



**Universidade Federal de Campina Grande**  
**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**  
**Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica**



## Relatório de Estágio

**Cia. de Ferro Ligas da Bahia - Ferbasa**

**Período de estágio:** 13/01/2011 a 15/02/2011

**Carga horária:** 180 horas

**Orientador:**

\_\_\_\_\_  
Prof. Jaidilson Jó da Silva

**Estagiário:**

\_\_\_\_\_  
Juan Jefferson Cruz Silva

Campina Grande, 15 de Julho de 2011

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus, acima de tudo e de todos, por me dar a oportunidade de desfrutar, aprender e evoluir com a experiência terrestre.

Agradeço a minha família, por proporcionar-me toda uma estrutura de amor, apoio incondicional e compreensão.

Agradeço a família Ferbasa, em especial a todo o pessoal da manutenção elétrica pelo ótimo acolhimento, a Galvão pela constante boa vontade, a Wellington França pelos sábios conselhos e orientações e a Dr. José Ronaldo, por me conceder a oportunidade de fazer parte dessa família, mesmo que por pouco tempo.

## Sumário

<b>1 – INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>2 – CIA. DE FERRO LIGAS DA BAHIA - FERBASA</b>	<b>10</b>
<b>3 – APLICAÇÃO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS E OPERAÇÃO EM UMA PLANTA DE JIGAGEM PARA SEPARAÇÃO DE MINÉRIO DE CROMO</b>	<b>11</b>
<b>3.1 – CONCENTRAÇÃO GRAVIMÉTRICA OU BENEFICIAMENTO GRAVIMÉTRICO DE MINERAIS</b>	<b>11</b>
<b>3.2 – JIGAGEM</b>	<b>12</b>
<b>3.3 – TEORIA DE JIGAGEM</b>	<b>14</b>
<b>3.4 – CLASSIFICAÇÃO DE JIGUES</b>	<b>15</b>
<b>3.5 – CONDIÇÕES DO CICLO DE JIGAGEM E DE CONSTRUÇÃO DE JIGUES</b>	<b>16</b>
<b>3.6 – MEDIÇÃO DE POTÊNCIA TRIFÁSICA CONSUMIDA PELO SISTEMA DO JIGUE</b>	<b>17</b>
<b>3.7 – JIGUE APIC – CIA. DE FERRO LIGAS DA BAHIA (FERBASA)</b>	<b>18</b>
3.7.1 – Alimentação de água	18
3.7.2 – Circuito de água	19
3.7.3 – Alimentação de ar	20
3.7.4 – Válvulas de admissão e de exaustão	20
3.7.5 – Deck e arcas do jigue	21
3.7.6 – Controle da boia e das peneiras	21
3.7.7 – Gavetas de saída de produto	22
3.7.8 – Manuseio de produto, misto e rejeito	22
3.7.9 – Tempos de ciclo	23
<b>3.8 – PROCEDIMENTOS PARA O JIGUE APIC</b>	<b>24</b>
3.8.1 – Procedimento de inicialização	24
3.8.2 – Procedimento de desligamento	24
<b>3.9 – OPERAÇÕES DO JIGUE PELA IHM (PRINCIPAIS TELAS)</b>	<b>25</b>
3.9.1 – Tela de vista geral	25
3.9.2 – Tela de tempos de pulsação/compartimentos	26
3.9.3 – Tela de nível dos leitos	27
3.9.4 – Tela de circuito de água	28
3.9.5 – Tela de controle da alimentação	28
3.9.6 – Tela de transportadores de correia	29
3.9.7 – Tela de status e manutenção	30
<b>3.10 – COMPONENTES DO SISTEMA – PLANO DE MANUTENÇÃO E PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO</b>	<b>30</b>
3.10.1 – Compressor de palhetas Hydrovane HV15	30
3.10.2 – Lubrifil FESTO	34
3.10.3 – Encoder absoluto analógico Hohner	36
3.10.4 – IHM, PLC e cartões anexos Mitsubishi	37
3.10.4.1 – IHM Mitsubishi E1070	37
3.10.4.2 – CPU e cartões anexos do PLC	38
3.10.5 – Blower DeltaBlower	40
3.10.6 – Painel de válvulas e pistões	42
3.10.7 – Transmissor de pressão	43
3.10.8 – Secador de ar comprimido CompAir	44

3.10.9 – Ocorrências	44
3.10.9.1 – Conceitos e Índices	44
3.10.9.2 – Dados	46
3.10.9.3 – Análise	48
<b>4 – INSTALAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DE MEDIDORES DE VAZÃO PARA USINA DE BENEFICIAMENTO</b>	<b>49</b>
<b>5 – CONFIGURAÇÃO, COMUNICAÇÃO E COLETA DE DADOS DE UM MEDIDOR MULTIVARIÁVEL COM UM PLC MICROLOGIX 1100 VIA MODBUS RTU</b>	<b>50</b>
5.1 – Medidor multivariável	50
5.2 – PLC	51
5.3 – Configuração da rede Modbus e criação da lógica <i>Ladder</i>	52
<b>6 – CONCLUSÕES</b>	<b>56</b>
<b>7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>57</b>

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> – Mapa com a localização das minas, fábrica e rotas de transporte. -----	Pág. 9
<b>Figura 2</b> – Esquema simplificado de um jigüe. -----	Pág. 12
<b>Figura 3</b> – Foto de um Jigüe. -----	Pág. 12
<b>Figura 4</b> – Representação dos efeitos dos mecanismos de concentração gravítica. -----	Pág. 14
<b>Figura 5</b> – Representação dos ciclos de jigagem e respectivas consequências ao leito em função do tempo. -----	Pág. 14
<b>Figura 6</b> – Foto da medição de tensão de linha. -----	Pág. 16
<b>Figura 7</b> – Foto da medição de corrente de linha. -----	Pág. 16
<b>Figura 8</b> – Esquema de um típico jigüe APIC. -----	Pág. 17
<b>Figura 9</b> – Foto das válvulas borboleta que controlam a vazão de água. -----	Pág. 18
<b>Figura 10</b> – Foto dos pistões e válvulas. -----	Pág. 19
<b>Figura 11</b> – Foto do <i>deck</i> do jigüe. -----	Pág. 20
<b>Figura 12</b> – Foto das peneiras desaguadoras de produto. -----	Pág. 21
<b>Figura 13</b> – Representação do ciclo de pulsação da água e do material. -----	Pág. 22
<b>Figura 14</b> – Representação da tela de vista geral do jigüe. -----	Pág. 24
<b>Figura 15</b> – Representação da tela de pulsação/compartimentos do jigüe. -----	Pág. 25
<b>Figura 16</b> – Representação da tela de nível dos leitos do jigüe. -----	Pág. 26
<b>Figura 17</b> – Representação da tela de circuito de água. -----	Pág. 27
<b>Figura 18</b> – Representação da tela de controle da alimentação. -----	Pág. 28
<b>Figura 19</b> – Representação da tela de transportadores de correia. -----	Pág. 28
<b>Figura 20</b> – Representação da tela de status e manutenção. -----	Pág. 29
<b>Figura 21</b> – Representação do princípio de funcionamento do compressor Hydrovane HV15. -----	Pág. 30
<b>Figura 22</b> – Foto do Hydrovane HV15. -----	Pág. 30
<b>Figura 23</b> – Esquema de montagem da linha pneumática. -----	Pág. 33
<b>Figura 24</b> – Guia de manutenção do Lubrifil FESTO. -----	Pág. 34
<b>Figura 25</b> – Representação do princípio de operação do encoder absoluto analógico. -----	Pág. 35
<b>Figura 26</b> – Foto do encoder associado ao braço da boia. -----	Pág. 35
<b>Figura 27</b> – Foto da IHM E1070 Mitsubishi. -----	Pág. 37
<b>Figura 28</b> – Foto do <i>rack</i> com Fonte, PLC e cartões Mitsubishi. -----	Pág. 38
<b>Figura 29</b> – Foto do soprador DeltaBlower. -----	Pág. 39
<b>Figura 30</b> – Foto do painel de válvulas. -----	Pág. 41
<b>Figura 31</b> – Gráfico de barras das ocorrências do jigüe e suas respectivas quantidades. -----	Pág. 47
<b>Figura 32</b> – Foto do medidor de vazão. -----	Pág. 49
<b>Figura 33</b> – Foto do PLC da usina de beneficiamento. -----	Pág. 49
<b>Figura 34</b> – Esquema do sistema implementado. -----	Pág. 50
<b>Figura 35</b> – Foto do PowerLogic® PM710. -----	Pág. 51
<b>Figura 36</b> – Foto do MicroLogix 1100. -----	Pág. 51
<b>Figura 37</b> – Foto do Cabo RS-485. -----	Pág. 51
<b>Figura 38</b> – Representação da tela do arquivo principal do programa em lógica <i>Ladder</i> . -----	Pág. 52
<b>Figura 39</b> – Representação da tela de configuração do canal 0 para a rede Modbus. -----	Pág. 52
<b>Figura 40</b> – Representação da tela de configuração dos locais de memória para armazenamento dos dados. -----	Pág. 53

<b>Figura 41</b> – Trecho da sub-rotina de coleta e tratamento de dados (Parte 1). -----	Pág. 54
<b>Figura 42</b> – Trecho da sub-rotina de coleta e tratamento de dados (Parte 2). -----	Pág. 55
<b>Figura 43</b> – Foto do sistema instalado e em fase de testes em campo. -----	Pág. 55

## **Lista de Tabelas**

<b>Tabela I</b> – Classificação dos processos de concentração gravítica. -----	Pág. 10
<b>Tabela II</b> – Intervalos típicos de operação. -----	Pág. 15
<b>Tabela III</b> – Tempos de ciclo de operação típicos. -----	Pág. 23
<b>Tabela IV</b> – Programa de manutenção preventiva Fluid Force Red 2000. -----	Pág. 32
<b>Tabela V</b> – Programa de manutenção preventiva para o soprador. -----	Pág. 40
<b>Tabela VI</b> – Ocorrências e seus respectivos índices. -----	Pág. 46

## 1 – Introdução

Programação e planejamento em gerência de manutenção são temas que abordam como fazer uso de seus recursos de manutenção, objetivando a redução do intervalo de tempo em que máquinas e equipamentos no chão de fábrica ficam inativos, além de minimizar os custos de produção. Para que tais metas sejam alcançadas, faz-se necessário pôr as atividades de produção fundadas em certas ações, como por exemplo adquirir materiais e ferramentas, organização temporal dos passos da execução, lista de prioridades, montagem de arquivo técnico com dados históricos dos dispositivos e identificar tarefas adicionais que precisam ser incluídas no plano de manutenção dos equipamentos.

Correspondendo à principal fatia dos custos operacionais totais de todas as plantas industriais de produção e de manufatura, os custos de manutenção, de forma generalizada entre os diversos setores da indústria, podem representar entre 15% e 30% do custo dos bens produzidos. Além disso, pesquisas recentes relacionadas à efetividade da gerência da manutenção, chegaram a um resultado aproximado de que um terço do custo de manutenção total é desperdiçado como consequência de ações de manutenção desnecessárias ou realizadas de forma inadequada [1].

De modo global, a manutenção se divide em duas vertentes: a não planejada e a planejada.

A manutenção não planejada é classificada em duas categorias: a de ocasião e a corretiva. A manutenção de ocasião consiste na realização de reparos apenas em momentos de parada da respectiva máquina quando esta se encontra parada por questões de falta de produção, por exemplo, enquanto que a corretiva aborda procedimentos de reparação quando a respectiva máquina sofre uma parada repentina, geralmente, durante um processo produtivo.

A manutenção planejada, por sua vez, é classificada também em duas categorias: a preventiva e a preditiva. A manutenção preventiva consiste em um conjunto de procedimentos que se antecipam às falhas de um equipamento, baseados em um histórico preventivo, determinado, normalmente, pelo fabricante de tal equipamento.

A manutenção preditiva é baseada no conhecimento das características de cada um dos componentes críticos das máquinas. Através de inspeções periódicas, como termografia infravermelha e análise de vibrações, determina-se o intervalo de tempo adequado para substituições ou reparos dos componentes, eliminando as falhas repentinas e, conseqüentemente, baixando o custo da parada.

Ao adotar a manutenção corretiva como estilo de gerência de manutenção, a planta industrial deve ser capaz de agir rapidamente perante qualquer possível falha dentro da fábrica. Tal atitude acaba forçando o respectivo departamento a manter estoques dispendiosos de peças sobressalentes. Resta como alternativa, uma vez que o estilo de gerência citado já foi implantado, fundar-se em fornecedores de equipamentos que tenham a disponibilidade de oferecer entrega imediata de todas as peças requisitadas quando diante da ocorrência.

Em médio e longo prazo, o resultado alcançado com uma gerência de manutenção corretiva é um custo elevado de manutenção e menor disponibilidade de maquinaria para o processo industrial. A análise dos custos indica que um reparo realizado no modo corretivo-reativo custará, em média, cerca de três vezes mais que o mesmo reparo no modo programado ou preventivo [1].

Portanto, ao admitir que o desempenho (produtivo e, conseqüentemente, financeiro) da empresa é uma função do bom estado de funcionamento de máquinas elétricas e equipamentos, assegura-se a relevância de se manter as máquinas inspecionadas e que tal ação seja executada em uma base regular (ótima) de tempo [10].

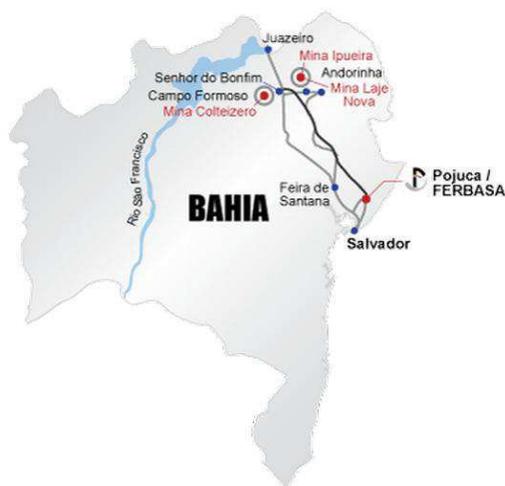
## 2 – Cia. de Ferro Ligas da Bahia - Ferbasa

Fundada em 23 de fevereiro de 1961 pelo engenheiro José Corgosinho de Carvalho Filho, a Ferbasa iniciou suas atividades no município de Campo Formoso no estado da Bahia, no ramo de mineração, com o objetivo de produzir minério de cromo para o abastecimento da indústria nacional.

Em 21 de julho de 1963, entrou em operação o parque industrial metalúrgico da Ferbasa, na cidade de Pojuca também no estado da Bahia, com fins de produzir ferro-cromo destinado ao abastecimento da indústria siderúrgica. Esse insumo é imprescindível para a produção de aços especiais, consistindo na principal matéria prima utilizada na fabricação do aço inoxidável, no qual representa entre 15% e 18% de sua composição.

A fábrica em Pojuca foi inaugurada com capacidade instalada de 7,5 MVA para produzir ferro cromo alto carbono e outros tipos de ligas. Atualmente, a capacidade instalada é de aproximadamente 264 MVA para produzir as ligas de Ferro Cromo Alto Carbono, Ferro Cromo Baixo Carbono, Ferro Silício Cromo, Ferro Silício 75 e o Ferro Silício Especial, também denominado de Ferro Silício Alta Pureza, que possui baixo teor de elementos nocivos aos aços e é empregado na fabricação do aço silicioso. Esse produto é utilizado na composição do núcleo magnético de motores de equipamentos elétricos, visando melhorar o rendimento e torná-los mais silenciosos. É essa liga que está proporcionando uma verdadeira revolução na indústria automobilística, como na produção do carro híbrido, dotado de motor elétrico que permite uma redução de 60% no consumo de combustível.

A Ferbasa é uma das maiores empresas produtoras de Ferro Cromo e Silício do mundo, a maior nacional no ramo de Ferro-ligas e está entre as 500 maiores empresas do Brasil e as 20 maiores do estado da Bahia. O seu faturamento anual gira em torno de US\$ 300 milhões de dólares (dados de 02/2009). Desde a sua fundação, exerce papel decisivo no desenvolvimento econômico e social nas regiões onde está instalada, sendo, em grande parte, responsável pelo crescimento das economias locais e do próprio estado [11]. Apresenta-se, na Figura 1, o mapa do estado da Bahia com a localização das minas e da fábrica que constituem a Ferbasa, além de rotas de transporte para o escoamento de seus produtos.



**Figura 1** – Mapa com a localização das minas, fábrica e rotas de transporte.

### 3 – Aplicação de sistemas automatizados e operação em uma planta de jigagem para separação de minério de cromo

Nesta seção, inicialmente, serão apresentados os princípios teóricos que regem um sistema de jigagem generalizado e, logo após, será dado foco em um jig APIC em operação na empresa Ferbasa na mina de Ipueira ao definir-se as partes constituintes deste e como elas estão interligadas, procedimentos de inicialização e desligamento, aplicação de sistemas automatizados e, por fim, a elaboração de um plano de manutenção para o sistema e a análise de ocorrências durante o período do estágio.

#### 3.1 – Concentração gravimétrica ou beneficiamento gravimétrico de minerais

A concentração gravimétrica pode ser definida como o processo pelo qual partículas de diferentes tamanhos, formas e densidades são separadas umas das outras pela força da gravidade ou pela força centrífuga [8]. A concentração, de forma geral, é utilizada quando se tem necessidade de separação dos minerais de interesse. Para que esta seja possível, deve-se manter os minerais de interesse fisicamente separados dos que não o são, daí a relevância das etapas de fragmentação e classificação, as quais realizam e monitoram tal separação, respectivamente.

A separação de minerais exige que haja uma distinção física ou físico-química entre o mineral de interesse e os demais. Duas propriedades físicas são as mais utilizadas na concentração: diferença de densidade e diferença de susceptibilidade magnética. Quando não existe diferença de propriedade física, utilizam-se técnicas que se baseiam em propriedades físico-químicas, como por exemplo, a flotação (método de separação entre partículas sólidas que explora diferenças superficiais baseadas no fato das mesmas poderem apresentar caráter polar ou apolar [7]).

Processos de concentração gravimétrica apresentam grandes vantagens em relação aos demais processos de beneficiamento, tais como: (i) alta capacidade de processamento, (ii) baixos custos de investimento e operação, (iii) não há limitação quanto ao tamanho da partícula para aplicação na concentração (granulometria ampla), (iv) não há necessidade do uso de reagentes químicos, reduzindo o custo operacional e os impactos ambientais e (v) maior robustez.

Na Tabela I, os processos de concentração gravítica são classificados de acordo com o meio, seu mecanismo e força de campo dominante.

**Tabela I** – Classificação dos processos de concentração gravítica [5].

<b>Mecanismo dominante</b>	<b>Característica secundária</b>	<b>Força de campo dominante</b>	<b>Meio</b>	<b>Dispositivo</b>
Densidade	Meio denso	Gravitacional	Úmido	Cone Tambor

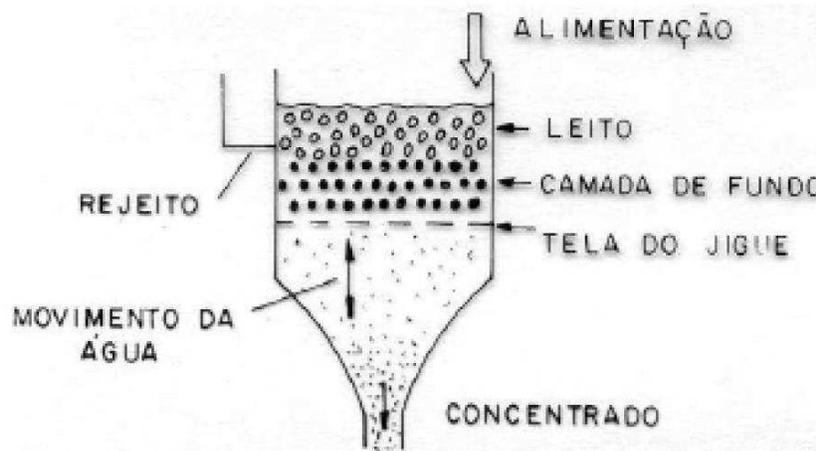
		Centrífuga	Úmido	Ciclone Vorsyl Dynawhirpool Tri-Fio Larcodems
		Magnética	Úmido	Separador magneto- gravimétrico
	Meio autógeno	Gravitacional	Úmido	Separador stripa Hidrosseparador
		Centrífuga	Úmido	Ciclone Autógeno Separador Knelson
Estratificação (pulsção)	Pulsção mecânica	Gravitacional	Úmido	Jigue Harz Jigue trapezoidal Jigue Bendelari Jigue circular
		Centrífuga	Úmido	Jigue centrífugo
	Pulsção pneumática	Gravitacional	Úmido	Jigue Baum Jigue Batac
			Seco	Jigue pneumático
Película de água	Sem oscilação	Gravitacional	Úmido	Calha simples Mesa plana Calha estranguladora Cone Reichert
		Centrífuga	Úmido	Espiral Concentradora Concentrador Falcon
	Com oscilação	Gravitacional	Úmido	Mesa concentradora Mesa Mozley Bartles-Mozley Concentrador duplex
			Seco	Mesa pneumática
		Centrífuga	Úmido	MGS

### 3.2 – Jigagem

O processo de jigagem é provavelmente o método gravítico de concentração mais antigo e complexo devido à suas contínuas variações hidrodinâmicas.

Na jigagem, a separação dos minerais de densidades diferentes é realizada em um leito dilatado por correntes pulsantes (verticais) de água ou ar comprimido, as quais são geradas a partir de um dispositivo que pode ser um pistão (êmbolo), um diafragma ou o ar.

Assim, produz-se a estratificação de partículas por meio de expansões (impulsão) e compactações (sucção) alternadas provocadas pelas correntes que periodicamente se revertem (Figura 2) [6].



**Figura 2** – Esquema simplificado de um jigue [6].

As partículas se rearranjam em função das distintas velocidades de sedimentação, aumentando a densidade do leito do topo para a base. Na impulsão, as partículas são movidas para cima criando uma expansão do volume do leito, sendo nesse instante que as partículas de menor densidade são deslocadas a uma altura maior que as partículas de maior densidade e de igual tamanho. Na sequência, o sistema desacelera até atingir velocidade nula e muda de direção para o golpe subsequente de sucção. Nem todas as partículas alcançam velocidade nula no mesmo instante. Durante a fase de expansão do leito, cada partícula tem mobilidade suficiente para reposicionar-se em relação às outras. Na fase de sucção as partículas são movidas para baixo formando um leito compacto, onde a separação entre as partículas de menor tamanho não se interrompe, após as maiores tiverem ocupado posições fixas. Na Figura 3, apresenta-se uma foto de um jigue comercial.



**Figura 3** – Foto de um Jigue [9].

### 3.3 – Teoria de jigagem

Existem duas abordagens para a teoria de jigagem: a clássica (hidrodinâmica) e a teoria do centro de gravidade. O conceito clássico baseia-se no movimento das partículas, considerando a estratificação ocorrida na jigagem como o resultado da combinação de três fenômenos principais [8]:

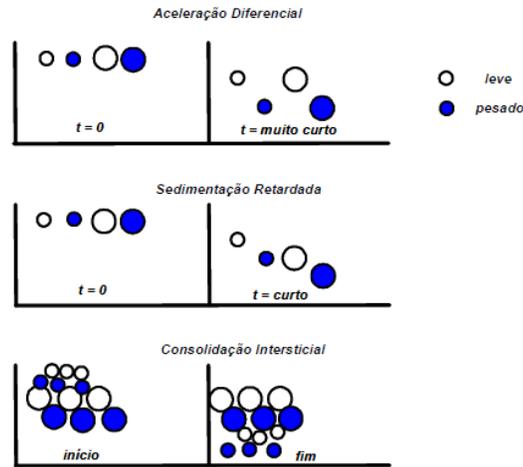
- Sedimentação retardada diferencial: uma partícula em sedimentação em um fluido é acelerada pela ação da força gravitacional por um determinado intervalo de tempo até alcançar sua velocidade máxima, a velocidade terminal. Devido ao grande número de colisões entre as várias partículas no leito (tanto na impulsão quanto na compressão), a trajetória de cada corpo é influenciada pela trajetória dos demais e pelo deslocamento do fluido através dos espaços entre eles. O resultado é uma velocidade terminal de sedimentação menor do que a observada em queda livre. Por esse mecanismo, as partículas maiores e as mais densas depositam-se no fundo, enquanto que as menores e menos densas ficam acima destas.
- Aceleração diferencial: consiste na queda da partícula por um período e distância relativamente curtos até sua parada ou desvio provocado pela interferência das paredes do equipamento e/ou das partículas vizinhas. Percebe-se, a partir da Eq. 1 (onde  $g$  é a gravidade), que a aceleração diferencial depende somente das densidades do sólido  $\rho_p$  e do fluido  $\rho_l$ . Desse modo, em teoria, caso a duração da queda for muito curta e frequente, pode-se afirmar que o movimento da partícula será mais afetado pela densidade do material do que pelo seu tamanho (velocidade terminal).

$$\frac{dv}{dt} = \left(1 - \frac{\rho_l}{\rho_p}\right) \times g \quad (1)$$

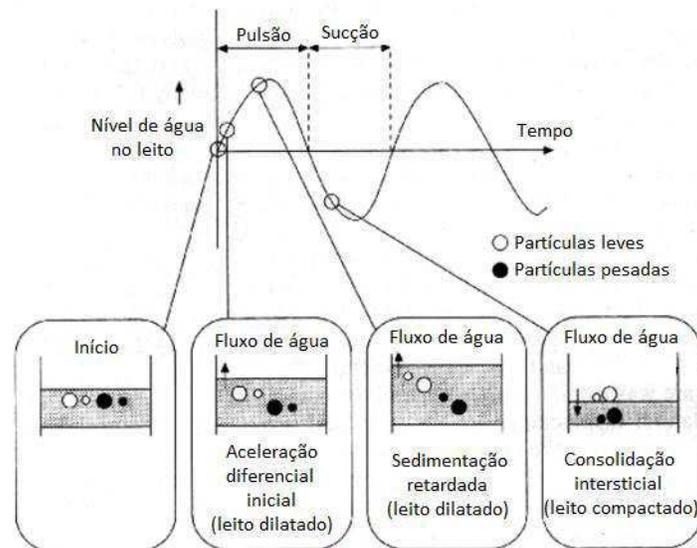
- Consolidação (ou percolação) intersticial: partículas de diferentes tamanhos e densidades percorrem distâncias distintas durante o golpe de jigagem. Devido às suas maiores velocidades de sedimentação, as partículas maiores irão alcançar posições de repouso, seja sobre o crivo do jigue ou sobre partículas previamente depositadas, antes das partículas finas. Ocorre, assim, a formação de interstícios entre as partículas grossas, permitindo o movimento das partículas mais finas nesses vazios durante a movimentação do leito. O material ficará disposto em camadas ou estratos, facilitando a separação, conforme indicado na Figura 4. Porém, devido à existência de tais interstícios, as partículas finas podem continuar a sedimentar.

Na Figura 5, apresenta-se um esquema indicando todas as fases do ciclo de jigagem e as respectivas consequências ao leito em função do tempo.

Em resumo, a jigagem é um processo de separação a partir de repetidos golpes (expansão e sucção) de um leito de partículas pelo movimento pulsante de um fluido. Como produto final, tem-se a estratificação do leito citado em camadas de densidades crescentes



**Figura 4** – Representação dos efeitos dos mecanismos de concentração gravítica [5].



**Figura 5** – Representação dos ciclos de jigagem e respectivas consequências ao leito em função do tempo [9].

deste o topo até a base [8]. Grande parte desta estratificação ocorre durante a dilatação do leito, como resultado da sedimentação retardada e da aceleração diferencial. Desta maneira, as partículas finas e leves se alojam na parte superior e as grossas e pesadas são deslocadas para a parte inferior da camada do material. Em seguida, durante a compactação, as partículas finas e pesadas são levadas para o fundo e as grossas e leves para o topo do leito, devido à consolidação intersticial [5].

### 3.4 – Classificação de jigues

Os jigues são classificados de acordo com o modo de execução da dilatação do leito. Nos já obsoletos jigues de tela móvel, como por exemplo o jigue Hancock, a caixa do jigue

se move em um tanque estacionário de água, enquanto que nos jigues de tela fixa, como por exemplo o jigue Baum, a água é que é submetida ao movimento (geralmente, a tela é aberta, com o concentrado passando através da mesma). Os jigues de tela (ou crivo) fixa são subclassificados segundo o mecanismo de pulsação da água.

O jigue de diafragma tipo Denver representa a subclasse supracitada anteriormente. Nele, o impulso da água é efetuado pelo movimento coordenado de um êmbolo com borda selada por uma membrana flexível, permitindo um movimento vertical sem que haja passagem da água pelos flancos do mesmo. O movimento do atuador se faz em um compartimento adjacente à câmara de trabalho do jigue e resulta da ação de um eixo excêntrico. No jigue Denver original, há uma válvula rotativa controlada pelo excêntrico, a qual só dá passagem à entrada do fluido na respectiva câmara durante o movimento de ascensão do diafragma, objetivando melhoras nas condições para que haja a sedimentação retardada das partículas através de um leito menos compactado.

Nos jigues tipo Yuba, o diafragma se movimenta na parede da câmara, enquanto que no jigue Pan-American o diafragma se encontra diretamente abaixo da câmara, movimentando-se verticalmente [7].

### 3.5 – Condições do ciclo de jigagem e de construção de jigues

A abertura da tela do jigue deve ser entre duas e três vezes o tamanho máximo das partículas do minério. Como dimensão média das partículas da camada de fundo (*ragging*), natural ou artificial, deve-se tomar aquela igual ao dobro da abertura da tela, e com variações nessas dimensões, não sendo recomendável uma camada de fundo de tamanho único.

As condições do ciclo de jigagem devem ser ajustadas para cada caso, citando-se apenas como diretriz que ciclos curtos e rápidos são apropriados a materiais finos, o contrário sendo válido para os grossos. Além de que quanto maior sucção, mais acentuada será a consolidação intersticial e quanto maior a densidade do leito, maior será a velocidade do fluido.

Frequência e amplitude das pulsações devem ser ajustadas para que as partículas do leito se tornem suficientemente dispersas. Na Tabela II, são apresentados intervalos típicos de operação.

**Tabela II** – Intervalos típicos de operação [8].

<b>Tipo de jigue</b>	<b>Tamanho da partícula (mm)</b>	<b>Amplitude (mm)</b>	<b>Frequência (ciclos/min)</b>
Baum	200 – 5	30 – 40	30 – 60
Câmara de ar sob o leito	100 – 0,5	30 – 60	40 – 60
Diafragma	25 – 0,25	20 – 30	125 – 150

Uma variável fundamental é a água de processo, a qual é introduzida na arca do jigge, sob a tela do mesmo. Não deve haver alterações no fluxo desse líquido, pois isto perturbaria as condições de concentração no leito do jigge. É recomendável que as tubulações de água de processo para cada jigge, ou mesmo para cada câmara do jigge, sejam alimentadas separadamente a partir de um reservatório, por gravidade. [7]

Outro aspecto relevante na abordagem do processo de jigagem é a camada de fundo, a qual é utilizada na jigagem com crivo aberto, onde partículas densas percolam (capacidade do líquido de atravessar um determinado meio; passar um líquido lentamente, sob pressão, através de um meio sólido para filtrar ou para fazer a extração de substâncias desse meio) através do leito e do crivo. As partículas da camada de fundo devem ser densas o suficiente para se depositar no fundo do jigge, porém devem ser leves o necessário para expandir com a impulsão. O tamanho recomendado é de quatro vezes o maior tamanho do material a ser recuperado. Exemplos de material de camada de fundo: pelotas de aço, hematita, feldspato, etc.

### 3.6 – Medição de potência trifásica consumida pelo sistema do jigge

Requisitou-se a medição da potência absorvida pelo sistema do jigge. Devido à indisponibilidade de wattímetros, realizou-se o seguinte procedimento:

- 1) Mediram-se as tensões entre fases no secundário do transformador de alimentação (trafo  $3\phi \Delta/Y$ ), conforme apresentado na Figura 6. Adotou-se, mediante uma média aritmética, o valor de 374 V.
- 2) Analogamente, realizaram-se medições de corrente de linha (Figura 7), obtendo o valor aproximado de 260 A.



**Figura 6** – Foto da medição de tensão de linha. **Figura 7** – Foto da medição de corrente de linha.

Criou-se uma rotina em MATLAB para o cálculo das potências ativa, reativa e aparente, a qual ficou como uma contribuição à empresa para utilizações futuras.

É imprescindível ressaltar que as equações utilizadas no cálculo das potências aqui efetuado são recomendadas para os casos em que a rede trifásica é equilibrada (considerando de antemão que a carga é equilibrada por natureza). Para tal verificação, deve-se comprovar que a soma vetorial das componentes de tensão é igual a zero (componentes de mesmo módulo e defasadas de  $120^\circ$ ), o que não foi feito devido à falta de equipamento necessário. Entretanto, o resultado obtido foi considerado como bastante satisfatório ao ser comparado com os dados coletados a partir de um controlador de demanda da empresa.

### 3.7 – Jigue APIC – Cia. de Ferro Ligas da Bahia (Ferbasa)

O APIC é um jigue de pulsação sub-leito, no qual as pulsações de água (golpes de jigagem) são produzidas por meio da pressão do ar. As configurações da amplitude e do perfil da pulsação são controladas eletronicamente por intermédio de uma IHM (*Interface Human-Machine*) associada a um PLC (*Programmable Logic Controller*), permitindo um controle preciso de todas as variáveis do processo e a geração de um produto limpo e puro com alto nível de recuperação.

Na Figura 8, apresenta-se um esquema simplificado do jigue em questão. Tal imagem servirá para um melhor entendimento do que será comentado posteriormente.

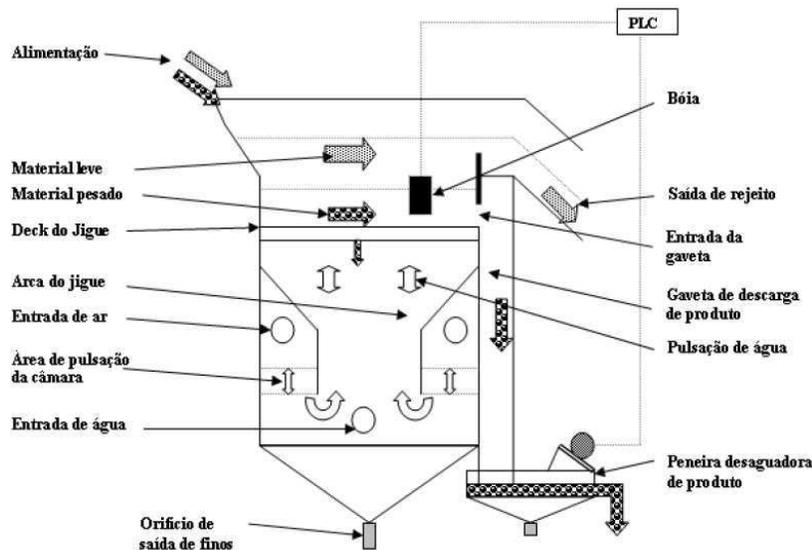


Figura 8 – Esquema de um típico jigue APIC.

#### 3.7.1 – Alimentação de água

A vazão de água deve ser suficiente para garantir o movimento horizontal do material através dos compartimentos do jigue. Uma regra geral é que não se pode ver o

material do leito dentro do jigge, ele deve ficar sempre submerso na água. É também de fundamental importância balancear a vazão de água nos diferentes compartimentos: o primeiro deve receber mais água para a lavagem do material e os outros o suficiente para manter um fluxo ascendente durante as pulsações.

O controle da vazão de cada compartimento é efetuado individualmente via válvulas borboleta (Figura 9) instaladas na entrada de água do jigge no segundo andar.



**Figura 9** – Foto das válvulas borboleta que controlam a vazão de água.

A capacidade do jigge será afetada em caso de falta de água, porém o excesso dela irá reduzir o tempo de permanência do material no jigge e poderá gerar perda de produto pelo rejeito assim como sobrecarregar o sistema de clarificação de água.

A pulsação vertical é essencial para fluidizar o material. Assim que se atingir uma boa fluidização, deve-se manter a vazão constante. Para verificar a fluidização, introduz-se o braço dentro do leito do jigge até atingir o *deck*. Deve-se ter certa facilidade na introdução do braço durante os períodos de admissão e manutenção de ar e sentir o braço retido firmemente durante o período de exaustão de ar.

### **3.7.2 – Circuito de água**

O circuito de água da planta de jigagem é um circuito fechado para clarificação da água antes de sua reutilização. O excesso de sólidos na água aumenta a densidade da água

afetando assim a pulsação e gerando um desgaste desnecessário no jigie e no sistema de recirculação de água.

### 3.7.3 – Alimentação de ar

São dois os sistemas de alimentação de ar no jigie APIC: um de baixa pressão e alto volume fornecido pelo *blower* (soprador) e responsável pela pulsação através do enchimento das câmaras submersas e outro de alta pressão e baixo volume fornecido pelo compressor de palhetas e responsável pelo comando dos pistões das válvulas e da válvula de controle de pressão.

A pressão de ar do soprador e do tanque de admissão é controlada por uma válvula borboleta eletropneumática via IHM, com o objetivo de manter a pressão de operação constante em todos os ciclos. Quando o leito do jigie parecer morto, ou seja, com pulsação fraca, ou estiver borbulhando, deve-se modificar o *setpoint* de pressão.

### 3.7.4 – Válvulas de admissão e de exaustão

As válvulas de admissão e exaustão (ou válvulas pop-up) são controladas por pistões (atuadores pneumáticos), válvulas direcionais e solenoides comandadas pelo PLC. Estas válvulas permitem a entrada e saída de ar de baixa pressão, formando o perfil de pulsação do jigie. Cada um dos compartimentos tem sua própria válvula de admissão e exaustão (Figura 10) que controlam a entrada e saída de ar.



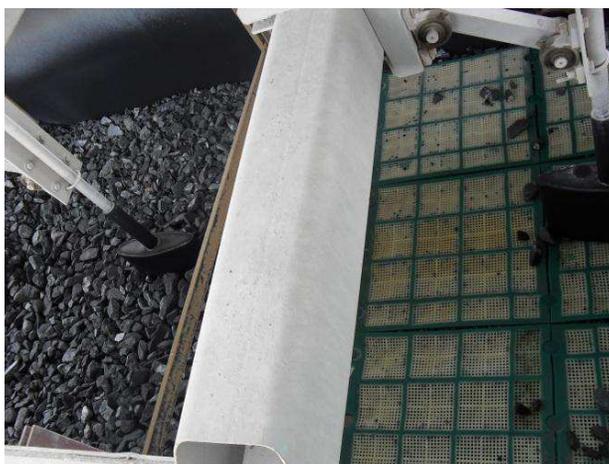
**Figura 10** – Foto dos pistões e válvulas.

Caso uma válvula não operar de forma correta, o leito não irá se mover ou irá borbulhar. Assim, se o problema não puder ser resolvido pela alteração de parâmetros na IHM, deve-se inspecionar as válvulas e seus atuadores fisicamente.

Recomenda-se a verificação (preferencialmente mensal) do correto funcionamento das válvulas: válvulas abrindo e fechando completamente em cada ciclo.

### 3.7.5 – Deck e arcas do jigue

O *deck* do jigue é um painel de telas em aço e poliuretano e deve ser bem aparafusado na posição correta para prevenir a movimentação vertical durante a pulsação, o que poderia interferir negativamente na operação do sistema. É de grande relevância a verificação da não existência de espaços entre os módulos do *deck* e em torno desse, assim como furos nas telas e material acumulado nos crivos (Figura 11), pois isto levaria a uma contaminação do produto e afetaria a pulsação com perda de força.



**Figura 11** – Foto do *deck* do jigue.

As arcas do jigue são a parte inferior ao *deck* e são divididas em compartimentos, no caso três. Em cada arca existe uma alimentação de água e a câmara submersa com entrada de ar de baixa pressão.

### 3.7.6 – Controle da boia e das peneiras

Um material misturado é alimentado no jigue e então estratificado em camadas. A boia é projetada para flutuar sobre os pesados e afundar nos leves, indicando quando a altura configurada no *setpoint* é alcançada. A densidade ideal é atingida pela colocação ou retirada de pesos da boia. A boia é calibrada especificamente para cada jigue e qualquer mudança em seu peso irá afetar a altura do leito.

Quando o nível desejado for atingido, a boia acionará as peneiras de descarga de produtos que removerá o material pesado. O *setpoint* da altura do leito deve ser o suficiente para assegurar que nenhum rejeito saia pela gaveta de produto quando a peneira for iniciada. Em seu nível mais baixo, a boia deve ter *setpoint* de pelo menos 15 mm do *deck* do jigue para prevenir danos no *deck*.

A boia deve ser inspecionada regularmente devido à grande probabilidade de qualquer dano ou mudança em suas características.

### 3.7.7 – Gavetas de saída de produto

A gaveta de saída de produto fica ao final do segundo compartimento, enquanto que a de saída de mistos fica ao final do terceiro compartimento. Tais gavetas formam um degrau no *deck* do jigue, cuja altura pode ser regulada pela adição ou retirada de barras de metal.

### 3.7.8 – Manuseio de produto, misto e rejeito

Todo o material que alimenta o jigue deve ser desaguado, o que é realizado pelas peneiras desaguadoras localizadas na parte inferior do jigue para os produtos e no segundo andar para o rejeito (Figura 12). Os *underflows* dessas peneiras vão para o circuito de clarificação de água.



**Figura 12** – Foto das peneiras desaguadoras de produto.

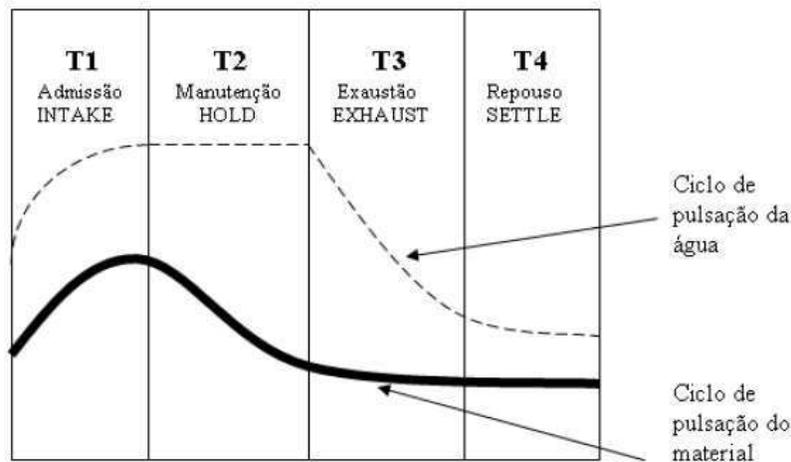
- Produto: a camada pesada nos dois primeiros compartimentos é o minério limpo e é extraída via gaveta de produto ao final do segundo compartimento, como dito anteriormente.
- Mistos: a camada de leves formada nos dois primeiros compartimentos transborda por cima da gaveta de saída de produto do segundo compartimento. Durante as pulsações do terceiro compartimento, uma nova camada de pesados é formada sobre o *deck*, sendo constituída por partículas

de material de densidade maior que o rejeito e menor que o produto. Este material é chamado de misto, pois suas partículas normalmente são minérios que não foram completamente liberados. Ele é extraído pela gaveta de mistos ao final do terceiro compartimento. Como estes mistos têm minério, normalmente são britados novamente para total liberação do minério e reprocessados na planta de jigagem.

- Rejeito: é o material de descarte da operação de jigagem e é composto pelas partículas que transbordam por cima da gaveta dos mistos, desaguando em uma peneira.

### 3.7.9 – Tempos de ciclo

Na Figura 13, é possível observar o que ocorre com a água e o material durante um ciclo de pulsação do jigue.



**Figura 13** – Representação do ciclo de pulsação da água e do material

Os tempos de ciclo de pulsação são críticos para a eficiência da operação de jigagem e a conseqüente geração de produto dentro dos padrões estabelecidos. Ao regular os tempos de ciclo de cada período, faz-se importante levar em consideração os seguintes aspectos:

- O tempo de admissão deve ser longo o suficiente para permitir uma boa separação entre as partículas;
- O tempo de manutenção deve ser longo o suficiente para permitir a decantação do material pesado para o *deck* do jigue;
- O tempo de exaustão deve ser longo o suficiente para permitir a saída de todo o ar das câmaras submersas e para que a água retome seu nível normal antes de reiniciar o próximo ciclo;
- Partículas maiores irão requerer um tempo maior de admissão para permitir uma melhor separação do material.

A mudança dos tempos de ciclo é bastante intuitiva de ser executada na IHM e pode ser realizada a qualquer momento, com o jigue funcionando ou não. Tempos típicos de ciclo de pulsação são dados Na Tabela III, podendo variar de acordo com o material.

**Tabela III** – Tempos de ciclo de operação típicos.

Em milisegundos	Jigue com finos			Jigue com granulados		
	Compartimentos					
	1	2	3	1	2	3
<b>Admissão</b>	380	360	240	380	370	330
<b>Manutenção</b>	200	200	200	250	250	230
<b>Exaustão</b>	250	250	250	300	340	300
<b>Repouso</b>	170	190	310	270	240	340
<b>Tempo total</b>	1000	1000	1000	1200	1200	1200

### 3.8 – Procedimentos para o jigue APIC

Nesta seção serão descritos os procedimentos que necessitam ser executados para a inicialização e para o desligamento da planta de jigagem.

#### 3.8.1 – Procedimento de inicialização

1. Verificar o nível do tanque de água. Caso esteja baixo, ligar a bomba de alimentação de água até que o nível seja adequado para a operação;
2. Ligar o compressor;
3. Ligar a correia de rejeito;
4. Ligar as correias de produto e de mistos;
5. Ligar a peneira desaguadora do rejeito;
6. Ligar a bomba de alimentação de água;
7. Aguardar até que a água transborde sobre a peneira de rejeito;
8. Iniciar o ciclo de pulsação do jigue (válvulas);
9. Ligar o *blower*;
10. Ligar a correia de alimentação;
11. Ligar as peneiras classificadoras;
12. Ligar a correia de alimentação das peneiras;
13. Ligar o alimentador vibratório;
14. Ajustar os parâmetros do jigue.

#### 3.8.2 – Procedimento de desligamento

1. Desligar o alimentador vibratório da correia;
2. Desligar a correia de alimentação das peneiras classificadoras;
3. Aguardar até que as peneiras trabalhem em vazio e as desligue;

4. Aguardar até que a correia de alimentação do jigue rode totalmente em vazio e a desligar;
5. Reduzir a pressão de ar até zero e desligar o soprador;
6. Desligar a bomba de alimentação de água;
7. Aguardar até que a peneira de rejeito rode vazia e a desligar;
8. Aguardar até que a correia de rejeito rode vazia e a desligar;
9. Desligar o ciclo de pulsação do jigue;
10. Desligar o compressor.

### 3.9 – Operações do jigue pela IHM (principais telas)

A partir da inclusão de uma IHM (Interface Homem-Máquina) à planta de jigagem, o status de inúmeros parâmetros e dispositivos desta podem ser visualizados e modificados, conferindo ao operador o poder de interagir de uma forma mais eficaz e robusta no processo.

Nesta seção serão apresentadas as telas disponíveis ao usuário no dispositivo IHM, bem como descrições das informações contidas em cada uma delas.

#### 3.9.1 – Tela de vista geral

Na Figura 14, apresenta-se a tela de vista geral da planta de jigagem.



**Figura 14** – Representação da tela de vista geral do jigue.

A seguir apresentam-se as informações contidas na tela de vista geral do processo e seus respectivos significados.

VALOR: valor atual, em kPa (kilo Pascal), da pressão de ar;

SP AUTO: *setpoint* da pressão de ar, em kPa, quando operando em modo automático;

SP MAN: *setpoint*, em porcentagem, para a abertura da válvula de admissão quando operando em modo manual;

VLV: valor atual, em porcentagem, da abertura da válvula;

BLOWER DISP.: indicação de disponibilidade para posta em funcionamento do soprador;

BLOWER LIGADO: indicação do status atual de funcionamento do soprador (ON ou OFF);

PENEIRA PROD1/PROD2/MISTO: indicação do status atual de funcionamento das peneiras de produto e misto (ON ou OFF);

BOIA PROD1/PROD2/MISTO: indicação, em porcentagem, do nível da boia de cada um dos compartimentos;

ALIM. PLANTA: indicação, em ton/h, da alimentação da planta;

### 3.9.2 – Tela de tempos de pulsação/compartimentos

Na Figura 15, apresenta-se a tela da IHM referente à configuração dos tempos de ciclo de cada um dos três compartimentos e da defasagem entre eles.



Figura 15 – Representação da tela de pulsação/compartimentos do jigüe.

A seguir apresentam-se as informações contidas na tela referente aos tempos de pulsação de cada compartimento e seus respectivos significados.

Tempo ciclo: tempo total, em ms, da duração do ciclo de jigagem completo (admissão + manutenção + exaustão + espera);

Admissão: tempo, em ms, de abertura da válvula de admissão de ar de cada compartimento para o golpe de expansão da jigagem;

Manut.: tempo, em ms, entre o fechamento da válvula de admissão e a abertura da válvula de exaustão de cada compartimento;

Exaustão: tempo, em ms, de abertura da válvula de exaustão de ar de cada compartimento para o golpe de expansão da jigagem;

Espera: tempo, em ms, entre os ciclos de jigagem de cada compartimento;

Defas.: tempo, em ms, de defasagem entre os ciclos de cada compartimento (entre 1 e 2 e entre 1 e 3).

### 3.9.3 – Tela de nível dos leitos

Na Figura 16, apresenta-se a tela da IHM referente aos parâmetros de nível de cada uma das boias.



Figura 16 – Representação da tela de nível dos leitos do jigue.

A seguir apresentam-se as informações contidas na tela referente aos parâmetros de nível de cada uma das boias e seus respectivos significados.

VALOR: altura atual, em porcentagem, do leito de produto (boias 1 e 2) e de misto (boia 3);

SP: *setpoint*, em porcentagem, da altura desejada do leito de produto (boias 1 e 2) e de misto (boia 3);

DF: variação de trabalho, em porcentagem;

LIGA DF: altura, em porcentagem, com a qual a peneira desaguadora será ligada (altura de início de funcionamento);

PARA DF: altura, em porcentagem, com a qual a peneira desaguadora será desligada (altura de término de funcionamento);

BOIA PROD 1/2/MISTO Dispon.: indicação de disponibilidade para posta em funcionamento de cada peneira;

BOIA PROD 1/2/MISTO Status: indicação do status atual de funcionamento de cada uma das peneiras (ON ou OFF).

### 3.9.4 – Tela de circuito de água

Na Figura 17, apresenta-se a tela da IHM referente à regulagem da vazão de água bombeada para o *deck* do jigüe.



**Figura 17** – Representação da tela de circuito de água.

A seguir apresentam-se as informações contidas na tela referente à regulagem da vazão de água bombeada para o *deck* e seus respectivos significados.

SP MAN: *setpoint*, em porcentagem, da vazão de água bombeada.

### 3.9.5 – Tela de controle da alimentação

Na Figura 18, apresenta-se a tela da IHM referente ao controle da alimentação da planta de jigagem. As informações contidas na tela referente ao controle de alimentação e seus respectivos significados são apresentados a seguir.

VALOR: valor atual da alimentação da planta em ton/h;

SP AUTO: *setpoint*, em ton/h, do valor de alimentação da planta;

SP MAN: *setpoint*, em porcentagem, do valor de alimentação da planta quando operando em modo manual;  
 INV. FREQ.: frequência de vibração do alimentador, em porcentagem;



Figura 18 – Representação da tela de controle da alimentação.

### 3.9.6 – Tela de transportadores de correia

Nesta tela, a qual pode ser vista na Figura 19, têm-se disponíveis mensagens de status, via indicadores visuais, do estado das correias transportadoras e de seus respectivos sensores e alarmes.



Figura 19 – Representação da tela de transportadores de correia.

### 3.9.7 – Tela de status e manutenção

Nesta tela (Figura 20), têm-se disponíveis mensagens de status, via indicadores visuais, do estado de alguns dos dispositivos da planta. Aqui, além das mensagens habituais, há uma indicação de manutenção para aqueles dispositivos cuja atuação depende não somente de si próprio, tendo seu funcionamento atrelado ao de outros componentes do sistema, ou seja, possui intertravamentos.



Figura 20 – Representação da tela de status e manutenção.

### 3.10 – Componentes do sistema – Plano de manutenção e princípio de funcionamento

Objetiva-se, nesta seção, a apresentação dos dispositivos que compõem a planta de jigagem, recomendações de ações de manutenção e de testes perante possíveis falhas, além da descrição do princípio de funcionamento de alguns deles.

#### 3.10.1 – Compressor de palhetas Hydrovane HV15

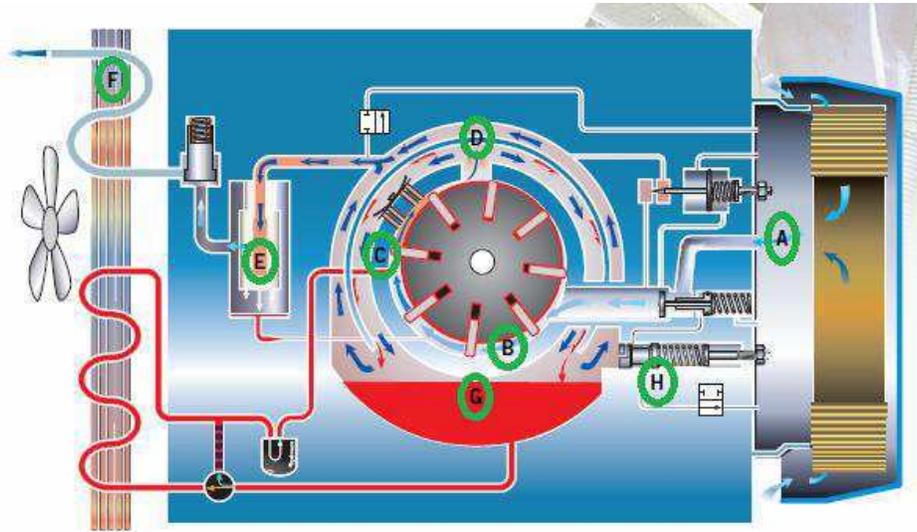
Na Figura 21, apresenta-se, em corte longitudinal, a estrutura interna do compressor em questão e na Figura 22 é apresentada uma foto do mesmo.

Princípio de funcionamento:

Referenciando-se à Figura 21, as letras circuladas denotam:

**A:** ar é drenado para o compartimento interno do dispositivo através da válvula de entrada;

**B:** ar é contido entre as paredes do rotor e do estator;



**Figura 21** – Representação do princípio de funcionamento do compressor Hydrovane HV15 [3].

**C:** o volume do ar é diminuído, comprimindo-o. Óleo é continuamente injetado para esfriar, vedar e lubrificar;

**D:** ar de alta pressão passa através do primeiro óleo separador;

**E:** porcentagem remanescente do óleo é removida em um elemento separador final, fornecendo ar de alta qualidade;

**F:** ar passa através de um cooler posterior, removendo parte do condensado;

**G:** óleo circula por meio da pressão interna do ar. Ele passa por um jato de ar resfriador e é filtrado antes de retornar para o sistema do compressor;

**H:** o fluxo de ar é regulado por um sistema de modulação interno.

Características técnicas principais:

Modelo: V15ACE08-NSP1968

Serial no.: V15-000928-0811

Potência: 15 kW (20 HP);

Pressão mínima da linha de ar: 6 bar;

Pressão máxima da linha de ar: 8 bar;

Velocidade de rotação do motor: 1450 rpm;

Capacidade de óleo: 6 litros;

Óleo de compressor aprovado: Fluid Force Red 2000 & HPO;

Ruído: 69 dB(A);

Massa: 350 kg;

Vazão a 8 bar: 2,28 m<sup>3</sup>/min;

Classe: classe F com IP55 – proteção completa contra toques, acúmulo de poeiras nocivas e a jatos de água em todas as direções.

Os compressores de palheta utilizam um rotor único para a compressão do ar. Assim, a velocidade menor de rotação proporciona a redução de acúmulo de tensões, níveis



**Figura 22** – Foto do Hydrovane HV15.

de ruído e vibração. Os compressores palheta são confeccionados para durar o equivalente à 8 horas diárias durante 40 anos (100.000 horas).

#### Recomendações:

A confiabilidade da manutenção de compressores é um fator de destaque para assegurar o bom funcionamento do mesmo, bem como manter seu desempenho sempre satisfatório. Abaixo são listados alguns passos básicos para a manutenção deste dispositivo:

- Drenagem da umidade dos tanques do compressor: o tanque coletor recolhe a umidade do ar que está comprimido. É necessário vistoriar as válvulas que drenam a umidade acumulada;
- O compressor terá um desempenho ótimo e um tempo de serviço livre de problemas enquanto a temperatura do óleo permanecer entre 75° e 85° C;
- Possíveis razões para a elevação da temperatura do óleo do compressor: baixo nível do óleo, resfriador do óleo bloqueado ou restrições na circulação do resfriador, tipo ou grau de óleo errado, temperatura ambiente alta e a ventoinha de resfriamento parou ou está funcionando incorretamente. O visor do controlador irá exibir um alerta quando a temperatura atingir 107° C. O compressor para automaticamente se a temperatura subir acima de 110° C;
- Antes de colocá-lo em operação, certificar-se de que o compressor está cheio com óleo aprovado pela Hydrovane. Não encher demasiadamente;
- Limpeza das aberturas de entrada do compressor: evita entupimentos que forçariam o motor a trabalhar de forma mais exigente, perdendo seu poder de compressão e levando a máquina a avarias e falhas;
- Aperto de todos os parafusos do compressor: a vibração do motor pode folgar os parafusos e porcas. Aconselha-se verificar tais elementos e apertá-los;
- Verificar e trocar filtros de ar: verificar os filtros e os trocar em caso de obstrução com poeira e sujeira. O ideal é que essa troca aconteça de seis em seis meses;
- Limpeza: o motor do compressor deve ser limpo pelo menos uma vez por ano, a fim de eliminar qualquer resíduo devido ao combustível. Limpar o trocador de calor;
- Checar e trocar o óleo do compressor: a cada 1000-2000 horas de uso do compressor, o óleo deve ser trocado [10].
- Verificar a pressão. Para o processo do jigüe, a pressão esperada é em torno de 5,5 bar.

#### Termos de garantia:

Todos os compressores, que são revisados por um distribuidor Hydrovane autorizado, têm garantia de 12 meses a partir da data da primeira aplicação do compressor e 18 meses a partir do envio da fábrica.

A garantia não cobre peças de reposição normais, o óleo ou peças gastas, ingresso de sujeira, limpeza dos filtros e dos dispositivos de filtragem e de drenagem de fluidos, bem como o aperto de conexões elétricas ou outras. Danos consequentes de qualquer natureza não são cobertos pela garantia.

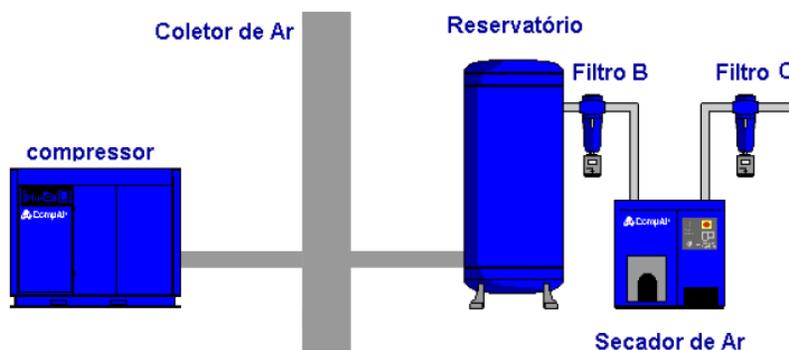
A Tabela IV refere-se a ações de manutenção no compressor em função do intervalo de tempo de operação do mesmo.

**Tabela IV** – Programa de manutenção preventiva Fluid Force Red 2000.

<b>Ações de manutenção</b>	<b>Instalação</b>	<b>Diariamente</b>	<b>Semanalmente</b>	<b>A cada 2000 horas</b>	<b>A cada 6000 horas</b>	<b>A cada 24000 horas</b>
Acesso adequado no local para manutenção	X					
Local protegido contra intempéries	X					
Local com ventilação adequada	X	X	X	X	X	X
Temperatura ambiente do local dentro dos limites	X	X	X	X	X	X
Ambiente do local livre de poeira	X	X	X	X	X	X
Verifique se as conexões elétricas têm o torque correto	X			X	X	X
Verifique o filtro do nível de óleo na vareta/visor	X	X	X	X	X	X
Verifique se o sentido do acionamento é correto	X					X
Verifique se há vazamento de ar	X		X	X	X	X
Verifique se há vazamento de óleo	X		X	X	X	X
Verifique filtro de entrada de ar/limpe se necessário	X		X			
Verifique se há carga com corrente ligada	X			X	X	X
Verifique se há carga com corrente desligada	X			X	X	X
Verifique a temperatura do óleo	X		X	X	X	X
Verifique a temperatura RSU	X		X	X	X	X
Verifique a pressão servo em descarga	X			X	X	X
Verifique se as buchas do motor/cabos estão firmes	X			X	X	X
Verifique se o motor está danificado	X			X	X	X
Verifique se o motor tem conexões soltas	X			X	X	X
Verifique se os cabos e o aterramento do motor estão bons	X			X	X	X
Verifique se o motor vibra	X			X	X	X
Verifique se os dutos flexíveis de óleo estão intactos				X		
Verifique se há vazamento no vedante de óleo				X	X	
Verifique os contactores do motor de arranque					X	X
Verifique a resistência do isolamento do motor						X
Verifique a matriz do resfriador			X	X	X	X

Limpe sujeira externa do Compressor	X		X	X	X	X
Limpe qualquer sujeira externa no motor	X		X	X	X	X
Limpe o filtro de gabinete do resfriador.			X			
Limpe os solenóides				X	X	X
Troque o elemento separador					X	X
Troque o óleo de 2.000 horas				X	X	X
Troque o filtro de óleo				X	X	X
Troque o filtro de entrada de ar				X	X	X
Troque o filtro de gabinete do resfriador.				X	X	X
Troque as vedações das válvulas do descarregador				X	X	X
Troque as vedações MPV				X	X	X
Troque as vedações das válvulas de vácuo				X	X	X
Troque o motor térmico					X	X
Lubrifique os apoios do motor, se existirem					X	
Inspecção total da extremidade de ar (interna)						X
Troque o vedante do óleo						X
Troque o manómetro da pressão						X
Troque os apoios do motor						X
Teste/verificação completa do funcionamento	X			X	X	X

Na Figura 23, apresenta-se a posição relativa do compressor na linha pneumática face à posição de outros dispositivos também presentes na planta.

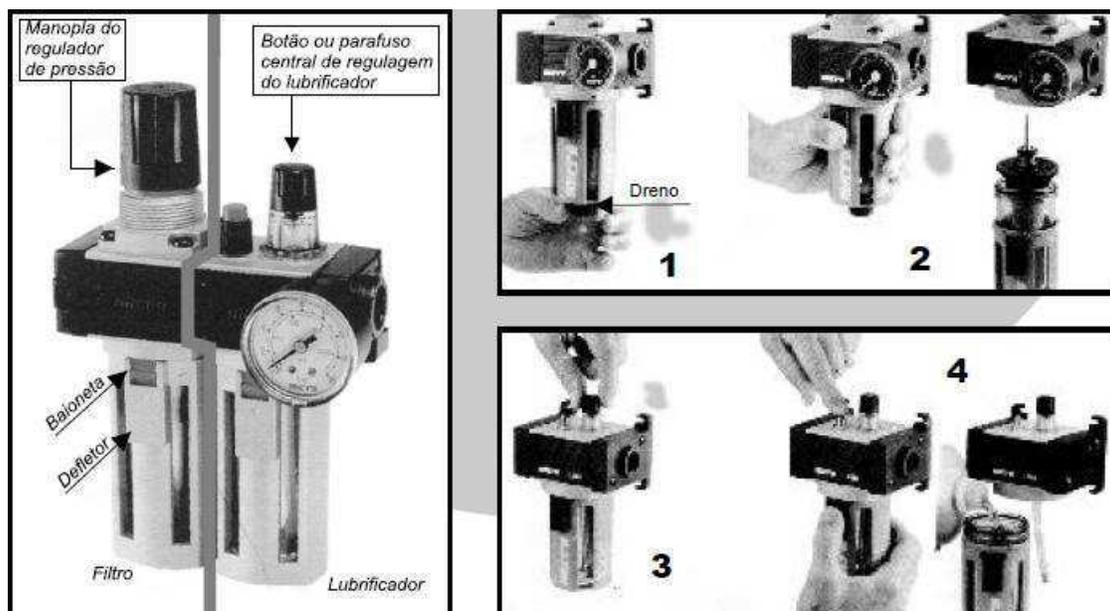


**Figura 23** – Esquema de montagem da linha pneumática.

### 3.10.2 – Lubrifil FESTO

O Lubrifil tem a função de filtrar o ar, possibilitar a regulação da pressão de alimentação necessária ao acionamento do sistema e lubrificação das partes mecânicas dos

componentes pneumáticos. Sua localização no circuito (Figura 23) é a jusante do Filtro C. Na Figura 24 é apresentado um guia rápido de manutenção do Lubrifil FESTO.



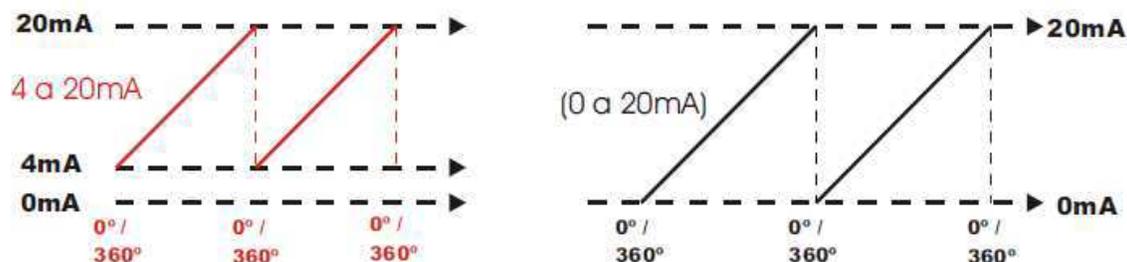
**Figura 24** – Guia de manutenção do Lubrifil FESTO.

Referenciando-se à Figura 24:

1. Drenar periodicamente os condensados do filtro, acionando manualmente o dreno (não utilizar ferramentas ou alicates), de maneira que o nível nunca atinja o defletor plástico;
2. Lavar, periodicamente, o copo e os componentes plásticos do filtro com água (temperatura máxima de 60° C) e detergentes comuns. Não usar álcool. Para desmontar o kit basta girar o copo. Lavar o filtro com gasolina e limpar com ar comprimido dirigindo o jato de dentro para fora;
3. Regular o gotejamento do óleo do lubrificador com o botão de regulação ou parafuso central, observando a frequência do gotejo através do copo transparente. Caso seja preciso interromper a passagem do óleo, apertar o botão ou parafuso central de regulação até o seu encosto de forma leve para evitar o seu bloqueio. Recomenda-se uma lubrificação de 25 a 40 prensadas por gota;
4. O lubrificador deve ser reabastecido com o equipamento sem pressão. Encher o copo até aproximadamente 10 mm (0,5”) da sua parte visível. Utilizar somente óleos recomendados. Lavar, periodicamente, como indicado no ponto 2, inclusive o filtro sinterizado do tubo de aspiração.
5. Para regular a pressão, girar a manopla do regulador. Para bloqueá-lo, empurrá-lo para baixo, evitando assim acionamentos acidentais.

### 3.10.3 – Encoder absoluto analógico Hohner

O encoder absoluto analógico é um transdutor de posição angular que, mediante o giro de uma volta em seu eixo, gera sinais elétricos analógicos, sem perda de referência devido ao seu sistema óptico de leitura em código Gray paralelo. Na Figura 25, apresenta-se o princípio de operação de tal dispositivo, onde um sinal elétrico (4-20 mA ou 0-20 mA) é gerado a partir da posição angular.



**Figura 25** – Representação do princípio de operação do encoder absoluto analógico.

No sistema do jigue, o encoder atua em conjunto com as boias, permitindo ao usuário verificar o nível do leito em cada compartimento a qualquer momento. É de extrema importância que este dispositivo atue em seu perfeito estado e regulação, pois de forma contrária dará a informação visual errônea do nível do leito e conseqüentemente irá ativar a sua respectiva peneira desaguadora no momento inadequado.

Na Figura 26, apresenta-se uma foto na qual pode ser visto o encoder (circulado em vermelho) associado a um braço mecânico para controle do nível desejado (*setpoint* definido através da IHM) de produto em cada compartimento.



**Figura 26** – Foto do encoder associado ao braço da boia.

Características mecânicas:

Série: 6420-4011-0014;

Base: aço inoxidável;

Tampa e eixo: aço inoxidável;

Rolamentos: 6000DDU;

Massa: 0,4 kg;

Rotação máxima: 600 rpm;

Carga radial e axial máxima: 15 kg;

Grau de proteção: IP65 – totalmente protegido contra penetração de poeira, contato a partes internas ao invólucro e contra jatos de água (água projetada por bico em qualquer direção).

Características elétricas:

Alimentação: 24 Vdc (nominal);

Corrente total máxima: 100 mA;

Corrente por saída: 0 a 20 mA ou 4 a 20 mA;

Linearidade da escala: +/- 0,1%;

Temperatura de operação: -10 a +70° C;

Resolução do conversor: 12 *bits*.

Recomendações:

O encoder absoluto analógico é um dispositivo altamente robusto, com probabilidade de defeito praticamente nula. Assim, quando de uma falha, deve-se inicialmente suspeitar do fusível de proteção do alimentador.

A manutenção necessária para este aparelho é em função de sua regulação. É frequente que o mesmo seja desregulado pela própria movimentação da boia e pela vibração da plataforma do jigue. Sugere-se acoplar ao encoder uma arruela de pressão, impedindo, ou pelo menos dificultando que o aparato funcione em condições errôneas.

### **3.10.4 – IHM, PLC e cartões anexos Mitsubishi**

Nesta seção, serão apresentadas características, recomendações sobre condições de operação e de manutenção da IHM, PLC e dos cartões anexos a este.

#### **3.10.4.1 – IHM Mitsubishi E1070**

O terminal de operação é desenvolvido para instalações fixas em uma superfície plana, onde as seguintes condições são satisfeitas:

- Não há risco de explosivos;
- Não há campos magnéticos intensos;
- Não há incidência solar direta;
- Não há variações bruscas na temperatura;

- Não permitir que líquidos, limalhas de metal ou restos de fiação entrem em qualquer abertura do terminal de operação. Isso poderá causar incêndio e/ou choque elétrico;
- Armazenar o terminal onde a temperatura é menor/maior do que o recomendado poderá causar danos irreparáveis ao display LCD.

Durante o uso:

- Manter o terminal de operação limpo;
- Parada de emergência e outras instruções de segurança não devem ser operadas a partir do terminal de operação;
- Não fazer uso de muita força ou objetos cortantes ao manusear as teclas e o display.

Características técnicas:

Grau de proteção do painel frontal: IP66 – totalmente protegido contra poeira e jatos potentes de água;

Grau de proteção do painel traseiro: IP20 – protegido contra objetos sólidos de  $\phi$  12 mm e maiores, desprotegido contra qualquer tipo de penetração de água;

Peso: 1,3 kg;

Opções para comunicação: RS 232C, RS 422, RS 485 e Ethernet;

Memória flash para aplicação: 4 MB;

Consumo para tensão nominal: normal = 0,4 A. Máximo = 0,9 A;

Temperatura ambiente para funcionamento: Instalação vertical = 0° a +50° C.  
Instalação horizontal = 0 a +40° C.

Na Figura 27, apresenta-se uma foto frontal da IHM em questão.



**Figura 27** – Foto da IHM E1070 Mitsubishi.

### 3.10.4.2 – CPU e cartões anexos do PLC

Características dos módulos e cartões associados à CPU serão abordadas nesta seção.

Rack: Q38B-E – 1 unidade;

CPU: Q02UCPU – 1 unidade, máx. 4096 I/O, máx. 28 k STEPS;

Fonte: Q61P-A2 – 1 unidade, 200-240 VAC/5 VDC, 6A;

Módulo de saída digital: QY22 – 2 unidades – Slots 0 e 2;

Módulo de entrada analógica: Q68ADI – 1 unidade – Slot 3, 8 entradas;

Módulo de saída analógica: Q68DAIN – 1 unidade – Slot 4, 8 saídas;

Módulo de entrada digital: QX81 – 2 unidades – Slots 5 e 6, 32 entradas;

Módulo de comunicação: QJ71C24N – 1 unidade – Slot 7.

Os módulos citados nesta seção são apresentados na Figura 28, onde a ordem da esquerda para a direita segue a dos *slots* citada anteriormente.

#### Recomendações para testes:

- Atenção: tanto a tensão de alimentação quanto a que é utilizada nas entradas digitais do dispositivo é 24 V, enquanto que a tensão que o mesmo disponibiliza em suas saídas é de 220 V;
- Deve-se atentar para o fato de que os algoritmos para diagnóstico nos cartões de entrada/saída digitais estão em hexadecimal;
- Para realizar testes nas saídas a 220 V, deve-se utilizar como neutro o próprio neutro da fonte;
- Para realizar testes nas entradas digitais (24 V), deve-se utilizar como referência a tensão na régua de borne X10, na qual chegam cabos de cor vermelha.

#### Observação:

É de fundamental importância ter tais peças em estoque, pois no caso de uma falha que comprometa o cartão, poderá causar a parada completa do sistema do jigue.



**Figura 28** – Foto do rack com fonte, PLC e cartões Mitsubishi.

### 3.10.5 – Blower DeltaBlower

Na Figura 29, apresenta-se o dispositivo referente a esta seção, o qual desempenha a função de fornecer ar para o tubo da planta de jigagem.



**Figura 29** – Foto do soprador DeltaBlower.

Soprador de deslocamento positivo Aerzen GM 60 S:

Características técnicas:

O grau de proteção dos motores elétricos é IP55, os quais possuem tensão de 440 V;

A lubrificação é realizada por salpico;

A quantidade de óleo de cada soprador é 6,5 l;

Seu sentido de fluxo é de cima para baixo;

Pressão de sucção: 0,89 bar;

Gás: ar;

Temperatura de sucção: 30° C;

Densidade na sucção: 1,021 kg/m<sup>3</sup>;

Pressão diferencial: 600 mbar;

Rotação do soprador: 2990 rpm;

Pressão de descarga: 1,48 bar;

Rotação do motor: 3575 rpm;

Temperatura de descarga: 96° C;

Potência do motor: 90 kW (125 CV);

Nível de ruído: 103 dB(A);

Potência consumida no eixo do soprador: 73,2 kW;

Número de arranques permitidos nos motores de acionamento:

- Até 160 kW: 6 arranques por hora;
- A partir de 200 kW: 3 arranques a frio ou 2 a quente.

A conservação e a manutenção consistem nos seguintes pontos:

- Inspeção;
- Controle da válvula de pressão de alívio;
- Mudança de óleo lubrificante;
- Instruções de lubrificação;
- Substituição das correias de transmissão;
- Manutenção do filtro de aspiração;
- Reparação.

O dispositivo tem de ser desligado para todos os trabalhos de manutenção no mesmo, pois caso contrário existe o perigo de ferimentos e de dano ao operador. De modo a conseguir uma vida útil longa e condições de funcionamento otimizadas, devem ser efetuados, entre outros, os trabalhos de manutenção descritos Na Tabela V, nos intervalos indicados.

**Tabela V** – Programa de manutenção preventiva para o soprador.

<b>Ações de manutenção</b>	<b>Após as primeiras 3 HF</b>	<b>Após as primeiras 25 HF</b>	<b>Semanalmente</b>	<b>Após as primeiras 500 HF</b>	<b>A cada 1000 HF</b>	<b>A cada 4000 HF ou de 6 em 6 meses</b>	<b>A cada 8000 HF ou anualmente</b>	<b>A cada 20000 HF ou após 3 anos</b>
Parafusos de fixação e uniões roscadas – reapertar após o arrefecimento da máquina	X							
Verificar sujeira no filtro de ativação				X				
Verificar sujeira no filtro de aspiração			X					
Verificar e limpar aberturas de ventilação					X			
Verificar estado da correia trapezoidal		X		X		X	X	
Verificar alinhamento da polia	X	X		X		X	X	
Verificar o funcionamento da válvula de pressão	X				X			
Verificar nível de óleo	X	X	X					
Trocar óleo de lubrificação				X			X	
Verificar válvula de retenção							X	
Inspeção principal – substituição de peças desgastadas								X

### Recomendações para testes:

- Atentar para a relação de intertravamento do soprador com o transmissor de pressão. Ao detectar excesso de pressão no tubo de alimentação, o transmissor desativa o soprador para interromper o fornecimento de ar para o tubo;
- Para testar o soprador, além de ativar a função de manutenção na IHM (pois este dispositivo possui intertravamento com outros aparelhos), devem ser ativadas as válvulas de admissão e exaustão.

No caso de envio do soprador à fábrica para reparação, tomar as seguintes medidas:

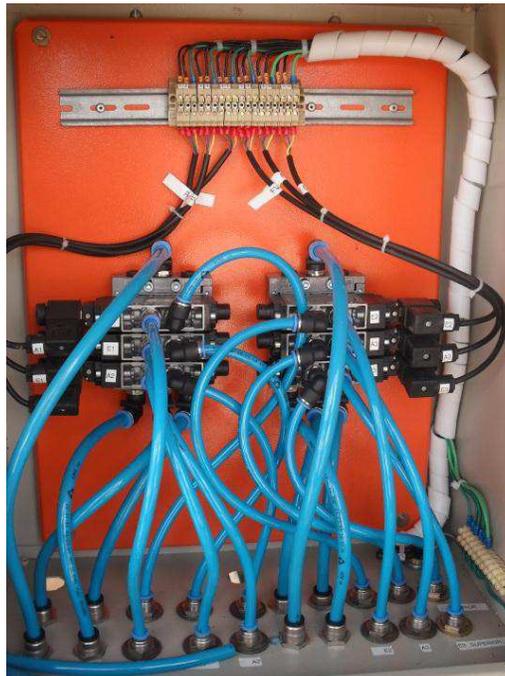
- Drenar o óleo lubrificante, caso contrário o transporte é considerado perigoso;
- Tratar as superfícies mecanizadas com óleo anticorrosivo;
- Tapar flanges do soprador com tampas cegas.

### Recomendações:

Após três anos, ou 20.000 horas de serviço, aconselha-se uma inspeção geral realizada pelos serviços técnicos da empresa responsável (Aerzen) para a substituição das peças desgastadas. Recomenda-se também, a posta em estoque de peças de reserva, como juntas e similares, objetivando evitar tempos de parada desnecessários em caso de falhas.

### **3.10.6 – Painel de válvulas e pistões**

Na Figura 30, apresenta-se o painel contendo as válvulas e pistões que controlam a entrada e saída do ar nos compartimentos do jigüe.



**Figura 30** – Foto do painel de válvulas.

### Recomendações:

Ao ocorrer algum tipo de falha relacionada a este equipamento, analisar, sobretudo, os aspectos descritos abaixo:

- Circuito pneumático: verificar possível vazamento nos tubos e pressão fora da faixa de trabalho no lubrífil;
- Circuito elétrico: verificar possível abertura de fusíveis (válvulas solenoide conectadas ao PLC de forma direta, apenas com fusíveis de proteção entre esses dois). Utilizar a função de teste de válvulas disponível na IHM (ao acionar a função de teste na IHM, a válvula solenoide deverá atuar com 220 V em seus terminais).

### **3.10.7 – Transmissor de pressão**

O transmissor de pressão Wika S-11 é desenvolvido de tal forma que obtenha precisão suficiente para ser utilizado em diversas aplicações industriais que envolvem medições de pressão. O *design* compacto e robusto faz com que este instrumento seja adequado para aplicações incluindo hidráulica e pneumática, vácuo, teste de equipamentos, medição de nível de líquidos, controle de pressão e de compressores, proteção de bombas e inúmeros outros processos e operações de controle. Uma vasta gama de conexões elétricas e opções de conexão de controle são disponíveis para alcançar quase qualquer requisito.

#### Características técnicas:

Modelo: S-11 1000 kPa 1/2" BSP (PT111);

Fabricante: Wika;

Invólucro: aço inoxidável 1.4571 (AISI 316 Ti);

Escala: 0 a 1000 kPa;

Ajuste de zero e span:  $\pm 10\%$ ;

Sinal de saída: 4 a 20 mA, 2 fios;

Alimentação: 10 a 30 VDC;

Exatidão: 0,5% LPA/0,25% BFSL do fundo de escala;

Conexão elétrica: plug L 4 pinos conforme DIN 175301-803;

Grau de proteção: IP65;

Conexão ao processo: G 1/2 B Flush (faceada ao processo)

Temperatura de processo: -30 a +100° C;

Temperatura de ambiente: -20 a +80° C;

Temperatura compensada: 0 a +80° C;

Massa: aproximadamente 0,25 kg;

Proteção contra inversão de polaridade, sobretensão (36 VDC) e curto-circuito;

Proteção contra emissão e recepção de interferência eletromagnética.

#### Recomendações para testes:

- Verificar circuito pneumático: vazamento nos tubos e pressão no lubrífil;

- Verificar circuito elétrico: teste padrão (regular pressão e verificar se a corrente no dispositivo corresponde com a esperada: 50% = 12 mA, 0% = 4 mA, 100% = 20 mA, etc).

### 3.10.8 – Secador de ar comprimido CompAir

O secador de ar comprimido está presente no sistema de jigagem em questão com fins de regular a umidade dentro do tubo de alimentação que fornece o ar para as atividades de expansão e sucção do material a ser separado.

#### Características técnicas:

Secador de ar por refrigeração, modelo: CRD-II-0180;

Alimentação: 220 VCA monofásico;

Carenagem acústica;

Ponto de orvalho: +3° C;

Sistema anticongelamento de ar;

Operação de 0 a 100% da capacidade de vazão.

#### Recomendações para testes:

- Lembrar que o comando é local, ou seja, o dispositivo não é controlado via IHM;
- Verificar conexões da tubulação para prevenir contra fuga de ar;
- Verificar atuação da purga.

### 3.10.9 – Ocorrências

Serão apresentados conceitos e índices relacionados à manutenção e a alguns parâmetros utilizados para avaliá-la. Tais parâmetros serão calculados e apresentados tomando como base os dados coletados da planta de jigagem durante o período do estágio e depois disso serão apresentadas algumas medidas que, possivelmente, amenizariam ou até eliminariam os pontos de falha mais graves.

#### 3.10.9.1 – Conceitos e Índices

Disponibilidade: grau de funcionalidade e acessibilidade que o sistema ou componente apresenta quando se requer a sua utilização, podendo ser considerada como a probabilidade de tal sistema estar em condições de desempenhar a função exigida em certas circunstâncias e em um determinado momento [4].

TMEP: taxa de falha observada. Relação entre o número total de manutenções corretivas (NTMC) e o tempo total acumulado durante o qual o conjunto foi observado (HROP).

$$TMEP = \frac{NTMC}{HROP} \quad (2)$$

TR: taxa de reparo. Relação entre NTMC e o tempo total de intervenções corretivas no conjunto no período observado (TTMC).

$$TR = \frac{NTMC}{TTMC} \quad (3)$$

TMEF: tempo médio entre falhas. Representa o tempo médio entre a ocorrência de uma falha e a próxima, ou seja, é o tempo de funcionamento da máquina ou equipamento diante das necessidades de produção até a próxima falha. Quanto mais alto o valor de TMEF, mais confiável será o produto. É dado pela relação entre o produto do número de itens analisados (NOIT) pelo HROP e o NTMC.

$$TMEF = \frac{NOIT \times HROP}{NTMC} \quad (4)$$

TMPR: tempo médio para reparo. Tempo previsto até a recuperação do sistema após uma falha, incluindo o tempo de diagnóstico do problema, o tempo até a chegada do reparador nas instalações e o tempo que decorre até a reparação do sistema fisicamente. É dado pela relação entre TTMC e NTMC.

$$TMPR = \frac{TTMC}{NTMC} \quad (5)$$

Disponibilidade de equipamentos: proporção do tempo que o equipamento/sistema ficou disponível num dado intervalo de tempo. Tempo operando de equipamento/sistema num dado intervalo de tempo programado de operação [2]. É dado pela relação entre a diferença entre o tempo teórico disponível (HCAL) e TTMC e HCAL.

Disponibilidade física:

$$DISP1 = \frac{\sum(HCAL - TTMC)}{\sum HCAL} \times 100 \quad (6)$$

Disponibilidade operacional:

$$DISP2 = \frac{\sum(HROP - TTMC)}{\sum HROP} \times 100 \quad (7)$$

Confiabilidade: capacidade inerente a um componente ou a um sistema de desempenhar as funções exigidas nas condições estabelecidas por um determinado período de tempo, ou seja, é a probabilidade de tal sistema executar as funções determinadas de maneira satisfatória durante o tempo de duração especificado, sem apresentar anomalias [4].

Confiabilidade 1:

$$CONF1 = \frac{TMEF}{TMPR + TMEF} \times 100 \quad (8)$$

Confiabilidade 2:

$$CONF2 = \frac{HROP - TTMC}{HROP} \times 100 \quad (9)$$

### 3.10.9.2 – Dados

Durante o período que vai de 18/01/2011 até 05/02/2011, anotou-se cada ocorrência que ocasionou algum tipo de parada (ou funcionamento inadequado) na operação do sistema do jigue, além do tempo de permanência do mesmo neste estado. Com tais dados, criou-se um gráfico de barras (Figura 31), onde o eixo-x corresponde ao tipo de ocorrência e o eixo-y à quantidade de vezes que a respectiva acontece.

Para a realização dos cálculos dos índices citados no tópico 3.10.9.1 e a construção da Tabela VI, considerou-se:

Para o cálculo dos índices considerando o sistema como um todo:

NOIT = 23 (somatório da quantidade de itens de cada tipo de ocorrência);

NTMC = 97 (somatório da quantidade de ocorrências de todas as naturezas);

HCAL = 24 horas  $\times$  19 dias = 456 horas;

HROP = HCAL – 10 = 446 horas. Às 10 horas a menos se devem às paradas programadas para controle da demanda de energia elétrica registradas nos boletins;

TTMC = 99,5333 horas (considerando as 10 horas referentes às paradas como tempo de manutenção).

Para o cálculo dos índices das ocorrências individualmente:

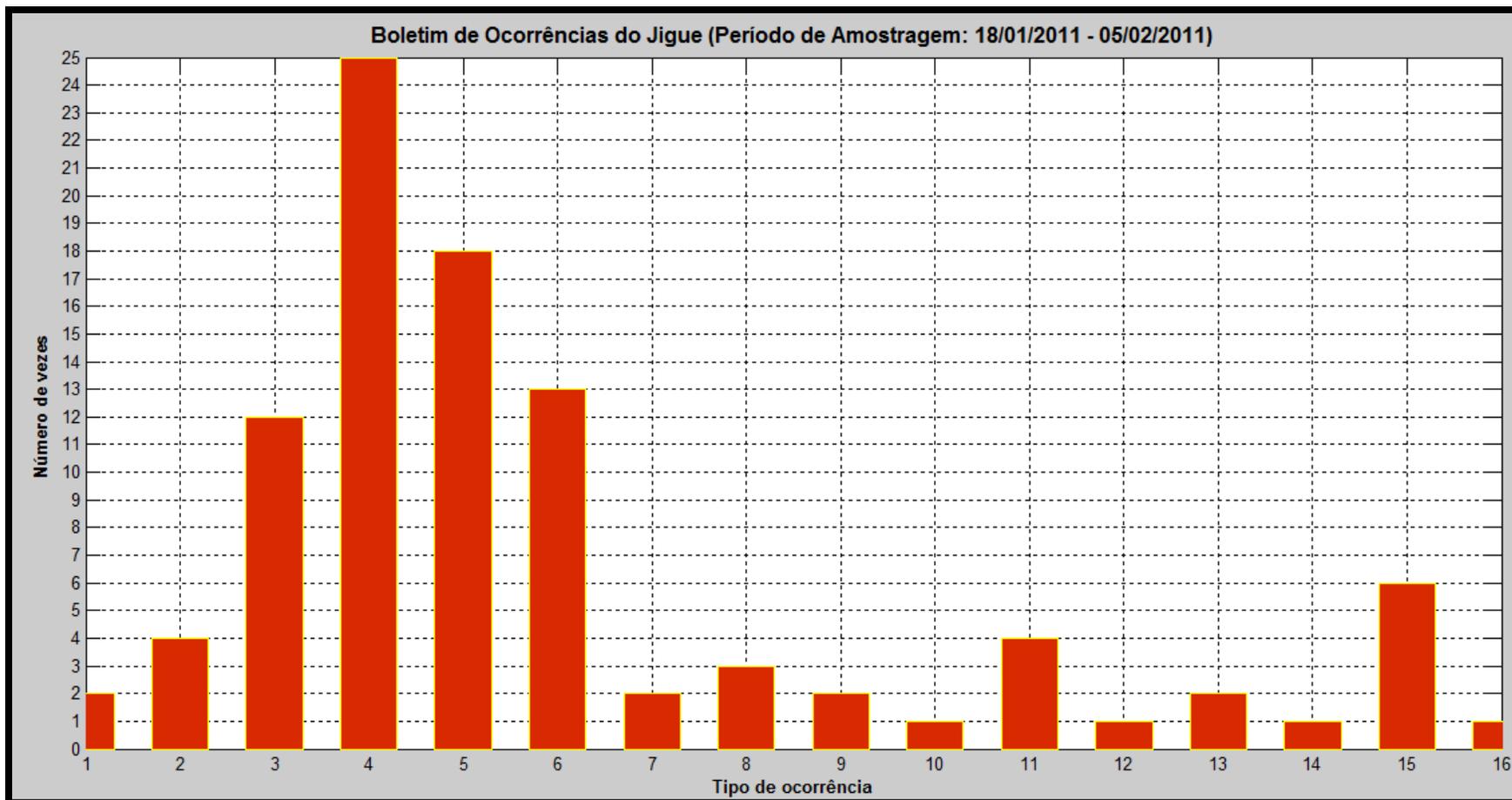
NOIT = para cada tipo de ocorrência há uma quantidade específica de itens (segunda coluna da Tabela VI)

TTMC = somatório dos tempos de parada de cada item correspondente a cada tipo de ocorrência.

**Tabela VI** – Ocorrências e seus respectivos índices.

<b>Nº da Ocorrência</b>	<b>Nº de itens</b>	<b>Tipo de Ocorrência</b>	<b>TMEP</b>	<b>TR</b>	<b>TMEF</b>	<b>TMPR</b>	<b>DISP1</b>	<b>DISP2</b>	<b>CONF1</b>	<b>CONF2</b>
<b>1</b>	1	Lubrificação	0,0045	2,5532	223,0000	0,3917	99,8282%	99,8244%	99,8247%	99,8285%
<b>2</b>	1	Desarme da bomba	0,0090	0,7453	111,5000	1,3417	98,8231%	98,7967%	98,8110%	98,8368%
<b>3</b>	3	Defeito(s) na(s) bóia(s) ou troca da mesma	0,0269	1,0573	111,5000	0,9458	97,5110%	97,4552%	99,1589%	97,5714%
<b>4</b>	1	Falta de material	0,0561	1,4606	17,8400	0,6847	96,2463%	96,1622%	96,3040%	96,3821%
<b>5</b>	1	Acionamento do jigüe	0,0404	2,9268	24,7778	0,3417	98,6513%	98,6211%	98,6398%	98,6693%
<b>6</b>	1	Regulando a pulsação	0,0291	1,5029	34,3077	0,6654	98,1031%	98,0605%	98,0974%	98,1384%
<b>7</b>	1	Obstrução do mangote	0,0045	0,8219	223,0000	1,2167	99,4664%	99,4544%	99,4574%	99,4692%
<b>8</b>	1	Falta de energia elétrica	0,0067	2,0690	148,6667	0,4833	99,6820%	99,6749%	99,6759%	99,6830%
<b>9</b>	1	Parada para manutenção	0,0045	0,6630	223,0000	1,5083	99,3385%	99,3236%	99,3282%	99,3428%
<b>10</b>	1	Formando leito	0,0022	2,1429	446,0000	0,4667	99,8977%	99,8954%	99,8955%	99,8978%
<b>11</b>	4	Defeito ou regulando peneira(s) (vibratória, produto, rejeito e/ou mistos)	0,0090	0,7385	446,0000	1,3542	98,8121%	98,7855%	99,6973%	98,8261%
<b>12</b>	1	Problemas no sistema de iluminação do jigüe	0,0022	2,1429	446,0000	0,4667	99,8977%	99,8954%	99,8955%	99,8978%
<b>13</b>	1	Falha de natureza diversa do PLC	0,0045	0,1702	223,0000	5,8750	97,4232%	97,3655%	97,4331%	97,4880%
<b>14</b>	1	Limpando o tanque	0,0022	0,1026	446,0000	9,7500	97,8618%	97,8139%	97,8607%	97,9066%
<b>15</b>	1	Falha de natureza diversa da carregadeira	0,0135	1,2329	74,3333	0,8111	98,9327%	98,9088%	98,9206%	98,9440%
<b>16</b>	3	Compartimento arroiado	0,0022	2,0000	446,0000	0,5000	99,8904%	99,8879%	99,8880%	99,8905%
<b>---</b>	23	Sistema analisado por completo	0,2175	0,9745	105,7526	1,0261	78,1725%	77,6831%	99,0390%	82,0833%

Obs.: os tempos médios (TMEF e TMPR) mostrados na Tabela VI são dados em horas.



**Figura 31** – Gráfico de barras das ocorrências do jigue e suas respectivas quantidades.

### 3.10.9.3 – Análise

Três das ocorrências supramencionadas foram selecionadas para uma análise um pouco mais aprofundada devido à suas características críticas sobre o funcionamento da planta e, conseqüentemente, sobre a produção.

1. Falta de material: ocorrência intrinsecamente associada às ocorrências de natureza extra-jigagem, como britagem, carregadeira, operador de carregadeira, etc. Devido ao número elevado de ocorrências (25), deixou-se de ter a planta em modo operante por 17,1167 horas ( $n^{\circ}$  de ocorrências X TMPR) durante o intervalo de tempo considerado, o que corresponde a 3,7537% das 456 horas-calendário (HCAL). Atenta-se para o fato de que em menos de um dia de intervalo há uma ocorrência deste tipo (TMEF = 17,84 horas) e que, cada uma, demanda mais de 40 minutos para ser solucionada. Recomenda-se tentar encontrar a fonte do problema para que o mesmo seja solucionado desde sua raiz, já que, como citado anteriormente, a natureza do mesmo pode ser em baixo nível. Caso ainda não haja, é importante que seja feita uma análise financeira da hipótese de se manter uma carregadeira e seu respectivo operador fixos no sistema de abastecimento de material para a planta.

2. Defeito nas boias e/ou troca dessas: apesar de possuir um tempo médio entre falhas (TMEF = 111 horas) relativamente alto, a quantidade de ocorrências dessa espécie faz com que o tempo de inatividade seja elevado ( $n^{\circ}$  de ocorrências X TMPR = 11,3496 horas), o que contabiliza 2,4889% das HCAL. Levando em consideração que são três boias operando concomitantemente e que neste estudo não foi especificado qual das três falhou em cada ocorrência, recomenda-se assim fazê-lo, pois caso seja constatada a preponderância de alguma delas, põe-se em abordagem questões como a qualidade e granulometria do material que está sendo processado, além da própria regulagem do ciclo de jigagem. É importante ressaltar novamente a relevância de se ter tal peça sempre em estoque, já que a troca inadequada (colocação de boia com material constituinte distinto da antecessora) poderá causar a queda da qualidade do produto final.

3. Regulando a pulsação: apesar de não se tratar, necessariamente, de uma parada do funcionamento do sistema, tal tipo de ocorrência serve para aferir o grau de conhecimento e experiência do operador em relação aos parâmetros da regulagem, como por exemplo, os tempos de expansão, sucção, manutenção e repouso, pressão do ar e vazão de água para os compartimentos. Dessa forma, quão mais familiarizado com a planta e com seu princípio físico seja o operador, de forma mais rápida se dará a regulagem do ciclo de jigagem. Em posse dos índices calculados, constata-se que das HCAL, 8,6502 horas foram dispostas para a regulagem da pulsação, o que corresponde a 1,8970%. Para que seja alcançado um valor menor de TMPR e, conseqüentemente, disponibilidade e confiabilidade maiores, pode-se pôr em prática um conjunto de atividades técnico-educativas para os operadores, onde seriam transmitidas informações básicas sobre o ciclo de jigagem, tendências de variação de parâmetros e respectivas causas e soluções.

#### 4 – Instalação e configuração de medidores de vazão para usina de beneficiamento

Com o intuito de se determinar a vazão do fluido presente nas tubulações da usina de beneficiamento, foram instalados três medidores de vazão Krohne Conaut (Figura 32) ao longo desse percurso. As leituras efetuadas por tais dispositivos são convertidas em valores de corrente elétrica (4 – 20 mA) no próprio aparelho através de um conversor de sinal interno. Estes valores serão, posteriormente, transmitidos ao PLC da usina (Figura 33) e inseridos na tela do supervisor do sistema completo.



**Figura 32** – Foto do medidor de vazão.



**Figura 33** – Foto do PLC da usina de beneficiamento.

Para a instalação, foi preciso alimentar cada um dos medidores com tensão 220 V através dos condutores apresentados na Figura 32. Depois disto, os medidores foram parametrizados novamente, pois a faixa de valores configurada de fábrica não atendia às especificações do projeto. Além disso, a nova faixa configurada possibilita uma leitura mais precisa da grandeza, já que a mesma se situará, na maioria das vezes, abaixo da metade da escala adotada.

## 5 – Configuração, comunicação e coleta de dados de um medidor multivariável com um PLC MicroLogix 1100 via Modbus RTU

Para determinar a energia demandada por todo o setor administrativo da mina de Ipeúna, foram instalados medidores multivariáveis que fornecem diversas informações relacionadas à alimentação elétrica. Para tal, foi-se necessário a inclusão de transformadores de corrente a montante dos medidores. Os valores lidos são transferidos para um PLC via Modbus RTU e deste para uma sala dentro da administração através de um *link* sem fio. Uma vista geral dos elementos do sistema implementado e das conexões físicas e lógicas entre eles é apresentada na Figura 34.

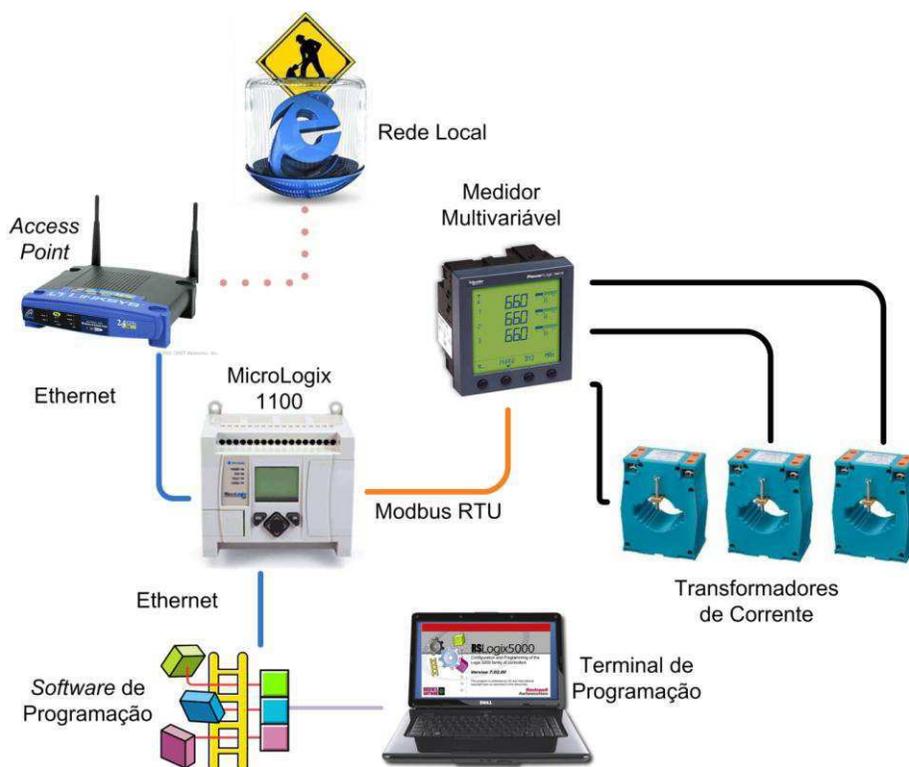


Figura 34 – Esquema do sistema implementado.

### 5.1 – Medidor multivariável

Para realizar a medição das variáveis de interesse (tensões fase-fase, correntes de linha, frequência da rede, fator de potência e potências ativa, reativa e aparente), utilizou-se um medidor de energia e potência PowerLogic® PM710 (Figura 35) da Schneider Electric, o qual possui as seguintes características principais:

- Realiza medição de potência, demanda, energia, fator de potência, frequência, tensão fase-neutro e fase-fase, corrente, pico de corrente, corrente de neutro, THD, etc;
- Parâmetros elétricos de RMS verdadeiro em tempo real até a 15ª harmônica;
- 32 amostras por ciclo;

- Porta RS-485 com padrão Modbus RTU;
- Taxa de transferência de 9600 bps até 19200 bps;
- Alimentação: 100 a 415  $\pm$  10% V AC, 5 VA / 125 a 250  $\pm$  20% V DC, 3 W.



**Figura 35** – Foto do PowerLogic® PM710.

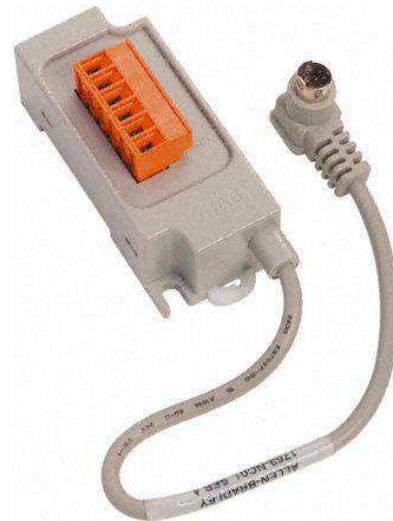
## 5.2 – PLC

Para realizar a coleta dos dados proveniente do medidor, utilizou-se o controlador MicroLogix 1100 (Figura 36) da Allen-Bradley, já objetivando, posteriormente, a posta dos dados em rede local através de um *access point*.

Através de sua porta de canal 0 de comunicação e fazendo uso do cabo RS-485 (Figura 37), o controlador se comunica com o medidor (Modbus RTU mestre e RTU escravo).



**Figura 36** – Foto do MicroLogix 1100.



**Figura 37** – Foto do cabo RS-485.

### 5.3 – Configuração da rede Modbus e criação da lógica *Ladder*

A configuração da rede Modbus e a elaboração da lógica *Ladder* foram realizadas através do *software* de programação RSLogix™ 500.

Na Figura 38, apresenta-se o arquivo principal do programa, a partir do qual as sub-rotinas são invocadas. Na linha 0000, a sub-rotina responsável pela definição dos parâmetros da comunicação Modbus é chamada para que na linha 0001 seja invocada a sub-rotina que contém o programa que realiza a coleta dos dados e os modifica para um formato adequado. Os dados já formatados são visualizados na tela LCD do PLC através da chamada da função presente na linha 0003.

Na Figura 39, apresenta-se como os parâmetros da comunicação Modbus são configurados. Define-se, por exemplo, a taxa de transferência, tipo de paridade, número de bits de parada e de dados, além do controle de protocolo.

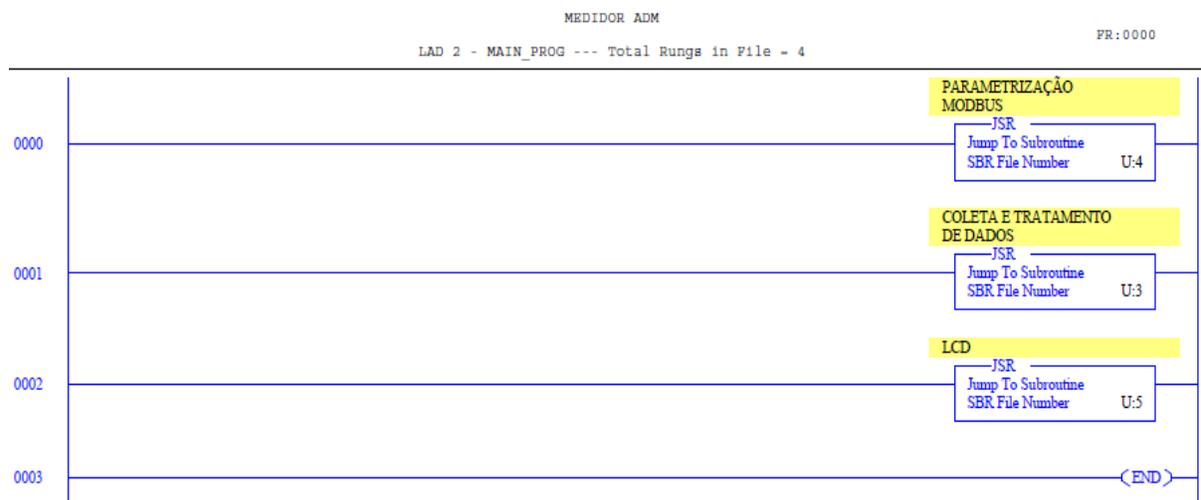


Figura 38 – Representação da tela do arquivo principal do programa em lógica *Ladder*.

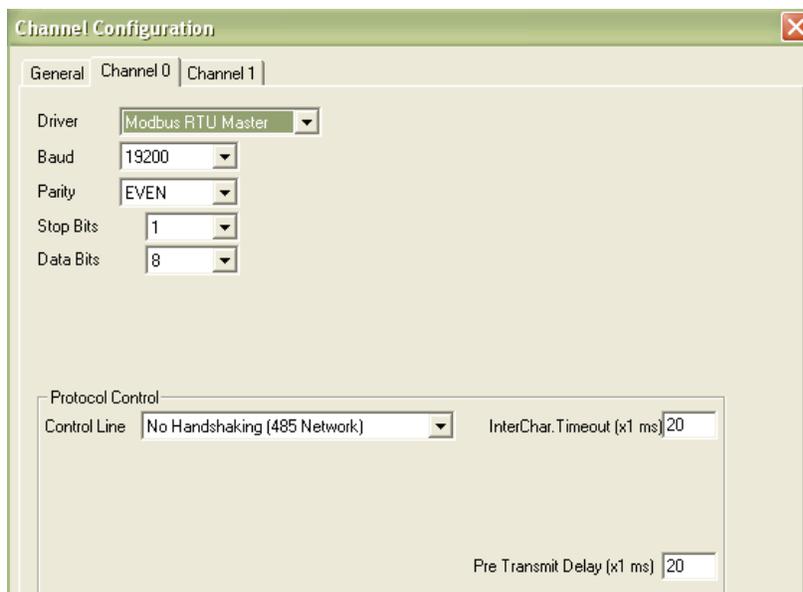
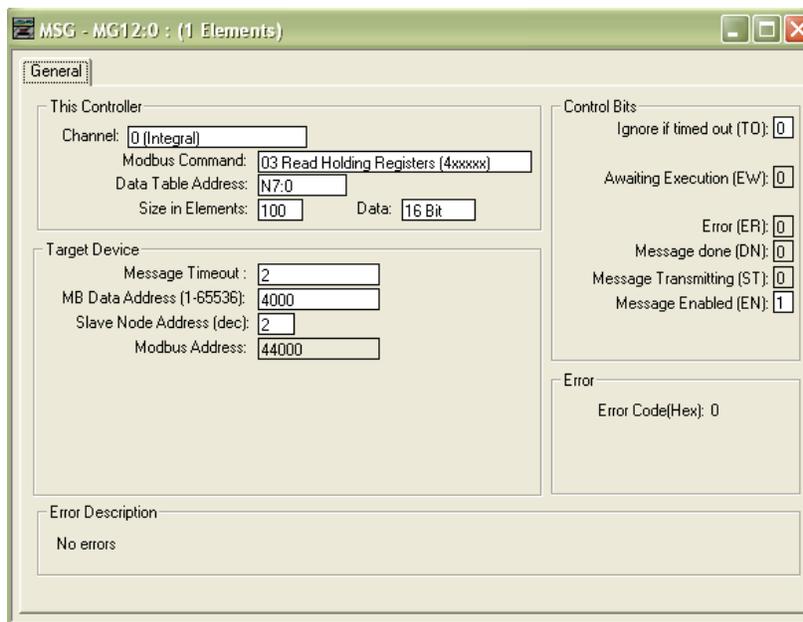


Figura 39 – Representação da tela de configuração do canal 0 para a rede Modbus.

Na Figura 40, apresenta-se como é realizada a escolha do local de memória (N7:0), onde os dados coletados serão gravados (o dispositivo reserva os locais de memória a partir de 4000 para dispor os dados de interesse ao controlador), a função Modbus invocada para realizar a leitura dos dados do medidor, o tamanho do bloco de dados, *bits* de controle, além do endereço do dispositivo alvo na rede Modbus.



**Figura 40** – Representação da tela de configuração dos locais de memória para armazenamento dos dados.

Nas Figuras 41 e 42, apresenta-se um trecho da sub-rotina de coleta e tratamento de dados referente à potência ativa (procedimento análogo é também adotado para as potências reativa e aparente).

Inicialmente, os dados que foram armazenados do medidor a partir do local de memória N7:0 (os dados desejados estão armazenados nos locais N7:0 e N7:1, sendo o último referente à parte menos significativa da leitura) são movidos destes locais para outros locais de memória como inteiros de 32 *bits* para que, posteriormente, sejam concatenados. A concatenação é realizada multiplicando os 16 bits mais significativos por 65536. Estas operações podem ser vistas em linguagem *ladder* nas linhas 0000, 0001 e 0002 do programa apresentado nas Figuras 41 e 42.

Para que o resultado final seja coerente, faz-se necessário, antes da concatenação total, analisar dois possíveis casos. O primeiro diz respeito a quando os *bits* menos significativos assumem característica de um inteiro sinalizado (*bit* 15 = 1) e a segunda é o caso contrário. Assim, ao detectar-se que o inteiro correspondente é negativo, ativa-se um *bit* de *flag* que permite o início do processo de cálculo referente a esta situação (linhas 0004, 0005 e 0006). Estas operações são executadas na linha 0003.

O resultado final é obtido apenas dividindo o conteúdo do local de memória por 100 e está em kWh. Tal operação é executada na linha 0008.

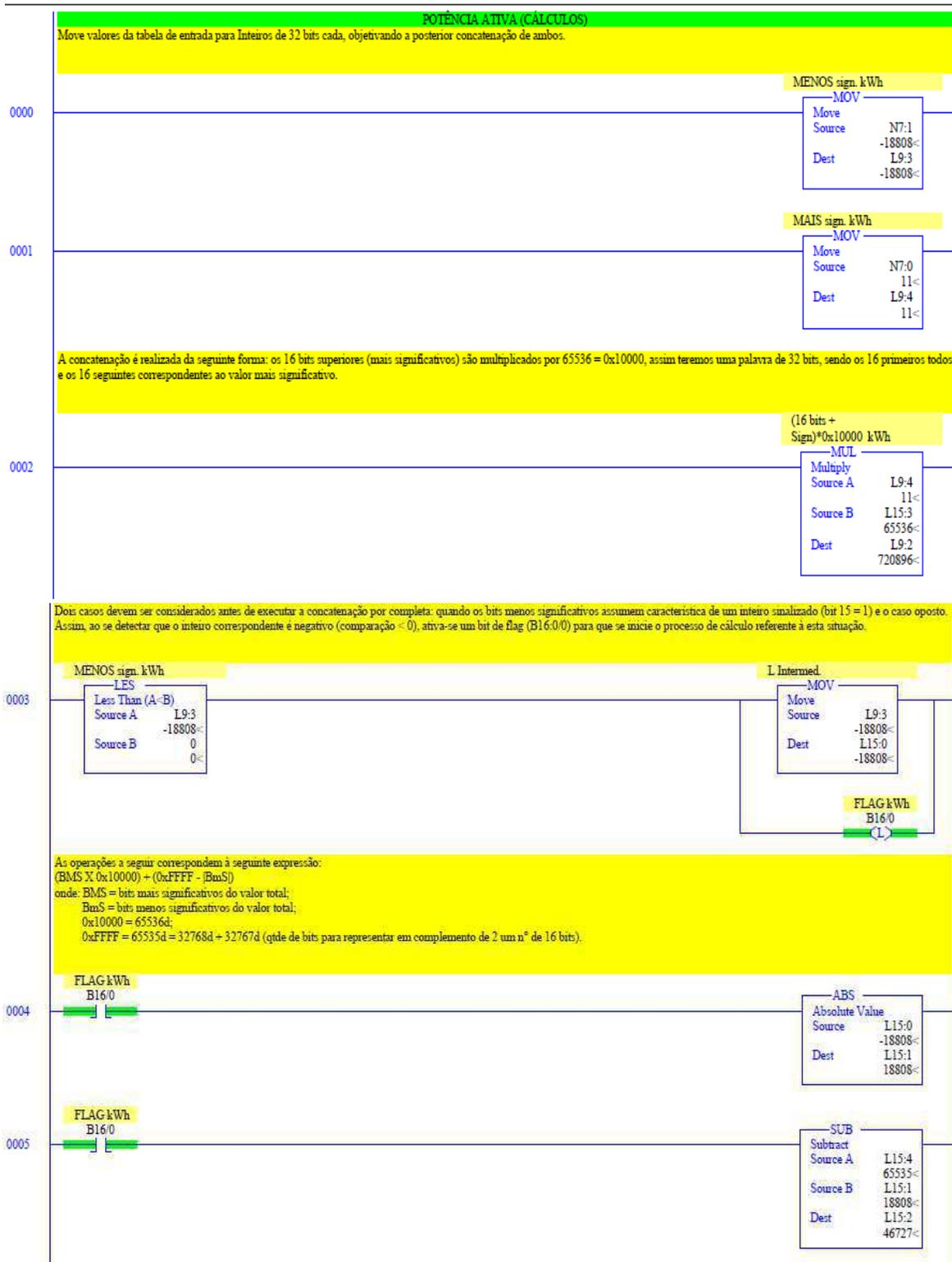
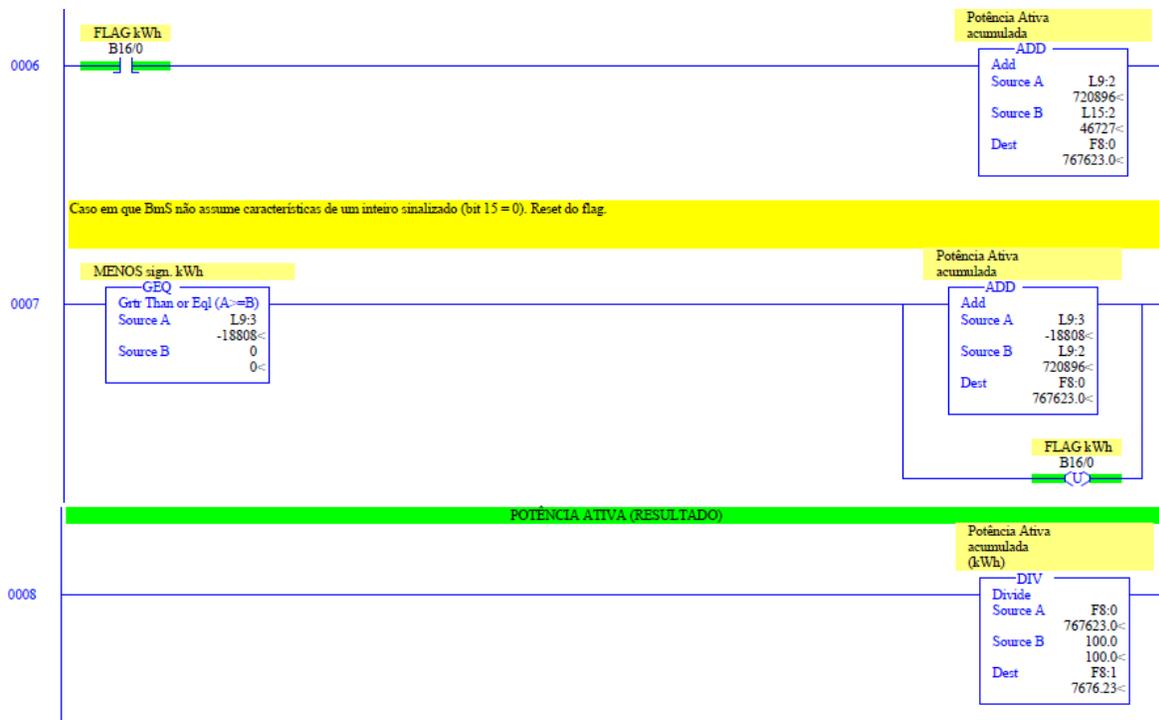


Figura 41 – Trecho da sub-rotina de coleta e tratamento de dados (Parte 1).



**Figura 42** – Trecho da sub-rotina de coleta e tratamento de dados (Parte 2).

Na Figura 43, apresenta-se uma foto do sistema sendo implantado e testado em campo.



**Figura 43** – Foto do sistema instalado e em fase de testes em campo.

## 6 – Conclusões

Ao procurar fugir de altos custos para estocar grande quantidade de peças sobressalentes e de mão-de-obra extra, grandes intervalos de paralisação do sistema e, conseqüentemente, baixa disponibilidade para produção, o corpo gerencial compreenderá que um planejamento de manutenção eficaz e um programa de agendamento irão produzir uma força de trabalho mais eficiente e diminuir o tempo ocioso de manutenção em geral.

Com o objetivo de dar o *start-up* em um plano de manutenção não corretivo-reativo, mas sim em um de natureza preventiva-preditiva para o sistema de concentração gravítica supramencionado em várias partes deste trabalho, buscou-se, durante o período de estágio, levantar características técnicas dos dispositivos que o compõem, princípios de funcionamento, técnicas e intervalos de manutenção recomendados pelos próprios fabricantes.

Através da observação e anotação de ocorrências, criou-se um gráfico de barras que possibilita uma estimativa inicial das prováveis futuras falhas, da frequência em que cada uma delas ocorre, do tempo médio de parada do sistema e o tempo decorrido entre cada ocorrência. A partir de tal gráfico, além de se determinar quais são as peças críticas para se ter sempre em estoque, pode-se estipular, como em um método matemático de iteração, uma “raiz inicial” da função intervalo adequado de manutenção e, de acordo com a métrica de precisão adotada, estabelecer um tempo ótimo de ação.

## 7 – Referências bibliográficas

- [1] ALMEIDA, M. T. de; Manutenção Preditiva: confiabilidade e qualidade. Escola Federal de Engenharia de Itajubá – MG.
- [2] FLORES, J; KARDEC, A; SEIXAS, E. Gestão Estratégica e Indicadores de Desempenho, Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAN, 2002. 120 p.: (Manutenção, 6).
- [3] Hydrovane: industry revolves around. Catálogo do fabricante.
- [4] IEEE 90 - Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. New York, NY: 1990.
- [5] LINS, F. A. F. 2004. Concentração Gravítica. Rio de Janeiro: Tratamento de Minérios, Centro de Tecnologia Mineral, 4ª edição revisada.
- [6] LINS, F. A. F. 1998. Concentração Gravítica. Rio de Janeiro: Tratamento de Minérios, Centro de Tecnologia Mineral, 2ª edição.
- [7] PERES, A. E. C; CHAVES, A. P; LINS, F. A. F; TOREM, M. L. Beneficiamento de Minérios de Ouro, capítulo 2.
- [8] SAMPAIO, C. H; TAVARES, L. M. M. 2005. Beneficiamento Gravimétrico. Porto Alegre, 1ª edição, 603 p.
- [9] SCOTT, P. D; Pneumatic Jigging of Ferro Alloys – like the barbers cat?, Mintek 75.
- [10] <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br> Acessado em: 25/01/2011.
- [11] <http://www.ferbasa.com.br/> Acessado em: 02/02/2011.