



## Guia de Operação

**Instituto de Pesquisa e Tecnologia. – Planta Piloto, Sistema  
Supervisório e Análise por Imagem**

**Revisão 00**

Preparado por: **CEMI – Process Optimization**



Para: **IPT – Instituto de Pesquisa e  
Tecnologia**

Localização: **São Paulo, SP**

Data: **26 de Outubro de 2021**

## Conteúdo

---

Lista de Figuras .....	4
1. Introdução .....	8
2. Sobre a CEMI.....	8
3. Sobre o OptProcess© .....	8
4. Análise de Imagem .....	9
5. Integração com PLC.....	11
5.1 Conceito de integração APC.....	12
6. Planta Piloto .....	14
6.1 Lista de Equipamentos .....	16
6.2 Desenhos Planta Piloto .....	16
6.3 Objetivo .....	19
6.4 Descritivo técnico da Planta Piloto.....	19
7. Operação da Planta Piloto .....	20
7.1 Operação Manual .....	21
7.1.1 Painel de Operação Manual.....	21
7.1.2 Painel OptDensity .....	23
7.2 Operação em Remoto .....	24
7.2.1 Sistema Supervisório OptProcess.....	24
7.2.1 OptProcess – HMI: Fluxograma do Processo .....	25
7.2.3 OptProcess – HMI: Medição .....	28
8. Revisão OptProcess .....	31
8.1 TAG's.....	31
8.2 Estratégia .....	33
8.2.1 Regras de Inicialização .....	33

8.2.2 Regras de Status .....	35
8.2.3 Regras de Validação .....	35
8.2.4 Regras de Operações .....	36
8.2.5 Regras Fuzzy .....	36
8.2.6 Acionamento Automático .....	38
8.2.7 Amostragem Manual .....	40
8.2.8 Envia Fuzzy.....	40
8.2.8 Medida de Densidade .....	41
8.2.9 Ligar Equipamentos .....	41
8.2.10 Envia Velocidade .....	42
8.3 Gráficos .....	42
Suporte Técnico e contatos.....	44

## Lista de Figuras

---

Figura 1 - Estrutura do OptProcess©.....	8
Figura 2 - Tela do Sistema OptVision Froth .....	9
Figura 3 - Pirâmide de automação. ....	11
Figura 4 - Comunicação entre APC e Processo.....	12
Figura 5 - Fluxograma com numeração de Equipamentos.....	13
Figura 6 - Corte A-A do Desenho da Planta Piloto.....	16
Figura 7 - Vista B-B do Desenho da Planta Piloto. ....	16
Figura 8 - Vista superior do Desenho da Planta Piloto.....	17
Figura 9 - Projeto da Planta Piloto. ....	17
Figura 10 - Passo a Passo do acionamento da Planta. ....	19
Figura 11 - Painel de Operação Manual.....	20
Figura 12 - Componentes individuais de equipamento no Painel. ....	21
Figura 13- Botoeiras de Emergência e Reset. ....	21
Figura 14 - Descritivo do Painel. ....	22
Figura 15 - Imagem do Painel. ....	22
Figura 16 - Ilustrativo do Painel.....	23
Figura 17 - Chave em Remoto.....	24
Figura 18 - Fluxograma HMI. ....	24
Figura 19 - Fluxograma – Descritivo Componente de Equipamento Individual.....	25
Figura 20 - Fluxograma – Descritivo Componente de Velocidade (Moinho) HMI.....	25
Figura 21 - Fluxograma – Descritivo Componente de ROM HMI. ....	26
Figura 22 - Fluxograma – Descritivo Componente de ROM HMI. ....	26
Figura 23 - Fluxograma – Descritivo Status de Equipamentos HMI. ....	26
Figura 24 - Medição HMI. ....	27

Figura 25 - Painel OptDensity HMI.....	28
Figura 26 - Painel OptDensity (Leituras) HMI.....	28
Figura 27 - Painel OptDensity (Desviadores de coleta de amostra) HMI. ....	29
Figura 28 - Status OptProcess HMI.....	29
Figura 29 - Tempo ligado de bomba HMI.....	30
Figura 30- Habilita Fuzzy HMI.....	30
Figura 31 - Editor de TAG's - OptProcess.....	31
Figura 32 – Estratégias Aplicação Planta Piloto.....	32
Figura 33 - Estratégia -Fuzzy Completo.....	32
Figura 34 - Estratégia – Inicialização OptProcess.....	33
Figura 35 - Estratégia – Decrementa Timer. ....	33
Figura 36 - Estratégia – Reset de densidade. ....	34
Figura 37 - Estratégia – Equipamentos em remoto.....	34
Figura 38 - Estratégia – Validação de Instrumentos.....	35
Figura 39 - Estratégia – Habilitado pelo Operador.. ....	35
Figura 40 - Estratégia – Densidade por Velocidade da Bomba de Água (Hidrociclone Dinâmico). ....	36
Figura 41 - Estratégia – Densidade por Velocidade da Bomba de Água .....	37
Figura 42 - Estratégia – Inicialização OptProcess. ....	37
Figura 43 - Estratégia – Acionamento Automático (Linha 1). ....	38
Figura 44 - Estratégia – Acionamento Automático (Linha 2). ....	39
Figura 45 - Estratégia – Amostra Manual.....	39
Figura 46 - Estratégia – Envia Fuzzy. ....	40
Figura 47 - Estratégia – Medição de densidade.....	40
Figura 48 - Estratégia – Liga Equipamentos .....	41
Figura 49 - Estratégia – Envia Velocidade. ....	41

Figura 50 - Gráfico de Densidade dos Fluxos - OptProcess. ....	42
Figura 51 - Gráfico de Granulometria - OptProcess.....	42



## 1. Introdução

---

Controle avançado de processos (APC) são parte integrante de modernas plantas de processamento mineral e sistemas de qualidade. Benefícios típicos são comprovados em campo e geram altas taxas de retorno sobre o investimento. Eles se tornaram padrão da indústria e muitas novas plantas são agora especificadas com tais sistemas.

O APC empurra o processo para fora da zona de conforto do operador individual para o desempenho ideal, enquanto ainda obedece às restrições operacionais da planta. Quaisquer restrições podem ser consideradas e contabilizadas nas estratégias de controle e otimização.

## 2. Sobre a CEMI

---

**CEMI – Process Optimization** é uma reconhecida prestadora de serviços de consultoria na área de engenharia de processamento mineral na qual atua desde 1991. Sua equipe é muito experiente e capaz, com alguns de seus membros tendo mais de 25 anos de experiência em processos.

A alta especialização do CEMI no campo da mineração e seu domínio de tecnologias modernas e ferramentas avançadas permitiram a implementação de projetos com sucesso e concederam o retorno dos investimentos.

Entre seus produtos estão o fornecimento e a implementação de sistemas de controle avançado para a indústria de mineração; concepção de processos, desenvolvimento e otimização; fornecimento e implementação de tamanho de partícula on-line, velocidade de espuma e análise do grau de teor utilizando sistemas de visão.

## 3. Sobre o OptProcess©

---

**OptProcess©** é um pacote de software universal para soluções de controle avançado. O sistema permite o desenvolvimento de aplicações de controle avançado para praticamente qualquer tipo de processo.

Construído sobre uma estrutura modular, apresentada na Figura 1, oferece uma forma eficaz e flexível de modelar e controlar diferentes sistemas e processos.



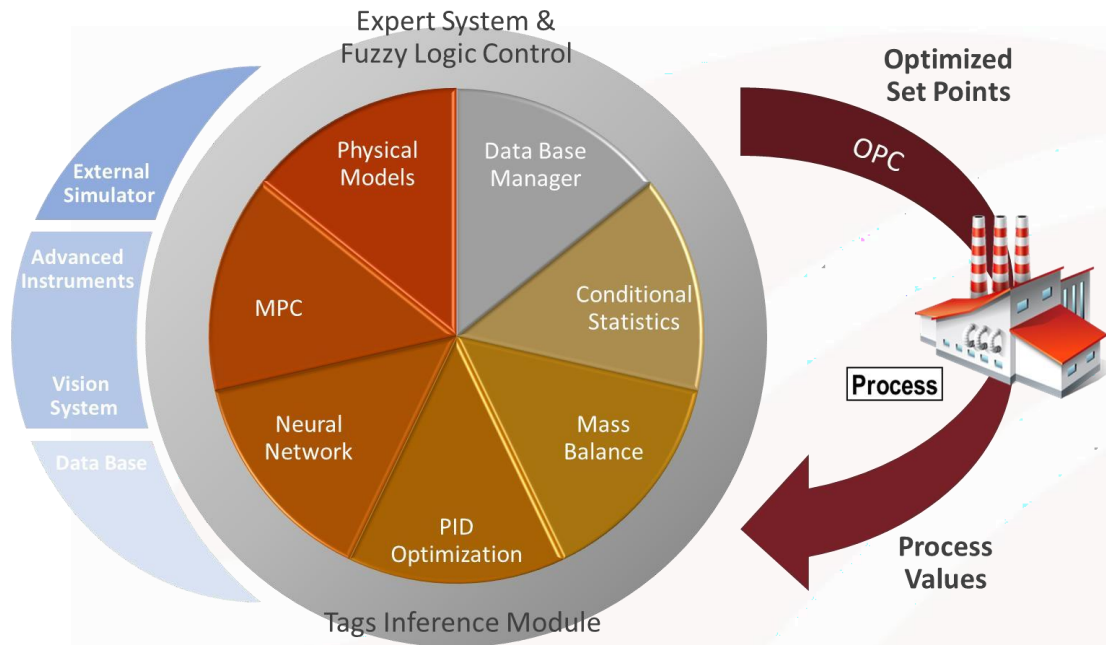


Figura 1 - Estrutura OptProcess©

OptProcess© possui uma interface amigável e cuidadosamente projetada, permitindo fácil acesso e mudanças de regras de controle, variáveis e parâmetros por profissionais treinados. Em poucas horas, os engenheiros de processo e controle aprendem a modificar o sistema: controlar novos sinais, criar ou excluir expressões, criar ou alterar regras etc. Além disso, a estratégia pode ser alterada online sem a interrupção do controle.



Todos os módulos do OptProcess© estão abertos, sua lógica é fácil de entender e mudar. As interfaces para configurar o Módulo Especialista com Lógica Fuzzy (as regras usando lógica nítida e difusa) são altamente fáceis de usar. O sistema gera um histórico mostrando o que, como e por que as regras foram disparadas, os valores das variáveis atuais etc.

#### 4. Análise de Imagem

A tecnologia OptVision Rock™ é uma tecnologia de análise de imagens avançada e inovadora, para medição online de propriedades da espuma de flotação. Um sistema OptVision Rock™ consiste primariamente de câmeras e iluminação a LED instaladas acima no equipamento, remotamente conectadas a um ou mais computadores, que analisam as imagens provenientes das câmeras de forma online, com o software OptVision Rock™.

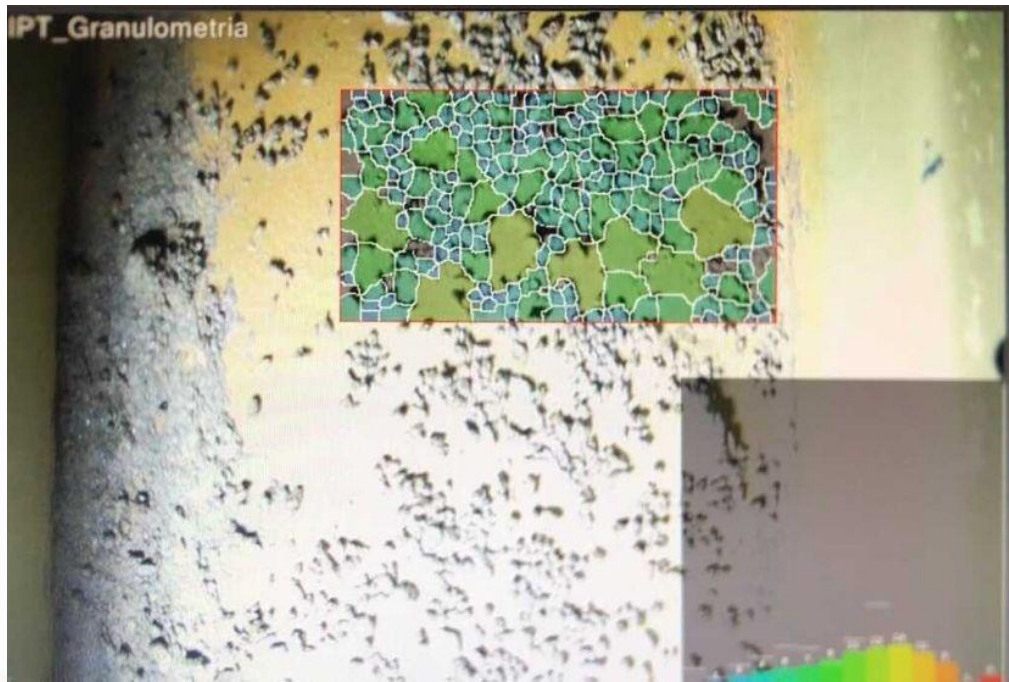


Figura 2 - Tela do Sistema OptVision Rock – Planta IPT

A análise da imagem é usada para determinar a granulometria na alimentação. Uma câmera fixa com iluminação adequada captura imagens da camada de material, e o software segmenta as imagens, realiza correções adequadas e calcula a granulometria do material em movimento.

A vantagem dos sistemas de imagem é que eles são de baixo impacto, pois é possível adquirir informações de tamanho sem amostragem ou interação com as partículas que estão sendo medidas. Esses sistemas são úteis na detecção de mudanças de comportamento do circuito de moagem nas usinas e são cada vez mais usados no controle de processos.

A maior vantagem dos sistemas de análise online é que, por definição, eles não exigem amostragem, eliminando uma fonte de erro. Eles também proporcionam resultados muito mais rápidos, no caso de alguns sistemas de medição contínua, o que, por sua vez, diminui os atrasos na produção e melhora a eficiência. Para o controle de processos a medição online é essencial.

## 5. Integração com PLC

---

Na Figura 1 podemos ver a Pirâmide de Automação, onde o APC é mostrado no mesmo nível do sistema SCADA.

A base da Automação Industrial, o Nível 0, contém os equipamentos montados no campo, sensores e transmissores, que podem medir e são capazes de transmitir as medições. Atuadores (como válvulas, êmbolos, motores elétricos etc.) têm a função de converter os sinais pneumáticos, hidráulicos ou elétricos em movimentos que traduzem os sinais dos controladores para ações no processo. O equipamento é todo o maquinário envolvido no fornecimento a alguém ou algo com produtos específicos necessários para uma finalidade específica ou para o produto final.

Acima deste nível, no nível 1, estão o PLC e os controladores PID. No entanto, é muito comum que os controladores PID sejam incorporados na programação do PLC. Neste nível há a programação do algoritmo de automação que tem a função de manter a operação segura com todos os intertravamentos. O PID é um algoritmo comum para controlar uma variável de processo (temperatura, pressão, nível, fluxo etc.), mantendo-a em um ponto de ajuste baseado no feedback das variáveis do processo.

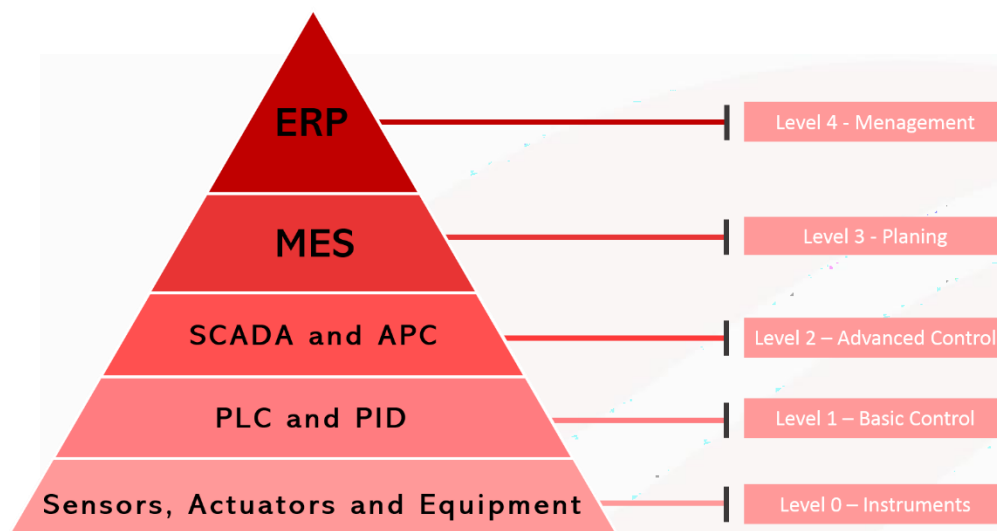


Figura 3 - Pirâmide de automação.

No Nível 2, existem os sistemas de supervisão, como o sistema SCADA. O supervisor é onde o operador pode manipular o processo, alterando o status dos equipamentos e os pontos de ajuste para os controladores PID. Neste mesmo nível, há o software APC. O APC da CEMI é baseado em sistemas especialistas. O algoritmo de controle é baseado em uma mímica do comportamento dos operadores, fazendo a otimização de Set Points e do status dos equipamentos, com base em todo o processo de forma holística. Portanto, o APC está no mesmo nível de automação que os sistemas SCADA e o operador. Além disso, o sistema é capaz de encontrar oportunidades de otimização de maneira contínua e online.

Nos níveis 3 e 4, existem o sistema MES, que fornece os dados para a análise da equipe da fábrica; e o ERP, onde o gerenciamento geralmente é feito.

### 5.1 Conceito de integração APC

A comunicação entre o OptProcess© e o equipamento de processo é baseada em um servidor OPC, um PLC, os equipamentos de campo, sensores e atuadores. As medições dos equipamentos de campo são enviadas ao PLC através de sensores e transmissores, e os comandos são recebidos do PLC através de atuadores. O APC lê estas informações do PLC e envia comandos para ela através de um Servidor OPC.

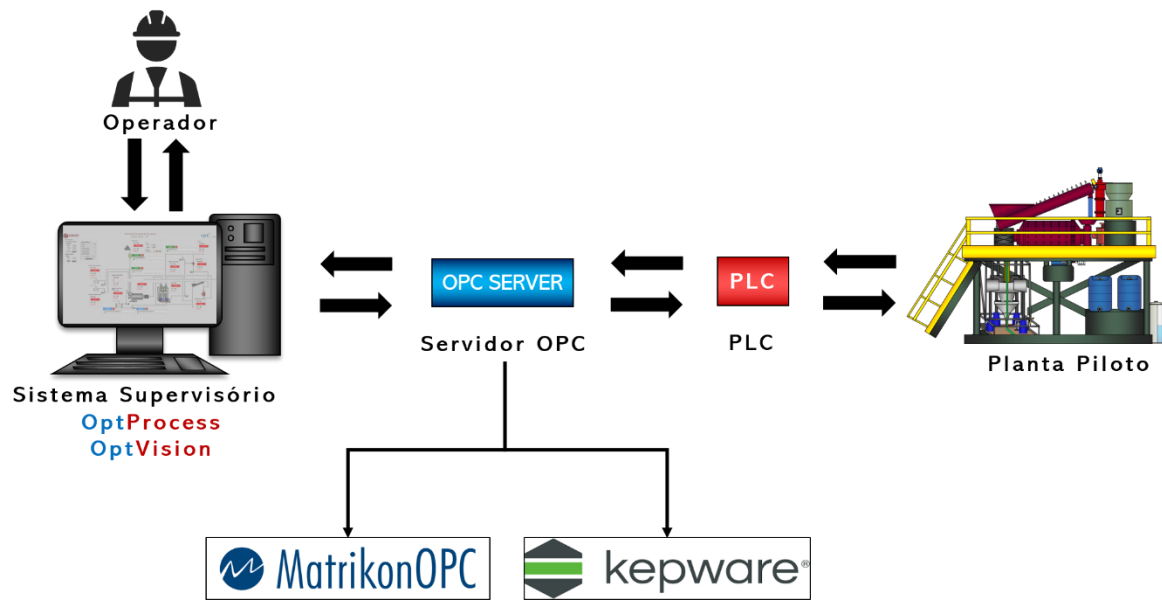


Figura 4 - Comunicação entre APC e Processo.

É muito comum que os sistemas de automação tenham dois modos de controle: manual e automático.

No modo Manual, os operadores decidem diretamente o valor para o atuador (capacidade do compressor, velocidade de rotação da bomba, abertura da válvula etc.) e quais equipamentos estão ligados ou desligados no sistema.

No modo automático, geralmente o operador pode alterar apenas os pontos de ajuste permitidos pela equipe de processo, e o PLC toma todas as ações de iniciar e paros equipamentos. O controle automático também mantém as variáveis do processo no set point normalmente através de um controlador PID.

No entanto, em ambos os sistemas, há intertravamentos entre falhas e modos de equipamentos. Um equipamento só pode ser operado se não estiver em manutenção e deve estar no modo automático. Se qualquer limite baixo ou alto for atingido, o equipamento deve ser desligado, para manter a segurança do processo.

Como foi explicado no Capítulo 3, o APC deve estar no mesmo nível do sistema SCADA e do operador. Assim, a integração deste novo sistema deve ser feita criando um novo modo de automação. O "modo APC". Este modo deve manter todos os procedimentos de segurança dos modos Automático e Manual, para permitir que o APC controle a planta.

## 6. Planta Piloto

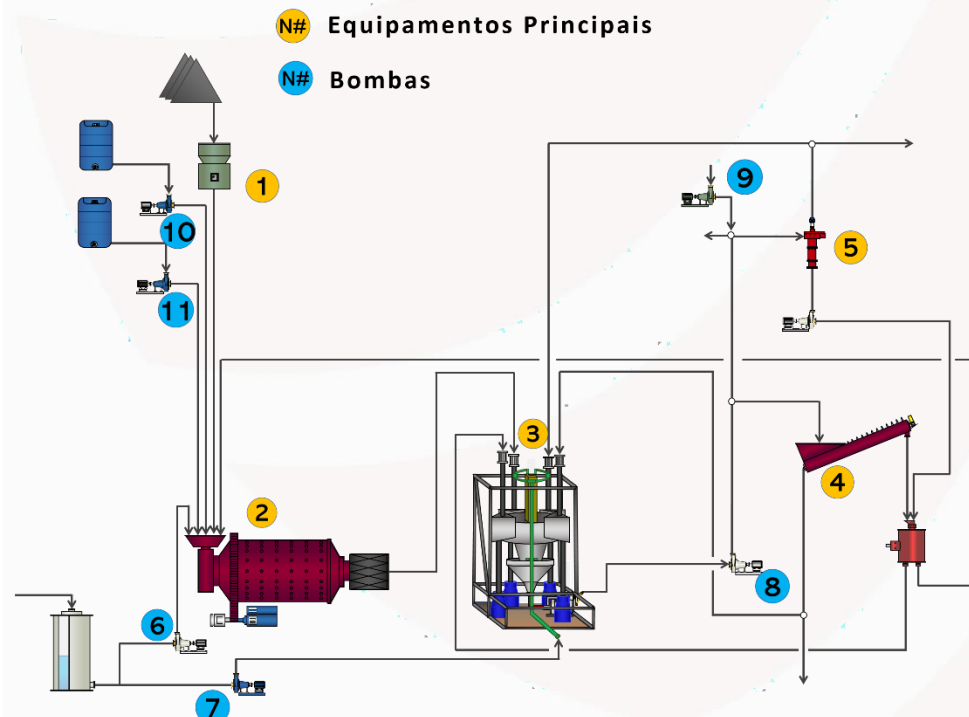


Figura 5 - Fluxograma com numeração de Equipamentos.



## 6.1 Lista de Equipamentos

<b>1.</b> Alimentador vibratório
<b>2.</b> Moinho de Bolas
<b>3.</b> OptDensity
<b>4.</b> Classificador em Espiral
<b>5.</b> Hidrociclone Dinâmico
<b>6.</b> Bomba de água do Moinho
<b>7.</b> Bomba de água da Caixa de Polpa
<b>8.</b> Bomba de Retorno de Polpa
<b>9.</b> Bomba de Flush
<b>10.</b> Bomba de Reagente 1
<b>11.</b> Bomba de Reagente 2

## 6.2 Desenhos Planta Piloto

A seguir estão representados alguns desenhos do projeto da Planta Piloto para o circuito de moagem, classificação e amostragem:



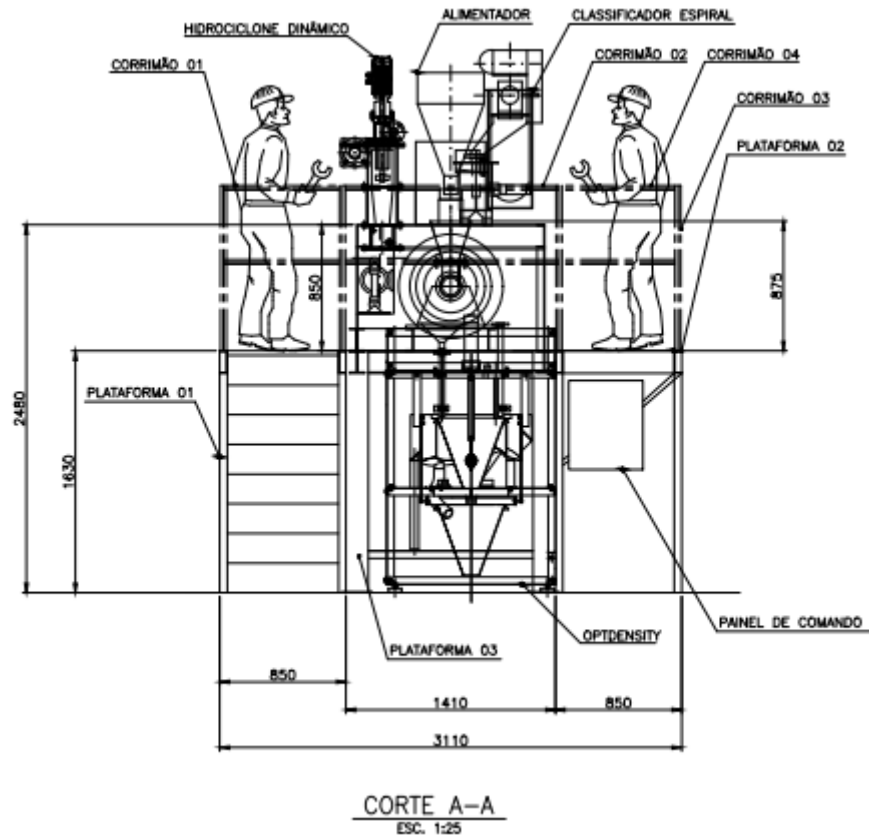


Figura 6 - Corte A-A do Desenho da Planta Piloto.

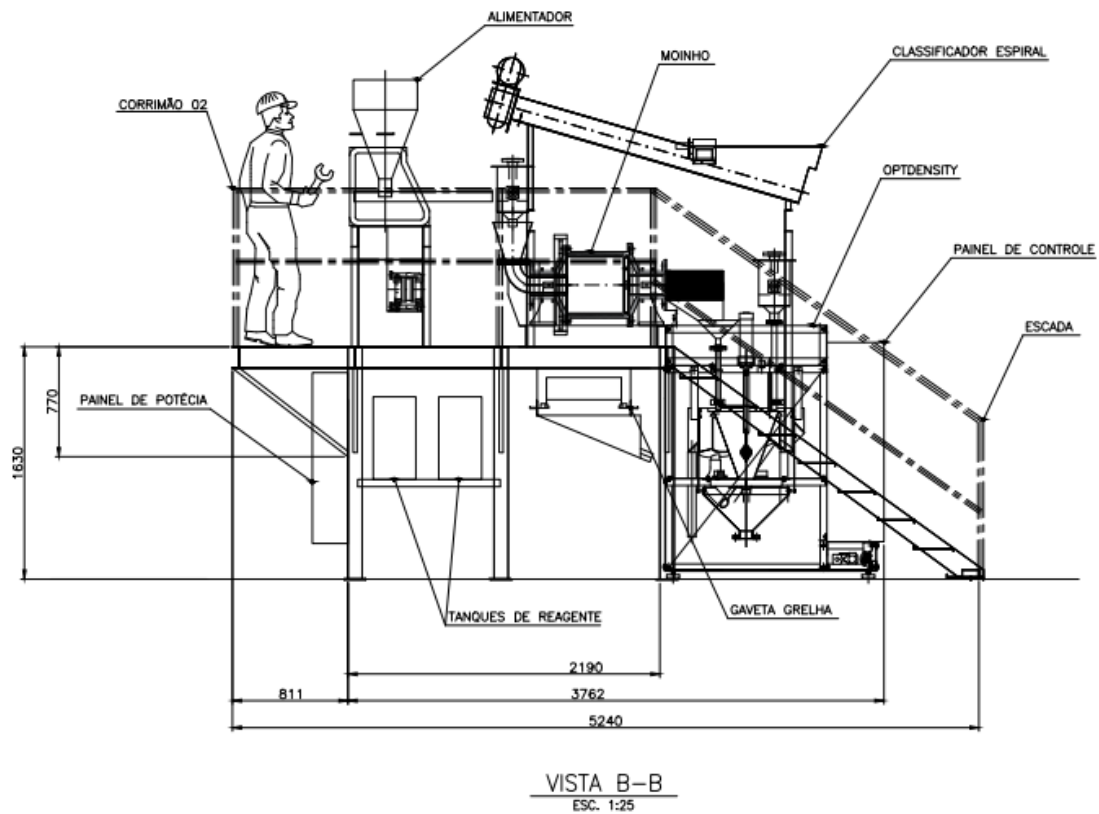


Figura 7 - Vista B-B do Desenho da Planta Piloto.

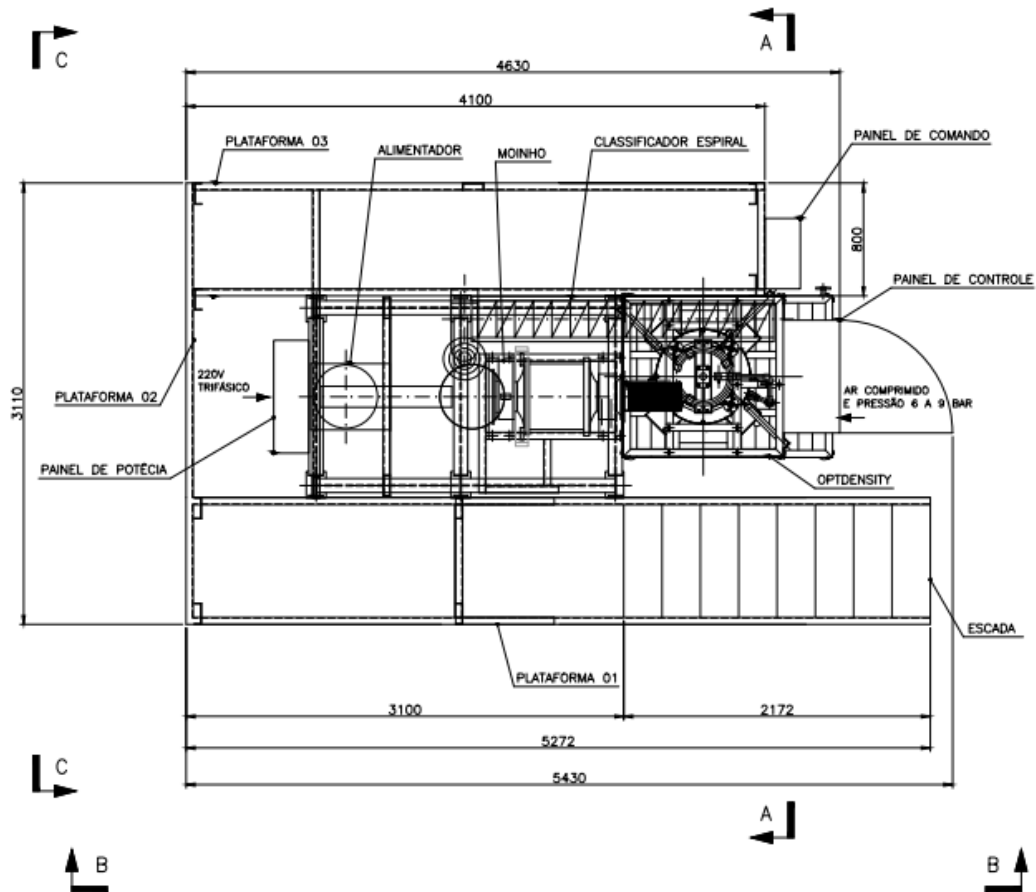


Figura 8 - Vista superior do Desenho da Planta Piloto.

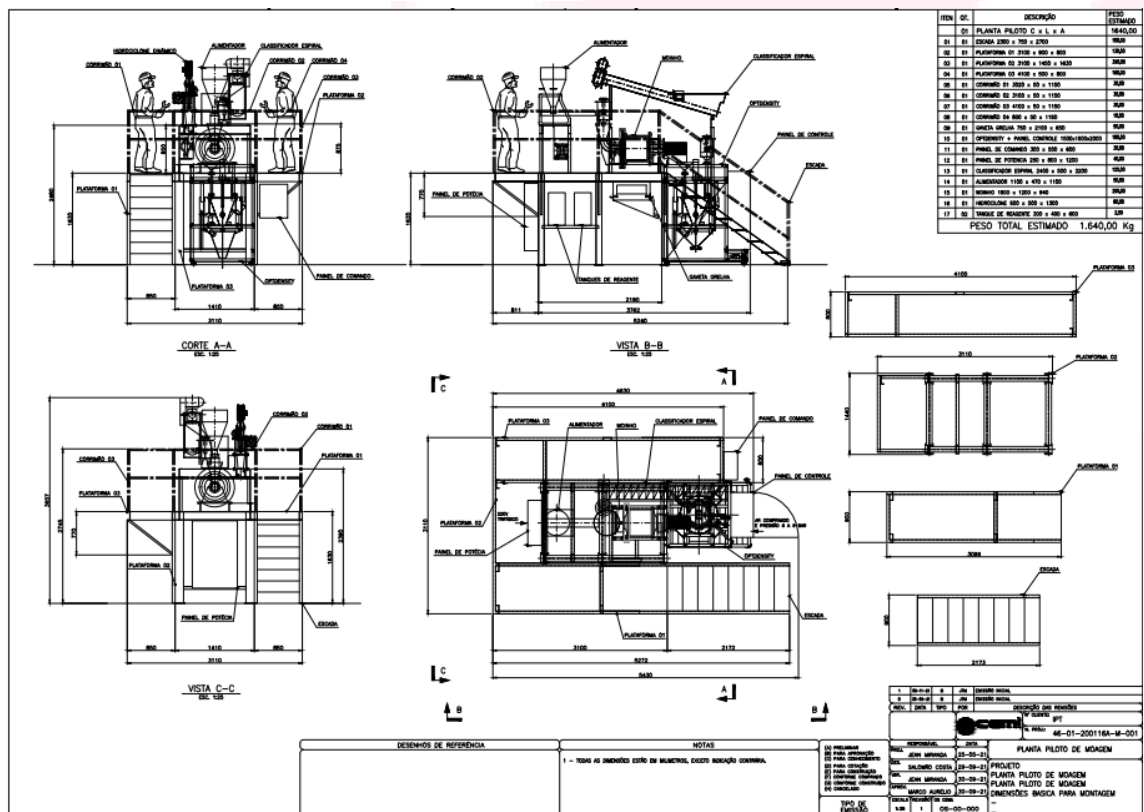


Figura 9 - Projeto da Planta Piloto.

### 6.3 Objetivo

Adequação e modernização de um circuito piloto de moagem e classificação de minérios existentes no **Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)**, incluindo adequação do moinho, fornecimento de novos equipamentos e instrumentos e reestruturação da planta de forma que ela apresente *layout* mais compacto.

### 6.4 Descritivo técnico da Planta Piloto

O circuito piloto de moagem do IPT, ilustrado na Figura 5, foi concebido para a realização de ensaios de desgaste de corpos moedores. O circuito, atualmente, é composto por alimentador vibratório, moinho de bolas, sistema de bombeamento de polpa (caixa de polpa acoplada com bomba), um ciclone que fecha o circuito (reverso) e caixas de decantação de sólidos que permitem o reciclo de água.

Durante uma corrida experimental, o material (minério em umidade natural) escoia por gravidade da moega do alimentador para a calha vibratória, a qual direciona o minério para o sistema de entrada do moinho, hoje drum feeder. Uma vez no drum feeder, soma-se ao fluxo de minério a água de alimentação e o underflow do ciclone, constituindo o fluxo recombinação que alimenta continuamente o moinho.

O moinho é um cilindro rotativo que abriga em seu interior bolas de aço com diâmetros variados. A fragmentação das partículas do minério se dá pela ação dinâmica das bolas, que são alçadas pelo movimento do cilindro e adquirem movimentos individuais. Após a fragmentação, o material, agora já em polpa (sólidos finamente moídos dispersos em água), deixa o moinho por transbordo e é direcionado para uma caixa de polpa, onde há a diluição desta polpa, de forma a fazer o ajuste do percentual de sólidos. Acoplada à caixa existe uma bomba centrífuga que bombeia a polpa para o ciclone.

O ciclone é um equipamento de classificação responsável por fazer o controle granulométrico do circuito. A polpa alimentada é dividida em duas correntes, o underflow, que contém maior proporção das partículas mais grossas, e o overflow, onde se encontram as partículas de menores dimensões. O underflow retorna para a alimentação do moinho e constitui o que é conhecido como carga circulante. Entretanto, o overflow é bombeado para caixas de decantação de sólidos, com o propósito de recuperar a água, que posteriormente é recirculada no processo.

O circuito não dispõe de instrumentação e o controle é feito manualmente mediante atuação em válvulas e com base nos conhecimentos de observações do operador.

## 7. Operação da Planta Piloto

O acionamento adequado da planta Piloto requer alguns passos. Ao fornecer energia a planta, o primeiro passo é deixar a planta Piloto entrar em um processo em regime permanente, acionando os equipamentos adequados para que o fluido do processo (água) comece a circular dentro do circuito. Após a planta entrar em regime permanente com o fluido, é admitido a entrada do material de alimentação. A seguir será explicado o funcionamento da planta piloto.

O primeiro passo é verificar o nível da caixa de polpa, essa verificação pode ser feita de maneira visual ou através do sistema supervisório, caso o nível esteja superior ao desejado é deve-se acionar a bomba de retorno para que inicie o processo de circulação do fluido (água) na Planta. Caso o nível esteja inferior ao desejado é necessário acionar a bomba de água para que chegue ao nível de projeto.

A planta possui duas opções de classificadores, o Hidrociclone Dinâmico e o Classificador em Espiral, com a água passando pelo circuito deve-se abrir a válvula do classificador de interesse permitindo que o fluido transite em seu interior. Caso seja de interesse utilizar Hidrociclone dinâmico é necessário ligar o motor do equipamento, assim como a bomba que retorna o Underflow do classificador. Caso a escolha seja o Classificador Espiral, seu acionamento será apenas quando estiver circulando o material no processo.

Quando em regime permanente, pode-se acionar o restante dos equipamentos: alimentador vibratório, moinho, bomba de água do moinho e as bombas de reagente para que o circuito de moagem e classificação entre em completo funcionamento com o material circulando no processo.

Para realizar o desligamento da planta é necessário cessar previamente a alimentação, isso impedirá depósito de material no circuito enquanto o sistema estiver desativado.

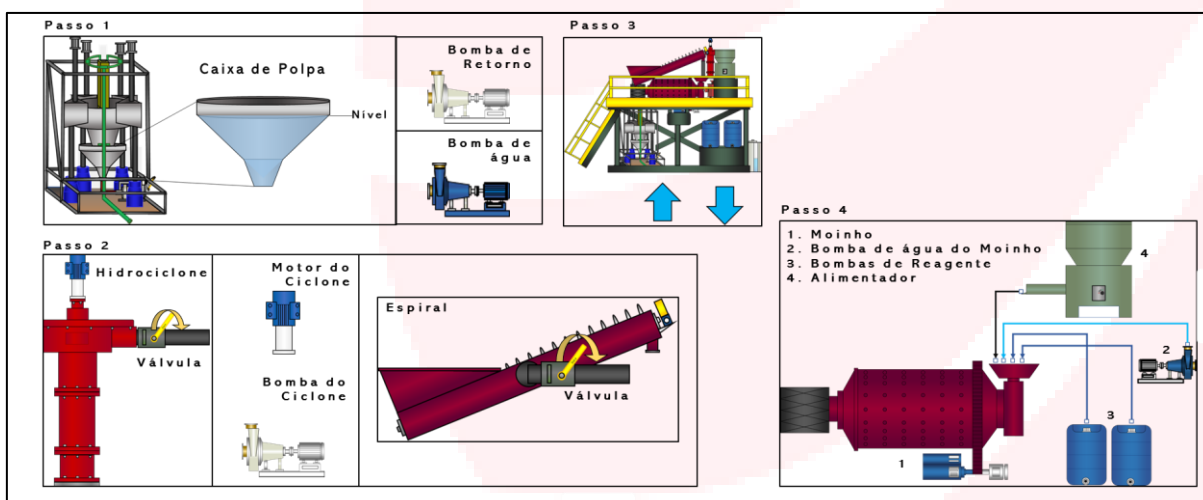


Figura 10 - Passo a Passo do acionamento da Planta.

**Obs:** Antes de se iniciar os passos para o acionamento da planta piloto é necessário abrir as válvulas de água que alimentam as bombas, assim como a válvula de ar comprimido. Após o desligamento da planta as válvulas devem ser fechadas.

**Passo 1:** Verifica-se o nível da caixa de polpa:

Nível baixo: Ligar bomba de água para encher a caixa.

Nível alto: Ligar bomba de retorno.

**Passo 2:** Abrir a válvula do classificador de interesse no processo, no caso do Hidrociclone, ligar o motor e a bomba do equipamento.

**Passo 3:** Aguardar a Planta entrar em regime permanente com o líquido do processo.

**Passo 4:** Com a planta em regime permanente, ligar o Moinho, em seguida a bomba de água do equipamento, as bombas de reagente e, por fim, acionar a alimentação com material no Moinho.

**Desligamento:** Desligar o alimentador e aguardar o esvaziamento da polpa dentro do sistema. É aconselhado realizar o desligamento da Planta com o mínimo de material dentro do circuito.

## 7.1 Operação Manual

Um dos mecanismos de operação da Planta é através do Painel de Operação como é exibido na Figura 11.

### 7.1.1 Painel de Operação Manual

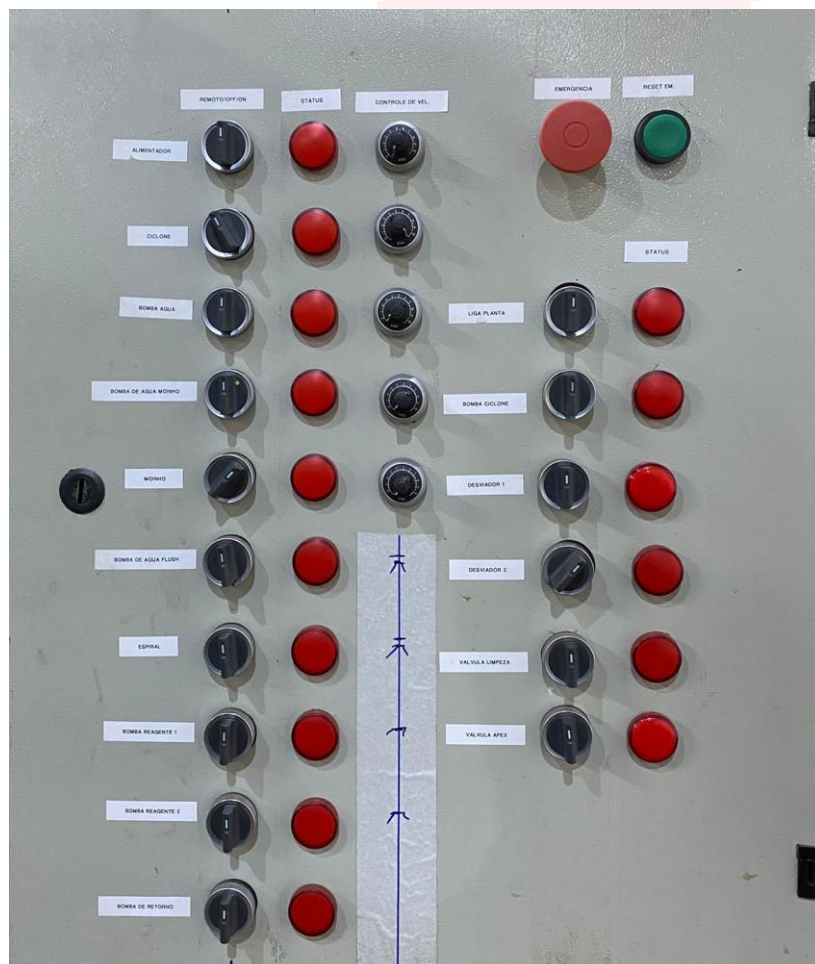


Figura 11 - Painel de Operação Manual.

O Painel possui uma chave individual para cada um dos equipamentos da Planta Piloto. Cada chave possui três posições, sendo elas: ligado, desligado e remoto. Além disso,



alguns equipamentos ainda contam com um controlador de velocidade/frequência, como é o caso da bomba de água, bomba de água do moinho, frequência de vibração do alimentador, motor do hidrociclone e do moinho. Para acionar um dos equipamentos da Planta, deve-se girar sua respectiva chave de energia para o modo "Ligado". Dessa forma, uma luz vermelha acenderá evidenciando o correto funcionamento do equipamento. Para melhor visualização, a Figura 12 mostra o significado de cada posição da chave, além do funcionamento do controlador de velocidade/frequência.

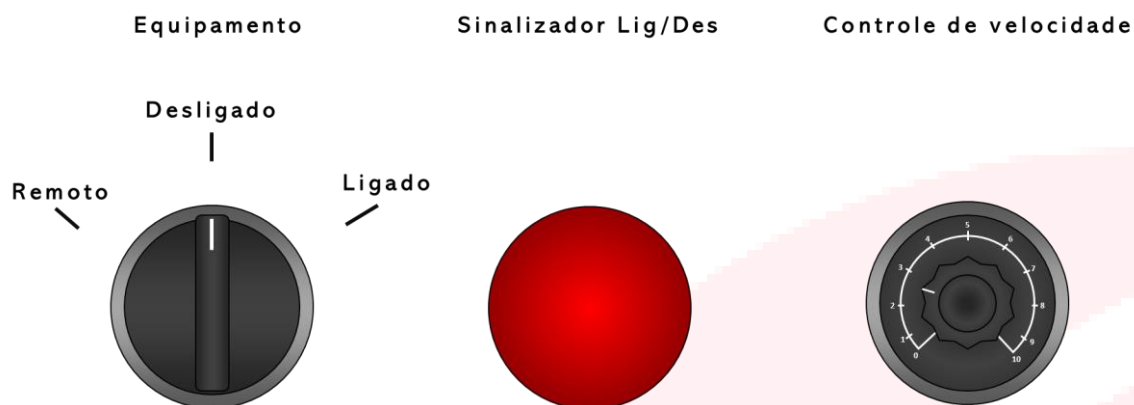


Figura 12 - Componentes individuais de equipamento no Painel.

Para iniciar a operação da Planta a partir do painel em manual, deve-se energizar o circuito por meio do acionamento da chave "Liga Planta". Com a Planta energizada os recursos do painel ficam disponíveis para a utilização.

O Painel também conta com uma botoeira de emergência e um botão de reset como demonstrado na figura 13. Com o acionamento da botoeira de emergência, a energia fornecida para a planta é contada e todos os equipamentos em atividade param o seu funcionamento. Para reiniciação da Planta após uma parada de emergência é necessário apertar o botão de reset para permitir que o circuito volte a receber energia e com isso religar os equipamentos.

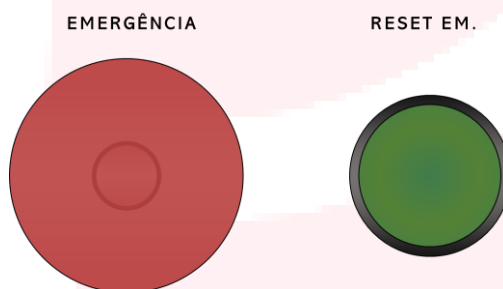


Figura 13- Botoeiras de Emergência e Reset.

O Painel de Operação conta com 23 componentes acionáveis, sendo eles 16 chaves, 5 controladores de velocidade/frequência e 2 botoeiras, além de 16 sinalizadores de status para os equipamentos. Segue abaixo descritivo do Painel com checklist de cada componente:

Nº	Equipamento	Remoto/Off/On	Status	Controle de Vel.	Botoeira
1	Alimentador	OK	OK	OK	-
2	Ciclone	OK	OK	OK	-
3	Bomba de Água	OK	OK	OK	-
4	Bomba de Água (Moinho)	OK	OK	OK	-
5	Moinho	OK	OK	OK	-
6	Bomba de Água Flush	OK	OK	-	-
7	Espiral	OK	OK	-	-
8	Bomba de Reagente 1	OK	OK	-	-
9	Bomba de Reagente 2	OK	OK	-	-
10	Bomba de Retorno	OK	OK	-	-
11	Liga Planta	OK	OK	-	-
12	Bomba do Ciclone	OK	OK	-	-
13	Desviador 1	OK	OK	-	-
14	Desviador 2	OK	OK	-	-
15	Válvula de Limpeza	OK	OK	-	-
16	Válvula Apex	OK	OK	-	-
17	Emergência	-	-	-	OK
18	Reset Em.	-	-	-	OK

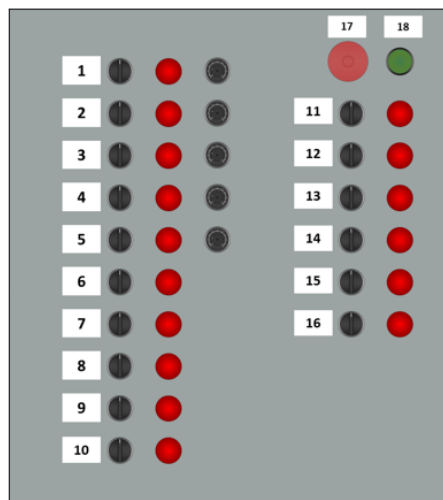


Figura 14 - Descritivo do Painel.

### 7.1.2 Painel OptDensity

O Painel OptDensity é um componente que está disposto na Planta Piloto. Através dele é possível acionar os cilindros desviadores do OptDensity assim como controlar a válvula dardo. Esse painel ainda conta com o dispositivo da balança imbutida no tanque de amostragem no OptDensity. A figura 15 representa uma imagem desse painel e a Figura 16 representa uma demonstração ilustrativa do mesmo.



Figura 15 - Imagem do Painel.



Figura 16 - Ilustrativo do Painei.

## 7.2 Operação em Remoto

### 7.2.1 Sistema Supervisório OptProcess

A introdução do OptProcess em integração com o PLC da Planta Piloto permite ao operador uma série de comandos e visualizações, desde acionar e desligar equipamentos em grupo ou individual, controle de velocidade/frequência, leituras de fluxo e medições de parâmetros como densidade e vazão.

Na aplicação criada para o projeto da Planta Piloto para o IPT, foram desenvolvidas duas abas de interação para o operador. A primeira aba “Fluxograma” contendo o fluxograma do processo e botões com a função de acionamento em grupo ou individual de cada equipamento, além do controle de velocidade/frequência para os equipamentos com essa função disponível. Já a segunda aba “Medição” conta com a visualização das leituras em tempo real oferecidas pelo PLC, também conta com componentes que permitem a solicitação de medição de densidade e vazão de cada fluxo assim como a solicitação de retirada de amostragem manual de cada fluxo do processo. Esta aba também possui as opções de controle Fuzzy criadas dentro da estratégia do sistema, além da interatividade com o tempo ligado e desligado das bombas de retorno e do Underflow do Hidrociclone.

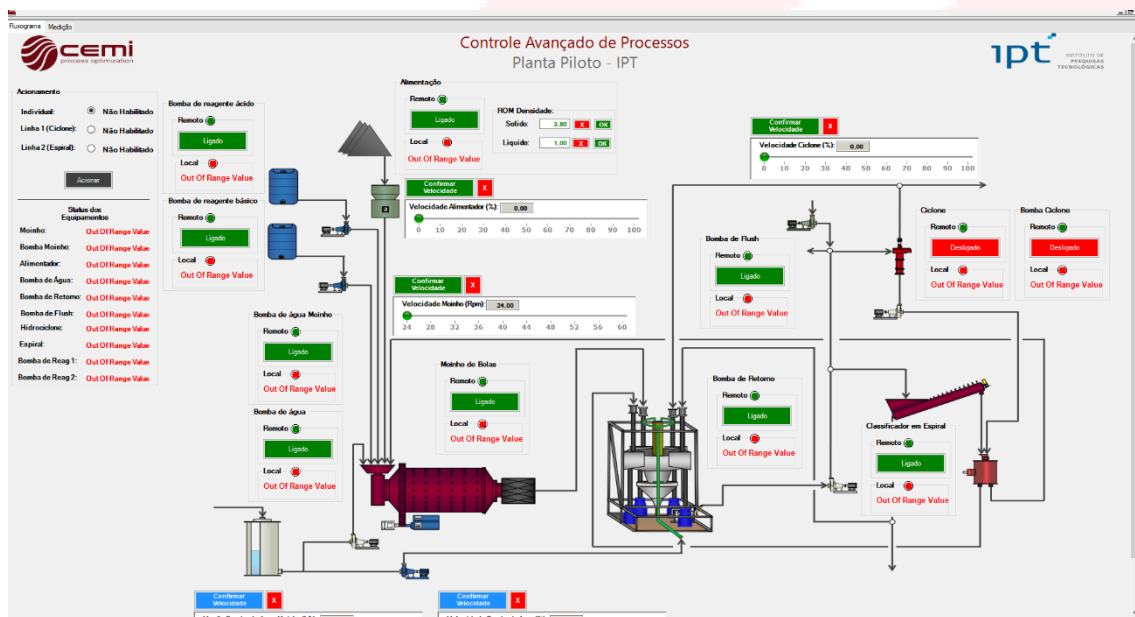
As funções de operação dentro do OptProcess apenas estarão habilitadas caso o operador selecione a opção da chave em remoto, como ilustrado na figura 17 para o que equipamento em que se deseja operar pelo sistema supervisório.





Cada equipamento presente na aba “Fluxograma” possui um quadro com Status do Equipamento e a função Liga/Desliga. Esse quadro possui dois componentes que atuam como sinalizadores que indicam se o equipamento está habilitado em remoto ou local. Caso o equipamento esteja em operação local, dentro desse quadro é exibido uma mensagem indicando se o equipamento está ligado manualmente no painel ou não. O quadro também conta com um botão de Liga/Desliga que pode ser apenas utilizado caso o equipamento esteja habilitado para remoto no painel de operação. O decritivo desse quadro pode ser visualizado na figura 19.

A aba “Fluxograma” do sistema supervisor, ilustrada na figura 18, contém todo o fluxograma do processo e permite ao operador o acionamento individual e em grupo de cada equipamento ou linha de processo. A aba também permite a visualização do status de cada equipamento e o controle de velocidade/frequência para aqueles que possuem essa função disponível.



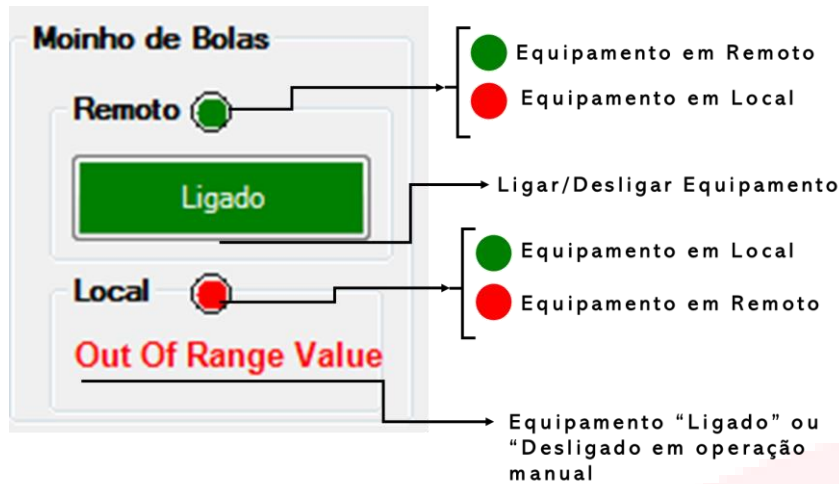


Figura 19 - Fluxograma – Descritivo Componente de Equipamento Individual (Moinho) HMI.

Dentre os equipamento disponíveis para operação, cinco possuem a opção de controle de velocidade/frequência, o Moinho, o Alimentador, a Bomba de água do Moinho, a bomba de água da Caixa de Polpa e o Hidrociclone Dinâmico possuem um componente de régua com um cursor que possibilita a seleção de um valor dentro de uma faixa específica para cada equipamento. O componente também conta com dois botões, um para confirmar a alteração de valor de velocidade e outro para cancelar esta operação e retornar para o valor em que estava previamente. Existe também uma caixa que possibilita a visualização da velocidade selecionada no componente. A figura 20 exhibe o componente de controle de velocidade/frequência assim como suas funções.

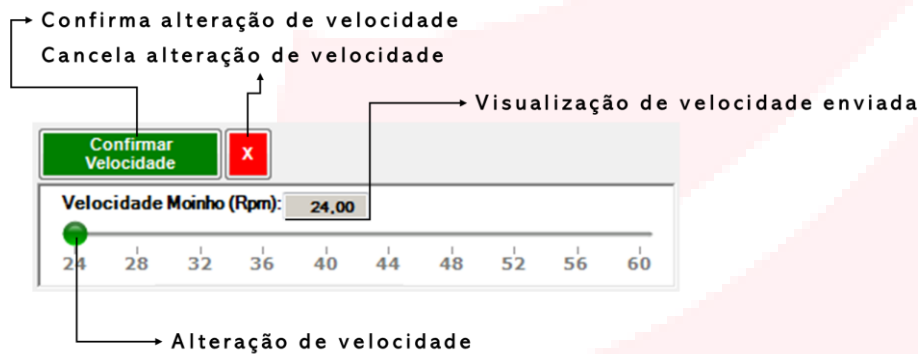


Figura 20 - Fluxograma – Descritivo Componente de Velocidade (Moinho) HMI.

Na aba “Fluxograma” do HMI também é possível definir as densidades do sólido introduzido na alimentação da Planta e do líquido de processo. Os valores dessas densidades possibilitam os cálculos realizados internamente no OptProcess de outras medidas de interesse como: Porcentagem de Sólidos na polpa e Massa de sólidos na polpa. Esses valores podem ser inseridos no sistema através do componente de escrita, como demonstrado na figura 21 a seguir:

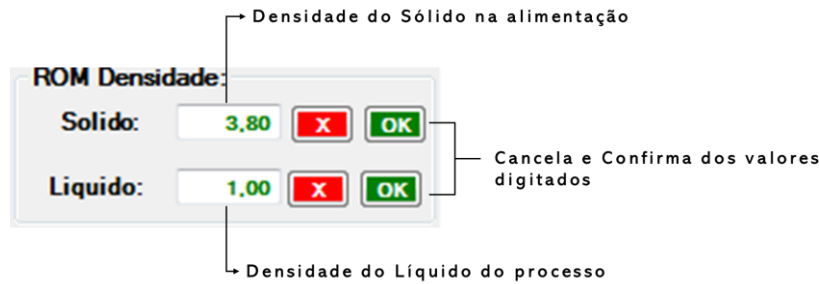


Figura 21 - Fluxograma – Descritivo Componente de ROM HMI.

O Sistema Supervisório permite o acionamento sem ser o individual de cada equipamento, ele também permite o acionamento em grupo ou em linha conforme o interesse de classificação do processo, ou seja, caso o operador tenha o interesse de acionar a Planta com o circuito de moagem sendo classificado pelo Hidrociclone ou pelo Classificador em Espiral, é possível acionar todos os equipamentos de forma ordenada para o processo com a classificação de interesse. O componente com a opção de escolha de acionamento está descrito na figura 22.

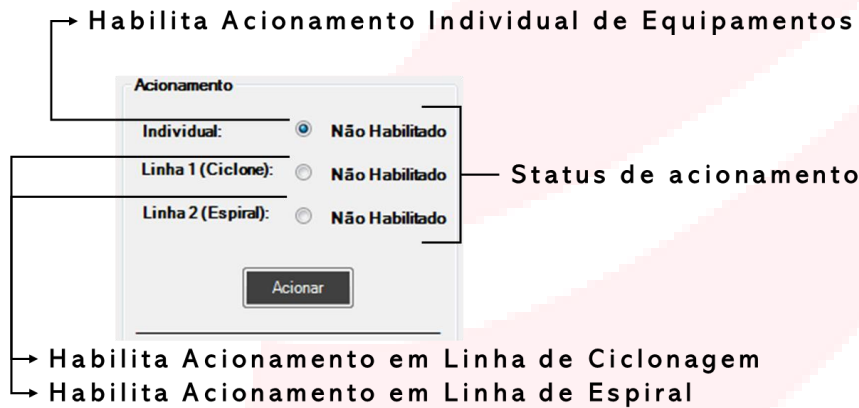


Figura 22 - Fluxograma – Descritivo Componente de ROM HMI.

Está presente no HMI um quadro o status de todos os equipamentos com a indicação de em remoto e em local, como representado na figura 23. O acionamento em linha da Planta apenas poderá ser realizado caso os equipamentos da linha estiverem com a chave no painel de operação com a opção em remoto.

### Status dos Equipamentos (Remoto/Local)

Status dos Equipamentos	
Moinho:	Out Of Range Value
Bomba Moinho:	Out Of Range Value
Alimentador:	Out Of Range Value
Bomba de Água:	Out Of Range Value
Bomba de Retorno:	Out Of Range Value
Bomba de Flush:	Out Of Range Value
Hidrociclone:	Out Of Range Value
Espiral:	Out Of Range Value
Bomba de Reag 1:	Out Of Range Value
Bomba de Reag 2:	Out Of Range Value

Figura 23 - Fluxograma – Descritivo Status de Equipamentos HMI.

### 7.2.3 OptProcess – HMI: Medição

A aba “Medição”, representada na figura 24, fornece ao operador as leituras feitas a partir do equipamento OptDensity e também possibilita realizar comandos para obter amostras manuais ou valores retirados a partir da análise no tanque de amostragem do equipamento. Nesta aba também existe informações com relação ao status dos equipamentos e componentes de interação com relação ao controle Fuzzy aplicado dentro do OptProcess.



Figura 24 - Medição HMI.

A aba “Medição” contém um grupo de componentes denominado de “Painel OptDensity”. Esse grupo conta com uma série de dados calculados dentro do Sistema Supervisório. Cada dado está relacionado com o fluxo selecionado pelo operador, ou seja, a densidade do fluxo, da polpa, vazão de polpa, porcentagem de sólidos e massa de sólidos estão ligadas diretamente com o a medida da última leitura realizada. Como é possível se observar na imagem da figura 25, a densidade selecionada é a do fluxo do produto do Moinho, com isso, este valor é atribuído nos cálculos de vazão, porcentagem de sólidos e massa de sólidos. A seleção de um fluxo deve ser confirmada a partir do botão “confirmar”, então, após um ciclo do OptProcess, o sinal de confirmação “OK” irá aparecer ao lado direito do fluxo selecionado.

Um pedido de realização de medição de densidade pode ser enviado para o PLC a partir do componente denominado no HMI como “Habilita Medição da Densidade da Polpa. Quando selecionado, o OptProcess, após um ciclo, enviará o comando a o PLC e em seguida os desviadores da Planta são acionados direcionando fluxo de interesse para o Tanque de Amostragem. Com o tanque cheio até o nível estabelecido, a leitura de densidade estará realizada e sua visualização estará visível no HMI. Após a realização dessa leitura, o tanque será esvaziado e também será feita limpeza pela Bomba de Flush. Portanto, é necessário que o Operador desmarque o componente de medição antes que o taque entre nesse processo de limpeza para que o sistema consiga guardar o valor obtido de densidade e para não realizar outro pedido de densidade indesejado em seguida.



Figura 25 - Painel OptDensity HMI.

O grupo “Painel OptDensity” também conta com um subgrupo denominado de “Leituras”, nele é possível se observar os dados em tempo real obtidos do equipamento de amostragem. Entre estes dados temos: Nível do Tanque de Amostragem, Nível do Tanque de Polpa (Caixa de Polpa), o Volume em litros do Tanque de Amostragem, assim como a massa e a densidade do material presente no tanque. O subgrupo também dispõe da visualização o setpoint estabelecido internamente no sistema. O subgrupo está exibido na figura 26 a seguir:

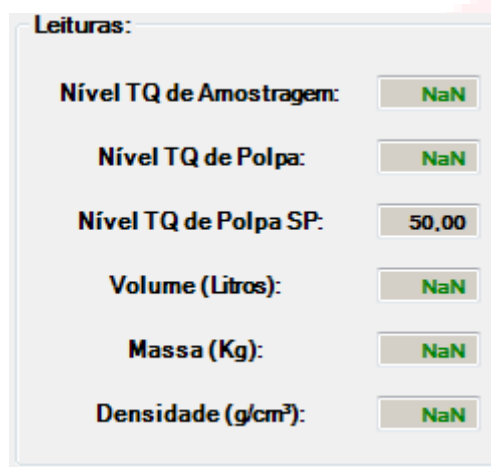


Figura 26 - Painel OptDensity (Leituras) HMI.

Outro grupo presente na aba “Medição” é o denominado “Desviadores de Coleta de Amostra”. Este grupo está direcionado para possibilitar ao operador realizar um pedido de coleta de amostra manual pelo equipamento OptDensity. Ao selecionar o componente chamado de “Habilita coleta de Amostra”, o OptProcess enviará um comando para o PLC e em seguida os desviadores direcionam o fluxo de interesse para uma descarga de amostra, assim o operador pode coletar manualmente a polpa. Como a operação de medição de densidade, o operador deve desmarcar o componente de coleta de amostra para que o sistema não envie um comando indesejado em seguida para o PLC. A figura 27 representa o grupo em questão.

Neste grupo também é possível visualizar se o equipamento está habilitado ou não para coleta de amostra, ou seja, que o equipamento esteja operante em remoto no Sistema

Supervisório.

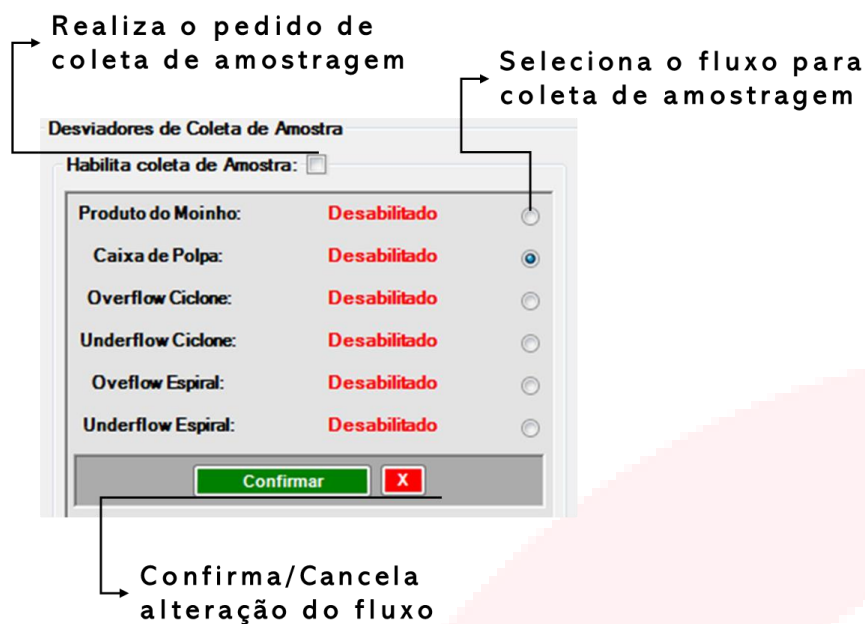


Figura 27 - Painel OptDensity (Desviadores de coleta de amostra) HMI.

Presente dentro do grupo citado anteriormente, existe um subgrupo denominado de “Status OptDensity”, como representado na figura 28, sua função é indicar ao operador o status dos equipamentos e o nível da caixa da polpa para saber se é possível se realizar uma coleta de amostra. Para realizar essa atividade é necessário que os equipamentos estejam em remoto e o nível da caixa de polpa esteja bom para que não falte ou transborde polpa da caixa.

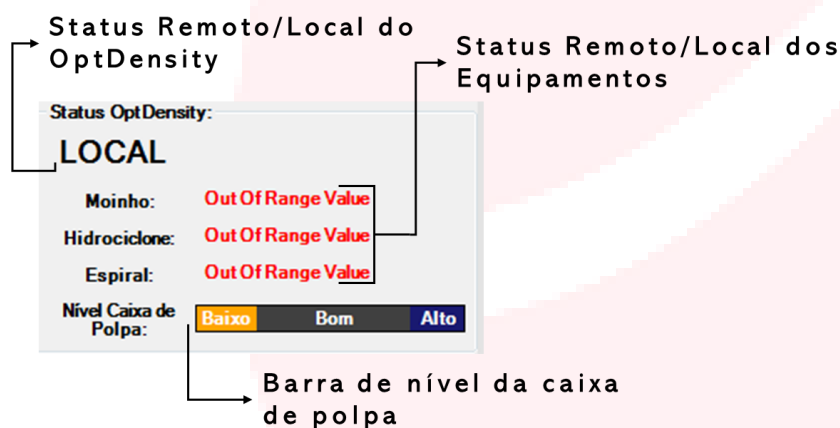


Figura 28 - Status OptProcess HMI.

Outro grupo de componentes presente na aba “Medição” é o grupo relacionado com o controle realizado pelo sistema em relação ao tempo ligado da bomba do Hidrociclone Dinâmico e da bomba de retorno da Caixa de Polpa. Além do controle nessas bombas, também foi aplicado um controle de densidade a partir da vazão de água na Caixa de Polpa. O controle aplicado no tempo ligado da bomba do hidrociclone e de retorno tem como objetivo deixar o nível da Caixa de Polpa dentro de uma faixa estabelecida assim como atuar na faixa de corte do classificador. Já o controle aplicado na bomba de água tem como objetivo deixar a densidade da polpa dentro de uma faixa pré-estabelecida para futuras amostras coletadas ou medidas.



A figura 29 representa os valores de tempo ligado e desligado das bombas citadas anteriormente, que podem ser alterados através dos componentes de escrita no HMI. Estes valores representam os iniciais de quando as bombas forem acionadas.

A figura 30 representa os componentes que habilitam a atuação destes controles dentro do sistema.

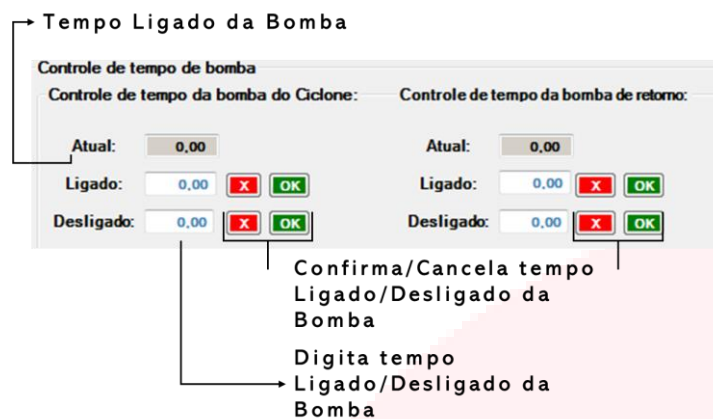


Figura 29 - Tempo ligado de bomba HMI.

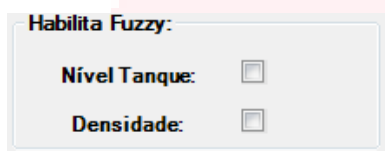


Figura 30- Habilita Fuzzy HMI.

## 8. Revisão OptProcess

Em geral, o Sistema Supervisório fornece ao operador uma série de possibilidades para interagir e operar com a Planta Piloto trazendo dados de forma instantânea, o que permite uma análise mais profunda em relação ao comportamento do circuito conforme o seu funcionamento e o material utilizado.

O OptProcess é um software que funciona a partir da relação de **TAG's**, que são basicamente como variáveis, através de uma **Estratégia**, que contempla uma programação na estrutura if/Then.

A partir da criação e manipulação dessa programação se torna possível o desenvolvimento da Interface Homem Máquina (HMI) que facilita e amplia a funcionalidade da Planta para o operador. O software traz uma série de dados que podem ser monitorados também por **Gráficos** gerados pelo próprio sistema e controlados por uma lógica Fuzzy aplicada.

### 8.1 TAG's

As **TAG's** são as variáveis que atuam dentro do OptProcess e podem ser criadas ou modificadas através do "Editor de TAG's", uma função presente dentro do software. A figura 31 exibe essa função presente no sistema. A funcionalidade das TAG's está ligada com o armazenamento, visualização, cálculo e envio de dados coletados ou gerados na

aplicação.

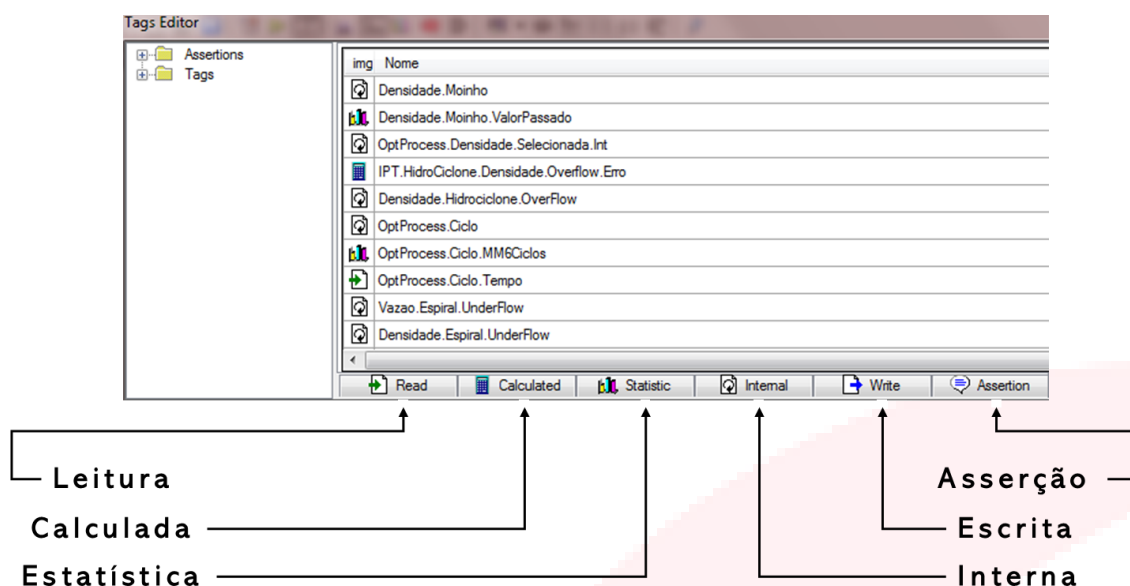


Figura 31 - Editor de TAG's - OptProcess.

Existem, dentro do Sistema Supervisório, diferentes tipos de TAG's e cada uma desempenha uma função na aplicação:

**TAG'S de Leitura:** são aquelas que recebem um valor de algum endereço específico, como, por exemplo, um valor digitado no próprio HMI da aplicação. Essa TAG também pode receber um valor de um server OPC, como o Matrikon ou o Kepware. No caso da aplicação para a Planta Piloto existem TAG's de leitura com os endereços citados como exemplo acima.

**TAG'S Calculadas:** o OptProcess fornece um meio para realizar operações com fórmulas mais complexas a partir das TAG's calculadas. Ao adicionar uma nova TAG calculada no editor de TAG's presente no sistema, abre-se uma interface onde se é possível utilizar operadores matemáticos para relacionar TAG's gerando novos valores através de uma fórmula de interesse.

**TAG'S Estatísticas:** as TAG's estatísticas são geradas a partir da análise da variação de um valor de uma outra TAG. Entre as estatísticas que podem ser geradas existem o gradiente, média móvel, valor passado e integral.

**TAG'S Assertivas:** as TAG's de asserção são aquelas que atribuem uma mensagem a partir de um valor definido de outra TAG.

**TAG'S de Escrita:** da mesma forma que o OptProcess pode receber valores de diferentes endereços, o software também consegue enviar valores que estão presentes no sistema. Esses valores podem ser enviados através das **Estratégia** a partir da utilização de uma TAG de escrita. O valor de uma outra TAG é atribuído a esse tipo de TAG e enviado pela programação e comunicação com o PLC no caso da Planta Piloto.

**TAG'S Internas:** as TAG's internas são aquelas que vão atuar apenas dentro do sistema. Um valor pode ser atribuído à uma TAG interna manualmente pelo "Editor de TAG's" ou pela **Estratégia**. Este valor pode ser retentivo, ou seja, é armazenado no sistema até que seja atribuído um novo valor à TAG.



## 8.2 Estratégia

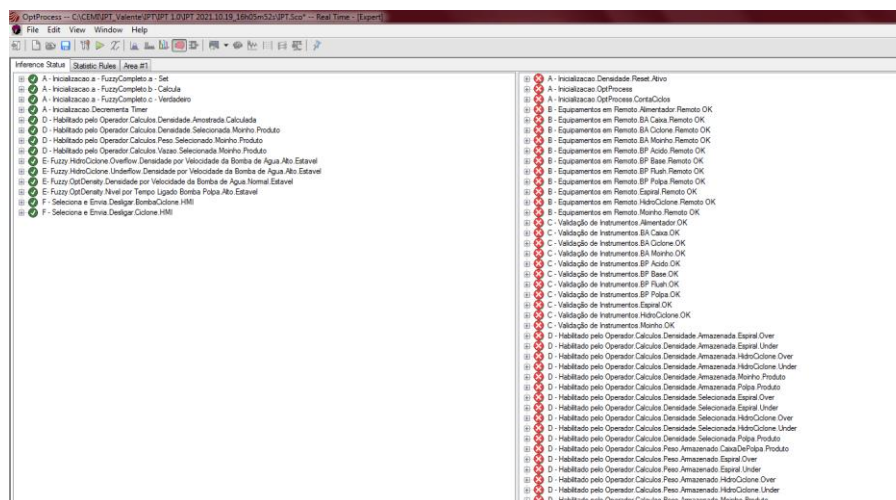


Figura 32 – Estratégias Aplicação Planta Piloto

A estratégia empregada dentro da aplicação do OptProcess a partir da linguagem de programação “if/then” é o método utilizado para relacionar variáveis criadas condições e operações para serem aplicadas no processo de operação e tratamento de dados da Planta Piloto.

### 8.2.1 Regras de Inicialização

**Fuzzy Completo:** Como ilustrado na figura 33 entre as regras primárias de inicialização temos o Fuzzy Completo. O objetivo dessa estratégia é de ativar o cálculo do fuzzy previamente a qualquer operação realizada.

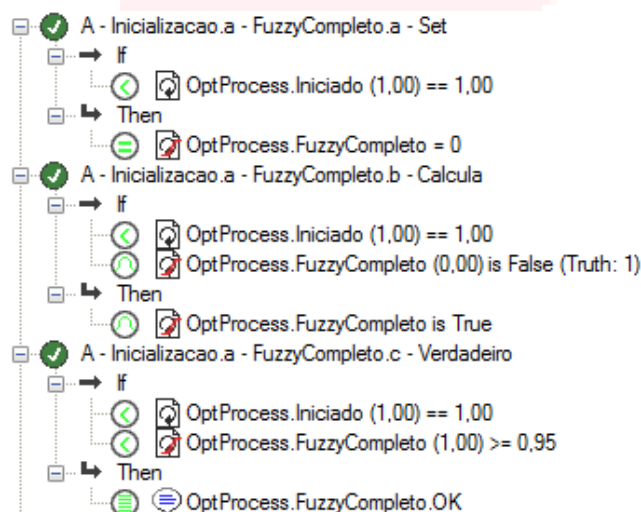


Figura 33 - Estratégia -Fuzzy Completo.

**Inicialização OptProcess e Conta Ciclos:** A iniciação do OptProcess se dá em um número de ciclos específicos por meio da estratégia definida. Como é mostrado na figura 34 as duas estratégias de inicialização estabelecerem 3 ciclos para a inicialização do

funcionamento do programa.

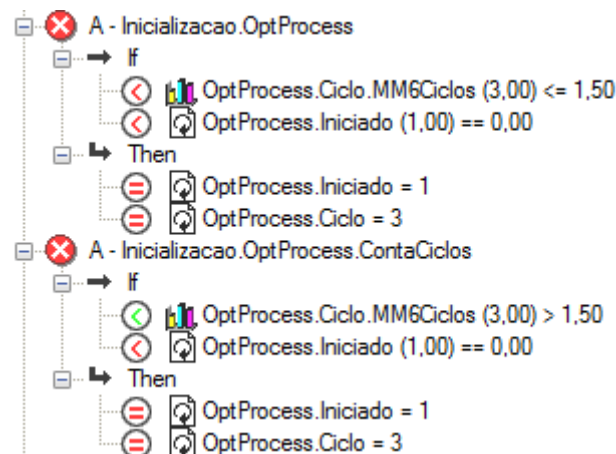


Figura 34 - Estratégia – Inicialização OptProcess.

**Decrementa Timer:** A função decrementa timer é responsável pela contagem regressiva de tempo dentro do sistema. Ela permite com o que se crie outras estratégias relacionadas com uma TAG que possui um tempo para ser ativada e disparar o comando. Esta estratégia está representada pela figura 35 a seguir:

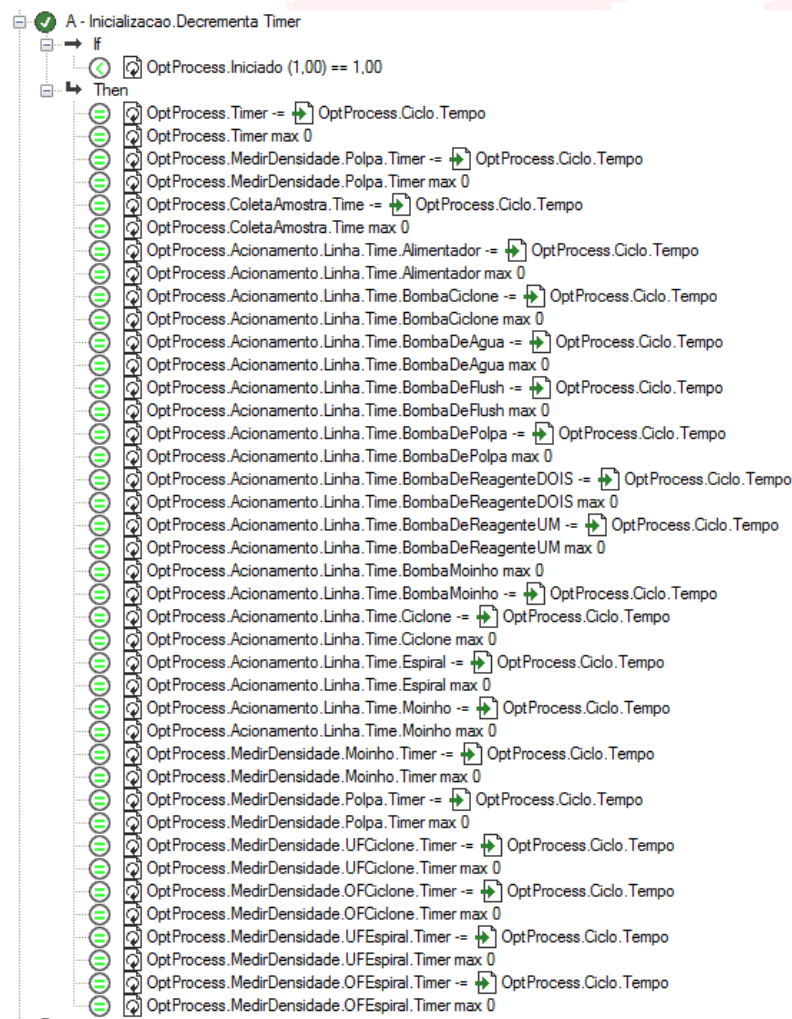


Figura 35 - Estratégia – Decrementa Timer.

**Reset de Densidade:** A estratégia representada pela figura 36 é responsável por resetar comandos enviados do sistema com relação a medidas de densidade. O objetivo com essa estratégia é de evitar que o sistema envie comandos repetidos para o PLC.

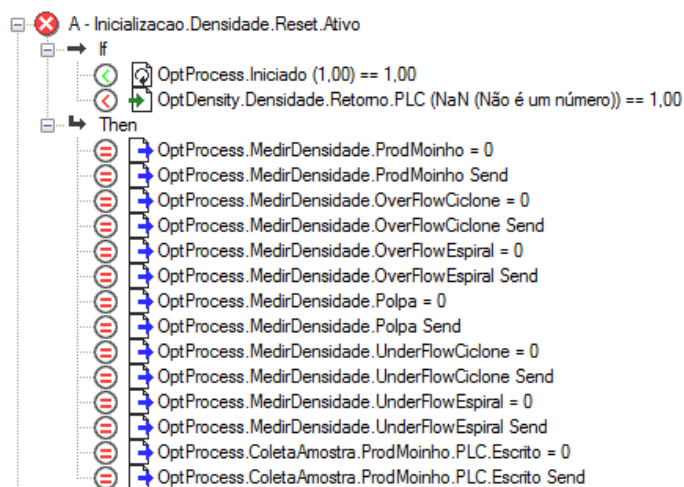


Figura 36 - Estratégia – Reset de densidade.

### 8.2.2 Regras de Status

**Equipamentos em Remoto:** A seguinte estratégia criada e demonstrada pela figura 37 tem como objetivo indicar para o sistema o status do equipamento, atribuindo um valor para uma TAG interna para, posteriormente ser atribuída à uma assertiva.

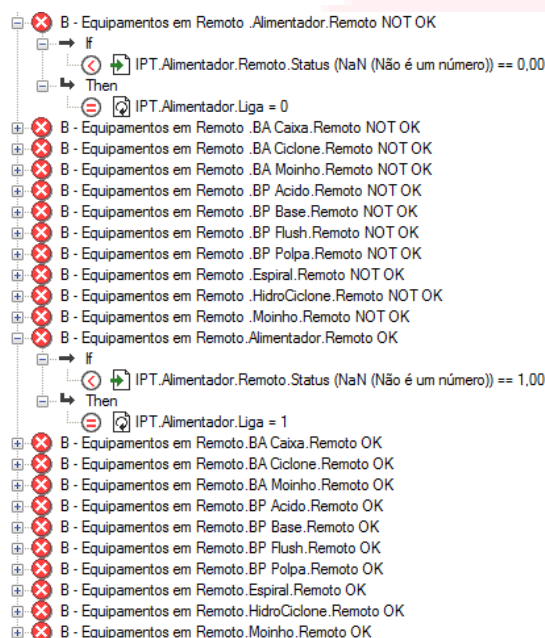


Figura 37 - Estratégia – Equipamentos em remoto

### 8.2.3 Regras de Validação

**Validação de Instrumentos:** Assim como mencionado nas Regras de Status anteriormente, esta estratégia utiliza as TAG's internas criadas para cada equipamento

para gerar TAG's assertivas que indicam o status de cada equipamento.

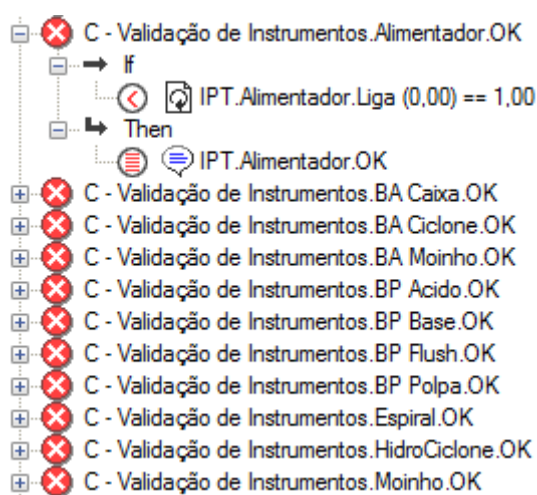


Figura 38 - Estratégia – Validação de Instrumentos.

### 8.2.4 Regras de Operações

**Habilitado pelo Operador:** As estratégias dentro do grupo “Habilitado pelo Operador” são responsáveis por qualquer cálculo ou armazenagem de valor realizados dentro do sistema.

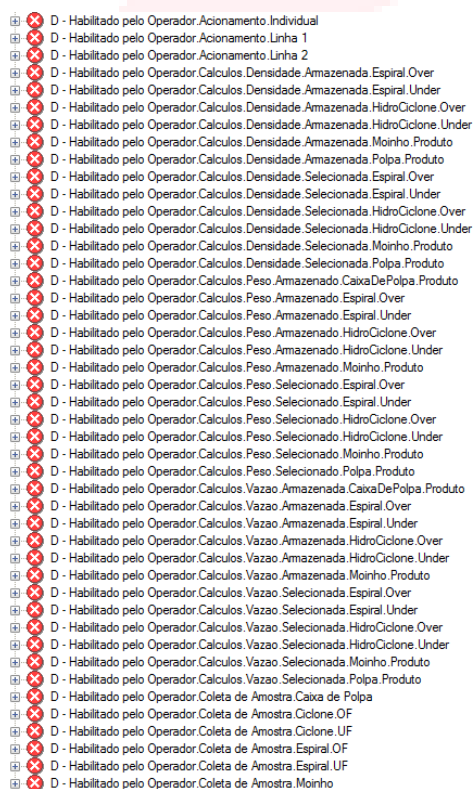


Figura 39 - Estratégia – Habilitado pelo Operador.

### 8.2.5 Regras Fuzzy

As Regras Fuzzy são responsáveis por classificar as variáveis de controle que serão operadas dentro do sistema. O fuzzy é aplicado para da diferença entre o valor recebido

(PV) e o setpoint estabelecido (SP), essa diferença é denominada de erro. O fuzzy também é atribuído a um gradiente do erro com o objetivo de indicar a tendência da variável com o tempo. Por fim, o fuzzy é aplicado a um incremento para que irá atuar na correção da variável, ou seja, no controle de interesse.

**Fuzzy – Densidade por Velocidade da Bomba de Água:** A densidade do Hidrociclone dinâmico pode ser manipulada a partir da entrada de água do equipamento. A tabela 1, indica como o fuzzy atua na estratégia citada.

Erro/ Gradiente	Baixo	Normal	Alto
<b>Diminuindo</b>	Muito Negativo	Negativo	Nulo
<b>Estável</b>	Negativo	Nulo	Positivo
<b>Aumentando</b>	Nulo	Positivo	Muito Positivo

Tabela 1 - Fuzzy – Densidade por Velocidade da Bomba de Água (Hidrociclone Dinâmico).

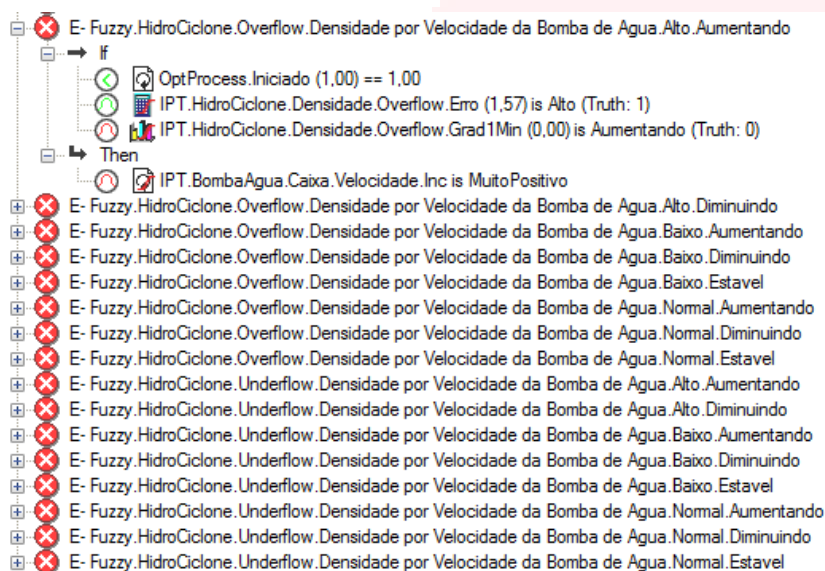


Figura 40 - Estratégia – Densidade por Velocidade da Bomba de Água (Hidrociclone Dinâmico).

**Fuzzy – Densidade por Velocidade da Bomba de Água:** A densidade da Polpa na caixa de polpa do OptDensity pode ser manipulada a partir da entrada de água do equipamento. A tabela 2, indica como o fuzzy atua na estratégia citada.

Erro/ Gradiente	Baixo	Normal	Alto
<b>Diminuindo</b>	Muito Negativo	Negativo	Nulo
<b>Estável</b>	Negativo	Nulo	Positivo
<b>Aumentando</b>	Nulo	Positivo	Muito Positivo

Tabela 2 - Fuzzy – Densidade por Velocidade da Bomba de Água (Caixa de Polpa).



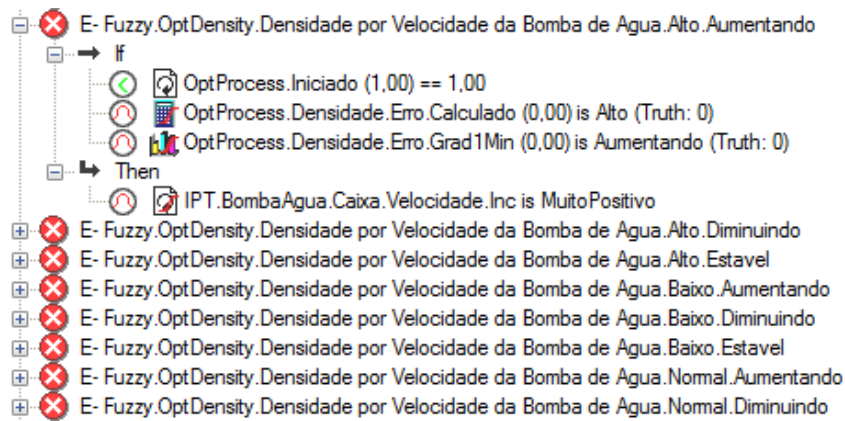


Figura 41 - Estratégia – Densidade por Velocidade da Bomba de Água (Caixa de Polpa).

**Fuzzy – Tempo Ligado da Bomba de Retorno:** A estabilidade do processo de funcionamento da Planta Piloto está ligado com o nível da caixa de polpa, um nível estável e com o processo em regime é possível garantir um bom funcionamento dos equipamentos. Com isso foi criada a estratégia demonstrada pela figura X, com o objetivo de manter o setpoint estabelecido, internamente, para o nível. A tabela 3, indica como o fuzzy atua na estratégia citada.

Erro/ Gradiente	Baixo	Normal	Alto
<b>Diminuindo</b>	Muito Negativo	Negativo	Nulo
<b>Estável</b>	Negativo	Nulo	Positivo
<b>Aumentando</b>	Nulo	Positivo	Muito Positivo

Tabela 3 - Fuzzy – Tempo Ligado para a bomba de retorno.

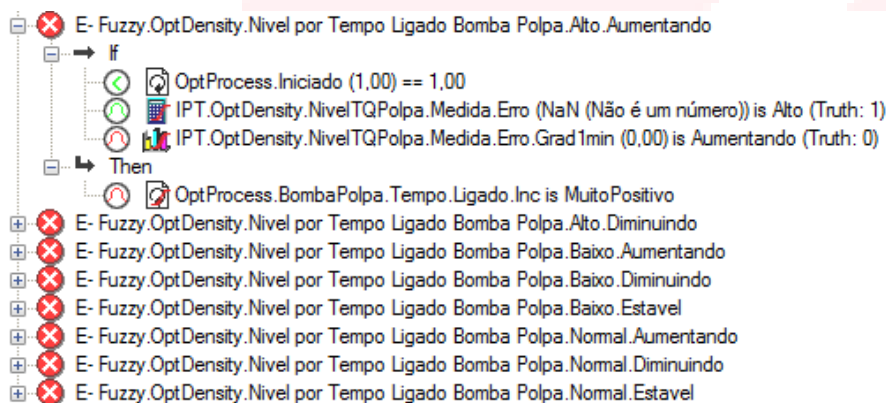


Figura 42 - Estratégia – Inicialização OptProcess.

## 8.2.6 Acionamento Automático

Como método definido para a operação da Planta Piloto foi desenvolvida estratégias para o acionamento em grupo ou em linha dos equipamentos. Dessa forma, foi atribuído ao acionamento do circuito com a ciclonagem a denominação de Linha 1 e ao acionamento do circuito com o espiral a denominação de linha 2. Essa estratégia tem

como objetivo um acionamento em ordem e tempo definidos para a operação em um conjunto determinado dos equipamentos.

**Acionamento Automático – Linha 1:** A Linha 1 de operação, ou seja, o acionamento em grupo do circuito com a classificação por ciclonação pode ser realizado a partir das estratégias demonstradas an figura 43. A estratégia conta com a verificação “Apto”, atribuindo um tempo de acionamento para cada equipamento. Dentro da estratégia ainda existe uma medição de densidade que será realizada conforma o funcionamento da Planta.

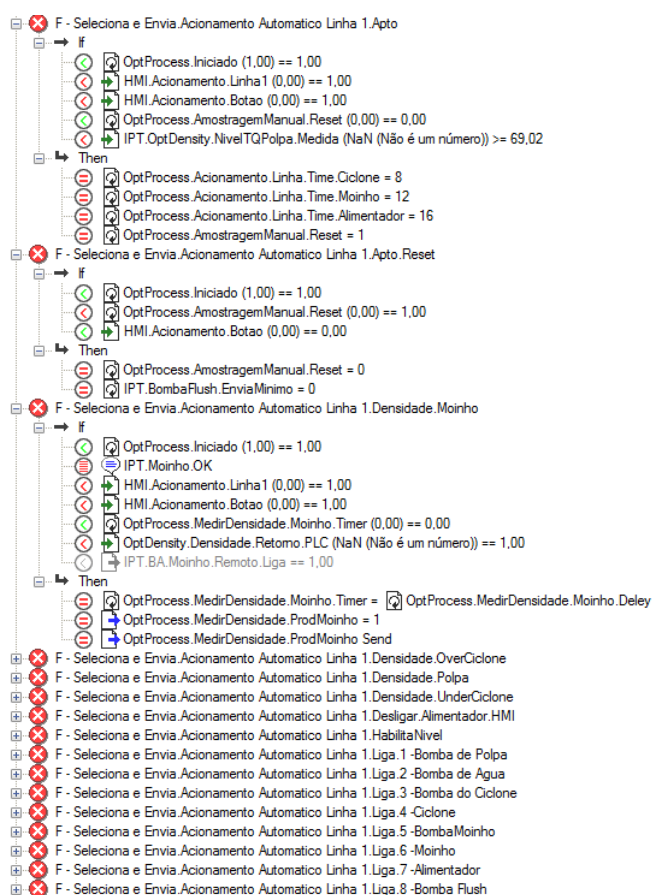


Figura 43 - Estratégia – Acionamento Automático (Linha 1).

**Acionamento Automático – Linha 2:** A Linha 2 de operação funciona basicamente como a Linha 1, a única diferença é o acionamento do classificador em espiral em vez do ciclone e a sua bomba. A figura 44 demonstra a estratégia de acionamento da Linha 2.



Figura 44 - Estratégia – Acionamento Automático (Linha 2).

### 8.2.7 Amostragem Manual

Uma das funções estabelecidas no supervisório é o comando para a coleta manual do operador para cada fluxo disponível da Planta Piloto. Com isso a figura 45 especifica a estratégia criada para o comando citado.

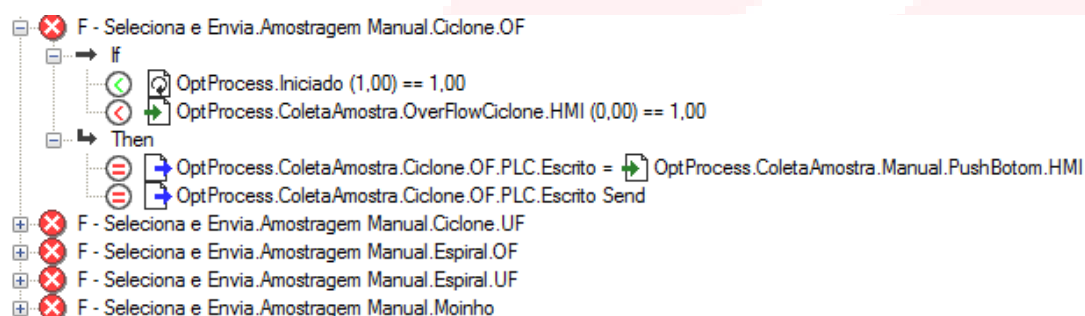


Figura 45 - Estratégia – Amostra Manual.

### 8.2.8 Envia Fuzzy

Como foi relatado sobre o Fuzzy anteriormente, existe uma estratégia que relaciona esse fuzzy com uma variável. Então, com essa relação criada é necessário enviar esse comando para o PLC, isso é realizado pela estratégia denominada “Seleciona e Envia Fuzzy” como demonstrado na figura 46.



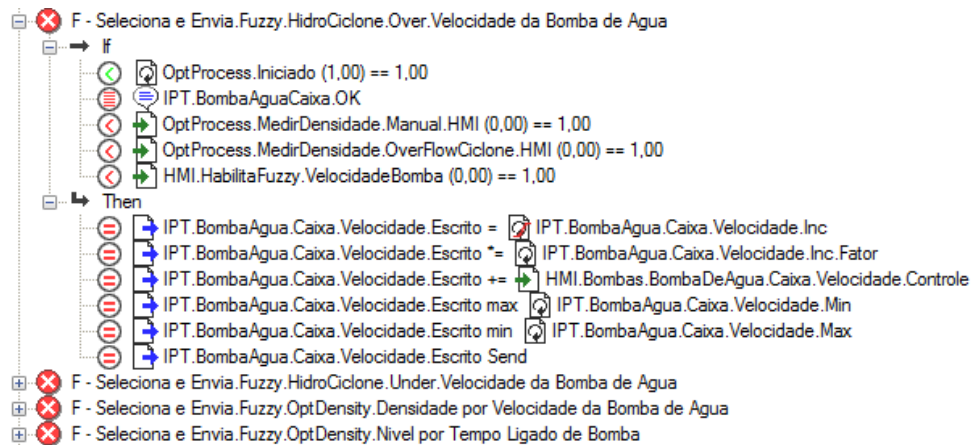


Figura 46 - Estratégia – Envia Fuzzy.

### 8.2.8 Medida de Densidade

Uma das funções que foi permitida ao sistema supervisório foi a de realizar e armazenar o valor de densidade para cada fluxo. Essa função pode ser realizada a partir da estratégia denominada de “Habilitado pelo Operador.Densidade” como demonstrado na figura 47.

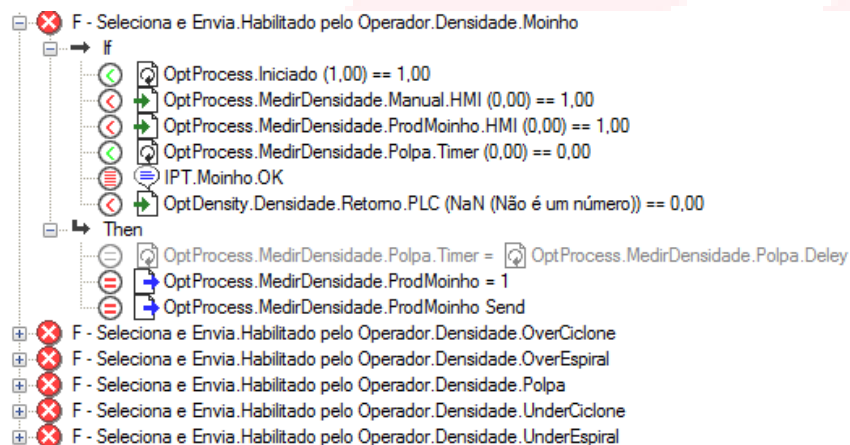


Figura 47 - Estratégia – Medição de densidade.

### 8.2.9 Ligar Equipamentos

Existe nas estratégias do supervisório regras para enviar comandos para ligar equipamentos. Estas regras estão descritas pela figura 48.

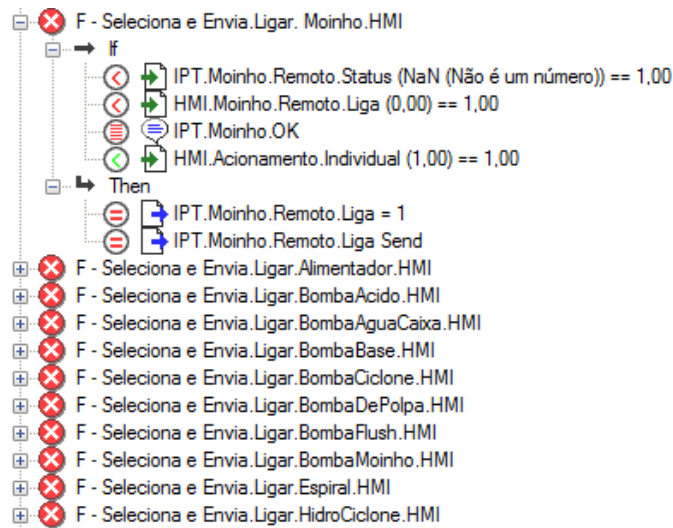


Figura 48 - Estratégia – Liga Equipamentos

### 8.2.10 Envia Velocidade

Outro comando que também pode ser enviado ao PLC é o comando de velocidade a respeito dos equipamentos com esse controle disponível. A figura 49 demonstra a estratégia desenvolvida para o envio deste comando.

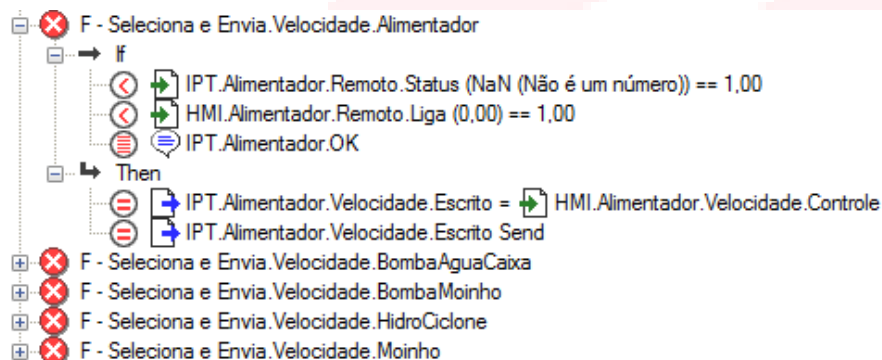


Figura 49 - Estratégia – Envia Velocidade

## 8.3 Gráficos

Uma das funções mais proveitosas que o software OptProcess disponibiliza é o **Trend Viewer**, que oferece uma interface de leitura de dados por meio de gráficos. Essa aba do sistema permite ao operador gerar uma série de gráficos a partir dos dados obtidos do processo e com isso possibilita a análise desses dados através da sua variação no tempo. Com essa análise torna-se possível tirar conclusões sobre o processo além de cruzar a variação dos valores para compreender a relação entre cada variável.

Na aplicação da Planta Piloto foram disponibilizados gráficos que refletem as leituras realizadas pelo OptDensity e OptVision. A figura 50 representa o gráfico que exibe os valores de densidade dos fluxos a partir da amostragem pelo OptDensity. Já a figura 51 representa o gráfico que exibe os valores de granulometria obtidos a partir do OptVision Rock.

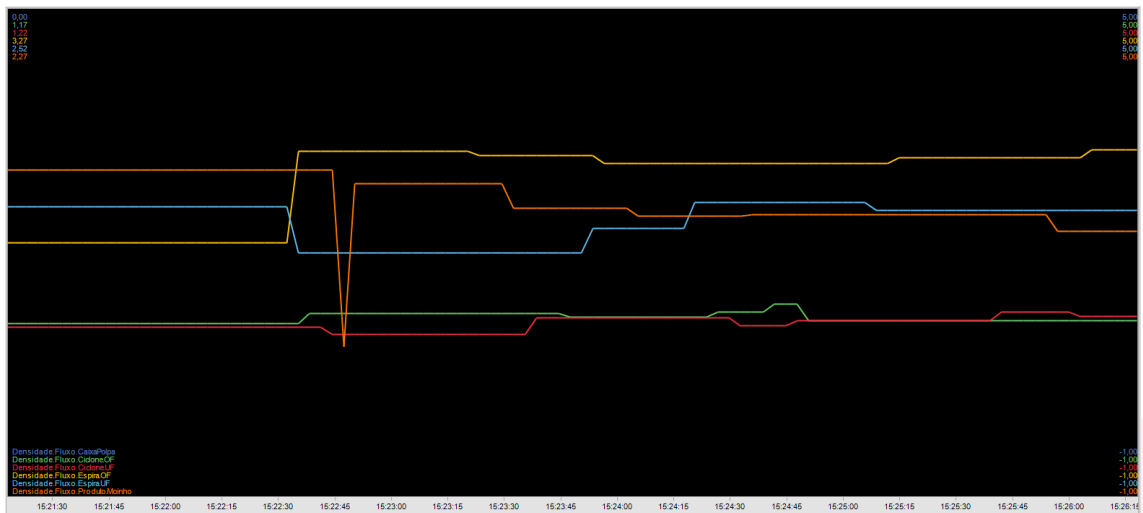


Figura 50 - Gráfico de Densidade dos Fluxos - OptProcess.

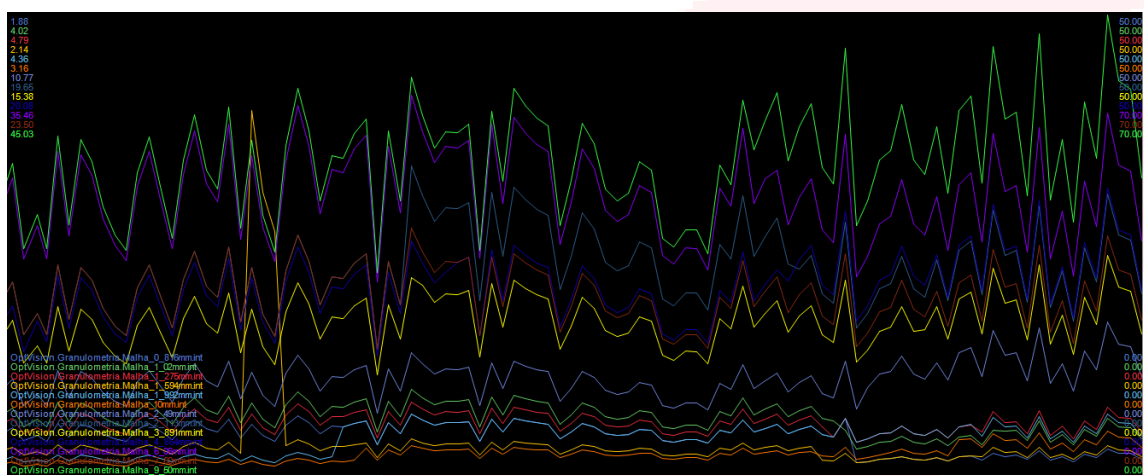


Figura 51 - Gráfico de Granulometria - OptProcess.

## 9. Suporte Técnico e contatos

**Internet** \_Para obter informações adicionais sobre os produtos e serviços do CEMI, visite o site da empresa em <http://www.optcemi.com>.

**Recursos Técnicos** Os clientes do CEMI - Otimização de Processos com licenças válidas e/ou contratos de manutenção de software podem utilizar o suporte técnico dos profissionais da empresa. O contato pode ser feito por e-mail ou telefone a ser fornecido.

**Cleyton Mendes**  
Engenheiro de Processos  
e-mail:  
cleyton@optcemi.com

**Valente Obara Godoy**  
Equipe de Processos  
e-mail:  
valente@cemi.eng.br

**CEMI Departamento de Engenharia**  
e-mail:  
e-mail: support@cemi.eng.br



