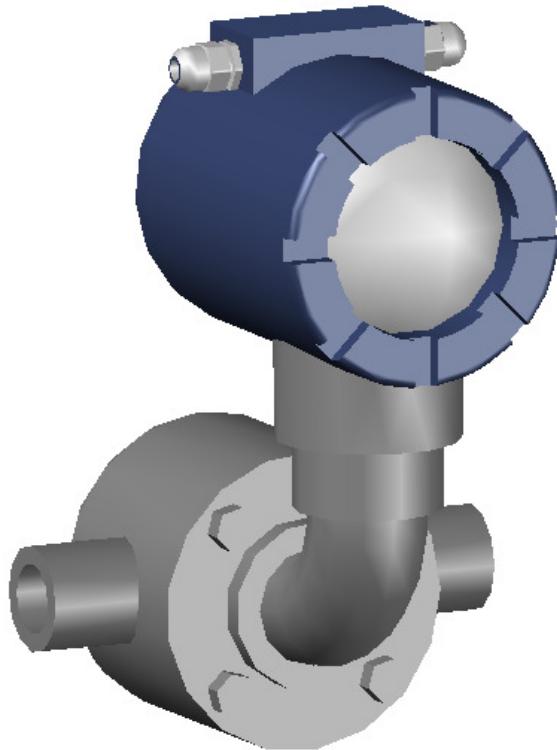


Figura 24: Modelo 3D transmissor volumétrico HART. (Metroval).

Dois transmissores de temperatura modelo 248 da Rosemount foram selecionados para realizar o monitoramento de temperatura. Ambos atuarão em conjunto com o elemento sensor do tipo RTD (*Resistance Temperature Detector*) modelo 0078. Os dois elementos serão alojados em caixas de conexão tipo 79 do mesmo fabricante. O conjunto é representado pelo seu modelo 3D na figura 25.

Esses instrumentos serão utilizados tanto para monitorar a temperatura da caldeira “*TE102*” como também a temperatura de mistura no tanque dois de acrílico “*TE105*”.



Figura 25: Sensor e transmissor de temperatura FF (Rosemount).

Apesar de não se comunicar via rede FF, esses sensores foram definidos, pois estão disponíveis no laboratório e propiciam a utilização de um conversor, disponibilizando ao aluno o conhecimento desse outro tipo de equipamento. O conversor apto a realizar essa tarefa é o FI302 fabricado pela Smar, nomeado pelo *TAG* “C102” (tipo D1) no diagrama de processo e representado na figura 26 pelo seu modelo 3D. Ele é capaz de receber até três sinais de corrente de diferentes instrumentos e transmitir as informações para via rede FF. Assim os sinais são enviados pelos transmissores de temperatura até o conversor que retransmite a informação via rede FF.

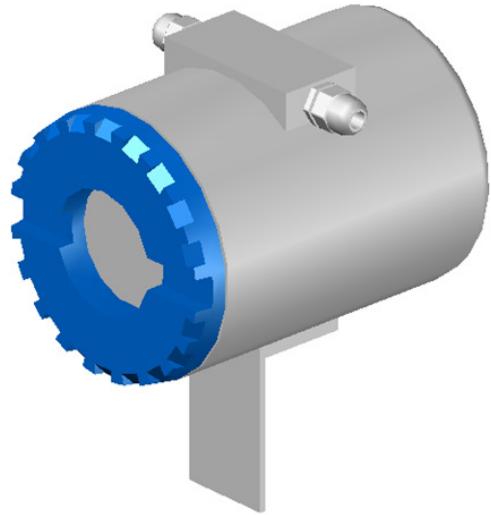


Figura 26: Modelo 3D do conversor FF para 4-20mA (Smar).

Para realizar o controle de velocidade das duas bombas d'água, dois inversores de frequência WEG CFW08 de 1/2CV foram aproveitados do estoque do laboratório, sua foto pode ser vista na figura 27. Os mesmos são identificados no diagrama de fluxo de processo pela TAG “YC101” e “YC103” ambos com a notação “tipo I1”.

Com o uso de inversores eliminamos a necessidade de adicionar válvulas de controle proporcional ao conjunto, isso diminui consideravelmente o custo final da planta.



Figura 27: Inversor de frequência CFW08 (Weg).

As duas bombas d'água responsáveis pela movimentação da água são do tipo periféricas fabricadas pela Ferrari, modelo IDB com potência nominal de 1/3CV. Seu modelo 3D é apresentado na figura 28. Esse item deverá integrar a planta como teste, pois o mesmo foi selecionado devido a estar disponível no laboratório e não por ser o mais indicado para a função. Isso se deve ao fato de além de ser uma bomba monofásica (não indicada ao inversor), sua característica construtiva não é capaz de bombear água em baixas rotações nem de manter uma vazão constante. Após a montagem deverá ser verificada a eficácia no controle de fluxo proporcionado por essa bomba conjuntamente com o inversor.

Por essa razão fica como sugestão futura o uso de bombas de cavidade progressiva, conhecidas por possuírem fluxo constante e estável, ideal para aplicações de dosagens.

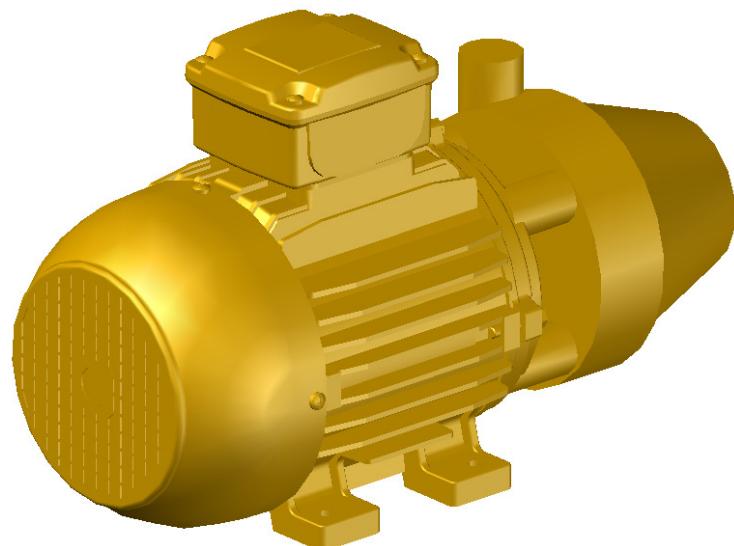


Figura 28: Modelo 3D da bomba d'água (Ferrari).

Para gerenciar os níveis dos tanques reservatórios um e dois, duas chaves-boia Margirius CB-2000 foram adotadas. Por serem constituídas de apenas de um contato simples, o sinal de monitoramento será discreto, ou seja, nível alto ou nível baixo. São respectivamente identificadas no diagrama P&ID como “*LSHL104-1*” e “*LSHL104-2*”

Abaixo, na figura 29 é mostrada sua representação através do seu modelo 3D.

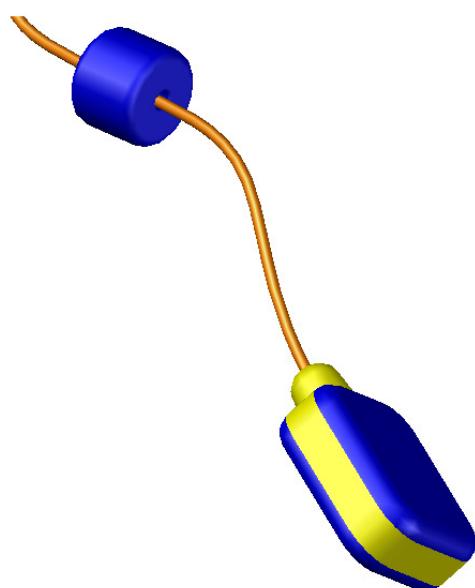


Figura 29: Modelo 3D da chave boia (Margirius).

As chaves-boia atuarão diretamente sobre o funcionamento de outro equipamento, a eletrobomba. Essa bomba será responsável por transferir a água de um tanque reservatório para outro. De acordo com a comutação das válvulas solenoides, a água transferida poderá ou não passar pelo radiador. Esse componente é largamente usado em eletrodomésticos como máquinas de lavar, tanquinhos, etc.

O modelo selecionado foi o EBE da fabricante Emicol, representado pelo seu modelo 3D na figura 30.

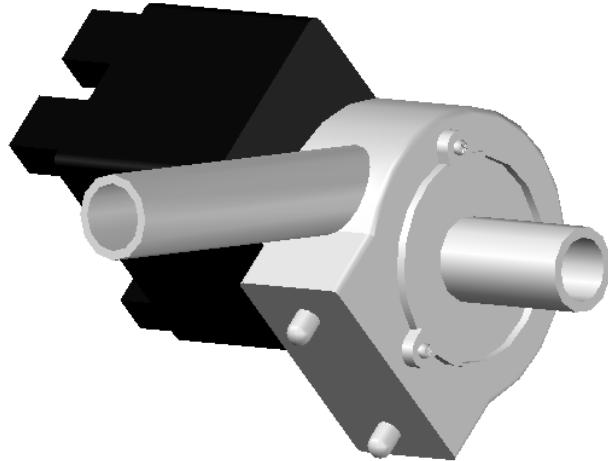


Figura 30: Modelo 3D da eletrobomba (Emicol).

Atuando em conjunto com o radiador como já mencionado existirá um mini ventilador fornecido peça Elgin. O ventilador selecionado possui hélices de 200 milímetros de diâmetro, alimentação em 220V e 7VA de potência. O acionamento do ventilador será feito via CLP, podendo assim ser customizado por programação.

Sua foto pode ser vista na figura 31.



Figura 31: Mini ventilador 1/40 (Elgin).

Para possibilitar o uso simultâneo, cada rede será controlada por um CLP diferente, assim o *download* em uma rede, não interferirá na outra. Além dos três controladores específicos para cada rede, será adicionado outro, para controlar a automação e intertravamentos da planta.

O gerenciador da rede HART será o CLP modular CITRINO, produzido pela FERTRON. Abaixo na figura 32 é mostrada a foto do conjunto com seus quatro módulos, seguindo da esquerda para direita: fonte, CPU, saídas analógicas e entradas analógicas. No diagrama é identificado pelo TAG “YC101” (tipo C3).



Figura 32: CLP Citrino com tecnologia HART (Fertron).

O CLP que fará o gerenciamento da rede FF será o DF51 da Smar mostrado abaixo na figura 33. Da esquerda para direita vê-se: fonte, CPU, fonte FF e casador de impedância FF. Esse controlador é identificado no diagrama P&ID como “YC102” (tipo C2).



Figura 33: CLP DF51 com módulos FF (Smar).

Outros dois controladores que integrarão a planta fazem parte da linha S7-1200 da Siemens®, o modelo de CPU selecionado foi o 1214C para ambos. O controlador responsável por gerenciar a rede PROFIBUS-DP é mostrado na figura 34 juntamente com o módulo mestre PROFIBUS acoplado. Esse controlador é identificado no diagrama P&ID como “YC103” (tipo: C1).

O segundo, mostrado na figura 35 acoplado ao módulo de expansão de entradas e saídas digitais, será responsável por controlar a automação e intertravamentos da planta. No diagrama P&ID é identificado como “YC104” (tipo C4).

No apêndice C é apresentado o diagrama completo do painel, onde é possível visualizar todas as conexões de entrada e saídas dos quatro controladores.

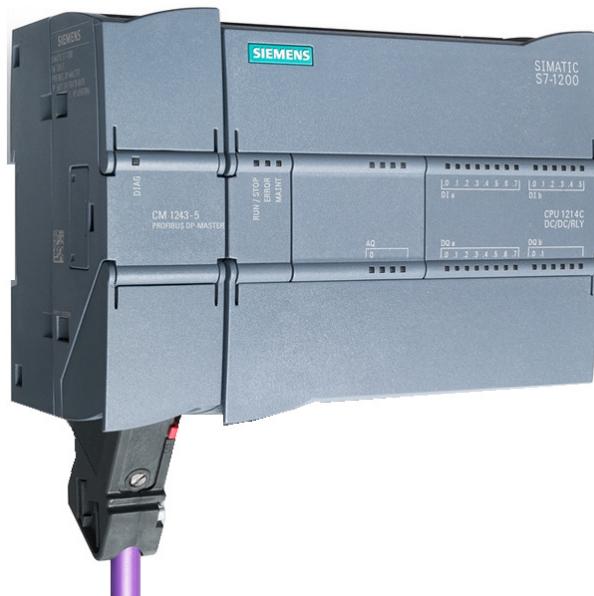


Figura 34: CLP S7-1200, CPU e módulo mestre PROFIBUS-DP (Siemens®).



Figura 35: CLP S7-1200, CPU e módulo de expansão (Siemens®).

Para realizar a acoplamento entre a rede PROFIBUS-DP e PA, é necessário o uso de um acoplador de segmento, o equipamento definido foi o KFD2 da Pepperl Fuchs®, que se encontra no laboratório. Sua foto é mostrada na figura 36.



Figura 36: Acoplador de segmento DP-PA (Pepperl Fuchs®).

O painel responsável por abrigar os equipamentos possuirá as dimensões 800x500x250 (milímetros) e será fornecido pela Cemar Legrand®. Será fixado diretamente nos perfis de alumínio. A figura 38 mostra o modelo 3D do painel já com seus componentes instalados.

Internamente o painel alojará os equipamentos básicos de proteção, suprimento, conexão e acionamento, tais como: disjuntor, relés, relé de estado sólido, fonte 24VCC, inversores de frequência, fusíveis e bornes.

Externamente o painel conterá: torre de sinalização, comutadora com chave, botão de emergência tipo soco, chave geral, conector industrial de potência, conectores RJ45, sinalizadores luminosos e comutadores de duas posições.

A torre de sinalização será utilizada para mostrar o *status* da planta como, por exemplo, se esta energizada, se possui algum alarme acionado ou se esta em modo automático.

A comutadora com chave agrega segurança ao equipamento, assim só o detentor da chave poderá colocar a planta em funcionamento.

O botão de emergência, como o próprio nome já expõe, será utilizado para paralisar os componentes da planta em caso de anormalidade.

A chave seccionadora geral, localizada na lateral do painel, é outro item de segurança. Caso seja necessário realizar alguma manutenção interna ao painel, basta desligá-la para todo o sistema ser desenergizado. Isso evita o manuseio frequente da tomada de alimentação geral.

O conjunto de comutadores e sinaleiros é utilizado para alterar o modo de operação entre manual e automático, para habilitar ou não os módulos da planta e acionar manualmente alguns equipamentos. Esta última função será habilitada quando selecionado o modo manual.

O suprimento de energia principal será feito através de tomada industrial (Steck) fixada na lateral do painel, facilitando a conexão e desconexão da planta à rede elétrica.

Para conectar os computadores aos controladores e possibilitar sua configuração, serão usadas tomadas com conectores RJ45, posicionadas logo acima do conector industrial.

Excetuando o cabo de alimentação e os cabos de comunicação dos controladores, todo o restante do cabeamento da planta que necessita passar para o interior do painel, o faz através de prensa cabos de nylon fixados no fundo do painel conforme figura 37.

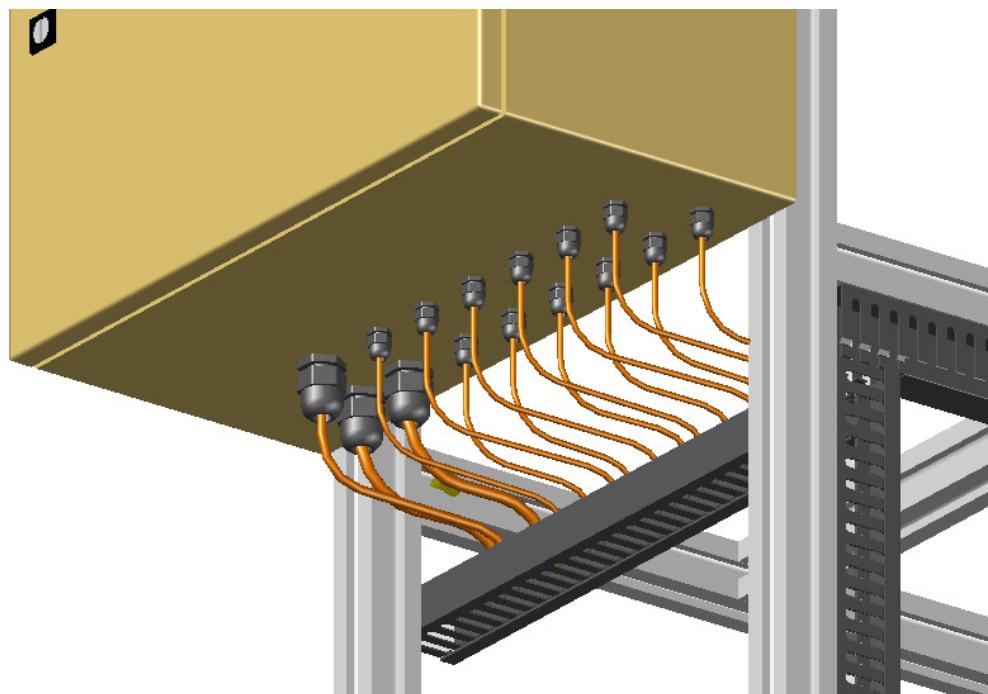


Figura 37: Modelo 3D – Vista dos prensa cabos na parte inferior do painel.

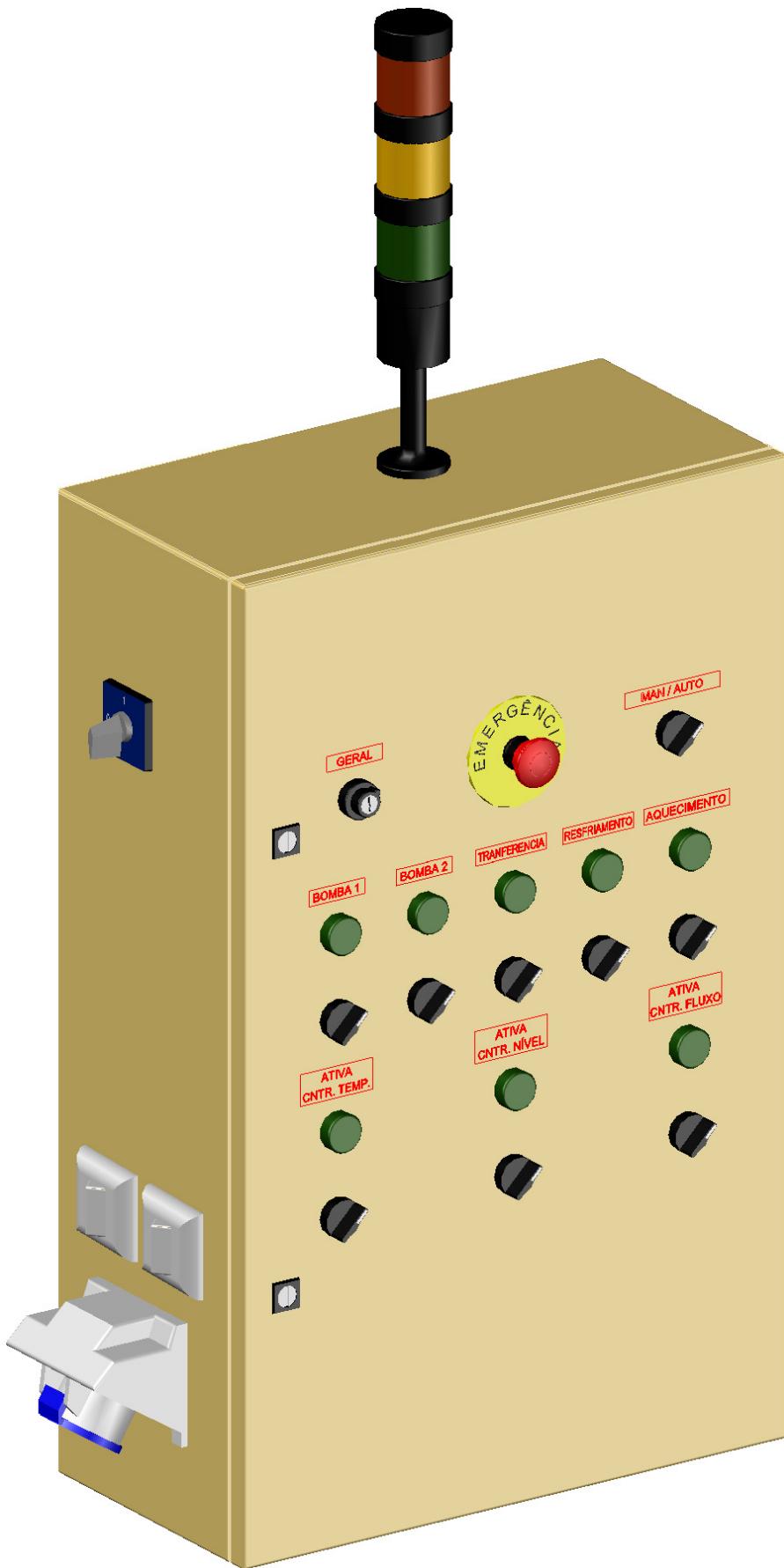


Figura 38: Modelo do painel elétrico e seus equipamentos (Cemar Legrand®).

3.3.3. Dimensionamento dos componentes elétricos

Para realizar o dimensionamento dos componentes utilizados, foram adotadas as práticas recomendadas pela NBR5410 a fim de garantir o perfeito funcionamento e proteção do sistema.

A lista com o consumo máximo informado por cada fabricante é mostrada abaixo:

Componentes 220VCA a serem alimentados pela rede elétrica local:

- Um aquecedor de 2kW;
- Dois motores de 1/3CV (245VA)
- Um mini ventilador de 7VA;
- Eletrobomba de 34VA;
- Cinco fontes dos controladores de 70VA cada.
- Uma fonte 24Vcc de 11^a

Componentes alimentados pela fonte 24VCC:

- Dois relés de interface de 5,3W cada;
- Onze sinalizadores luminosos de 0,25W cada;
- Um *Coupler* de 2,4W;
- Cinco válvulas solenoides de campo de 20W;
- Sete sensores indutivos de 0,36W;

Com base nos valores acima e respeitando as normas vigentes foi realizado o dimensionamento tanto dos itens de acionamento quanto os itens de proteção que integram a planta. A seguir itens principais.

3.3.3.1. Acionamento:

- Uma chave seccionadora tripolar de 32A para acionamento geral;
- Dois inversores de frequência de 2,6A para alimentar cada bomba.
- Dois relés de interface com capacidade de condução de 5A para acionamento do ventilador e eletrobomba;

- Um relé de estado sólido com capacidade de condução de 20A para acionamento do aquecedor;
- Uma fonte de 24VCC e 11A para alimentar válvulas solenoides, sensores, sinaleiros, relés de interface e *coupler*;
- Uma tomada e plugue industrial de três polos e capacidade de condução de 32A.

3.3.3.2. Proteção

- Dois disjuntores bipolares de 4A para proteção da cada bomba d'água;
- Um disjuntor bipolar de 10A para proteção da resistência de aquecimento;
- Oito fusíveis de vidro de 1,25A para proteção de cada controlador individualmente;
- Dois fusíveis de vidro de 1A para proteção do ventilador e eletrobomba;
- Dois fusíveis de vidro de 1,5A para proteção da entrada da fonte 24VCC;

3.3.4. Estrutura completa

Após todos os itens definidos e modelados, iniciou-se o projeto e modelagem da estrutura física completa para acomodar todos os equipamentos. Esse processo de modelagem atualmente vem sendo extensamente utilizado pela área de engenharia, visto que proporciona uma visão completa do produto ou peça a ser desenvolvida, evitando dessa maneira o gasto com fabricação de protótipos.

No desenvolvimento da planta, foram gastas muitas horas para definir uma estrutura satisfatória para a planta, por fim chegou-se ao *design* apresentado na figura 39. Para garantir a segurança dos usuários, todas as peças da estrutura serão conectadas entre si por cabos, possibilitando o aterramento de toda a estrutura.

Para facilitar a realização dos cortes e furações dos perfis necessários, foi elaborado um plano de cortes e furações mostrado na figura 40.

A seguir são mostradas as diversas vistas do modelo 3D da planta completamente montada com seus componentes. Na figura 41 é mostrada a vista frontal, na figura 42(a) é mostrada a vista lateral esquerda, na figura 42(b) a vista lateral direita, na figura 43 tem-se a vista superior e nas figuras 44, 45 e 46 é apresentada a planta em diferentes perspectivas.

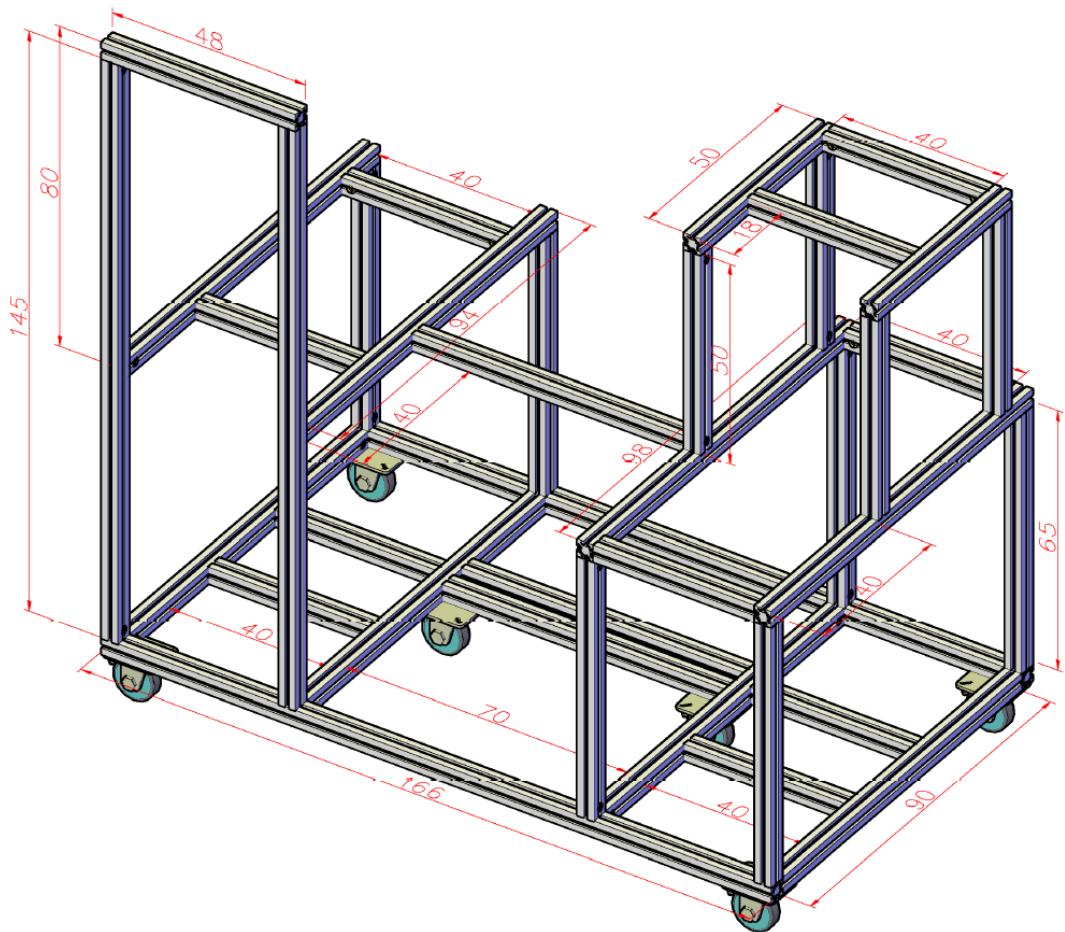


Figura 39: Modelo 3D da estrutura de perfis (dimensões em cm).

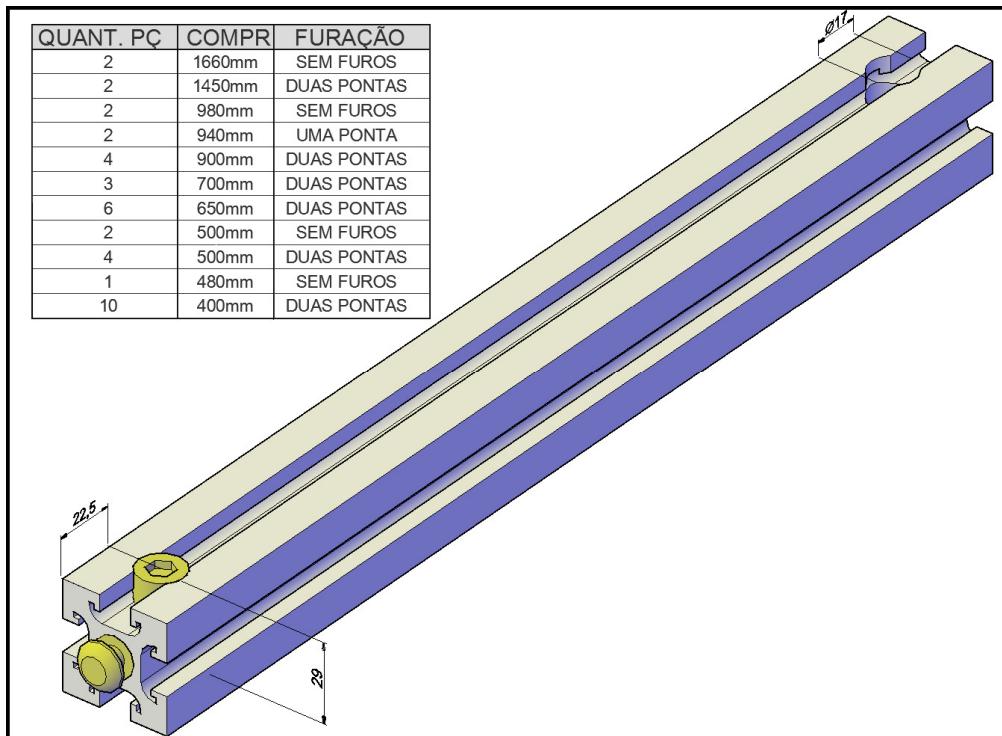


Figura 40: Plano de corte dos perfis.

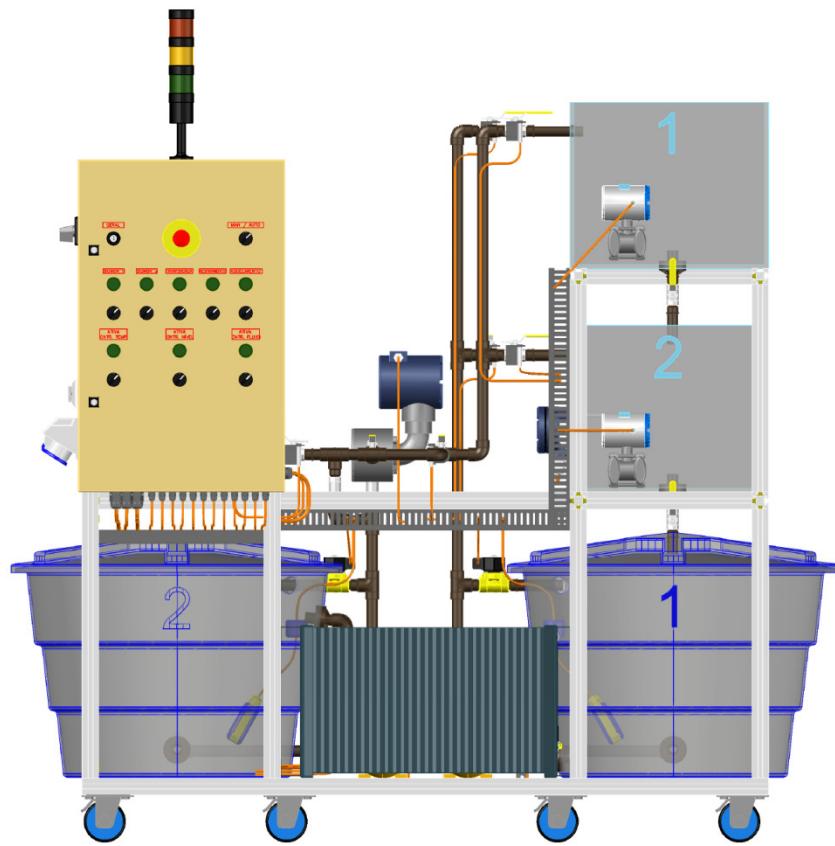


Figura 41: Modelo 3D da planta montada (vista frontal).

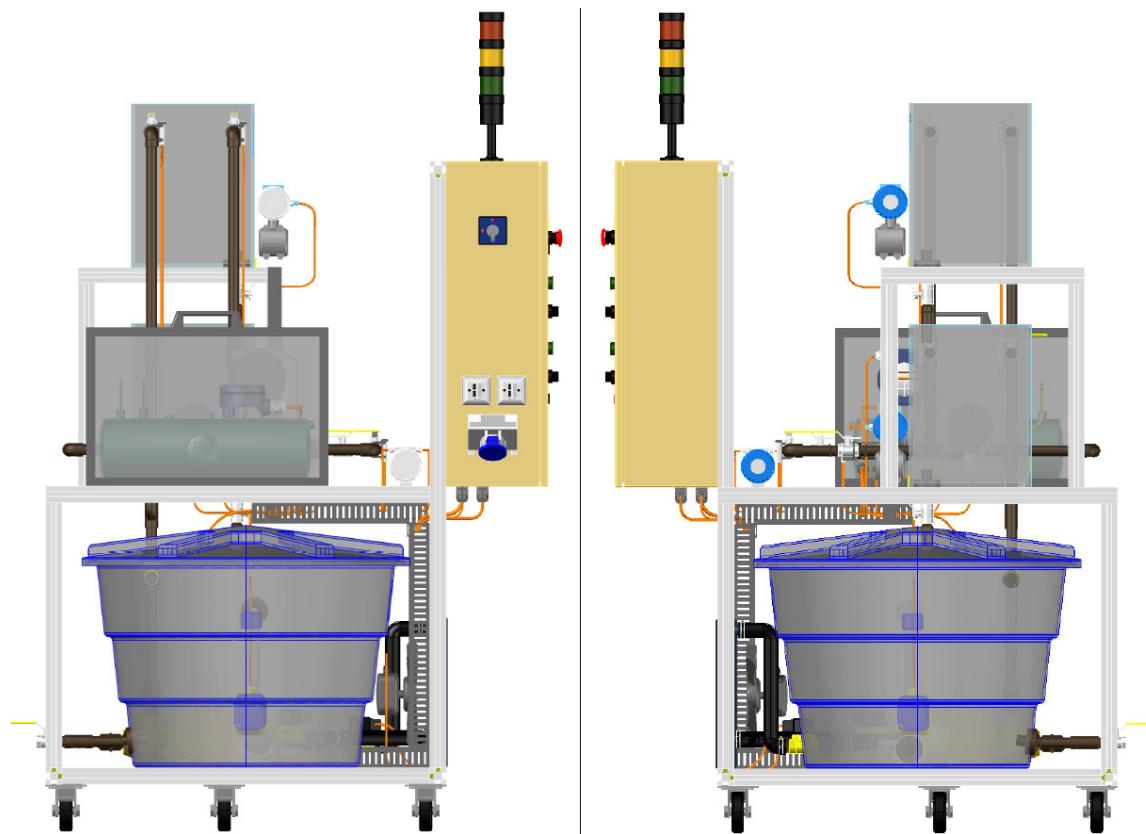


Figura 42: Modelo 3D da planta montada; (a) lateral esquerda, (b) lateral direita.

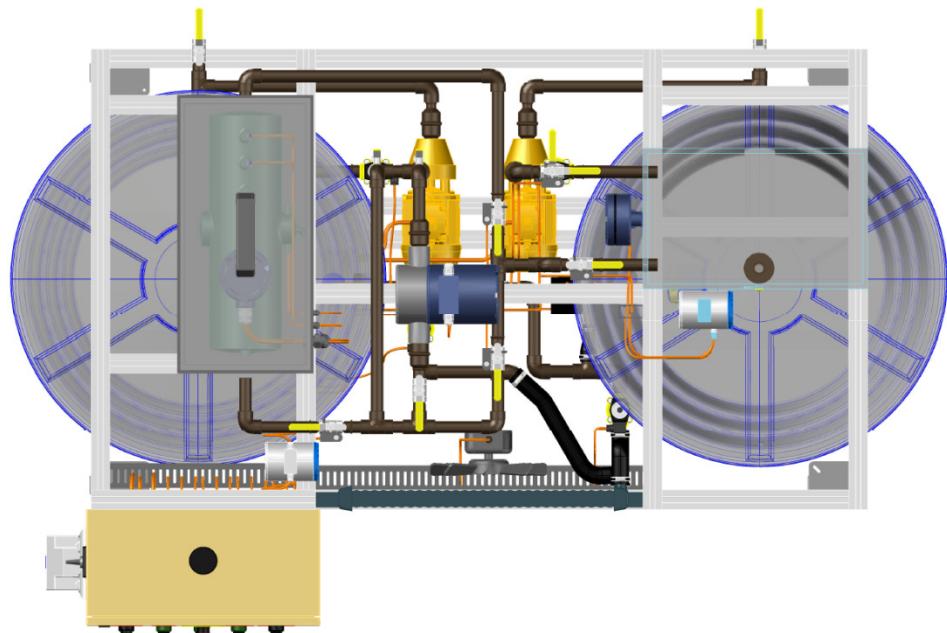


Figura 43: Modelo 3D da planta montada (vista superior).

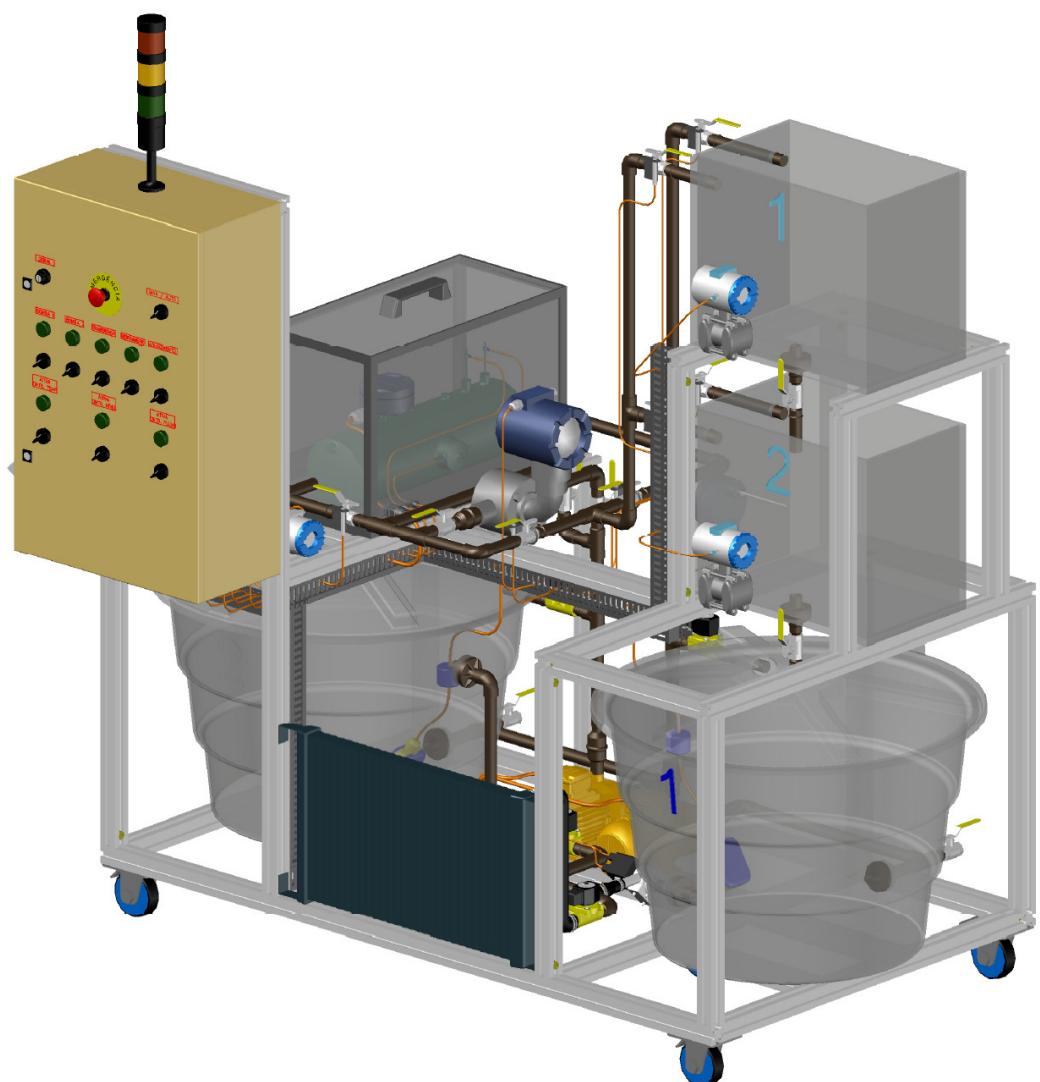


Figura 44: Modelo 3D da planta montada (perspectiva frontal).

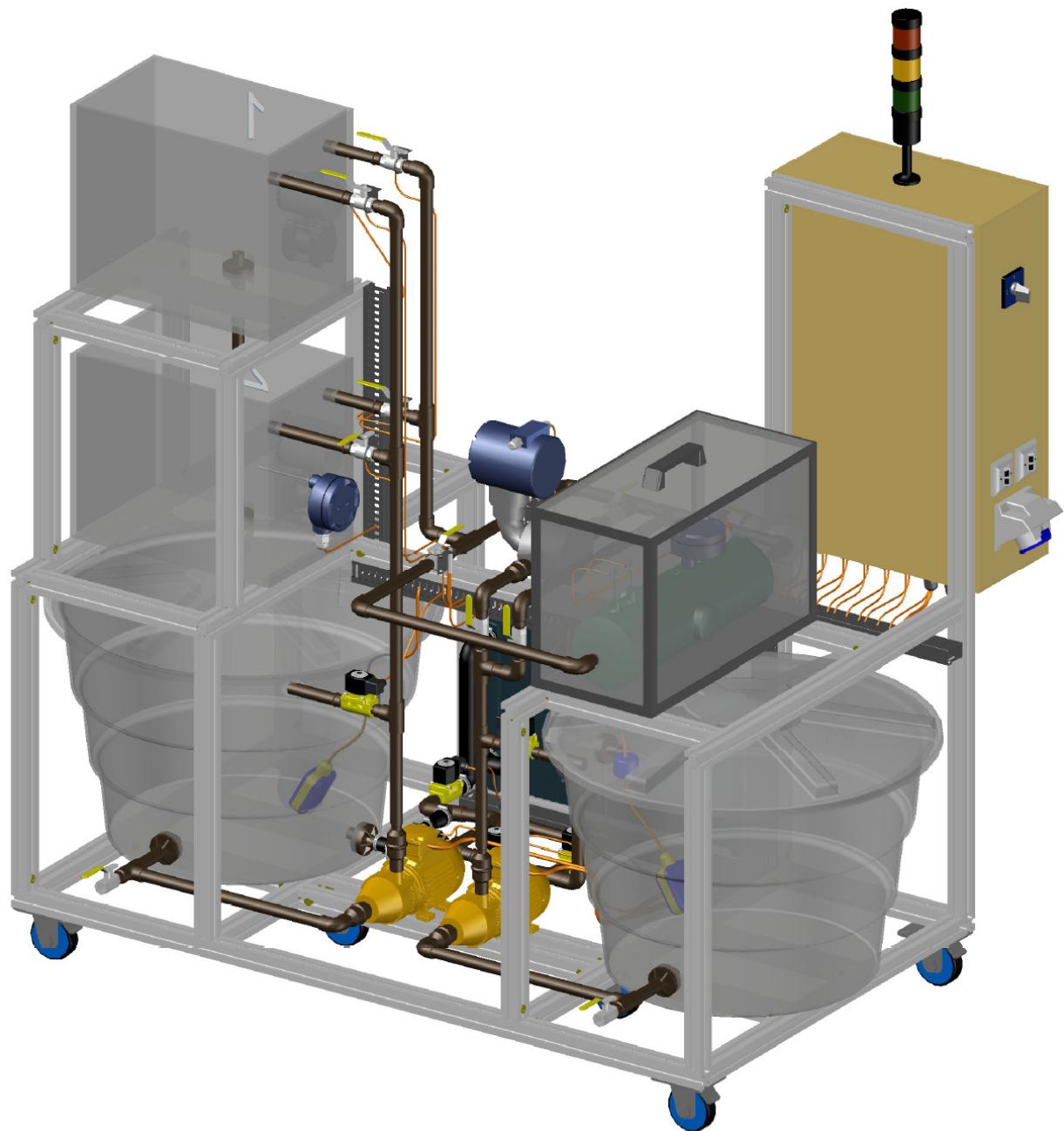


Figura 45: Modelo 3D da planta montada (perspectiva posterior A).



Figura 46: Modelo 3D da planta montada (perspectiva posterior B).

3.4. Topologia das redes propostas

Para que a comunicação entre os dispositivos aconteça de forma correta os mesmos devem ser devidamente conectados entre si. A forma como a rede de campo interliga os componentes é chamada topologia de rede. A seguir é esplanada a topologia de cada rede proposta.

3.4.1. Rede PROFIBUS

A rede PROFIBUS será usada nas malhas de controle de níveis. O controlador mestre será o S7-1200 da Siemens®. A estrutura da rede é separada em dois seguimentos, o DP e o PA. Sua estrutura é ilustrada na figura 47. O segmento DP é formado apenas pelo ramal entre o controlador e o *coupler*, já o segmento PA, utiliza a topologia em árvore, conectando diretamente os transmissores de pressão ao *coupler*.

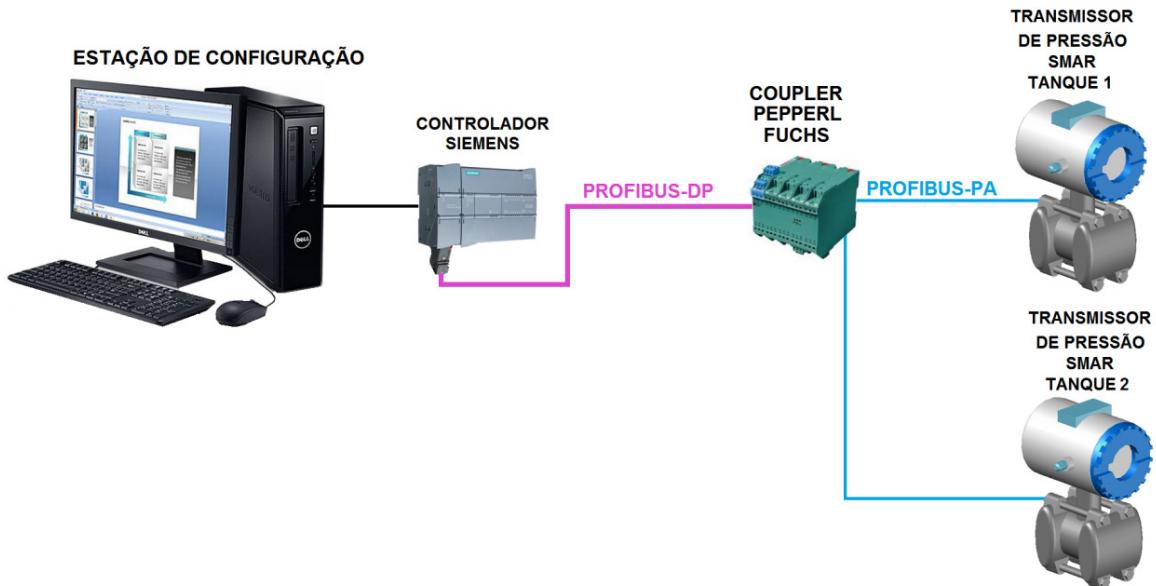


Figura 47: Topologia proposta para a rede PROFIBUS.

3.4.2. Rede Foundation Fieldbus

A estrutura da rede FF é mostrada na figura 48. A rede FF será utilizada pelas malhas de temperatura, e o controlador mestre será o DF51 da Smar.

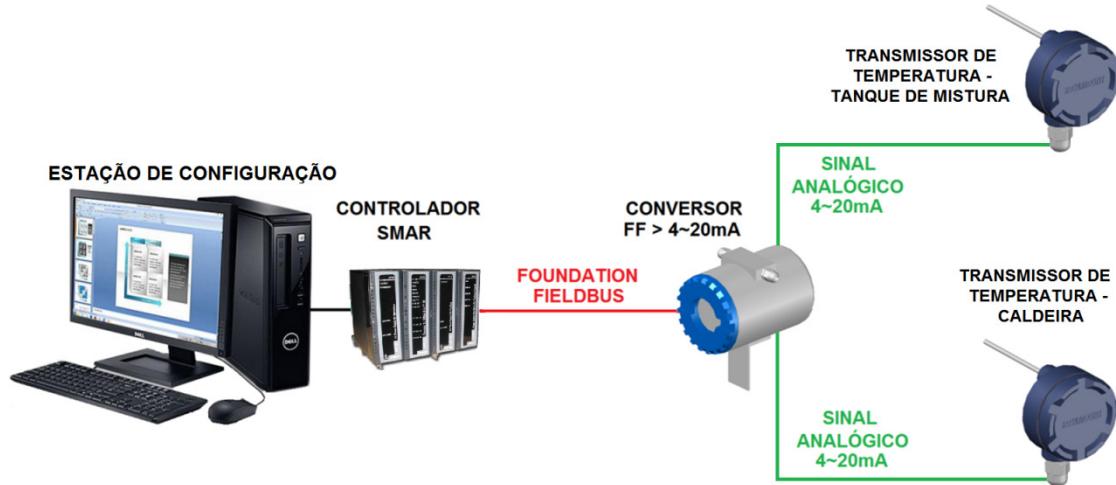


Figura 48: Topologia proposta para a rede FF.

3.4.3. Rede HART

O controlador CITRINO da Fertron será o responsável pela malha de fluxo e se comunicará utilizando o protocolo HART. Como essa malha possui apenas um instrumento, sua topologia é muito simples, como mostra a figura 49 a seguir.



Figura 49: Topologia proposta para a rede HART.

4. PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO E FUNCIONALIDADES

Como já citado anteriormente, esse trabalho prevê a utilização da planta por mais de um aluno simultaneamente. O conceito da proposta visa que o controle de cada malha seja feito mesmo com a interferência causada pelo processo da malha vizinha. Por exemplo, o controle de temperatura da caldeira deve ser realizado independente do controle de fluxo (que alimenta a caldeira). O mesmo princípio é aplicado à malha de nível nos tanques de mistura.

Porém essa integração entre as malhas acaba possibilitando trabalhar com outros tipos de estratégia de controle. Como cada processo gera uma perturbação no seguinte, e como a planta possui monitoramento das grandezas em cada seguimento, além do tradicional controle por realimentação, pode-se trabalhar com técnicas avançadas de controle como, por exemplo, o controle antecipatório mostrado anteriormente na figura 4, onde o controlador toma suas decisões também levando em consideração uma perturbação de entrada do sistema para corrigir sua saída, antes mesmo dela sofrer alterações.

Além disso, com pequenas mudanças no cabeamento de rede o instrutor também pode alterar os tipos redes de cada malha e suas topologias, já que os instrumentos suportam mais de um único protocolo.

Outra função possível da planta é no estudo de automação, já que é necessário programar o CLP para realizar de maneira satisfatória todos os inter-travamentos de segurança e lógica de acionamento das válvulas solenoides, ventilador, sinalizadores e ativação dos controles de cada malha.

A seguir serão apresentadas quatro propostas didáticas para realização de experimentos utilizando a planta.

4.1. Proposta didática para malha de nível.

Fazendo o uso do *software* STEP 7 o aluno deverá configurar a rede PROFIBUS possibilitando a comunicação correta entre mestre e escravos e implementar o controle de nível nos tanques de acrílico (tanque um ou tanque dois). O controle deverá ser satisfatório mesmo com a perturbação (variável ou não) que chega ao tanque um

proveniente da caldeira. Outra variação que pode ser introduzida no processo é a alteração da vazão dos tanques através das válvulas manuais.

Conforme exigência do professor, os níveis de desempenho do controle podem ser incrementados a cada sucesso do aluno (ou grupo), incentivando os alunos a buscarem novas técnicas de controle.

4.2. Proposta didática para malha de temperatura.

Nessa malha o aluno será cobrado pela configuração da rede FF e implementação do controle de temperatura via *software Logic View for FFB* da Smar.

Esta malha possibilita uma variação maior de técnicas de controles e opções de variáveis controladas.

A planta permite realizar o controle de temperatura com vários níveis de dificuldade. O primeiro seria o controle por realimentação simples da temperatura na caldeira com um fluxo de água constante. O segundo nível seria com o fluxo variante.

Outra opção é o controle antecipatório, onde o sinal do medidor de fluxo é utilizado para antecipar as variações antes mesmo da temperatura da caldeira variar.

Além dessas opções, pode-se realizar o controle de temperatura no tanque de acrílico número dois. Para isso, é possível integrar as malhas de fluxo e temperatura para que o controlador forneça tanto o fluxo de água quanto a temperatura necessária para atingir a temperatura no tanque dois. Vale lembrar que o *set point*, nesse caso, não deve ser ajustado em valores elevados, visto que a temperatura necessária na caldeira será bem mais elevada que a temperatura controlada no tanque dois, visto que os tanques um e dois, além de serem alimentados pela caldeira, também recebem água do reservatório um, que reduz a temperatura final da água.

4.3. Proposta didática para malha de controle de fluxo.

O controle de fluxo da planta será realizado apenas pela técnica de realimentação simples. Para configurar a malha e a rede HART, o aluno deverá fazer uso do *software* de programação *Citrino Tools*. Para inserir uma variação durante o

processo, podem-se alterar as posições das válvulas manuais seis e sete (vide diagrama P&ID, apêndice A), causando assim uma maior ou menor obstrução na tubulação..

4.4. Proposta didática para automação da planta

A quarta função da planta é proporcionar o estudo de automação e programação lógica. Essa função será executada pelo segundo controlador Siemens® S7-1200.

O aluno deverá elaborar o programa do CLP para acionar corretamente as válvulas solenoides, eletrobomba, ventilador, sinaleiros e também enviar sinais de monitoramento aos outros controladores de acordo com os sinais de entrada que são provenientes das chaves de níveis dos reservatórios, da chave de nível da caldeira, dos sensores indutivos acoplados às válvulas e dos comutadores e botões do painel.

Essa programação deverá garantir que não aconteçam transbordamentos, que nenhum equipamento seja acionado indevidamente e que não aconteça o bloqueio do circuito fechado da planta. Para situações de anormalidade, o aluno deverá utilizar o sinalizador vermelho da torre.

Para guiar o estudante, foi criado o diagrama binário de segurança para a planta. Com ele o aluno poderá programar corretamente os intertravamentos e acionamentos da planta. Ele é apresentado em detalhes no apêndice D.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi descrito todo o processo de criação da proposta de construção de uma planta didática multitarefa, desde a escolha de requisitos iniciais, definição dos processos, malhas de controle, sistema de tubulações, até a seleção de todos os componentes necessários para sua construção.

Com a proposta elaborada, conseguiu-se atingir os objetivos principais inseridos no título desse trabalho, ou seja, de criar uma planta capaz de ser utilizada por quatro alunos (ou grupos de alunos) tornando-a assim multitarefa, e de possuir três processos distintos, nível, temperatura e fluxo, definindo-a como multiprocessamento. Além disso, outro requisito inicial importante que foi atendido, foi a utilização de três redes distintas, PROFIBUS, *Foundation Fieldbus* e HART.

Para execução desse trabalho foram necessários os ensinamentos de múltiplas disciplinas assistidas durante o curso de engenharia, cada uma colaborando com uma pequena quota dos conhecimentos utilizados. Pode-se citar as seguintes: redes industriais, automação, laboratório de automação, redes de computadores, laboratório de controle de processos industriais, redes de comunicação industrial, fundamentos de controle, laboratório de fundamentos de controle, transdutores, sistemas digitais e gerenciamento de projetos.

Foi possível evidenciar que uma importante ferramenta no desenvolvimento de um produto ou protótipo são os *softwares CAD* com recursos 3D. A modelagem de todos os componentes do projeto torna o desenvolvimento da estrutura e da disposição de montagem dos componentes precisa, gerando assim menos imprevistos no momento de realmente realizar a construção e evitando gastos desnecessários.

Uma observação que não pode deixar de ser feita é sobre o enorme ganho que as instalações do Departamento terão com a construção dessa planta, tornando o seguimento desse trabalho essencial.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A primeira sugestão já mencionada anteriormente nos objetivos deste trabalho é a posterior construção da planta didática, para que a mesma possa ser utilizada nos laboratórios de ensino do Departamento de Engenharia elétrica EESC-USP.

A segunda, relacionada à área didática, seria a elaboração de ensaios pré-determinados para serem aplicados durante o semestre na disciplina SEL0431 - “Laboratório de controle de processos industriais”.

Após sua construção, a gama de possibilidades de estudo é enorme. É possível realizar estudos dos seguintes aspectos:

- Modelar matematicamente o comportamento dinâmico da planta;
- Avaliar as diferentes técnicas de controle de cada malha;
- Incorporar um sistema de supervisão SCADA, através de uma rede Ethernet;
- Gerenciar a planta e alterar parâmetros via supervisório.

7. BIBLIOGRAFIA

1. COBENGE: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – trabalho apresentado em 2012: “Utilização de uma planta didática Smar para complementação do ensino de engenharia de controle e automação” – Disponível em: < http://www.abenge.org.br/cobenges-anteriores/2012/artigos-2012/artigos-publicados_13> Acesso em 20/Ago. 2013
2. SMITH, C. A. e CORRIPIO, A. B. **Principles and Practice of Automatic Process Control**, 2 ed., Wiley, New York (1997).
3. BRANDÃO, D. **Notas de aula**. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Departamento de Engenharia elétrica – SEL432 – Redes Industriais, 2010.
4. Samson - Technical Information – Profibus-PA
Disponível em: <http://www.samson.de/pdf_en/l453en.pdf>
Acesso em: 18 Ago. 2013.
5. Foundation Fieldbus.org – Our Technologies.
Disponível em:
<http://www.fieldbus.org/index.php?option=com_content&task=view&id=23&Itemid=308> Acesso em: 18 Ago. 2013.
6. Hartcomm - Apresentação sobre o protocolo HART.
Disponível em: <<http://pt.hartcomm.org/protocol/about/aboutprotocol.html>>
Acesso em: 18 Ago. 2013.
7. MASSA DE CAMPO, M. C. M. e TEIXEIRA, H. C. G. **Controles típicos de equipamentos e processos industriais**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2006. 416 p.
8. ALBUQUERQUE, P. U.; ALEXANDRIA, A. R., **Redes Industriais: aplicações em sistemas digitais de controle distribuído**. São Paulo: Ensino Profissional, 2009.

9. CAPELLI, A., **Automação Industrial, controle do movimento de processos contínuos.** São Paulo: Ensino Profissional, 2009.
10. MENDES, R.S, **Engenharia de automação Industrial. Sba Controle & Automação**, vol.13, n.1, 2002.
11. MORAES, C.C.; CASREUCCI, P.L. **Engenharia de Automação Industrial.** São Paulo, Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., 1979.
12. Norma ISA 5.1 (R1992) - **Instrumentation Symbols and Identification.**
13. Norma ISA 5.3 (1983) – **Graphic Symbols for Distributed Control/Shared Display Instrumentation, Logic and Computer Systems.**
14. Boschrexroth – Área de produtos
Disponível em:
http://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product_groups/assembly_technology_1/basic_mechanical_elements_3/index Acesso em: 10 Jun. 2013.
15. Norma ISA 5.2 (R1992) - **Binary Logic Diagrams for Process Operations.**

APÊNDICE A: DIAGRAMA P&ID

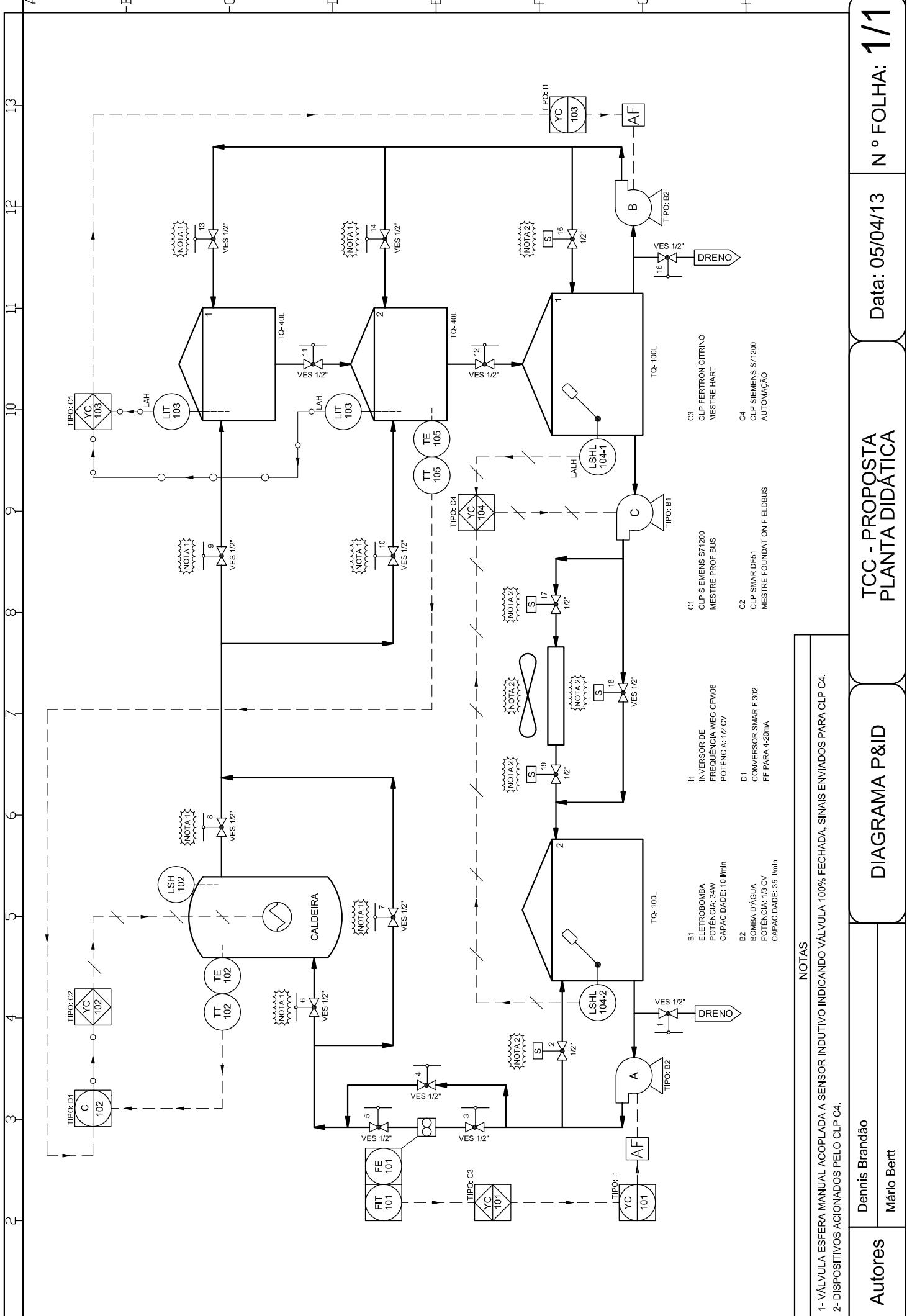


DIAGRAMA P&ID

TCC - PROPOSTA PLANTA DIDÁTICA

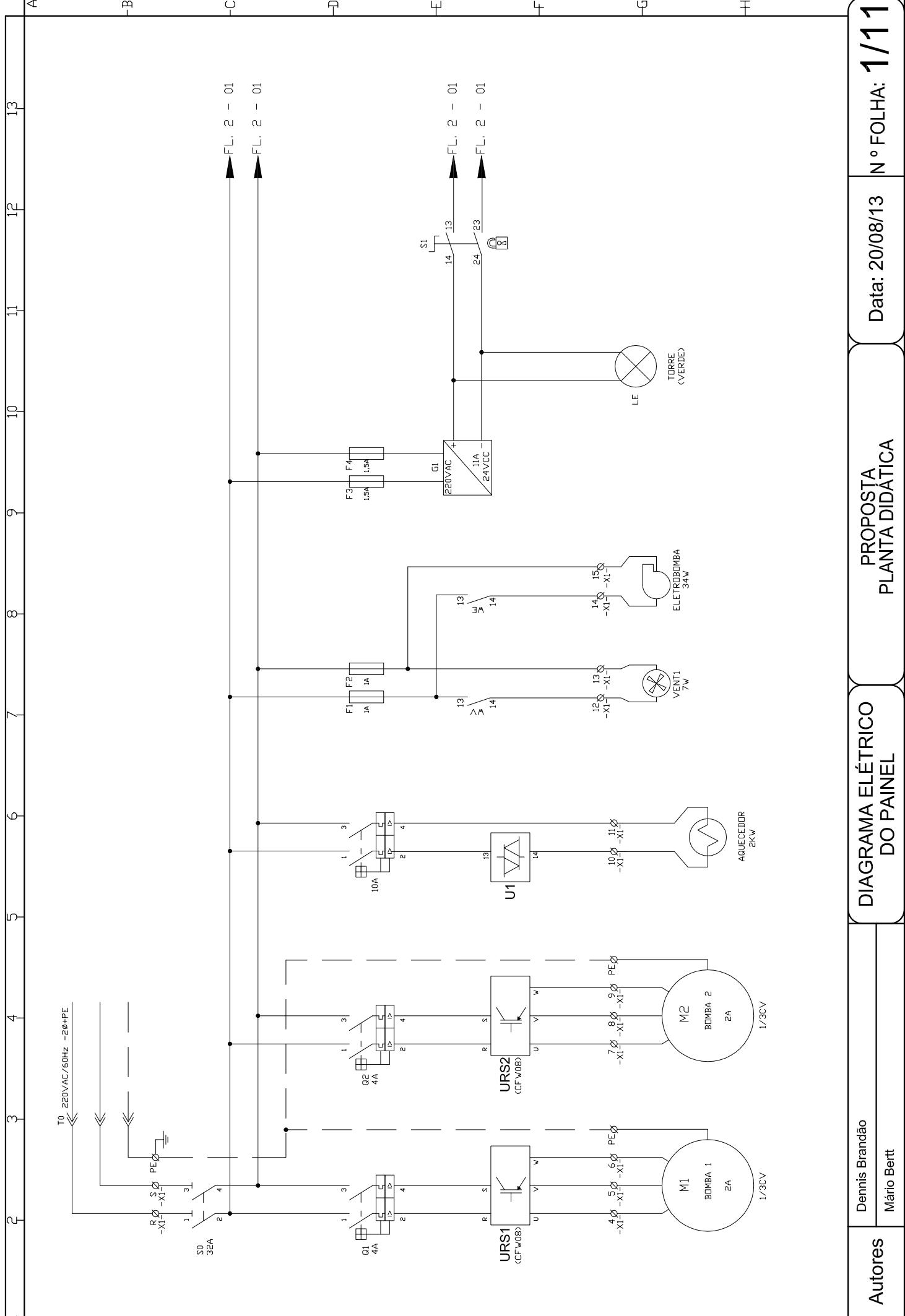
Data: 05/04/13 | Nº FOLHA: 1/1

APÊNDICE B: LISTA COMPLETA DE COMPONENTES

ITEM	DESCRÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE	MODELO	FABRICANTE	CÓD FABR.
1	ABRAÇADEIRA METALICA PARA MANGUEIRAS (17~27MM)	4	und.	FLEXIL	SUPRENS	1927
2	ABRAÇADEIRA METALICA PARA MANGUEIRAS (19~38MM)	4	und.	FLEXIL	SUPRENS	2538
3	ABRAÇADEIRA INSULOK 15cmx3,60mm	100	und.	INSULOK	HELLERMANN	T30R
4	ADAPTADOR BOLSA-ROSCA 1"	8	und.	ÁGUA FRIA	TIGRE	22000322
5	ADAPTADOR BOLSA-ROSCA 1/2'	35	und.	ÁGUA FRIA	TIGRE	22000209
6	ADESIVO PLASTICO PARA PVC TUBO 75g	2	und.	-	TIGRE	53001009
7	BOMBA D'ÁGUA FERRARI 1/3 CV	2	und.	IDB	FERRARI	IDB-35
8	BOTÃO EMERGENCIA TIPO SOCO (GIRA E DESTRAVA)	1	und.	CSW	WEG	BEG
9	BLOCO DE CONTATO NORMALMENTE ABERTO	8	und.	CSW	WEG	BC-01
10	BLOCO DE CONTATO NORMAMLEMTE FECHADO	8	und.	CSW	WEG	BC-10
11	BUCHA DE REDUÇÃO LONGA PVC SOLDÁVEL 1" PARA 1/2"	8	und.	ÁGUA FRIA	TIGRE	22076752
12	CABO UNIPOLAR ISOLAÇÃO PVC 0,5mm (BRANCO)	50	m	-	SIL	-
13	CABO UNIPOLAR ISOLAÇÃO PVC 1,5mm (PRETO)	20	m	-	SIL	-
14	CABO UNIPOLAR ISOLAÇÃO PVC 2,5mm (VERMELHO)	2	m	-	SIL	-
15	CABO UNIPOLAR BRASILEIRINHO ISOLAÇÃO PVC 1,0mm	10	m	-	SIL	-
16	CABO UNIPOLAR BRASILEIRINHO ISOLAÇÃO PVC 2,5mm	1	m	-	SIL	-
17	CABO DE INSTRUMENTAÇÃO 2X0,50mm	10	m	BC-300	PRYSMIAN	BC-300
18	CABO PARA SENSOR 3 FIOS PVC	20	m	CB-0503	SENSE	55090180
19	CABO PP 3x2,50mm	6	m	-	COBRECOM	-
20	CABO PP 4x1,50mm	15	m	-	COBRECOM	-
21	CABO PROFIBUS-DP	2	m	-	BELDEN	3079A
22	CABO PROFIBUS-PA	4	m	-	BELDEN	3076F
23	CAIXA D'ÁGUA DE POLIETILENO CAPACIDADE 100 LITROS	2	und.	-	FORTLEV	-
24	CALDEIRA	1	und.	-	-	-
25	CANAleta CINZA COM RECORTE ABERTO 30x50 (cinza)	4	m	HELADUCT HD	HELLERMANN	HD3P
26	CHAVE BÓIA	2	und.	CB	MARGIRIUS	CB-2000
27	CHAVE DE NÍVEL (CALDEIRA)	1	und.	-	-	-
28	CHAVE SECCIONADORA 32A	1	und.	5TW	SIEMENS	5TW3 032-1
29	CLP MESTRE FOUNDATION + MODULOS DE ALIM.	1	und.	DF51	SMAR	DF51-52-53-54
30	CLP COM TEC HART + DOIS MODULOS (AI - AO)	1	und.	CITRINO	FERTRON	CITRINO
31	CLP + MODULO MESTRE PROFIBUS	1	und.	S71200	SIEMENS	S71214C dc/dc/dc
32	CLP + MODULO 16 ENTRADAS E 16 SAÍDAS DIGITAIS	1	und.	S71200	SIEMENS	S71214C dc/dc/dc
33	COMUTADOR 2 POS FIXAS	9	und.	CSW	WEG	CK2F90
34	COMUTADOR COM CHAVE	1	und.	CSW	WEG	CY2F90
35	CONECTOR 1/2" CAIXA	6	und.	ÁGUA FRIA	TIGRE	22002406
36	CONECTOR BORNE FUSÍVEL	12	und.	ASK 1/35	CONEXEL	474560000
37	CONECTOR BORNE WDU 1,5mm	73	und.	WDU1,5	CONEXEL	1031400000
38	CONECTOR BORNE SAK 2,5mm	6	und.	SAK2,5	CONEXEL	C021556.01
39	CONECTOR BORNE SAK 4,0mm	2	und.	SAK4	CONEXEL	443660000
40	CONECTOR BORNE TERRA 2,5mm	3	und.	EK2,5/35	CONEXEL	661060000
41	CONECTOR BORNE TERRA 4,0mm	1	und.	EK	CONEXEL	EK6/35
42	CONEXÃO PVC T SOLDÁVEL 1/2"	15	und.	ÁGUA FRIA	TIGRE	22200208
43	CONVERSOR FOUNDATION > 4-20mA	1	und.	-	SMAR	FI302
44	COTOVELO PVC SOLDÁVEL 45° 1/2"	1	und.	ÁGUA FRIA	TIGRE	22140205
45	COTOVELO PVC SOLDÁVEL 90° 1/2"	26	und.	ÁGUA FRIA	TIGRE	22150200
46	COUPLER DE SEGMENTO DP-PA	1	und.	-	PEPPERL FUCHS	KFD2-BR-Ex1.3PA.93
47	DISJUNTOR BIPOLAR 4A CURVA C	2	und.	5SX1	SIEMENS	5SX1 204-7
48	DISJUNTOR BIPOLAR 10A CURVA C	1	und.	5SX1	SIEMENS	5SX1 210-7
49	ELETROBOMBA 14LITROS/MINUTO	1	und.	EBE	EMICOL	EBE-02212ZZ14
50	FONTE 220VAC / 24VDC 11A	1	und.	KFT-2410R	SENSE	5000002357
51	FUSIVEL DE VIDRO DIVERSOS (2x1A - 8x1,25A - 2x1,5A)	12	und.	-	-	-
52	IDENTIFICADOR DECAFIX CARTELÀ 1 à 50	8	und.	DECAFIX	CONEXEL	473460001
53	INVERSOR DE FREQUENCIA 220V 1/2 CV - 2,6A	2	und.	CFW08	WEG	10413493
54	JUNÇÃO DE PCV SOLDÁVEL 1/2"	16	und.	ÁGUA FRIA	TIGRE	22220209
55	MANGUEIRA DE BORACHA 1 1/4"	0,5	m	-	ELASTIN	-
56	MANGOTE DE REDUÇÃO 1" > 1/2"	1	und.	-	ELASTIN	-
57	MICROVENTILADOR PARA RADIADOR 1/40	1	und.	1/40	ELGIN	-
58	PAINEL 800X500X250	1	und.	CE	CEMAR LEGRAND	902322
59	PARAFUSO DE FIXAÇÃO ALEN M5X20mm	30	und.	-	-	-
60	PARAFUSO SEXTAVADO M8x50	18	und.	-	-	-
61	PARAFUSO DE FIXAÇÃO DE PERfil REXROTH (RASGO 10)	77	und.	-	BOSCH REXROTH	3 842 535 466
62	PERFIL DE ALUMINIO	26,5	m	-	BOSCH REXROTH	3 842 993 120/L
63	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE EMERGENCIA	1	und.	-	WEG	APE
64	PLUGUE INDUSTRIAL 3 POLOS 32A	1	und.	NEWKON	STECK	N-3276
65	PLUGUE RJ45 INDUSTRIAL	4	und.	-	-	-
66	PRENSA CABOS NYLON PG9	17	und.	PG	KRAUS MULLER	KM00086
67	PRENSA CABOS NYLON PG13,5	5	und.	PG	KRAUS MULLER	KM00086
68	PORCA DE FIXAÇÃO M5 DE ACESSÓRIOS REXROTH	30	und.	-	BOSCH REXROTH	3 842 530 283
69	POSTE PARA CONECTOR BORNE SAC	9	und.	SAK	CONEXEL	EN
70	RADIADOR DE CARRO PALIO 1997~2000	1	und.	-	VISCONDE	12534
71	RELÉ DE ESTADO SÓLIDO 10A	1	und.	3RF	SIEMENS	3RF2310-1.AA02
72	RELÉ DE INTERFACE BOBINA 24VDC	2	und.	3RF	CONEXEL	38.52.7.024.0050

ITEM	DESCRÍÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE	MODELO	FABRICANTE	CÓD FABR.
73	RESISTENCIA DE AQUECIMENTO BLINDADA 220V / 2KW	1	und.	AD-50	ELTRA	AD-50
74	RODIZIOS DE 100mm	6	und.	GL	SCHIOPPA	GL412TP
75	SENSOR INDUTIVO METÁLICO	7	und.	PSX2	SENSE	PSX2-12GX50-E2
76	SENSOR E TRANSMISOR DE VAZÃO	1	und.	CVM-01	METROVAL	CVM-01
77	SENSOR E TRANSMISSOR DE PRESSÃO	2	und.	LD400	SMAR	-
78	SENSOR E TRANSMISSOR DE TEMPERATURA	2	und.	-	ROSEMOUNT	248
79	SINALIZADOR LUMINOSO LED VERDE 24Vcc	8	und.	CEW-SM2-E26	WEG	10046541
80	SUPORTE PARA SENSORES	7	und.	-	-	-
81	TANQUES DE 40 LITROS	2	und.	-	-	-
82	TERMINADOR DE REDE PROFIBUS-PA E FOUNDATION	2	und.	-	SMAR	BT-302
83	TERMINAL TUBULAR 1,00mm	100	und.	H1/14D	CONEXEL	9019080000
84	TERMINAL TUBULAR DUPLO 2,50mm	50	und.	H 2,5/14D	CONEXEL	9019160000
85	TERMINAL TUBULAR DUPLO 1,00mm	50	und.	H1/15D	CONEXEL	9037440000
86	TERMINAL TUBULAR 1,50mm	50	und.	H1,5/14D	CONEXEL	9019120000
87	TOMADA INDUSTRIAL DE SOBREPOR 3 POLOS 32A	1	und.	NEWKON	STECK	N-3206
88	TOMADA PARA CONEXÃO DE DADOS RJ45	2	und.	VS	PHOENIX CONTACT	1653016
89	TORRE LUMINOSA (BASE+ 3 ELEMENTOS LUMINOSOS) 24Vcc	1	und.	XVB	SCHNEIDER	-
90	TRILHO	1,5	m	TS35	CONEXEL	C038340.00
91	TUBO PVC SOLDÁVEL 1"	1	m	ÁGUA FRIA	TIGRE	10121817
92	TUBO PVC SOLDÁVEL 1/2"	8	m	ÁGUA FRIA	TIGRE	10121744
93	VÁLVULA ESFERA MONOBLOCO 1/2"	14	und.	-	DECA	1552.B.012
94	VÁLVULA SOLENÔIDE 1/2" NF - BOBINA 24Vcc	5	und.	1335	JEFFERSON	1335BA4
95	VEDA ROSCA ROLO 50 METROS	1	und.	ÁGUA FRIA	TIGRE	54501951

APÊNDICE C: DIAGRAMA ELÉTRICO DO PAINEL

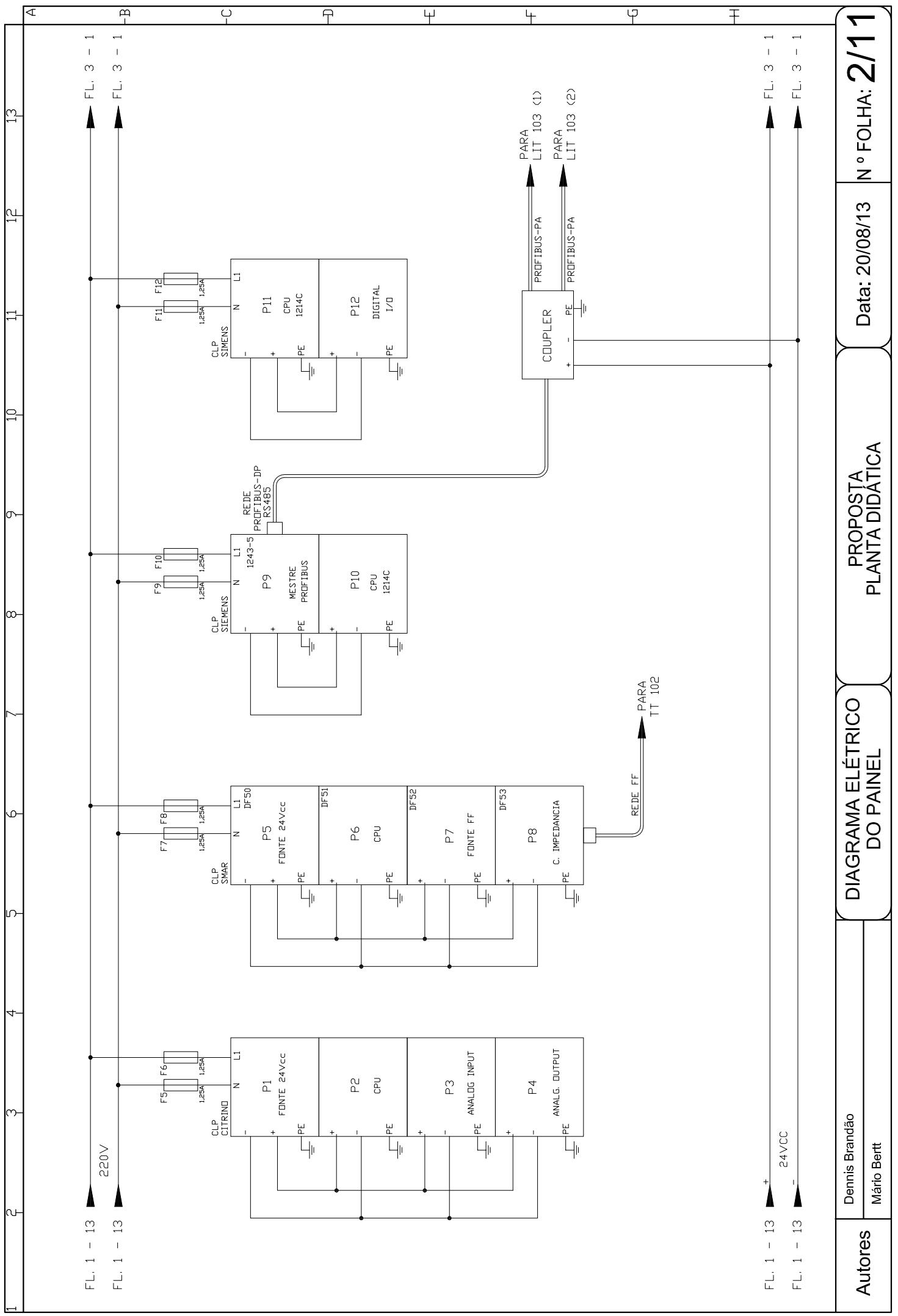


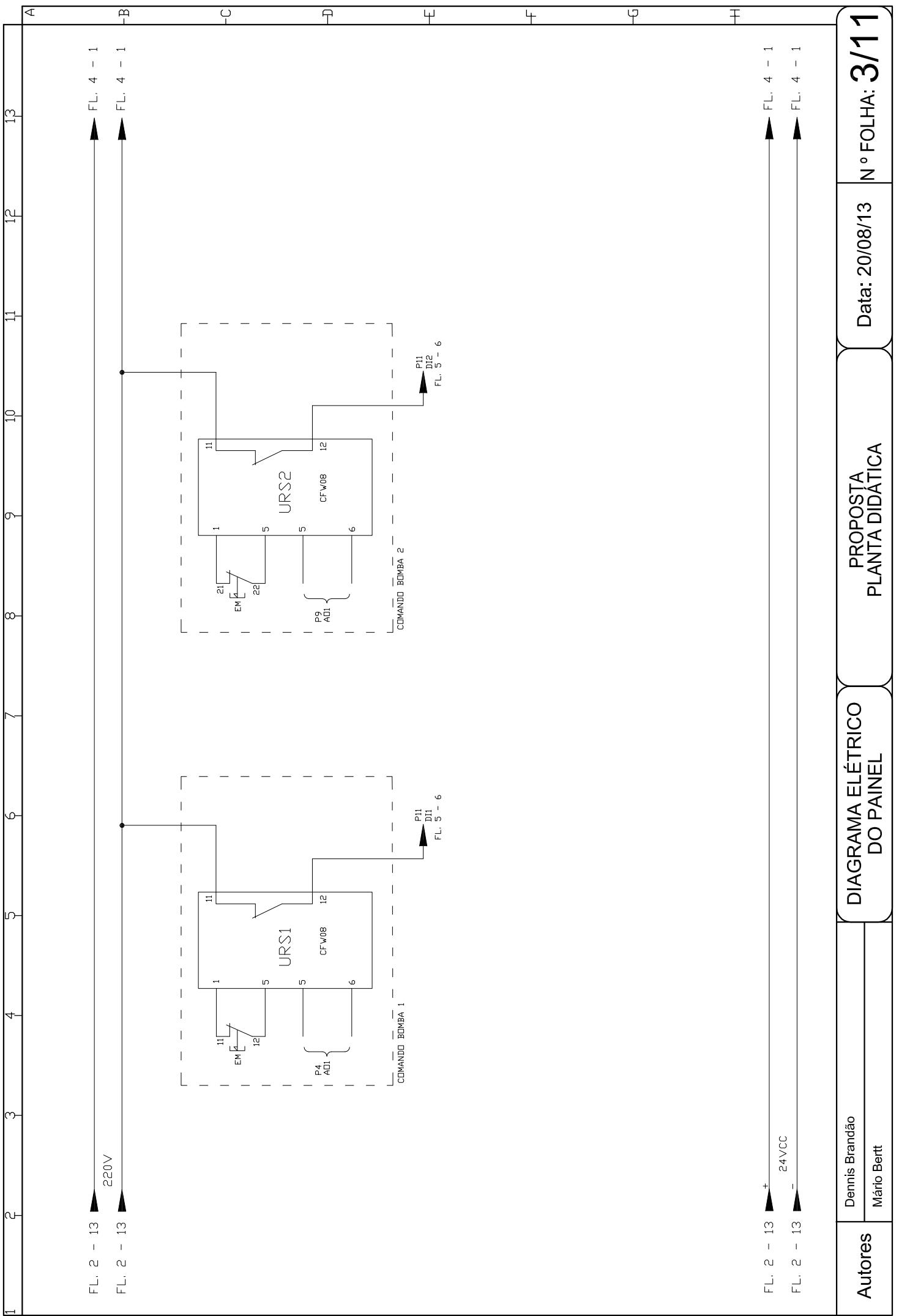
Autores
Dennis Brandão
Mário Bett

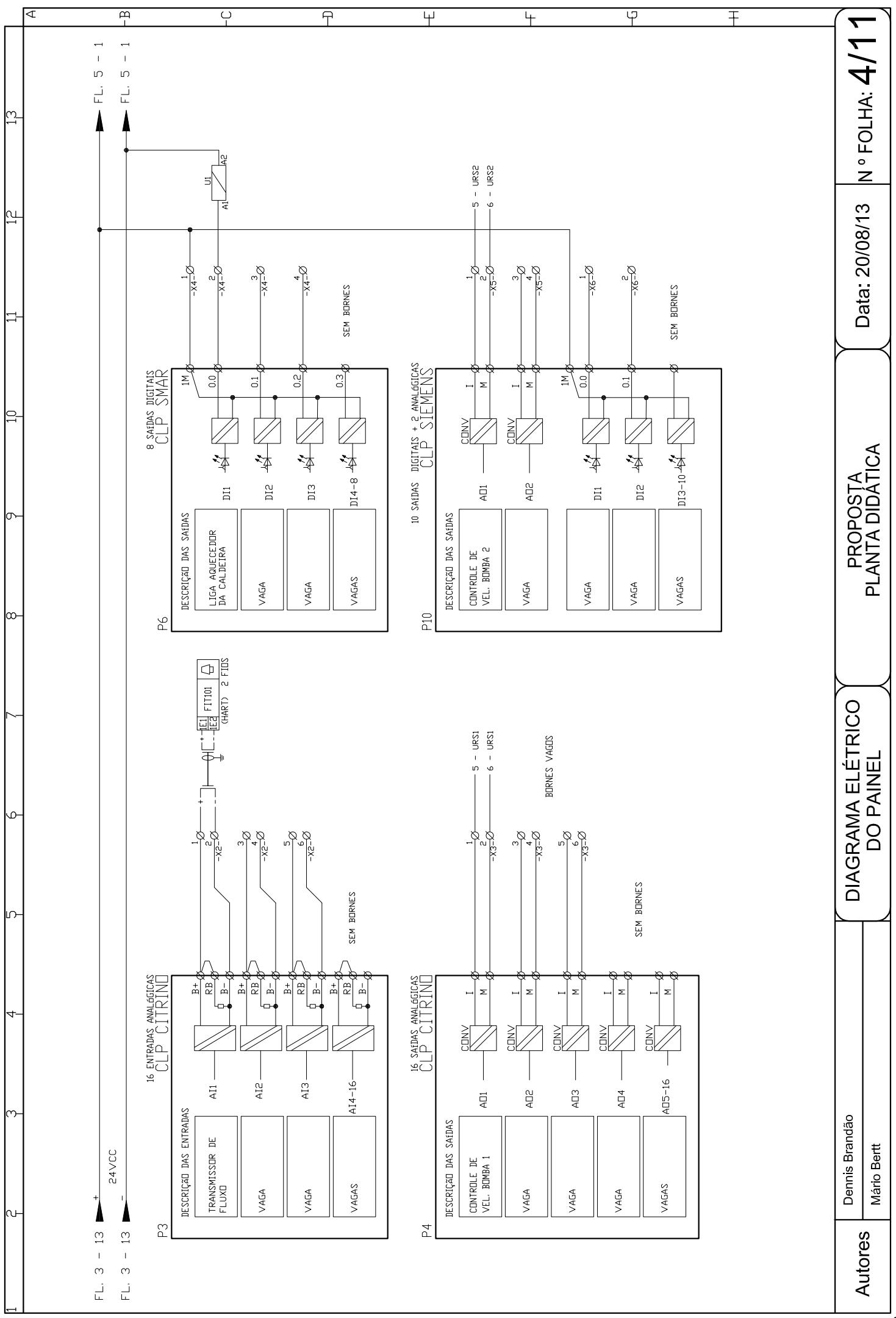
DIAGRAMA ELÉTRICO
DO PAINEL

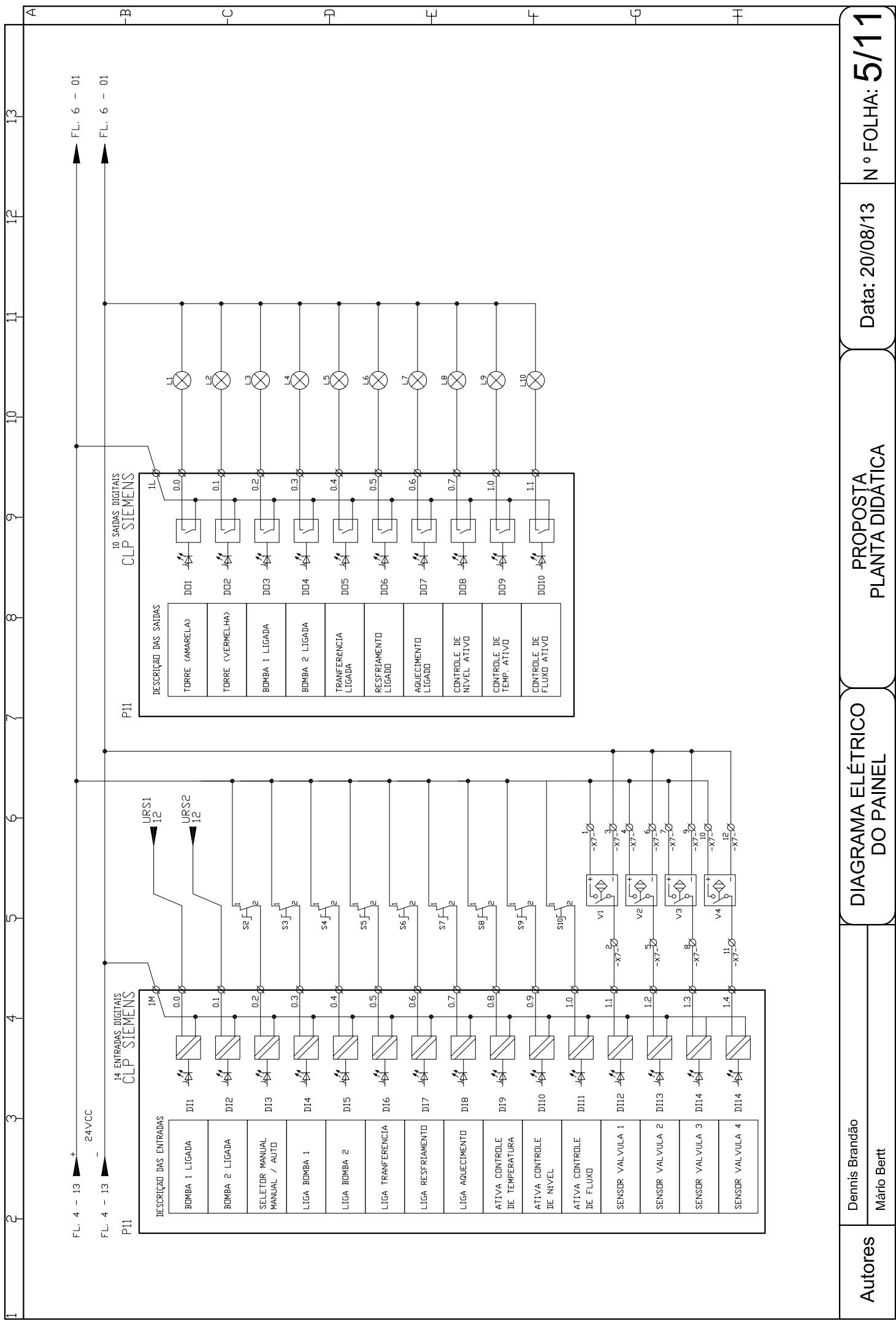
PROPOSTA
PLANTA DIDÁTICA

Data: 20/08/13 | N° FOLHA: 1/1









Autores

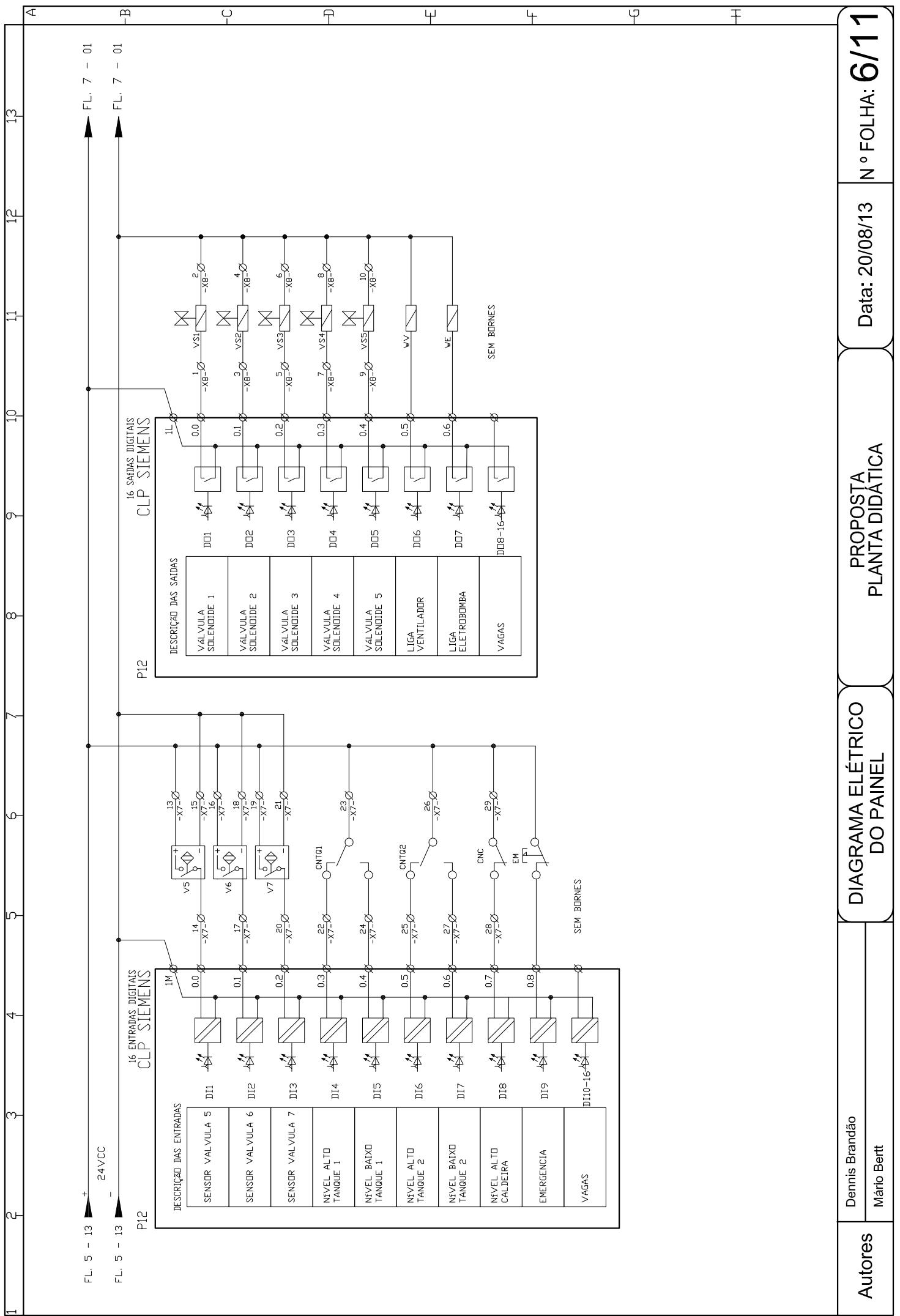
Dennis Brandão
Mário Bett

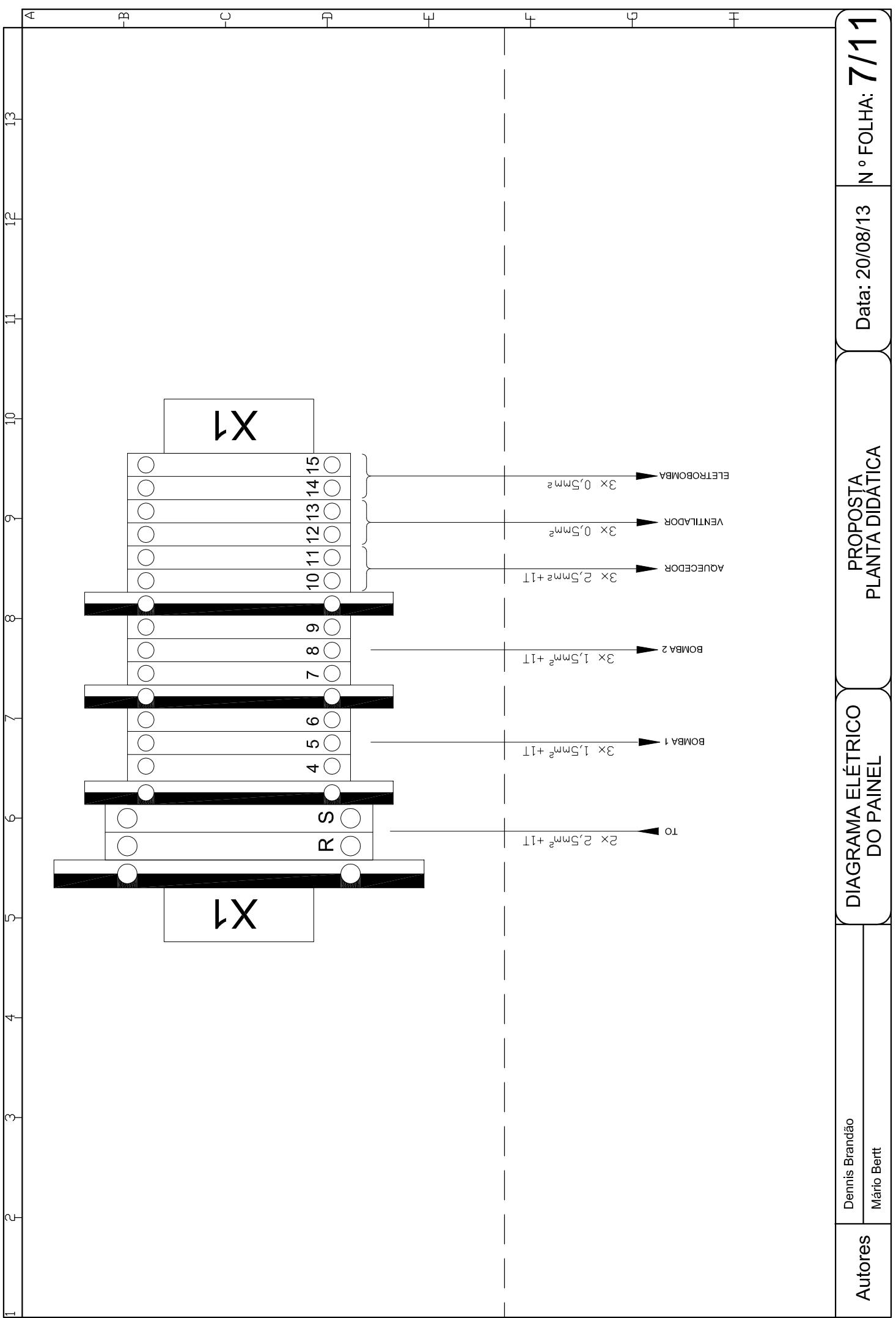
DIAGRAMA ELÉTRICO
DO PAINEL

PROPOSTA
PLANTA DIDÁTICA

Data: 20/08/13

Nº FOLHA: 5/11





Nº FOLHA: 8/11

Data: 20/08/13

PROPOSTA
PLANTA DIDÁTICA

DIAGRAMA ELÉTRICO
DO PAINEL

FLUXO
TRANSMISSOR DE

2 FIOS
FILTRO ELET.

2x 1,0m² + SH

DE

BOMBA 1
CONTROLE DE VELOCIDADE

ACIONAMENTO
ARQUECEDOR

BOMBA 2
CONTROLE DE VELOCIDADE

INVERSOR DE
FREQUÊNCIA
URS2 (5 / 6)

G1 (+)

U1 (A1)

INVERSOR DE
FREQUÊNCIA
URS1 (5 / 6)

X3

X4

X5

X2

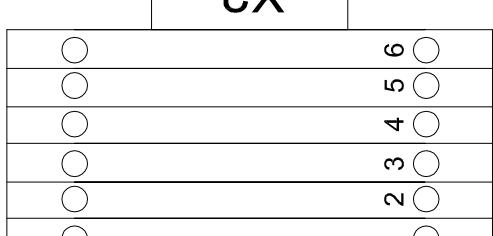
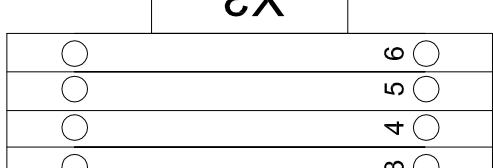
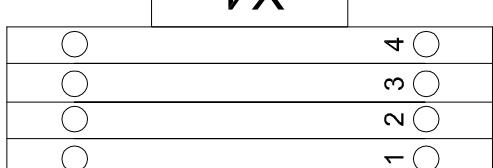
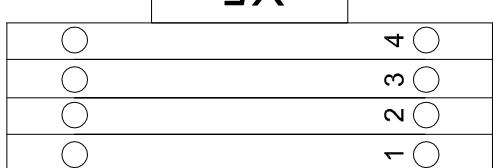
X2

4
3
2
1

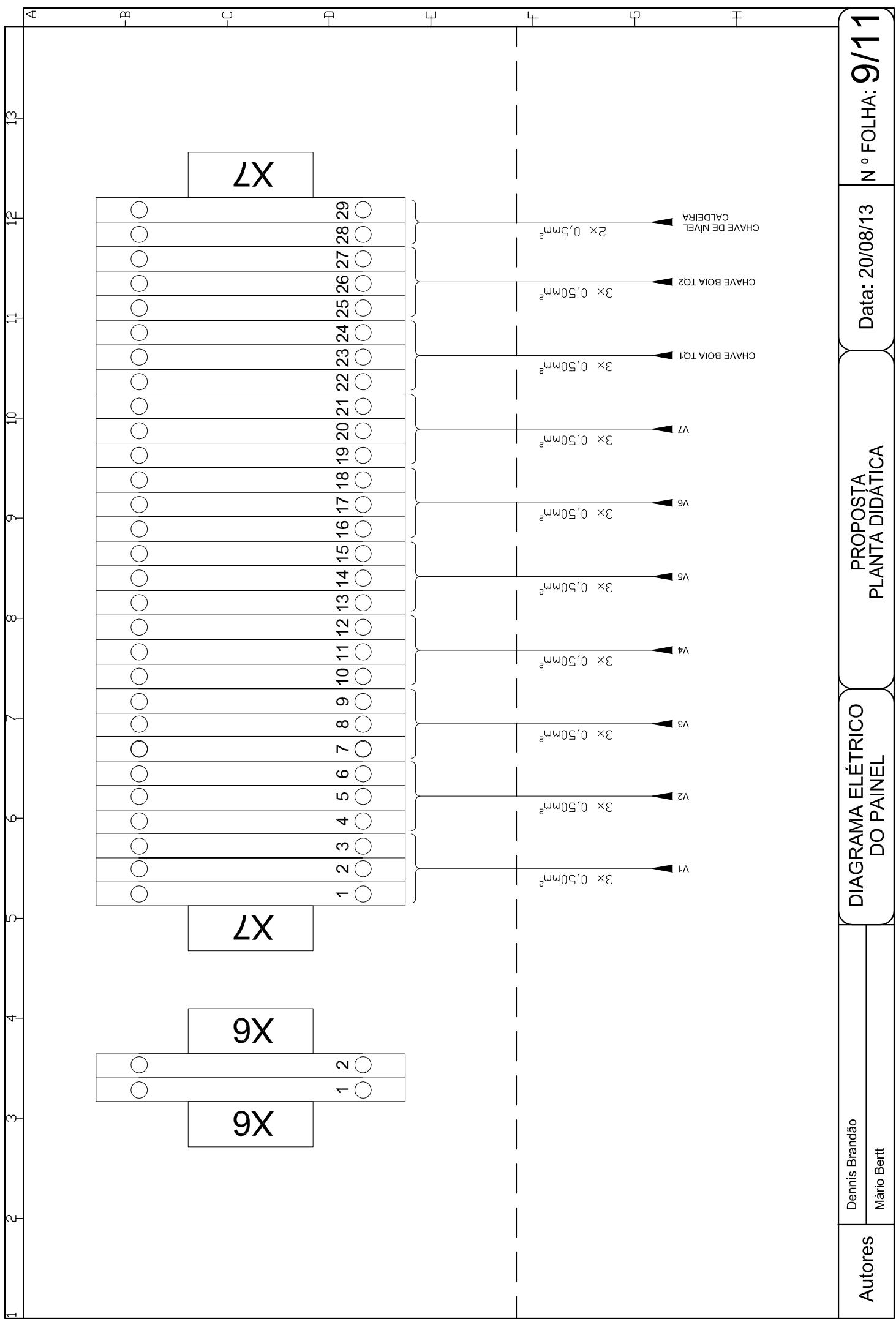
4
3
2
1

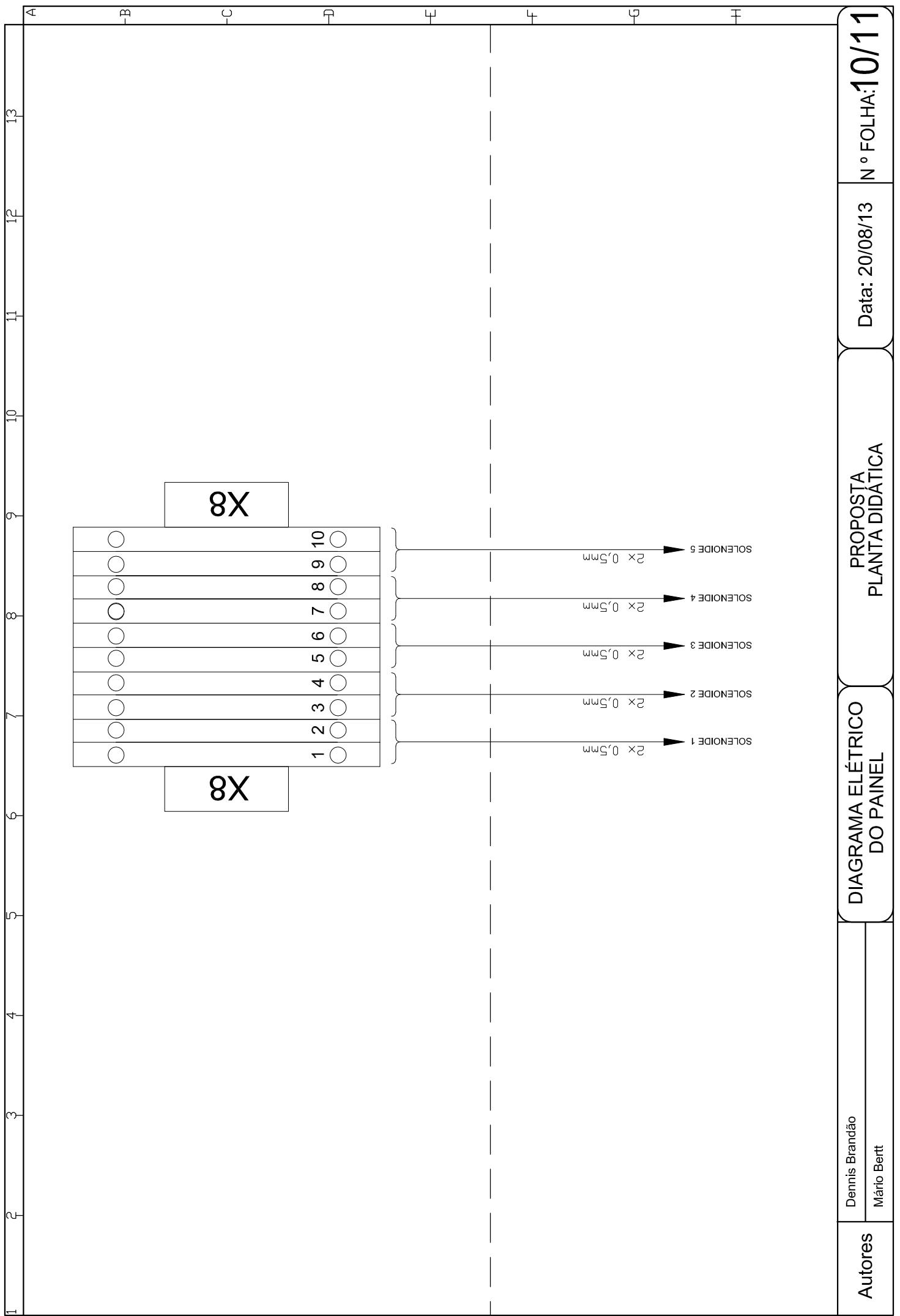
6
5
4
3
2
1

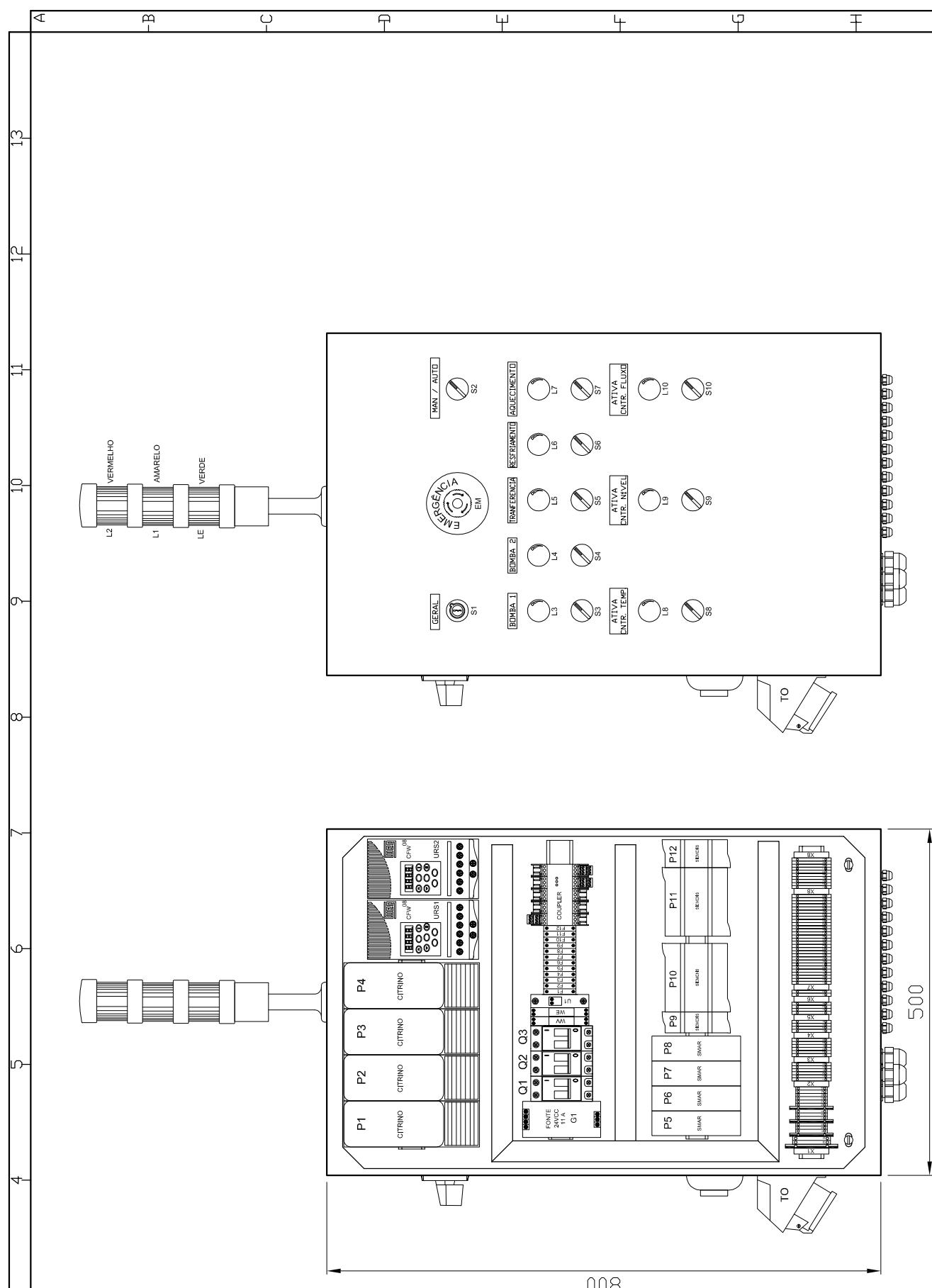
6
5
4
3
2
1



Autores	Dennis Brandão Mário Bett
---------	------------------------------







Autores	Dennis Brandão Mário Bertt
---------	-------------------------------

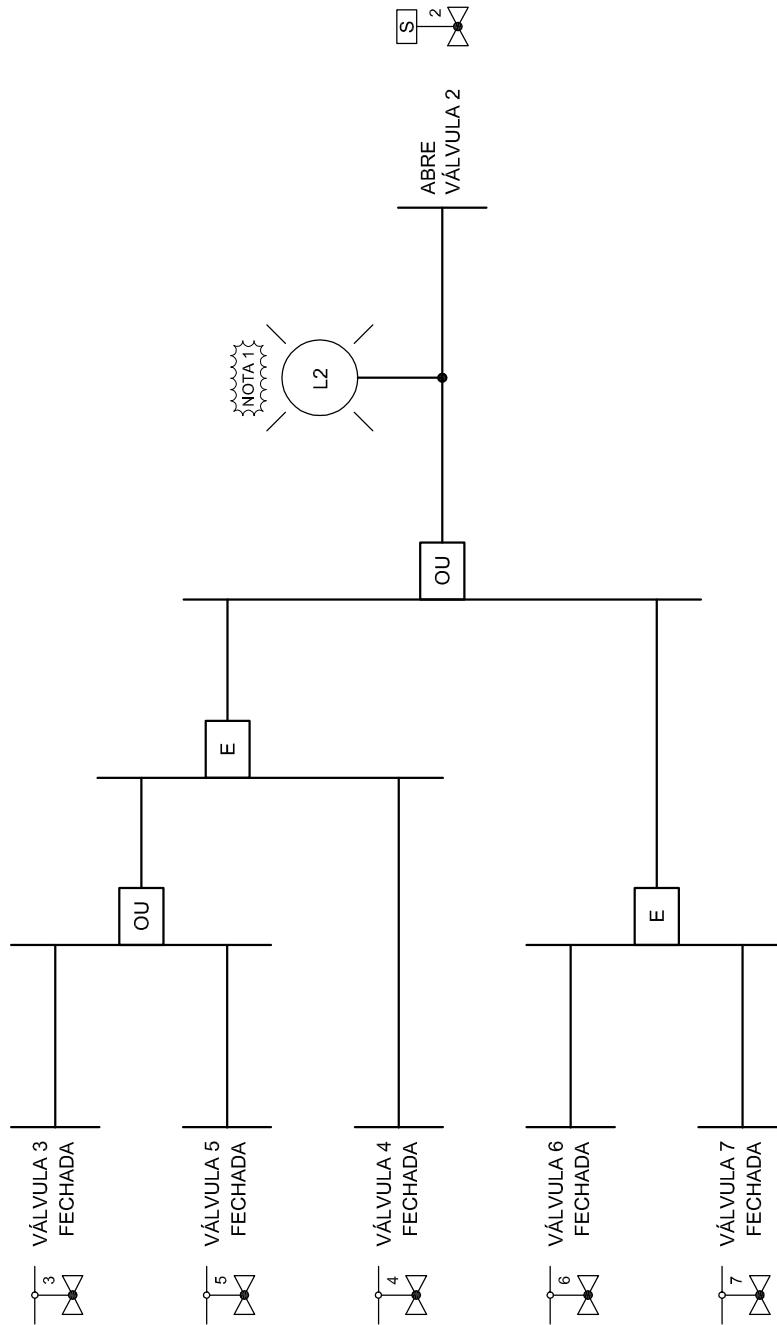
**DIAGRAMA ELÉTRICO
DO PAINEL**

**PROPOSTA
PLANTA DIDÁTICA**

Data: 20/08/13 N º FOLHA: 11/11

APÊNDICE D: DIAGRAMA BINÁRIO DE SEGURANÇA

PROTEÇÃO DA BOMBA "A"



NOTAS

1- TORRE DE SINALIZAÇÃO - ELEMENTO VERMELHO

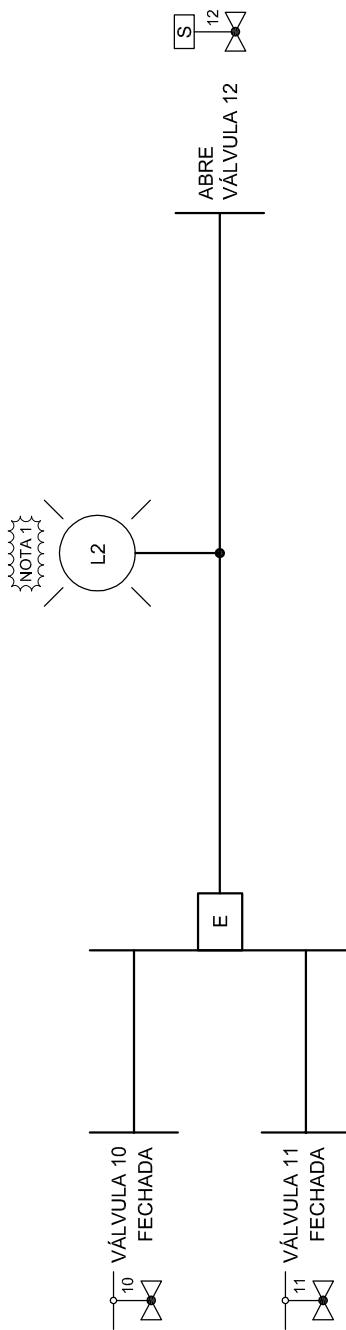
Autores
Dennis Brandão
Mario Bertt

DIAGRAMA BINÁRIO
DE SEGURANÇA

TCC - PROPOSTA
PLANTA DIDÁTICA

Data: 18/09/13 N° FOLHA: 1/4

PROTEÇÃO DA BOMBA "B"



1- TORRE DE SINALIZAÇÃO - ELEMENTO VERMELHO

NOTAS

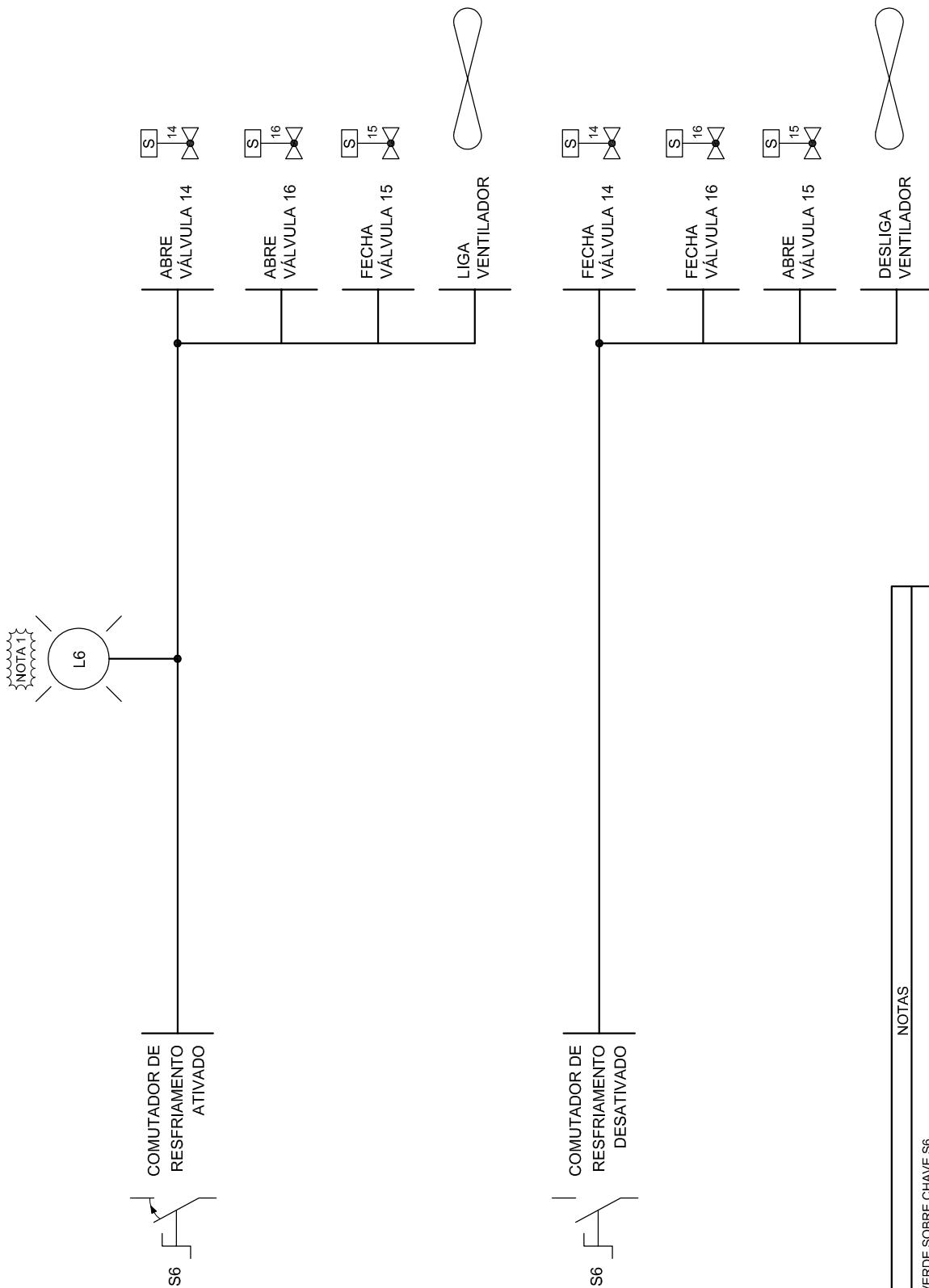
Autores
Dennis Brandão
Mário Bertt

DIAGRAMA BINÁRIO
DE SEGURANÇA

TCC - PROPOSTA
PLANTA DIDÁTICA

Data: 18/09/13 N º FOLHA: 2/4

GERENCIAMENTO DOS SISTEMA DE RESFRIAMENTO



1- SINALIZADOR DE PORTA VERDE SOBRE CHAVE S6

Autores Dennis Brandão
Mário Bett

DIAGRAMA BINÁRIO
DE SEGURANÇA

TCC - PROPOSTA
PLANTA DIDÁTICA

Data: 18/09/13 N º FOLHA: 2/4

NOTAS

2/4

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

-B

-C

-D

-E

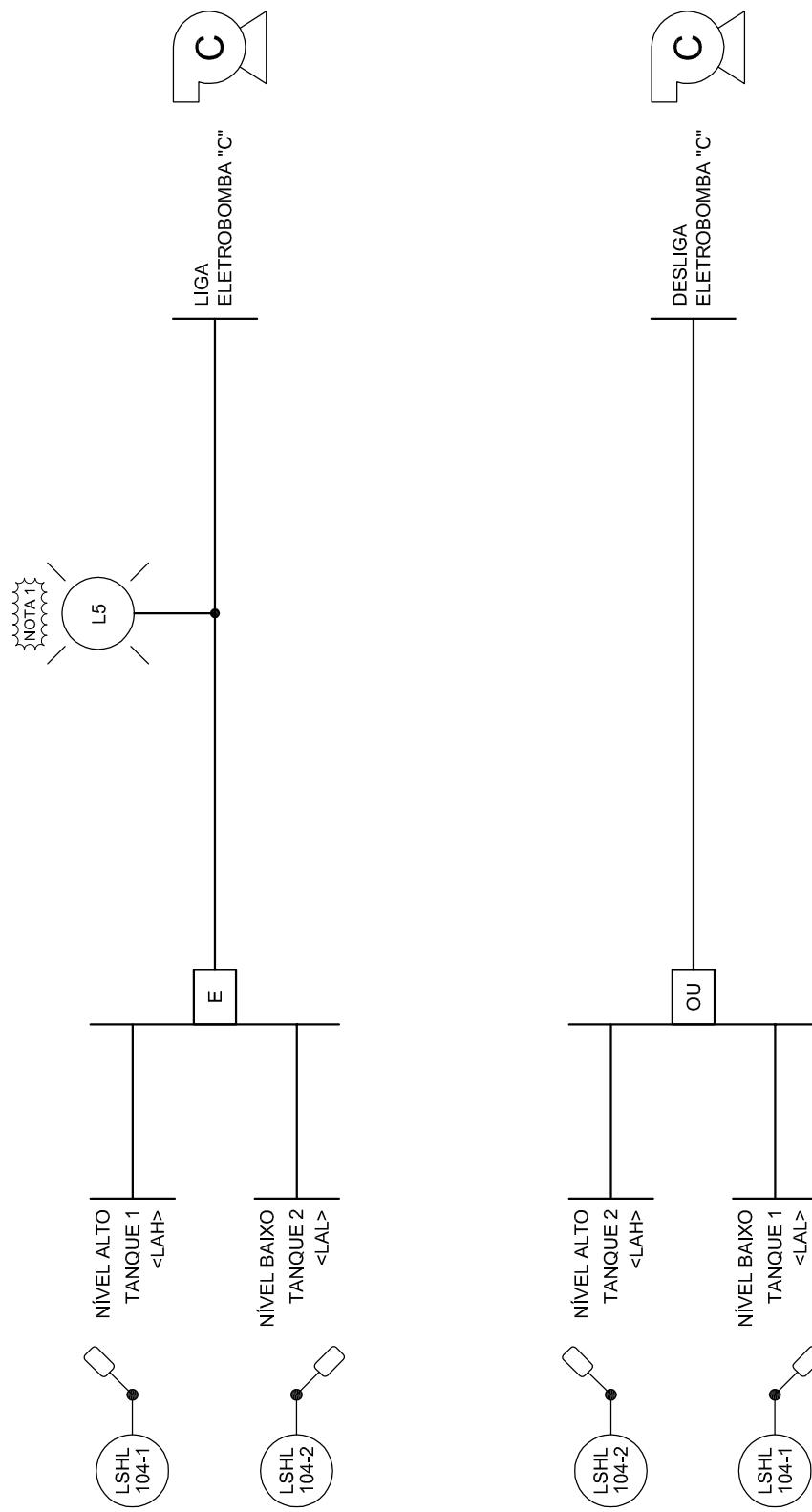
-F

-G

-H

-I

GERENCIAMENTO DE TRANSFERÊNCIA ENTRE OS TANQUES RESERVATÓRIOS



1- SINALIZADOR DE PORTA VERDE SOBRE CHAVE S5

NOTAS

Autores
Dennis Brandão
Mário Bett

TCC - PROPOSTA
PLANTA DIDÁTICA

TCC - PROPOSTA
PLANTA DIDÁTICA

Data: 18/09/13
Nº FOLHA: 2/4