

Capítulo 3

Descrição da Estação de Trabalho do Sistema de bombeamento

3.1) Introdução

Para o melhor entendimento das características e funcionalidades da estação de trabalho, esta será inicialmente apresentada em forma de plantas didáticas. O objetivo é apresentar detalhadamente todos os equipamentos envolvidos nesta planta, tais como: medidores de grandezas elétricas e mecânicas; atuadores de vazão, pressão, etc; acionamentos com partida suave, partida direta e inversor de frequência. Todos desenvolvidos para aplicação de comando e controle industrial. A planta está apta a simular diversas condições operativas de cargas comumente utilizadas em processos industriais.

3.2) Estação de trabalho do LAMOTRIZ

3.2.1) Características gerais da planta industrial

A estação de trabalho da bomba centrífuga é equipada com um sistema completo de controle e acionamento, em painel independente, contendo três formas distintas e autônomas de partida, quais sejam: partida direta, *soft-starter* e inversor de frequência.

Nesta estação de trabalho estão instalados um motor de linha padrão e um da linha alto-rendimento, ambos podem acionar a carga de modo independente através de um sistema de trilhos que permite uma rápida e simples troca de motores. Neste sentido, as figuras 3.1 e 3.2 mostram através de fotografias, uma visão geral da planta industrial do LAMOTRIZ.

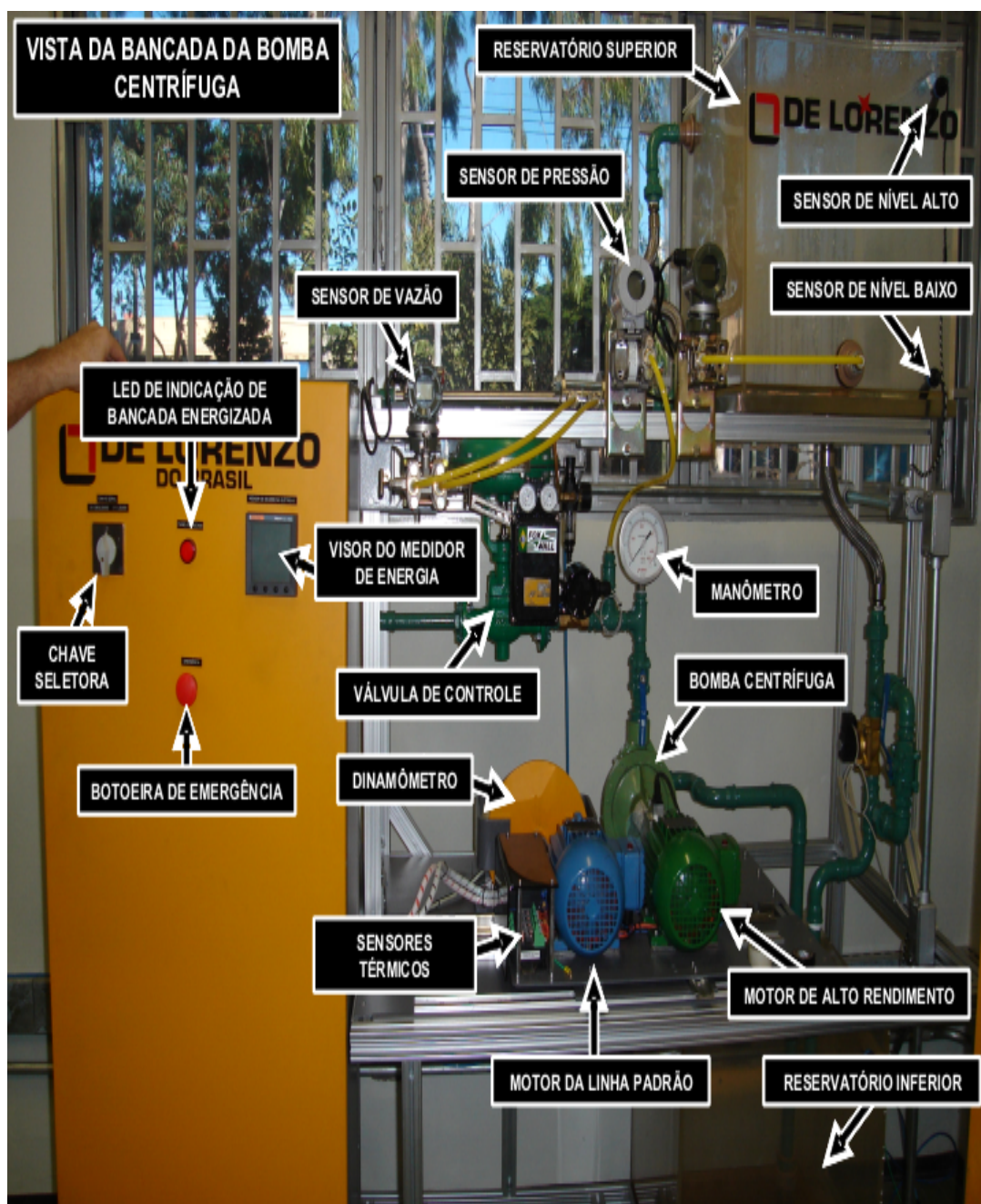


Figura 3.1 – Visão geral da bancada do sistema de bombeamento



Figura 3.2 – Equipamentos de informática

Para monitoramento e controle, a bancada é equipada com computador dedicado, no qual está instalado o sistema supervisório confeccionado com o *software Indusoft 6.1 SP2*. O módulo de carga é composto por: uma bomba centrífuga, dois reservatórios de água e, também, por dispositivos sensores e atuadores. No painel de controle e atuação, ainda, estão instalados o controlador lógico programável (CLP), medidor de grandezas elétricas e elementos de acionamento e proteção como contadores, disjuntores e fusíveis.

A planta industrial forma um sistema de acionamento completo, composto por proteção e medição; sistemas de automação e medição integrados, capazes de controlar automaticamente a execução, a coleta de dados e a emissão de relatórios. O acionamento é composto por dois motores (convencional e alto rendimento) e pelos três modos de partida citados anteriormente, permitindo a visualização de diversas formas de controle e operação de equipamentos industriais similares e de maior porte, com uma variação controlada da carga aplicada ao motor elétrico.

O sistema é dividido em duas bancadas, sendo que a primeira contém um microcomputador (CPU, monitor, teclado, *no-break* e *mouse*), onde se encontra instalado o sistema supervisorio e a segunda abriga o sistema de comando e os elementos de acionamento e proteção. Adicionalmente, esta estação de trabalho também é responsável pela medição dos parâmetros elétricos de entrada dos motores, bem como o acondicionamento do sistema de aquisição dos dados mecânicos, hidráulicos e térmicos.

A planta possui uma comunicação interna via Modbus RTU, com velocidade de 19.200, 8 *data bits*, 1 *stop bit*, sem paridade. Esta rede interliga o CLP, os acionamentos (partida suave, inversor de frequência e partida direta) e o medidor de energia elétrica. A rede de comunicação da bancada da bomba centrífuga está representada na figura 3.3.

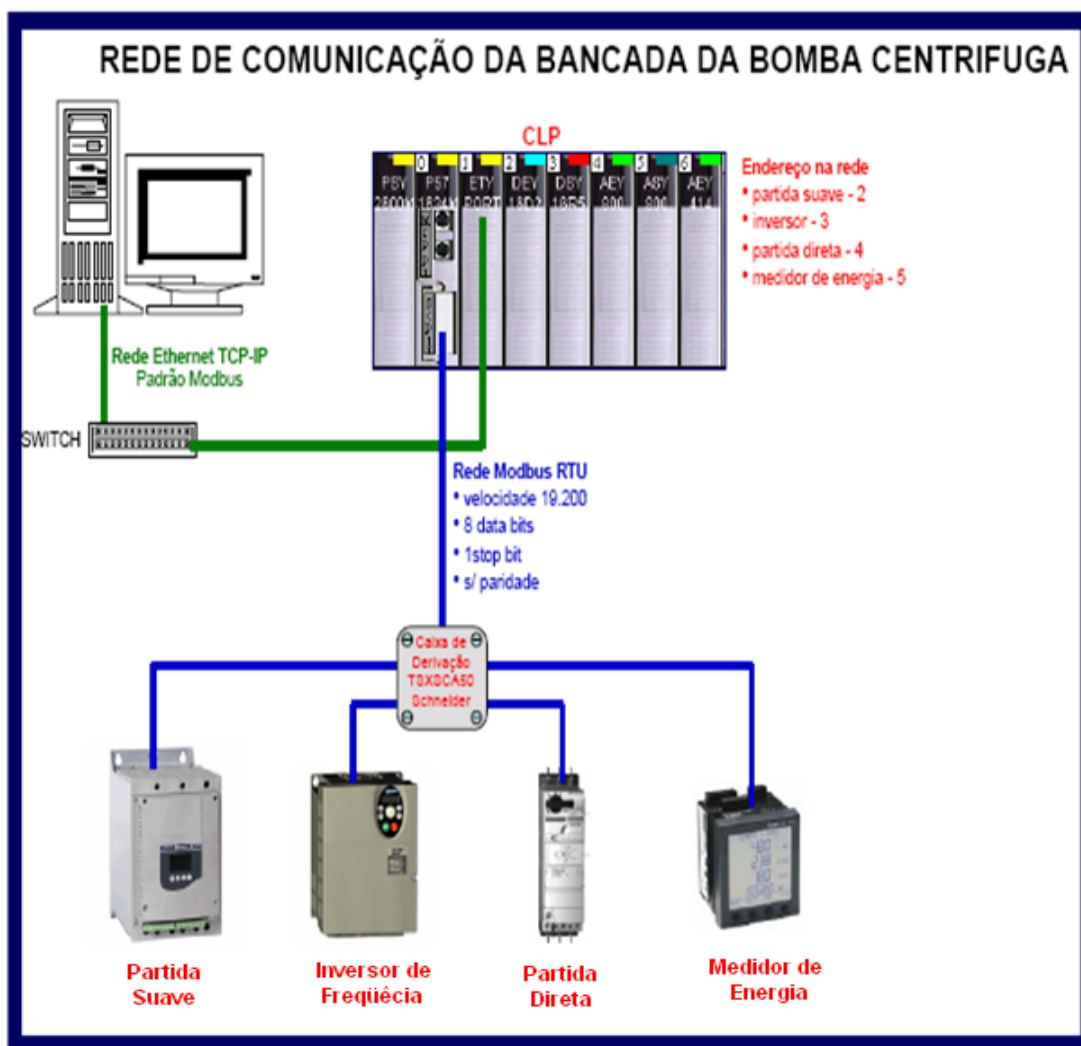


Figura 3.3 – Rede de comunicação da bancada da bomba centrífuga

3.2.2 – Características específicas do sistema de bombeamento

O presente item retrata as características específicas para a estação de trabalho do sistema de bombeamento. Além da bomba centrífuga, esta bancada é composta por um dinamômetro, tipo freio de Focault. Assim, a mesa referente ao conjunto motor-bomba foi dimensionada para a instalação da bomba centrífuga e dinamômetro.

A fotografia apresentada na figura 3.4 mostra o conjunto motor-bomba fixo na estação de trabalho.



Figura 3.4 – Conjunto motor-bomba fixos na bancada

A fixação dos motores na mesa permite que os mesmos sejam conectados em ambas as cargas possibilitando tanto a troca de motores quanto a troca de carga, quer sejam: bomba centrífuga e dinamômetro. Esta troca de posição entre as cargas, também, é isenta de alterações nas conexões elétricas.

O diagrama orientativo mostrado pela Figura 3.5 permite uma melhor visualização das características obtidas. Vale ressaltar que o diagrama na figura não apresenta todos os instrumentos necessários.

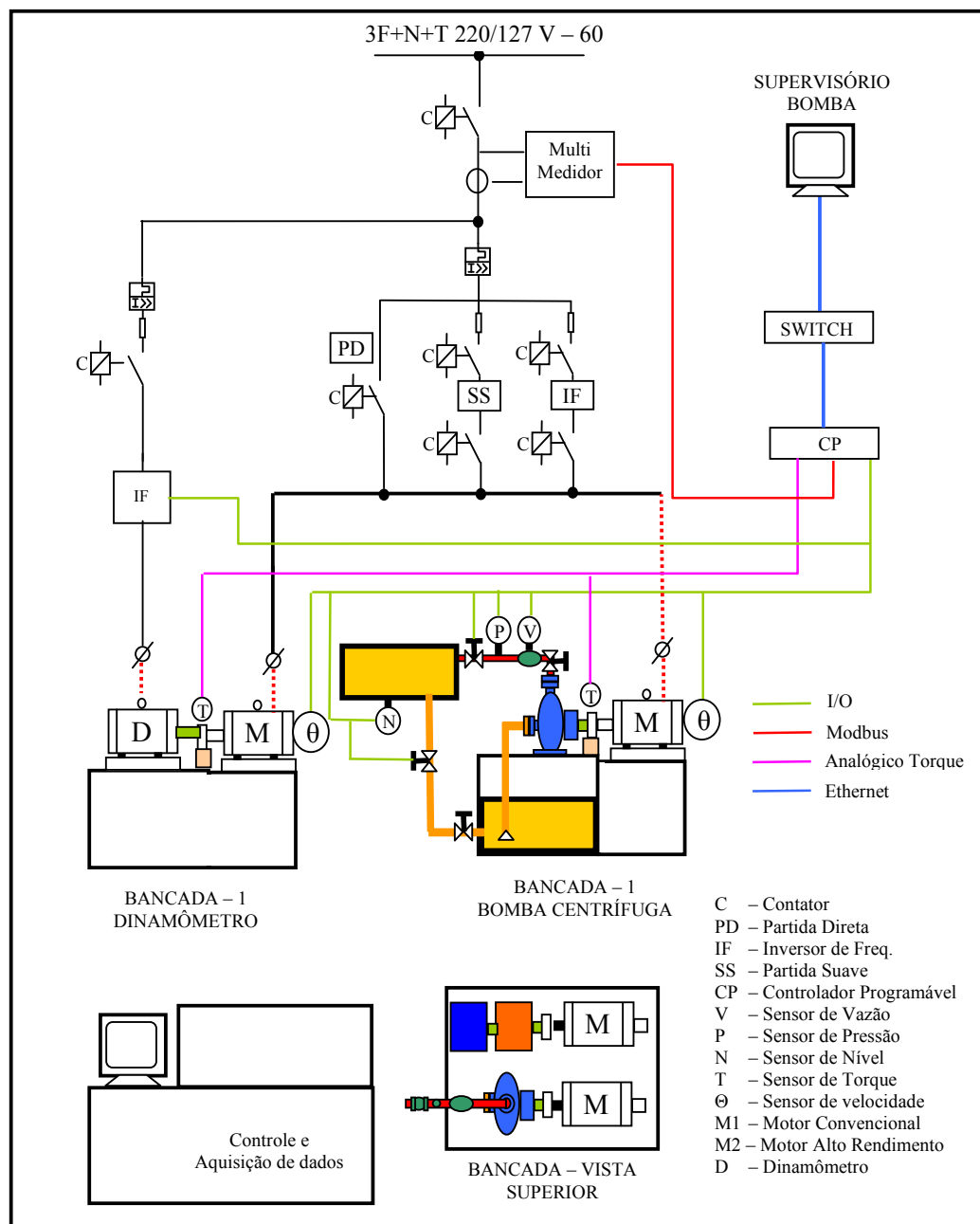


Figura 3.5 – Diagrama orientativo da bancada da bomba centrífuga

O módulo de carga é composto por dois reservatórios com capacidade de 100 litros cada, de material transparente (acrílico), sendo que o primeiro foi instado na parte inferior da bancada e o segundo a uma altura de 2 metros. Entre os reservatórios está instalado um duto de escoamento com uma válvula elétrica de retenção e um *by-pass*, feito com uma

válvula manual. Na saída da bomba centrífuga estão presentes uma válvula de retenção, uma válvula eletro-pneumática proporcional de estrangulamento e os transmissores de pressão e vazão. Em ambos os reservatórios foram instalados transmissores de nível. Todos os sensores mencionados têm seus indicativos monitorados (histórico, curvas e valores instantâneos) e mostrados no sistema supervisor da bancada. A figura 3.6 mostra o reservatório superior, construtivamente, ambos os reservatórios são iguais.



Figura 3.6 – Reservatório superior da bancada de bombeamento

A tabela 3.1 enumera todos os componentes presentes na estação industrial. Os principais serão explorados posteriormente, tanto em sua função na bancada como em seu funcionamento.

Tabela 3.1 – Componentes presentes na estação de bombeamento

Item	Quant.	Ref.	Descrição	Modelo	Fabricante
1	1	LIT-01	Transmissor de pressão diferencial	EJA110A-DM	Yokogawa
2	1	FIT-01	Transmissor de pressão diferencial	EJA110A-DM	Yokogawa
3	1	PIT-01	Medidor de pressão manométrico	LD-301	Smar
4	4	LSH/LSL	Chave de nível tipo bóia magnética	RFS	Contech
5	1	XV-01	Válvula solenóide	Tipo 521	AICAS
6	1	XV-02	Válvula solenóide	Tipo 521	AICAS
7	1	XV-03	Válvula solenóide	Tipo 521	AICAS
8	1	PI-01	Manômetro petroquímico		Módena
9	1	FV-01	Válvula de controle eletropneumática	RC-WCB	Foxwall
10	1	FE-01	Placa de orifício		Digitrol
11	1		<i>Manifold</i>		Digitrol
12	1		Torquímetro	MKDQ150	MK
13	1		Sensor infravermelho		Vicro
13	1		Motor Convencional	HD67106	Weg
14	1		Motor alto-rendimento	GE30500	Weg
15	1		Bomba centrífuga	92SHB	Schneider

3.2.3) Os motores

As características de placa dos motores de indução trifásicos utilizados no LAMOTRIZ são especificadas na seqüência deste trabalho :

- **Motor da Linha Padrão: WEG:** Modelo: HE36350; Grau de Proteção: IP55; Isolação: B; Regime: S1; Potência Nominal: 1,5 [cv]; Tensões: 220/380 [v]; Correntes: 4,27/2,47 [A]; Frequência: 60 [Hz]; Rotação: 3370 [rpm]; (Ip/In): 7,5; Categoria: N; FS: 1,15; Rendimento: 78,6% e cos φ : 0,86.

- **Motor de Alto-Rendimento: WEG:** Modelo: G192961; Grau de Proteção: IP55; Isolação: F; Regime: S1; Potência Nominal: 1,5 [cv]; Tensões: 220/380 [v]; Correntes: 4,02/2,33 [A]; Frequência: 60 [Hz]; Rotação: 3390 [rpm]; (Ip/In): 7,5; Categoria: N; FS: 1,15; Rendimento: 82,5%; $\cos \varphi$: 0,87.

Vale ressaltar que cada motor (convencional e de alto-rendimento) possui sensores de temperatura do tipo PT100, instalados na carcaça e em cada enrolamento do estator, permitindo a monitoração deste parâmetro via sistema supervisor.

3.2.4) O dinamômetro

O dinamômetro presente no LAMOTRIZ, e que é parte integrante da estação de trabalho da bomba centrífuga, é do tipo freio de Foucault, ou seja, um dispositivo eletromagnético de frenagem e simulação de cargas mecânicas no eixo do motor até 200% da sua condição nominal.

É composto por um braço oscilante onde são dispostas duas bobinas e um disco de alumínio, constituindo um sistema de freio por correntes de Foucault. Permite a simulação de cargas variáveis no eixo dos motores. A força aplicada ao eixo é controlada através de tensão contínua nas duas bobinas.

O equipamento tem como características principais:

- Tipo: disco de Foucault;
- Alimentação: 220 V_{ca} / 60 Hz;
- Tensão nas bobinas: 0 a 190 V_{cc}, regulável por potenciômetro (conversor incorporado);
- Força de frenagem: 7,0 Nm;
- Sensor de Força: célula de carga.

Na Figura 3.7 é possível visualizar uma fotografia com o dinamômetro tipo freio de Foucault como o utilizado no LAMOTRIZ.



Figura 3.7 - Dispositivo eletromagnético de frenagem e simulação de cargas

3.2.5) A bomba centrífuga

A bomba centrífuga utilizada no laboratório é de fabricação da empresa *Schneider Motobombas*, de série BC e modelo 92SHA, carcaça em ferro fundido GG-15, rotor em alumínio, selo construído em inox 304, buna N, grafite e cerâmica, 3450 rpm [38]. A figura 3.8 apresenta a curva vazão x altura x rendimento%, enquanto a figura 3.9 aponta a curva vazão x potência mecânica, ambas extraídas do catálogo fornecido pelo fabricante do equipamento.

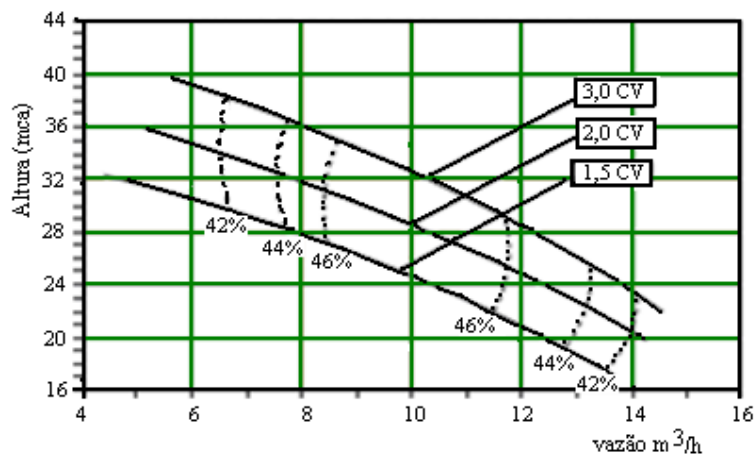


Figura 3.8 – Curva vazão x altura x rendimento %

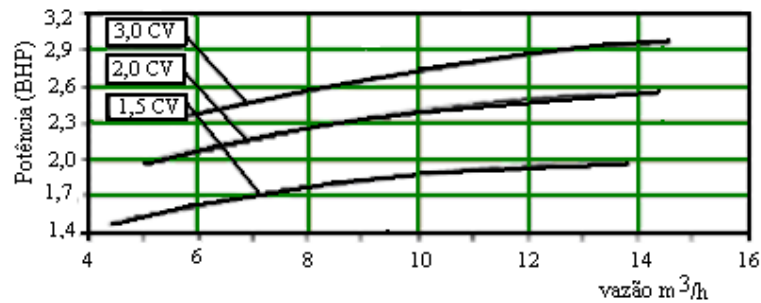


Figura 3.9 – Curva vazão x potência

a) NPSH – Net Positive Suction Head

Para que bombas centrífugas possam funcionar de modo satisfatório, necessitam da ausência de vapor na tubulação de sucção. Quando a pressão interna na bomba atinge um valor abaixo da pressão de vapor do líquido, ocorrerá a formação de bolhas de vapor nesse local. Essas bolhas se encontram e formam zonas de ar, este fenômeno é conhecido como cavitação e, reduz a eficiência da bomba, provoca ruído, vibrações e, em casos mais severos, causa fratura do rotor ou da carcaça, entre outros [33, 37].

Para que a bomba funcione sem a ocorrência de cavitação é necessária uma certa quantidade de energia aplicada ao sistema de sucção, conhecido como NPSH (*Net Positive Suction Head*). Quanto maior for a vazão da bomba e a altura de sucção negativa, maior será a possibilidade da bomba cavitarem em função do NPSH. Para que o NPSH seja satisfatório é necessário que a pressão em qualquer ponto da linha nunca venha reduzir-se à pressão de vapor do fluido bombeado [37]. Assim, para uma boa performance, o fabricante *Schneider Motobombas*, responsável pela bomba centrífuga instalada no LAMOTRIZ recomenda a seguinte situação:

$$\text{NPSHd} > \text{NPSHr} + 0,6$$

Onde;

NPSHd: é o NPSH disponível no sistema de bombeamento;

NPSHr: é o NPSH requerido pela carga.

A figura 3.10 traz a curva vazão versus NPSH para a bomba instalada no Laboratório de Sistemas Motrizes da Universidade Federal de Uberlândia.

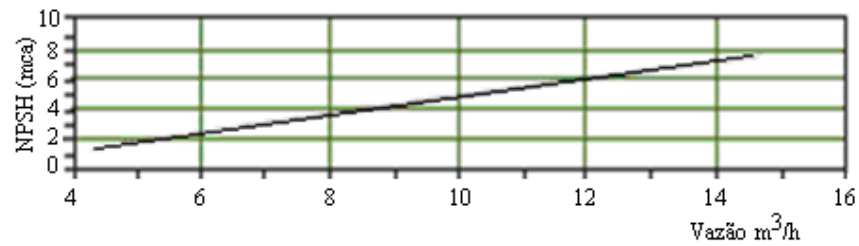


Figura 3.10 – Curva vazão x NPSH

3.2.6) Detalhamento dos sensores e atuadores

O detalhamento dos sensores e atuadores constituintes da bancada estão indicados no fluxograma simplificado apontado na figura 3.11 e detalhados nos itens a seguir.

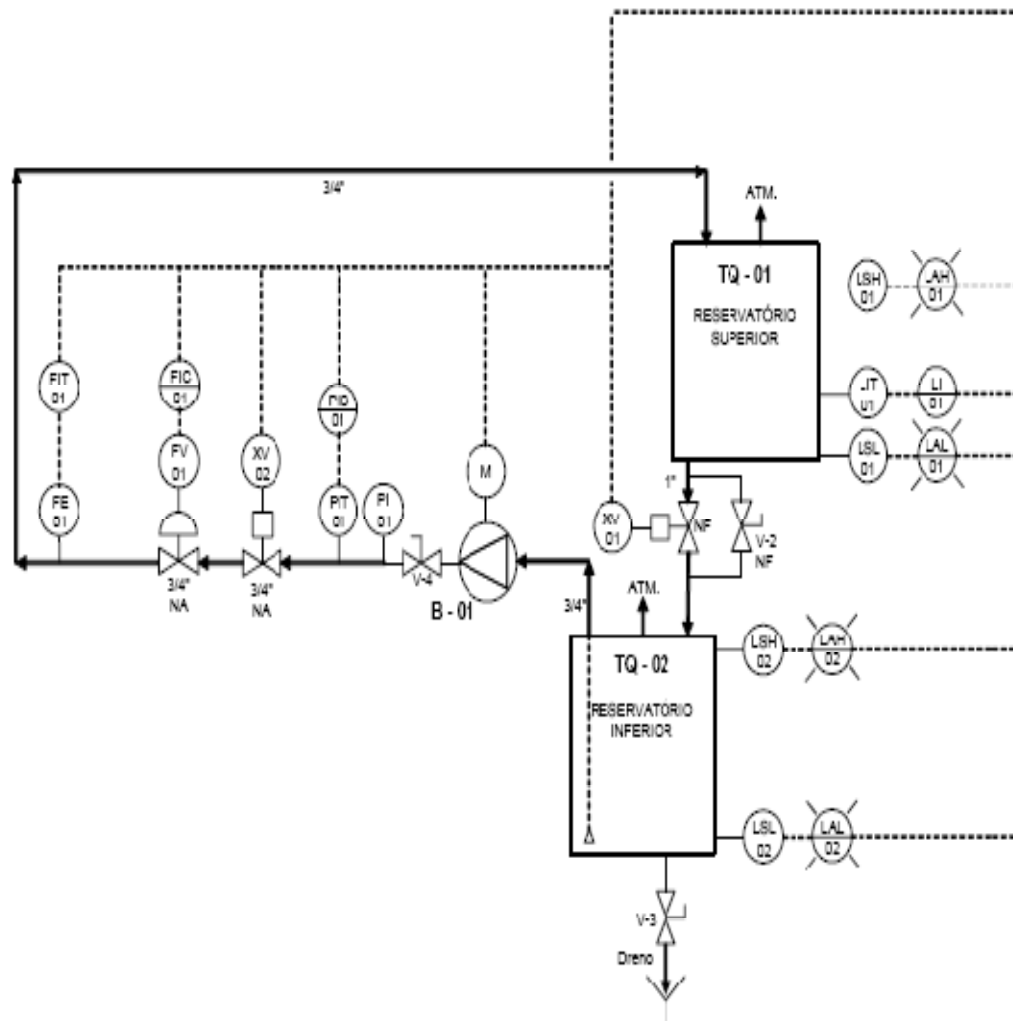


Figura 3.11 – Fluxograma simplificado da bancada de bombeamento

a) LSL-01,02 e LSH-01,02 – *Chave de nível tipo bóia magnética, série – RFS*

Chave de nível tipo bóia magnética, instalação lateral, conexão rosca 1/2" NPT(M), material do corpo em polipropileno, diâmetro da bóia 18 mm, 1 contato SPST, 10 Watt.

As chaves da série RFS são indicadas com o objetivo de garantir segurança de nível alto para evitar transbordamento e de nível baixo para evitar que a bomba trabalhe a vazio. Em seu princípio de funcionamento, um sensor é ativado pela bóia, conforme o nível do produto a ser medido varia, abrindo ou fechando os contatos de acordo com a configuração solicitada. A figura 3.12 registra alguns modelos destas chaves [39].



Figura 3.12 – Chaves de nível tipo bóia magnética

b) LIT-01 e FIT-01 – *Transmissor de nível por pressão diferencial*

LIT-01 – Transmissor de pressão diferencial, capacitivo, sinal de saída 4 a 20 mA a 2 fios, alimentação de 12 a 45 Vcc, característica linear, faixa de 0 a 1000 mmH₂O, indicador local, conexão processo 1/2", suporte 2" e dreno.

FIT-01 – mesmo tipo de equipamento utilizado em LIT-01, porém para uma faixa de vazão entre 0 e 5000 mmH₂O.

O equipamento utilizado é de fabricação de YOKOGAWA, modelo EJA 110 A, é um sensor que registra e transmite para o CLP o valor da pressão de líquido bombeado. Indicado para medição de pressão diferencial, absoluta e manométrica, o equipamento utiliza sensor de silício ressonante, possuindo exatidão de 0,075% dentro do alcance de 100:1. Fornece sinal de 4-20 mA para comunicação com o CLP. A figura 3.13 ilustra o sensor supra mencionado [40].



Figura 3.13 – Transmissor de pressão diferencial YOKOGAWA

c) XV-01 e XV-02 – *Válvulas solenóides*

XV-01 – Válvula solenóide, duas vias, tipo diafragma, conexão rosca BSP, diâmetro 1", normalmente fechada, alimentação 24 Vcc, bobina classe F.

XV-02 – Válvula solenóide, duas vias, tipo diafragma, conexão rosca BSP, diâmetro 3/4", normalmente aberta, alimentação 24 Vcc, bobina classe F.

Uma válvula solenóide consiste na associação entre um solenóide (ou bobina) com o núcleo móvel e seu obturador e, uma placa com um orifício, no qual é inserido o obturador de maneira a impedir ou não a passagem de fluxo. Seu funcionamento se baseia na atração do núcleo móvel quando a bobina é energizada [41].

A válvula solenóide é demonstrada na figura 3.14.



Figura 3.14- Válvulas solenóide

d) PI-01 – Manômetro

Manômetro tipo petroquímico, enchimento com glicerina, diâmetro 4 1/2", conexão ao processo 1/2", faixa de 0 a 30 kgf/cm².

O princípio de funcionamento para esse tipo de manômetro é um tubo preenchido com uma certa quantidade de líquido. A pressão é medida em uma das aberturas do tubo usando como referência, geralmente a pressão atmosférica. O manômetro petroquímico esta indicado na figura 3.15.



Figura 3.15 – Manômetro petroquímico

e) PIT-01 – Transmissor de pressão manométrico

Transmissor de pressão manométrico, capacitivo, sinal de saída 4 a 20 mA a 2 fios, alimentação de 12 a 45 V_{cc}, característica linear, faixa de 0 a 30 kgf/cm², indicador local, conexão processo 1/2", suporte 2" e dreno [42].

O LD301, de fabricação da Smar, é um transmissor para medição de pressão diferencial, absoluta, manométrica, nível e vazão. O transmissor é baseado num sensor capacitivo, ou seja, um capacitor que sofre variação da capacitância em função de uma grandeza não elétrica. Neste caso, a variação no valor nominal do capacitor é provocada por redução da área de separação entre as placas. Este transdutor está ilustrado na figura 3.16.