

**Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais**  
**Processamento de Minérios de Ferro**  
**Departamento de Engenharia de Minas**  
**Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais**

**MONOGRAFIA**

**Estratégias de Controle no Processamento de**  
**Minério de Ferro**

**Aluna: Júlia Maria de Carvalho Vale**

**Orientadora: Profa. Sônia Denise Ferreira Rocha**

**Agosto 2014**

V149e

Vale, Júlia Maria de Carvalho.

Estratégias de controle no processamento de minério de ferro  
[manuscrito] / Júlia Maria de Carvalho Vale. – 2014.  
45 f., enc.: il.

Orientadora: Sônia Denise Ferreira Rocha.

Monografia apresentada à Universidade Federal de Minas  
Gerais, como requisito parcial à obtenção do Título de Pós Graduação  
em Engenharia de Recursos Minerais.

Bibliografia: f. 44-45.

1. Minas e recursos minerais. 2. Minas e mineração - Custo  
operacional. I. Rocha, Sônia Denise Ferreira. II. Universidade Federal de  
Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 622

## DEDICATÓRIA

*A minha mãe,  
pela presença constante e dedicação.*

## **AGRADECIMENTOS**

- À professora Sônia Denise Ferreira Rocha, pela orientação e incentivo que tornou possível a conclusão desta monografia.

- À engenheira e colega Marcela Magalhães, pelo apoio e colaboração dos meus conhecimentos e conceitos que contribuíram na elaboração deste trabalho. Agradeço, ainda, a paciência e credibilidade depositadas em mim ao longo da minha carreira profissional.

- Ao coordenador do curso Prof. Paulo Roberto de Magalhães Viana por esclarecer minhas dúvidas.

- Por fim, agradeço aos colegas da especialização, Matheus Conrado, Samuel Pimenta, Everaldo Marques e Hidelgado Lopes, pela troca de conhecimentos.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	9
2	OBJETIVO E RELEVÂNCIA .....	11
3	ESTRATÉGIAS DE CONTROLE NO PROCESSAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO .....	12
3.1.	Otimização do processo: estratégias de controle.....	15
3.2.	Sistemas de instrumentação .....	16
3.3.	Sistemas de controle .....	22
3.4.	Sistemas de supervisão .....	27
3.5.	Sistemas de otimização .....	28
3.6.	Procedimentos para o desenvolvimento de um projeto de automação .....	36
3.7.	Automação nos anos 2000 .....	37
3.8.	Erros comuns em um projeto de automação .....	40
4	CONCLUSÃO .....	42
5	PERSPECTIVAS PARA CONTINUAÇÃO DO TRABALHO .....	43
6	REFERÊNCIAS.....	44

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Fluxograma geral de um beneficiamento de minério de ferro. ....	14
Figura 3.2 - Pirâmide de sistema de automação. ....	16
Figura 3.3 - Identificação do instrumento. ....	19
Figura 3.4 - Instrumentação em um chute. ....	20
Figura 3.5 - Chave de emergência. ....	21
Figura 3.6 - Diagrama em blocos: malha de controle. ....	23
Figura 3.7 - Nível controla a abertura da válvula. ....	24
Figura 3.8 - Controle do sistema de alimentação no britador. ....	25
Figura 3.9 - Instrumentação para água de selagem. ....	26
Figura 3.10 - Sistema de supervisão. ....	27
Figura 3.11 - Aumentar a adição de hidróxido de sódio – modelamento <i>fussy</i> . ....	30
Figura 3.12 - Controle em cascata de um trocador de calor. ....	33
Figura 3.13 - Exemplo de um processo com controle em razão. ....	34
Figura 3.14 - Controle seletivo. ....	35
Figura 3.15 - Hierarquia na automação industrial. ....	38

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela I - Símbolos de linhas para instrumento ou função programada.....	17
Tabela II - Símbolos gerais para instrumentos ou função programada .....	18
Tabela III - Letras de identificação de instrumentos ou função programada.....	19
Tabela IV - Controle de densidade da polpa na caixa de moagem.....	31

## **RESUMO**

O Beneficiamento de Minério de Ferro é caracterizado por um ciclo de produção longo, com processo integrado em série e contínuo, desde a mina até a distribuição. Dentro deste contexto, visto que o processo é determinante na recuperação máxima do mineral-minério e no retorno do investimento que pode ser alcançado em uma planta, são apresentadas estratégias de controle, visando a automação e otimização voltadas a um processo típico de beneficiamento.

As análises foram realizadas de acordo com os quatro níveis da pirâmide de sistema de automação: sistemas de otimização, sistemas de supervisão, sistemas de controle e sistemas de instrumentação. A importância de cada uma dessas camadas e a relação entre elas na automação industrial, visando à segurança do operador e a redução dos possíveis impactos ambientais, também é salientada.

Concluiu-se que é essencial uma boa elaboração do projeto básico e detalhado de automação para maximizar o lucro do empreendimento, diminuir seu custo e agregar melhorias à qualidade do produto e no exercício da operação. O bom trabalho do engenheiro projetista nas fases iniciais do projeto resulta na diminuição de problemas nas fases de implantação e manutenção de uma planta.

*Palavras-chave: Mineração. Custo operacional. Estratégias de Controle. Instrumentação. Controle avançado. Sistemas de supervisão.*



## **ABSTRACT**

The Iron Ore Processing is characterized by a long production cycle in integrated continuous process that goes from the mine to the final distribution. Within this context, and since the process is determining the total recovery of the ore as well as the investment return that can be achieved on a plant, this work presents control strategies in order to automate the production and its optimization directed to a typical benefit process.

The analyses were performed according to the four levels of the automation pyramid system: optimization systems, supervision systems, control systems and instrumentation systems. In addition, not only was it explained the importance of each of these layers, but also it was considered the relationship between them in the industrial automation, always aiming at the operator safety and the potential environmental impact reduction.

It was concluded that a good development of the basic and the detailed automation project to maximize the profit of the enterprise is necessary in order to reduce its cost and to add quality improvements to the product and in the course of operation. The good work of the design engineer in the early stages of the project results in the reduction of problems of a plant's deployment and maintenance.

*Keywords: Mining. Operating cost. Control Strategies. Instrumentation. Advanced Control. Supervision Systems.*

## 1 INTRODUÇÃO

Um projeto, como por exemplo, de beneficiamento de minério de ferro, compreende grande volume de capital e alta taxa de risco. É aconselhável que a evolução deste se faça norteadada por uma série de decisões baseadas em um conjunto de dados levantados ou assumidos durante as diversas fases de desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa.

O empreendimento inicia pelo surgimento de uma necessidade (criação da planta de minério de ferro, por exemplo). A partir daí, deve ser feito o planejamento para organizar as ideias iniciais do projeto. Após a etapa de planejamento, são feitas análises de viabilidade técnica, econômica e financeira, dando-se início às possíveis negociações e intensificando os serviços de engenharia no aspecto básico e detalhado.

A engenharia básica especifica, informa e descreve com clareza, precisão e concisão o conjunto da obra e de cada uma de suas partes. A engenharia detalhada, por sua vez, revisa detalhadamente o projeto básico o suficiente para permitir a montagem e execução do empreendimento.

Por fim, o projeto é implementado, ocorrendo ainda o comissionamento, onde se verifica a execução da montagem e finalmente o *start-up*, que possibilita a entrega da planta em operação normal.

A Automação é peça chave no ramo da mineração e deve ser analisada em todas as etapas do projeto. A criação de um projeto de Automação visa diminuir o custo de um produto melhorando a qualidade do mesmo. Através das estratégias de controle, o projeto é implementado de forma segura e eficiente, minimizando os impactos com o meio ambiente e atendendo os requisitos no que se refere à otimização.

Segundo a **NRM-18 – Beneficiamento**, Norma Reguladora de Mineração, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (2002) todo projeto de beneficiamento de minérios deve:

- Otimizar o processo para obter o máximo aproveitamento do minério e dos insumos, observadas as condições de economicidade e de mercado;
- Desenvolver a atividade com a observância dos aspectos de segurança, saúde ocupacional e proteção ao meio ambiente.

Logo, o presente trabalho destacará as áreas de automação e instrumentação, as quais são responsáveis pelas estratégias de controle que são essenciais para a automatização e a otimização do processamento de minérios de ferro, sempre visando a diminuição do custo operacional da planta, a segurança do operador e a redução dos impactos ambientais.

## **2 OBJETIVO E RELEVÂNCIA**

Devido à situação econômica atual, os desafios das plantas de processo são maiores do que nunca. Sua produção precisa estar com a máxima eficiência, não influenciando na qualidade do produto, que é fundamental.

Busca-se aumentar cada vez mais o lucro do empreendimento, diminuindo os custos com energia e substâncias químicas adicionadas ao processo, visando ainda, manter as especificações físicas e químicas do produto, com o menor custo operacional, adotando estratégias de controle para maximizar o nível de produção.

Desta forma o trabalho objetiva apresentar estratégias de controle, visando à automação e a otimização do processo de beneficiamento de minério de ferro, através da pirâmide de automação.

### 3 ESTRATÉGIAS DE CONTROLE NO PROCESSAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO

*“Todo controle começa com a medição e a qualidade do controle não será maior que a da Medição”. Connvell, 1998*

São inúmeras as utilizações de ferro e do aço no nosso dia a dia tais como: parafusos, chapas e arames a grandes construções, automóveis e eletrodomésticos. Estes materiais provém do processamento de minérios de ferro, constituídos por minerais portadores de ferro, tais como hematita, magnetita. Porém, os minérios quase nunca se apresentam na natureza na forma em que serão consumidos pela indústria, quer seja por sua granulometria (tamanhos), ou pela associação de minerais não úteis, que não têm interesse ou são indesejáveis para o processo industrial a que se destinam. É exatamente para a adequação dos minerais que os processos industriais utilizam o beneficiamento dos minérios. Para tal, necessita-se de engenheiros de processo que serão responsáveis por todo o beneficiamento de minério.

De uma forma simplificada, conceitua-se mineral, segundo VALADÃO (2011), como uma substância natural, de origem inorgânica, que tem composição química definida e propriedades físicas características. Na prática a definição é normalmente estendida, incluindo substâncias de origem orgânica (carvão mineral e petróleo, por exemplo), as séries isomórficas (albita/ anortita, por exemplo) e o polimorfismo (grafita e diamante, por exemplo). Sendo o minério o agregado mineral constituído de mineral-minério (útil) e ganga (não útil) do qual podem ser extraídos economicamente uma ou mais substâncias.

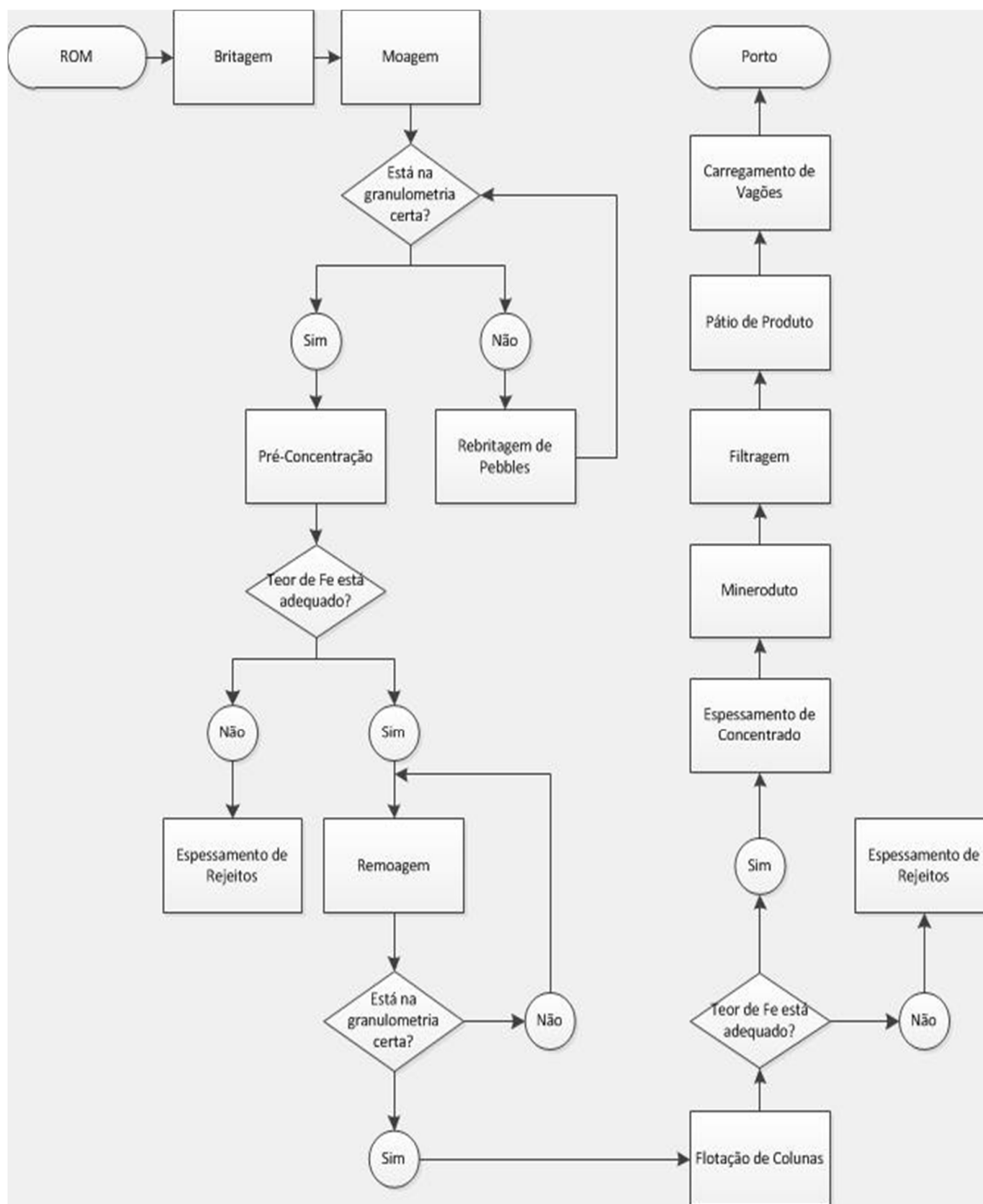
Depois de retirado do solo e beneficiado, o concentrado de minerais de ferro é comercializado para as indústrias siderúrgicas, e que associado a outras substâncias e após reações químicas se transforma em aço e outras ligas.

As atividades do Engenheiro de Processamento Mineral incluem apresentar alternativas e equipamentos para as seguintes etapas do tratamento de minérios (CHAVES, 2002):

- Redução do tamanho das partículas;

- Separação das partículas em classes de tamanhos;
- Elevação dos teores de elementos úteis (concentração);
- Eliminação de elementos indesejáveis;
- Eliminação de propriedades indesejáveis;
- Manuseio do minério entre as operações sucessivas;
- Separação sólido-líquido.

**O Beneficiamento de minérios, ou tratamento de minérios, ou Processamento de Minérios (termo mais utilizado atualmente no mundo)** visa preparar granulometricamente, concentrar ou purificar minérios por métodos físicos, físico-químicos sem a alteração da constituição química dos minerais com o objetivo de se obter sua adequação, ou seja, produtos comercializáveis. A figura 3.1 exemplifica, através de um fluxograma geral de uma planta típica, o beneficiamento do minério de ferro.



**Figura 3.1 - Fluxograma geral de um beneficiamento de minério de ferro.**

**Fonte: Vale, 2012**

### 3.1. Otimização do processo: estratégias de controle

O controle e otimização do processo na mineração emergiram-se a partir da década de 60, onde começaram a perceber e dedicar investimentos em tecnologias para melhorar o rendimento do processo em alguns elementos como: medição, hardware, estratégias de controle, manutenção e desenvolvimento.

Na década de 70 houve uma grande dificuldade para a aceitação dos operadores do controle automático do processo. Com o advento do CLP (controlador lógico programável), os padrões de algumas plantas foram concretizados, possibilitando automatizar toda a escala industrial na mineração (NUNES, 2010).

Atualmente, existem diversas tecnologias que podem ser utilizadas para automatizar o processamento de minério de ferro, como a capacidade de processamento de computadores pessoais, o controle avançado, as tecnologias de barramentos de comunicação digitais, a disponibilidade de banco de dados, a monitoração em tempo real dos “status” dos equipamentos e das variáveis de processo, o histórico via internet, além do intertravamento de segurança, etc.

Para o bom funcionamento do controle em um projeto de mineração, devem-se propiciar recursos para operação e supervisão, que combinados e adequados à condição operacional da planta, podem proporcionar um ganho significativo de produção e, sempre que possível, proporcionar um número reduzido de interferências do operador. Estes fatores envolvem uma instrumentação combinada com uma estratégia de controle, seja ela através de um controle básico ou através de um controle avançado, permitindo assim a otimização do processo.

Existem diversos controles em uma planta de minério de ferro como:

- Britagem: como no processo de britagem apresentam ampla distribuição granulométrica, o controle na área é escasso. Porém, possui controles assim como na rebritagem de *pebbles*, como: malhas de potência, malhas de vazão mássica, malhas de nível, controle avançado em monitoramento de consumo energético;



- Moagem: granulometria, malhas de densidade, pressão nos hidrociclones, adição de água, abertura e fechamento do hidrociclone, vazão de reagentes, água e ar;
- Flotação: teor de ferro, velocidade de transbordo da coluna de flotação, malhas de nível, dosagem de reagentes, dosagem de espumante.

A implementação do controle no processo pode ser vista em diferentes camadas da pirâmide de automação, por isso é importante entendê-la. A figura 3.2 ilustra a Pirâmide de Sistema de Automação com as respectivas camadas.



**Figura 3.2 - Pirâmide de sistema de automação.**

**Fonte: adaptado de Queiroz, 2011**

### **3.2. Sistemas de instrumentação**

A instrumentação é utilizada para monitorar cada etapa do processo, sendo composta por:

- Sensores: instrumentos que realizam as medidas do processo com base em fenômenos físicos;
- Transdutores: instrumentos que traduzem as medidas feitas pelos sensores em sinais elétricos ou conjuntos de bits para que possam ser transmitidas aos dispositivos de controle;
- Atuadores: agem sobre o processo sob o comando dos controladores.

É a camada mais importante, pois constitui uma área de interface crítica entre o processo e os outros sistemas, ou seja, o bom desempenho das demais camadas é totalmente dependente da qualidade dos dados fornecidos pela instrumentação.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresenta e sugere o uso de símbolos gráficos para representação dos diversos instrumentos e suas funções ocupadas nas malhas de instrumentação. No entanto, como é de livre escolha das empresas a norma a ser seguida na elaboração dos seus diversos documentos de projeto de instrumentação, outras opções podem também ser utilizadas.

Uma das normas mais utilizadas em projetos industriais no Brasil é a estabelecida pela ISA (*International Society of Automation*) devido à sua abrangência e atualização. As tabelas I, II e III são exemplos de simbologias utilizadas nos fluxogramas de engenharia, seguindo a norma ISA. A figura 3.3 exemplifica a identificação de instrumento quanto sua classificação funcional. Exemplos dessa simbologia são os instrumentos: SI – indicador de velocidade e LAH – alarme de nível alto.

**Tabela I - Símbolos de linhas para instrumento ou função programada**

**Fonte: adaptado de Rosa, 2010**



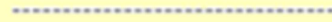

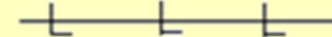

















Alimentação do instrumento, ligação mecânica, ou conexão ao processo	
Sinal pneumático ou outro gás	
Sinal elétrico	
Tubo capilar	
Sinal Hidráulico	
Sinal eletromagnético, sônico, IR, etc. (sem fios)	

Tabela II - Símbolos gerais para instrumentos ou função programada

Fonte: adaptado de ROSA, 2010

	Montado no campo	Montado no painel principal de controle	Montado atrás do painel principal de controle	Montado em painel local ou do equipamento
Instrumento Discreto  Diâmetro = 12 mm				
Display compartilhado (Panel view)				
Função executada no computador				
PLC	 Interface CLP/ Campo/CLP	 Interface CLP/Supervisor/CLP	 Interface Interna (lógica)	 Interface CLP/Panel View/CLP

**Tabela III - Letras de identificação de instrumentos ou função programada**

Fonte: adaptado de Rosa, 2010

<p><b>Primeiras Letras (mais usadas):</b></p> <p>A      Analisador F      Flow / Vazão L      Level / Nível P      Pressure T      Temperature</p> <p><b>Principais modificadores:</b></p> <p>D      Diferença entre duas tomadas S      Segurança</p>	<p><b>Segundo Grupo de Letras (mais usadas):</b></p> <p>A      Alarme C      Controle I      Indicador R      Registrador Y      Qualquer cálculo ou manipulação numérica T      Transmissor V      Válvula</p> <p><b>Principais modificadores:</b></p> <p>H      High / Alta L      Low / Baixa (H e L são utilizados com a letra A para indicar alarme de alta e baixa).</p>
--	--

T	RC	2	A
1ª letra	Letras sucessivas	Nº da cadeia	Sufixo (normalmente não é utilizado)
Identificação Funcional		Identificação da Cadeia	

**Figura 3.3 - Identificação do instrumento.**

Fonte: adaptado de Rosa, 2010

No processo de mineração é indispensável controlar e manter constantes as variáveis, tais como: granulometria, densidade, pressão, adição de água, abertura/ fechamento dos equipamentos (por exemplo, o ciclone), teor de enxofre, velocidade de transbordo, nível, vazão, temperatura, umidade, % de sólidos, entre outras. Para tal, utilizam-se os instrumentos de medição.

Um grande avanço relacionado à instrumentação foi o advento de alguns protocolos de comunicação digitais, como o *Foundation Fieldbus* e o *Profibus*. Esses protocolos permitem uma instrumentação inteligente, tanto de sensores, quanto de atuadores, que comunicam com

o sistema de controle, possibilitando funcionalidades como diagnóstico, configuração, falhas e indicação da medição remotamente, uma vez que o instrumento estiver inserido e pré-configurado na rede de campo. Além disso, estes dispositivos podem ter diversos recursos como controles PID's (controlador proporcional, integral e derivativo) internos, amostragem e filtros de sinais, etc.

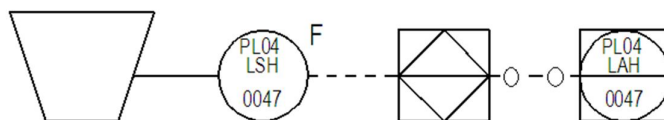
A instrumentação inteligente permite uma redução significativa em custos de engenharia, configuração, instalação e comissionamento, além de possibilitar manutenção preventiva eficaz através de gerenciamento de ativos e configuração remota (NUNES, 2010).

É importante ressaltar que para a instrumentação funcionar bem é preciso uma combinação com outros equipamentos do campo - os quais devem ser criteriosamente escolhidos durante a fase de projeto - como o tipo do controlador utilizado, os tipos de protocolos de comunicação que o controlador suporta, o condicionamento de sinais, os tipos de entradas/ saídas E/S e as possibilidades de expansão (NUNES, 2010). Seguem alguns casos para exemplificar estas correlações:

a) Sistema de controle em um chute:

Para a indicação de entupimento do chute, ou seja, para o seu mal funcionamento, é utilizada uma chave de nível alto, LSH, (instrumento discreto montado no campo) que envia sinal elétrico ao CLP.

Por sinal de rede (4 a 20 mA), também chamado de sinal de software, o CLP comunica com o sistema supervisor, o qual envia a mensagem de alarme de nível alto, LAH. A Figura 3.4 exemplifica este sistema de controle.

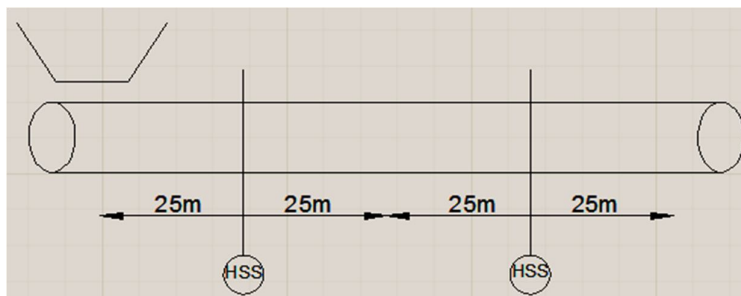


**Figura 3.4 - Instrumentação em um chute.**

Ainda não existe sistema automático para o desentupimento de um chute, apenas a indicação que houve o entupimento.

b) Chave de emergência em uma correia transportadora:

Nas correias transportadoras, a cada 50 metros, deve ser instalada uma chave de emergência (HSS) dupla, como apresentado na figura 3.5. Se for utilizar uma HSS simples, a mesma deve ser instalada a cada 25 metros.



**Figura 3.5 - Chave de emergência.**

c) Análise por imagem e on-line na flotação de colunas:

Segundo NUNES (2010), uma tecnologia desenvolvida recentemente e que vem sendo bastante utilizada na instrumentação é a utilização de análise de imagens na medição online de propriedades da espuma de flotação. Geralmente, o sistema consiste primariamente de câmeras e iluminação a led (*Light Emitting Diode*) instaladas acima nas células de flotação, remotamente conectadas a um ou mais computadores, que analisam as imagens provenientes das câmeras de forma on-line através de um software dedicado. Para esta aplicação, é necessária a montagem das câmeras e da iluminação diretamente sobre a célula de flotação, dentro da borda da mesma. Benefícios consideráveis são alcançados quando estas medições por imagem são usadas diretamente por uma estratégia de controle avançado. Normalmente, existem ganhos consideráveis em recuperação e / ou teor, permitindo períodos curtos para o *pay-back* do investimento.

Outro exemplo de sistema seria o analisador *Courier*, que é um sistema analisador de alta performance projetado para medições on-line precisas e confiáveis de elementos químicos

concentrados nas polpas em vários pontos de amostragem como, por exemplo, nas flotações *rougher*, *cleaner*, *scavenger* e em pontos de rejeito. Com esta análise, facilita-se a alimentação de sistemas dedicados na flotação para um rápido monitoramento do processo, controle e gerenciamento das outras operações da planta.

### **3.3. Sistemas de controle**

O controle automático representa um papel vital no avanço do beneficiamento de minério. É essencial, por exemplo, para controle de pressão, temperatura, umidade, viscosidade e fluxo nesse processo.

Ele é composto por CLP e por “dispositivos inteligentes”.

Suas funções básicas são:

- Comando remoto e local dos equipamentos e de grupo de equipamentos;
- Execução de lógica de intertravamento e de segurança;
- Monitoração e visualização das variáveis analógicas e de estado envolvidas no processo;
- Geração de alarmes;
- Armazenamento e transferência das informações para o Sistema de Supervisão e Controle Central.

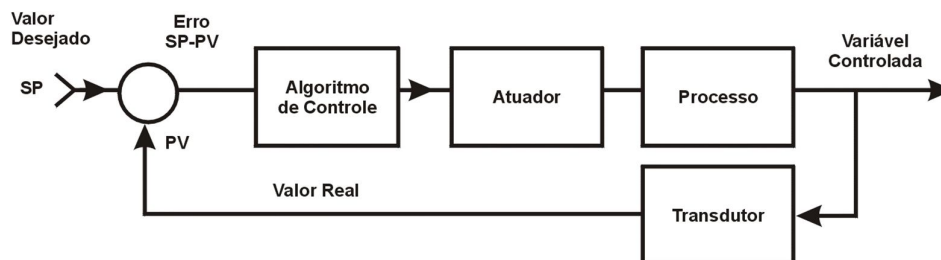
Pode-se implementar as estratégias de controle básico nesta camada.

#### **3.3.1 Estratégias de controle básico:**

O processo industrial possui um ponto ideal de operação. Essa condição operacional é definida por uma variável de processo (PV) expressa em uma grandeza física, como uma densidade de polpa, o nível de um tanque ou a temperatura de um forno.

Para a manutenção de uma condição de processo através de estratégias de controle básico, deve-se manter a variável de processo (PV) igual ao *setpoint* (SP – ponto ideal de operação),

para isso, manipula-se a variável de controlada (CO). A figura 3.6 é um diagrama em blocos da malha de controle e exemplifica uma estratégia de controle.



**Figura 3.6 - Diagrama em blocos: malha de controle**

**Fonte: adaptado de Santos, 2012**

O controlador lê o valor da variável de um processo através da medição feita por um instrumento em campo (1ª Camada) e o compara com valor desejado, enviando então um sinal para o dispositivo de controle (2ª Camada), que irá atuar no processo corrigindo caso haja algum desvio, visando aumentar a precisão do sistema e eliminar distúrbios.

Seguem exemplos de estratégias de controle básicos:

a) Flotação de Colunas (NUNES, 2010):

Para otimizar a produção é preciso que a operação ocorra de forma automática, através de um bom controle de processo. As variáveis mais importantes envolvidas são:

- Composição mineralógica do minério;
- Propriedades da polpa (densidade, minerais);
- Taxa de alimentação da polpa;
- pH;
- Reagentes químicos e taxa de dosagem dos mesmos (espumantes, coletores, depressores, ativadores, etc.);
- Nível da polpa;
- Taxa de aeração da célula;

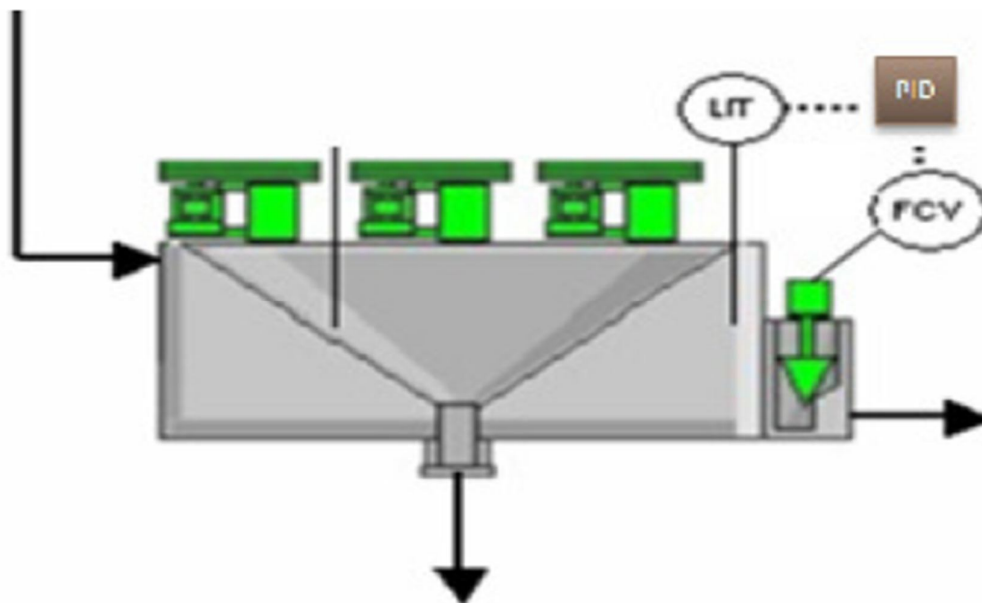


- Propriedades da flotação (velocidade, tamanho da bolha, distribuição, estabilidade);
- Propriedades das partículas (distribuição de tamanho, grau de liberação);
- Concentração do mineral na alimentação, concentrados e rejeitos, etc.

Apesar da existência de procedimentos operacionais, geralmente não há padronização na tomada de decisão. Distúrbios na recuperação mássica e metálica do processo podem ser compensados pela mudança dos *set-points* de algumas variáveis, com objetivo de se manter os teores de determinadas espécies no concentrado e rejeito nas metas pré-estabelecidas.

b) Nível de polpa na coluna de flotação (NUNES 2010):

A partir de sensores de nível ultrassônicos (LIT – transmissor e indicador de nível), é possível medir o nível de espuma e de polpa dentro das células de flotação. Assim, atua-se em um mecanismo de controle de nível na caixa de descarga da célula como, por exemplo, através da utilização de válvulas dardo com acionamento pneumático (FCV – válvula de controle de vazão), ou seja, variando a posição vertical da válvula dardo é possível alterar o nível da polpa. A figura 3.7 exemplifica este controle.



**Figura 3.7 - Nível controla a abertura da válvula.**

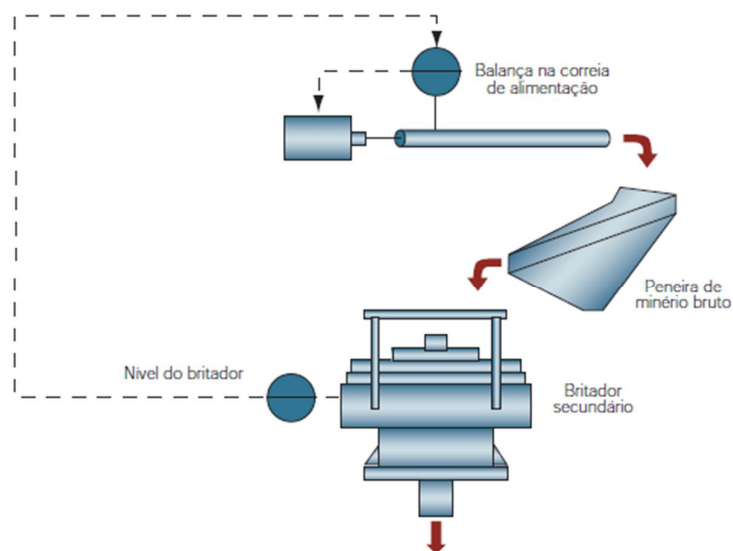
**Fonte: Rosa, 2010**

c) Velocidade do motor de um alimentador de correia

O sistema de controle da velocidade do motor utilizado na alimentação de um britador possui 2 intertravamentos:

-1º Intertravamento: atua-se na velocidade do alimentador de correia quando o nível do britador atinge sua capacidade alta (exemplo: 70%).

-2º Intertravamento: desliga o motor do alimentador de correia quando o nível atinge sua capacidade muito alta (exemplo: 95%), em uma atuação mais drástica que a primeira, interrompendo-se a operação do sistema de britagem a partir deste ponto. A figura 3.8 esquematiza este tipo de controle.

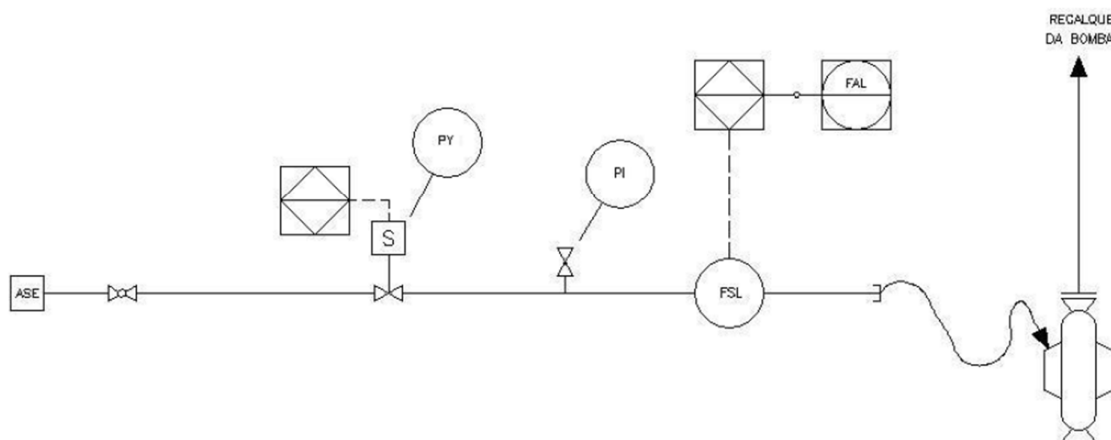


**Figura 3.8 - Controle do sistema de alimentação no britador.**

**Fonte: ANDRITZ Automation, 2014**

d) Água de selagem: instrumentação convencional

A figura 3.9 exemplifica a instrumentação convencional para água de selagem, amplamente utilizada nas plantas industriais, segundo PINHEIRO (2014).



**Figura 3.9 - Instrumentação para água de selagem.**

**Fonte: Pinheiro, 2014**

Esta instrumentação serve apenas para exemplificar uma estratégia de controle básica. Não é discutida no trabalho a eficácia deste método para água de selagem. Uma abordagem detalhada pode ser encontrada na literatura (PINHEIRO, 2014).

Os instrumentos utilizados são: um manômetro (PI – indicação de pressão), uma chave de vazão (FSL – chave de vazão baixa) e uma válvula solenoide (PY). O manômetro tem a função de indicação local da pressão na linha de selagem da bomba. A chave de vazão detecta a presença de fluxo na linha e envia um sinal para o CLP. Caso este fluxo caia abaixo de um limite pré-estabelecido (dado do fabricante), a chave de vazão enviará para o CLP um sinal de detecção de fluxo baixo e será gerado um alarme (FAL – alarme de vazão baixo) no sistema de controle, o qual desligará a bomba de polpa.

A válvula solenoide (PY) tem a função de permitir a abertura e fechamento do fluxo de água de selagem para a bomba. Quando a bomba está parada, a válvula permanece fechada, quando a bomba vai entrar em funcionamento, o CLP envia um sinal para a válvula abrir. Após a abertura da válvula, a bomba entra em funcionamento. A bomba entrará em funcionamento somente se a válvula estiver aberta e se a chave de vazão indicar uma vazão na linha acima de um limite pré-estabelecido (dado dos fabricantes). Para o sistema de controle convencional,

nota-se que o CLP controla apenas se a vazão está acima do limite mínimo de funcionamento, ou seja, caso a vazão seja muito maior do que o valor mínimo, não será possível mensurar o volume de água utilizada na selagem da bomba.

Com relação à pressão, este arranjo não permite nenhuma monitoração e controle, pois o manômetro indica apenas a pressão local na linha, sem nenhuma comunicação com o CLP. Desta forma, se a pressão estiver acima ou abaixo do valor solicitado pelo fabricante da bomba, não será possível mensurar e nem controlar.

### 3.4. Sistemas de supervisão

Os sistemas de supervisão, segundo QUEIROZ (2011) são responsáveis por desempenhar a interface gráfica entre usuário e processo. Essa interface pode ser bastante simples como uma botoeira, um pouco mais elaborada como as IHM's (Interface Homem e Máquina – possuem informações gráficas, textuais e auditivas apresentadas ao usuário) ou complexa como os sistemas de supervisão como mostra a figura 3.10.



**Figura 3.10 - Sistema de supervisão.**

**Fonte: ANDRITZ Automation, 2014**

Apesar da 3<sup>o</sup> camada permitir a implementação de aplicativos de controle, esta não é uma ação indicada devido à sua menor confiabilidade e disponibilidade quando comparada às camadas de controle e instrumentação.

### 3.5. Sistemas de otimização

O conceito de otimização está relacionado à melhoria de índices de uma planta industrial, a partir da modernização dos recursos instalados, adoção de estratégias de controle avançado e de mudanças de caráter operacional. A utilização das técnicas de otimização tem se mostrado uma alternativa muito interessante para ultrapassar os limites usualmente alcançados somente com a automação dos processos (QUEIROZ, 2011).

Os sistemas de otimização podem utilizar diversas tecnologias, como:

- Modelagem matemática;
- Inteligência Artificial;
- Controle Avançado.

Enquanto as estratégias de controle básicas atuam no sistema para controlar variáveis como pressões, vazões e temperatura, os sistemas de otimização atuam em variáveis globais do processo, como recuperação, teor do concentrado, quantidade de ferro no rejeito, taxa de produção e custo de produção.

#### 3.5.1 Inteligência artificial (Sistema de controle especialista)

As técnicas de Inteligência Artificial podem ser utilizadas como alternativa ou mesmo apoio aos sistemas de automação, em procedimentos de diagnóstico, tomada de decisão e estimação de variáveis (QUEIROZ, 2011).

A base de um sistema de otimização que utiliza Inteligência Artificial pode ser um Sistema Especialista (*Expert System*), sobre o qual podem ser inseridos módulos de Lógica Nebulosa (*FussyLogic*) e Redes Neurais Artificiais (*Artificial Neural Networks*). Nesta configuração, o Sistema Especialista contemplará as regras operacionais e as estratégias de otimização e utilizará as variáveis recebidas do processo para desempenhar suas tarefas. O bom desempenho do Sistema Especialista depende do bom desempenho da instrumentação do processo, ou seja, as variáveis devem ser precisas. Como a qualidade dos dados do processo

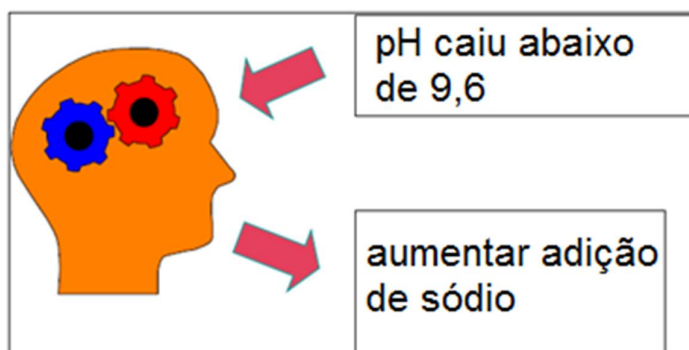
não pode ser amplamente garantida, pode haver a necessidade de tratar as variáveis imprecisas utilizando a Lógica Nebulosa. Outro problema ainda pode ocorrer: a ausência de variáveis importantes para a otimização. Neste último caso, podem ser utilizadas Redes Neurais para estimá-las (QUEIROZ, 2011).

Devem ser avaliados criteriosamente alguns itens durante a escolha de um sistema especialista (NUNES, 2010):

- Plataforma de *software* a ser utilizada;
- Características intrínsecas e necessidades do processo a ser controlado;
- Tipo de interface com sistema de controle;
- Treinamento e manutenção do sistema;
- Instrumentação adicional necessária;
- Custo e retorno do sistema a ser implantado;
- Suporte do fornecedor;
- Possibilidade de interface e expansão com outras áreas da usina;
- Interface amigável do sistema para operadores, técnicos e engenheiros;
- Aplicações existentes em outras usinas, assim como seus ganhos, etc.

### **3.5.1.1 Lógica nebulosa (lógica *fuzzy*)**

A lógica *fuzzy* trabalha com conhecimento incerto e impreciso. Ela abrange todo o pensamento humano e se divide em diversas direções como a lógica pura, a lógica de valores e a lógica matemática. O modelamento *fuzzy* tem como vantagens a simplicidade dos modelos usados quando comparados aos modelos matemáticos, pois utiliza um conjunto de regras simples como “se a velocidade da espuma estiver baixa, adicionar mais reagente” ou “se nível baixo da célula, aumentar taxa de alimentação”. A figura 3.11 exemplifica esse conjunto de regras. É importante lembrar que é preciso criar estas regras previamente baseadas em conhecimentos de engenheiros de processo, condições operacionais e até mesmo histórico das variáveis do processo quando atingiu-se uma produção elevada em determinado dia (NUNES, 2010).



**Figura 3.11 - Aumentar a adição de hidróxido de sódio – modelamento *fussy*.**

**Fonte: Adaptado de Luz, 2004**

Nesse sistema de controle ocorre a adaptação dos *setpoints* do processo, a fim de manter as variáveis controladas dentro de faixas aceitáveis e o envio de mensagem para os operadores sugerindo ações que não puderem ser implantadas automaticamente.

Um sistema de inferência nebuloso coleta as variáveis reais do processo e as converte para o domínio nebuloso, através de gráficos, que permitem transformar valores numéricos em conceitos linguísticos associados a graus de pertinência. Esses conceitos são aplicados a regras de produção que resultam em saídas gráficas. A resultante gráfica é então transformada para o domínio real e enviada ao atuador (QUEIROZ, 2011).

Tem-se como exemplo da lógica *fussy* o controle de granulometria na moagem. Nele o sistema concluirá se a granulometria está: muito fina, fina, normal, grossa ou muito grossa. Pode-se também avaliar os últimos valores de granulometria, inferindo se a tendência da variável está: engrossando, estável ou afinando. De acordo com o resultado das análises, atua-se nos *setpoints* de densidade fazendo incrementos através de lógica nebulosa: muito negativo, negativo, nulo, positivo ou muito positivo.

Tem-se como outro exemplo da utilização da lógica *fussy* o controle de densidade na caixa de moagem. Através das variáveis da tabela IV, o sistema conclui o estado da densidade. Após a avaliação dos últimos valores de estado da densidade infere a tendência da variável.

**Tabela IV - Controle de densidade da polpa na caixa de moagem**

<b>Estado da densidade</b>	<b>Tendência da variável</b>
Muito baixa	Aumentando
Baixa	
Normal	Estável
Alta	
Muito alta	Diminuindo

De acordo com o resultado das análises, atua-se na vazão de água adicionada na caixa, fazendo incrementos através de lógica nebulosa podendo ser: muito negativo, negativo, nulo, positivo ou muito positivo.

### **3.5.1.2 Redes neurais**

As redes neurais são sistemas de modelamento e implementação computacional através do princípio de funcionamento do cérebro humano (modelo matemático do neurônio humano), comparando com a sinapse que ocorre entre os dendritos e axônios do cérebro. Neste sistema existem diversas entradas, saídas e múltiplos caminhos para alcançar um resultado, que é representado através de algum algoritmo computacional.

Tomando como exemplo a modelagem da flotação por redes neurais deve-se fazer um estudo minucioso do processo e identificação das variáveis mais relevantes. Segundo BIRES E BRAGA (2002), devem-se coletar dados históricos de operação (amostragem), formatação e limpeza dos dados (eliminação de dados relacionados com as paradas da usina, situações anormais de operação, falhas nos instrumentos e erros em análises laboratoriais), definição e treinamento dos modelos (seleção de variáveis de entrada, saída, tempos de transito, variáveis dependentes e independentes, testes e validação), ajustes e validação final do modelo. Testes devem ser feitos e, analisando-se a correlação entre as variáveis, a sensibilidade de cada uma e os erros de testes obtidos na etapa de treinamento da rede neural, escolhe-se o melhor conjunto de variáveis de entrada e saída.

É necessária uma grande quantidade de dados históricos para encontrar todos estes múltiplos caminhos de acordo com as condições do processo de forma a treinar a rede para operação. As



redes neurais dependem da qualidade dos dados utilizados no seu treinamento, permitindo uma capacidade de aprendizado e robustez contra perturbações e ruídos no processo. A partir do treinamento da rede para atingir bons resultados, deve-se determinar os desvios para cada variável de saída. Uma das limitações das redes neurais é o grande volume de dados que deve ser baseado o treinamento da rede para representar as mais diversas situações do processo. Apresenta um elevado custo operacional nas fases de treinamento e configuração da rede (NUNES, 2010).

### **3.5.2 Sistema de controle avançado de processo (APC):**

APC é parte integrante no processo produtivo industrial avançado. São utilizados, não somente por fatores financeiros como também aqueles relacionados pela estabilidade proporcionada aos processos e à qualidade da produção. Espera-se com este controle os seguintes resultados:

- Redução da variabilidade no produto;
- Aumento de produção média;
- Padronização e estabilidade da operação;
- Disponibilidade de novas informações para os engenheiros e operadores;
- Recuperação mais rápida de situações anormais;
- Otimização em situações normais.

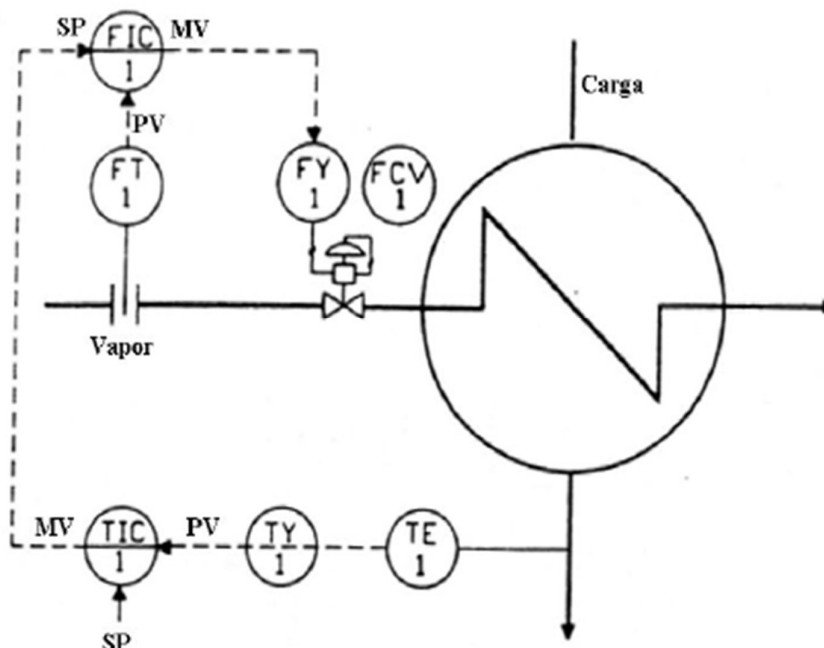
São exemplos de controle avançado:

#### a) Controle em cascata:

O controle em cascata é implementado quando a malha de controle simples já não responde satisfatoriamente, principalmente em processos de grande inércia e quando o processo possui uma contínua perturbação na variável regulante. É utilizada pelo menos duas variáveis controladas para atuar sobre uma única variável manipulada (um elemento final de controle). Aplica-se quando os efeitos dos distúrbios sobre a variável manipulada afetam a variável

controlada ou quando o elemento de controle final exibe comportamento não-linear, aplica-se o controle em cascata.

Uma válvula e um controlador chamado escravo (controlador secundário) constituem a malha interna. A malha externa possui o controlador chamado mestre (controlador primário) cuja saída fornece o *setpoint* para o controlador escravo. A figura 3.12 é um exemplo desse controle em cascata onde a malha escrava regula a vazão de vapor e a malha mestre regula a temperatura de saída do trocador de calor.



**Figura 3.12 - Controle em cascata de um trocador de calor.**

**Fonte: OLIVEIRA, 1999**

b) Controle de razão:

Ele é um caso elementar de controle por antecipação sendo utilizado, por exemplo, na mistura proporcional de reagente em um reator químico.

O controle por razão (figura 3.13) utiliza uma variável manipulada em relação a outra para satisfazer um objetivo. Este objetivo é manter a razão das duas variáveis do processo a um

valor específico. Geralmente, uma das razões é determinada por outros sistemas da unidade ou fora dela. O objetivo do sistema de controle, então, é manipular a outra vazão para que, mesmo que a primeira vazão varie, a razão permaneça o mais constante possível.

A equação 3.1 apresenta a razão:

$$R = \frac{B}{A} \quad (\text{eq. 3.1})$$

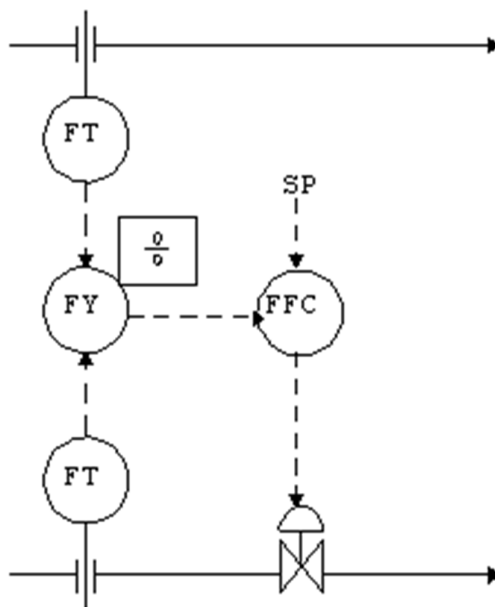
Onde:

R: variável controlada no lugar de variáveis individuais;

B: variável física;

A: variável física.

Uma forma de implementar o controle de razão consiste em medir as duas vazões e calcular a razão entre elas. Este valor calculado passa a ser a PV para um controlador de razão (FFC), que recebe um *setpoint* e manipula uma das vazões para que ela fique proporcional à outra.

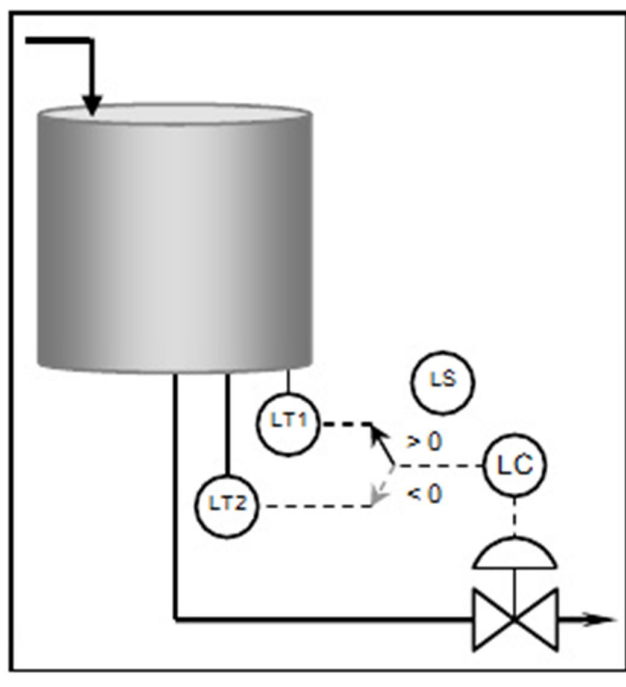


**Figura 3.13 - Exemplo de um processo com controle em razão.**

**Fonte: PUC-RIO Departamento de Química**

c) Controle seletivo:

A estratégia de controle seletivo, segundo MARTINS (2014), é utilizada quando se tem mais de uma variável de processo a ser selecionada para atuar em apenas um controlador. Este tipo de controle é usado para melhorar o desempenho de sistemas, para proteger equipamentos de condições operacionais perigosas ou em caso de falhas. A figura 3.14 ilustra esta estratégia, caso o seletor detectasse uma temperatura negativa no Transmissor de Nível 1 (LT1), o que indicaria uma falha neste sensor, o seletor selecionaria o segundo transmissor (LT2).



**Figura 3.14 - Controle seletivo.**

**Fonte: MARTINS, 2014**

d) Controle *Split Range* (faixa dividida):

O controle *split-range* segundo OLIVEIRA (1999) é uma montagem particular que utiliza no mínimo dois elementos finais de controle comandados simultaneamente pelo mesmo sinal.

### **3.6. Procedimentos para o desenvolvimento de um projeto de automação**

Um projeto de Automação como, por exemplo, o de produção de xMTPA, compreende grande volume de capital e alta taxa de risco. É aconselhável que a evolução deste se faça norteadada por uma série de decisões baseadas em um conjunto de dados levantados ou assumidos durante as diversas fases de desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa.

Como uma evolução teoricamente correta do projeto, podemos dividi-lo em uma série de etapas, cada qual iniciada por uma decisão baseada na anterior (GIRODO E BERALDO, 1981). Segundo GUIMARÃES (2013), as etapas necessárias são (i) planejamento, (ii) projeto, (iii) implementação e (iv) comissionamento.

#### **3.6.1 Planejamento**

Na etapa de planejamento deve-se definir a equipe de projeto considerando que esta seja multifuncional com conhecimento do processo e operação da planta, experiência em aplicações de controle e tecnologias de controle, conhecimento de instrumentação, configuração de sistemas digitais e redes de comunicação. Além de um time bem definido, deve-se elaborar o cronograma de projeto, atribuições, responsabilidades e estimativa dos benefícios e custos.

#### **3.6.2 Projeto**

O desenvolvimento do projeto consiste de sua análise, ou seja, verificação dos fluxogramas de processo (PFD) e engenharia (P&ID), análise dos manuais e procedimentos de operação e de controle de variáveis e análise dos pontos importantes de controle da planta, definição de objetivos econômicos para o sistema de controle.

As estratégias de controle também são definidas nessa etapa. Analisam-se e definem-se as estratégias de controle para atingir os objetivos econômicos e das tecnologias mais adequadas. Uma descrição funcional das estratégias é essencial ao projeto a partir da especificação de variáveis controladas, manipuladas, restrições e perturbações.

Por fim, é necessária a definição das interfaces gráficas, integração, comunicação e base de dados.

### **3.6.3 Implementação**

Na etapa de implementação deve-se realizar as correções na instrumentação para eliminar ruídos de medição, defeitos em sensores e transmissores, corrigir válvulas de controle com folgas, atrito e histerese.

As alterações necessárias nas estratégias de controle definidas no projeto são realizadas, sintonizam-se as malhas de controle, executam-se testes de variação nas variáveis manipuladas e perturbações. Toda a estrutura de controle é revisada usando o conhecimento quantitativo sobre o processo, obtido com os testes de identificação, deve ser revisada a estrutura proposta inicialmente para o controle. Em muitos casos, existe a necessidade de alterações na estrutura inicialmente projetada.

Na implementação também se configuram os pontos e testes da comunicação: testar a velocidade e integridade da comunicação. Configura-se a interface gráfica com o operador (IHM – interface homem/máquina). E por fim, realizam-se testes de integração de comunicação entre os diversos componentes das estratégias de controle, base de dados, controladores e interface gráfica de operação (IHM).

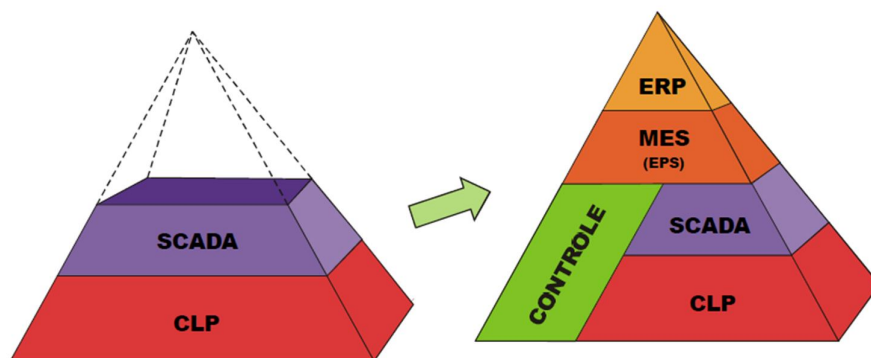
### **3.6.4 Comissionamento**

A última etapa requerida é o comissionamento onde se realiza a sintonia e “ajuste fino”, treinamento dos operadores e a pré-operação e aceitação do sistema.

## **3.7. Automação nos anos 2000**

O conceito embutido na palavra automação, segundo SEIXAS (2000), passa por uma revolução. Primeiro devido a uma especialização causada pela melhor compreensão dos diversos tipos de processo. Automação de processos contínuos, em batelada e de manufatura

requerem normas e produtos diferentes, que melhor atendam a identidade de cada setor. A segunda revolução corresponde ao aumento do escopo das atividades. A automação rompeu os grilhões do chão de fábrica e buscou fronteiras mais amplas, se abrangendo a automação do negócio ao invés da simples automação dos processos e equipamentos como apresentado na figura 3.15. O objetivo é implementar ferramentas que possibilitem maior armazenamento de dados e integração entre diversos sistemas de informação.



**Figura 3.15 - Hierarquia na automação industrial.**

**Fonte: Seixas, 2000**

### **3.7.1 Gerenciamento e otimização do processo**

Até o início dos anos 90 (SEIXAS, 2000), os sistemas de controle constituíam ilhas de automação. Um sistema controlava o pátio de matérias primas, outros hidrociclones, outros as colunas de flotação. Um forte desejo de todos os usuários era poder unificar os dados de todas as áreas em um banco de dados único. O primeiro objetivo era propiciar uma massa de dados para análise dos engenheiros de processo. Estes queriam ser independentes do pessoal da automação, que lhes negavam os dados e que forneciam relatórios pobres e pouco flexíveis, e também do pessoal da informática, que não tinha tempo para atendê-los.

Neste cenário, surgiram os historiadores de processo ou PIMS (*Plant Information Management Systems*). Estes softwares são capazes de buscar os dados onde estiverem e inseri-los num banco de dados temporal com capacidade para meses ou anos. Devido a um eficiente algoritmo de compressão de dados, é possível buscar num piscar de olhos um gráfico da temperatura de um forno no dia 28 de fevereiro de 1998 e compará-lo com o comportamento da temperatura do mesmo forno um ano e cinco meses mais tarde. Isto é tudo que o engenheiro de processos precisava. Este software representa também a redenção do

engenheiro de automação, que agora não precisa mais fazer malabarismos com os geradores de relatórios dos sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) para fazer aquilo que o sistema SCADA não sabe fazer. E colocar um banco de dados relacional no SCADA só piorava as coisas. O PIMS, nascido para atender o processo químico e petroquímico, irradiou-se para todo o universo dos processos contínuos. E a engenharia de automação migrou um nível para cima.

A área de modelagem e otimização de processos industriais também cresceu e ramificou-se, mas com menor ímpeto, no hemisfério sul. A mineração adotou estas soluções, mas de forma cautelosa.

### **3.7.2 Sistemas de produção**

Uma vez tendo o processo e os dados que descrevam o seu comportamento sob controle, Seixas (2000) relata que a automação subiu mais um nível na pirâmide. Era preciso transformar dados em informação de negócio. Todos os sistemas construídos em volta do processo de manufatura passaram a ser alvos de uma racionalização e de automatização. Estes sistemas são englobados no termo geral de EPS: *Enterprise Production Systems*, os sistemas de gerenciamento da produção. Aí estão incluídos o MES – *Manufacturing Execution System* responsável por todo o acompanhamento da produção, da ordem de produção ao produto final, os sistemas de manutenção, os sistemas de gerenciamento de laboratórios (LIMS – *Lab Information Management Systems*), os sistemas de gerenciamento de ativos e outros.

O MES tem passado por diversas crises e ainda não alcançou a sua verdadeira identidade. Primeiro serviu de ponte para ligar o chão de fábrica aos ERPs, como se fosse este o seu papel. Numa segunda fase, passou a ser implementado, geralmente nos processos de manufatura, para atender às exigências do mercado, principalmente a necessidade de se ter rastreabilidade de tudo que é produzido. Os clientes querem saber o histórico de cada constituinte de um produto, a que horas foi produzido, por quem e com que qualidade. O outro objetivo é realmente controlar as variáveis de negócio. Métricas de processo devem ser definidas para tudo que influa no custo e na qualidade. O gerente muda de papel e fica inserido na malha de realimentação do negócio. Ele deixa de ser o analista do erro passado e passa a ser responsável pelo que acontece em tempo real.



A automação continua após o produto acabado. Agora é preciso armazená-lo, inventariá-lo e recuperá-lo automaticamente. As tecnologias de captura automática de dados (CAD) se sofisticaram. A identificação do produto, antes feita apenas pelo código de barras, passa a ser feita preferencialmente pelos RFids (*Radio Frequency Identifiers*). Os produtos podem ser identificados automaticamente, enquanto se deslocam pela fábrica. As panelas de gusa, os carros torpedo, os vagões ferroviários, tudo deve ser identificado e rastreado em tempo real e mostrar o seu conteúdo a qualquer instante. Os sistemas de WMS (*Warehouse Management Systems*) possibilitam o comprometimento de vendas livre de erros. O sistema de controle e planejamento de produção, ciente do disponível em estoque e das capacidades reais do processo, pode atingir um maior nível de acerto. Em muitos ambientes, uma rede de coletores de dados se comunicando por rádio frequência se incumbirá do *Work in Progress*, medindo eventos antes impossíveis de serem percebidos por um PLC convencional. É melhor declarar um evento manualmente do que deixar de informá-lo ao sistema. Se um sensor é demasiado caro para capturar um dado automaticamente, um terminal de entrada manual será introduzido. Pecado é não informar, é ter um evento fora de controle. A automação chega a sua maturidade ao perceber que sua finalidade é compor uma solução de negócio.

### **3.8. Erros comuns em um projeto de automação**

Devido à situação econômica atual, os desafios da planta são maiores do que nunca. Sua produção precisa estar com a máxima eficiência, não influenciando na qualidade do produto, que é fundamental. Logo, visa-se elevar o lucro do empreendimento ao extremo, diminuindo os custos com energia e substâncias químicas adicionadas ao processo.

Erroneamente, acredita-se que automação é um custo adicional no projeto, porém é a área estratégica que potencializa e qualifica os resultados empresariais, tendo como objetivo manter as especificações físicas e químicas do minério de ferro com o menor custo operacional.

O projeto de Automação inclui a instrumentação de campo, sistemas auxiliares (estratégias de controle) e sistemas de gerenciamento de informação. Porém não basta investir em tecnologia para obter, por exemplo, redução de variabilidade e aumento de estabilidade da planta. É

preciso investir também em treinamento de controle de processos. O pouco conhecimento da ação da estratégia pode levar ao desligamento do controle.

Um bom projeto é fundamental, independente da tecnologia de controle utilizada. Não se deve limitar a usar uma só técnica específica. Cada técnica (inclusive a estratégia de controle básica) tem seus pontos fortes e fracos. Os problemas de controle existentes na planta de minério de ferro devem ser entendidos e, a partir daí, aplica-se aquela(s) técnicas que o(s) resolva(m) da forma mais simples possível. A estratégia de controle deve ser perfeitamente aderente ao comportamento do processo e suas limitações devem ser controladas. Usualmente é melhor dividir uma aplicação muito grande em sistemas menores que facilitam o seu entendimento e sua implementação, bem como sua sintonia, operação e manutenção num aspecto geral.

Porém, não adianta usar técnicas avançadas de controle quando se utiliza medidores e atuadores de baixa qualidade e/ou com problemas. Válvulas de controle apresentando problemas de fricção e/ou histerese inviabilizam o desempenho de qualquer tipo de controle. Portanto, o primeiro nível da pirâmide de automação deve ser bem implementado para o sucesso do projeto de automação.

Outro problema encontrado é devido à complexidade dos sistemas de controle de plantas de minérios. Segundo FERNANDES (2014), muitas vezes as necessidades do operador humano não são bem trabalhadas. Esta omissão tem causado acidentes graves e de alto custo. Tradicionalmente, na configuração do sistema de automação, os alarmes e interfaces resultantes são concebidos e implementados por engenheiros não familiarizados com o projeto e fatores humanos. Não é incomum a um operador presenciar uma avalanche de alarmes durante um processo fora de controle, ou visualizar cinco monitores antes de encontrar a informação relevante relacionada com a situação. Ao capacitar operadores com as ferramentas corretas de interação entre o ser humano e o sistema de automação da planta, as empresas irão atingir e superar suas metas.

#### 4 CONCLUSÃO

O presente trabalho relatou possíveis estratégias de controle em uma planta, levando em conta a importância da boa medição, a otimização do processo, a capacitação dos funcionários, diminuição dos impactos ambientais sempre visando à diminuição do custo operacional.

O controle de produção e o controle de qualidade em plantas industriais de beneficiamento de minério de ferro dependem da utilização de instrumentos e analisadores de campo adequados às aplicações de medição das variáveis mais importantes do processo. A medição é então essencial para o bom funcionamento do controle.

Um bom projeto é fundamental, independente do controle utilizado. Erros são comuns nos projetos de automação devido ao desconhecimento técnico ou muitas vezes normativos da equipe responsável.

Apesar do advento das tecnologias utilizadas para a otimização do processo, alguns gargalos ainda são percebidos em um projeto de automação. Um exemplo citado no trabalho foi à indicação do entupimento de um chute, uma vez que não existe ainda técnica automática para seu desentupimento.

Logo, conclui-se que a Automação é indispensável em uma planta de beneficiamento de minério. Através das estratégias de controle, o projeto é implementado de forma segura e eficiente, minimizando os impactos com o meio ambiente e atendendo os requisitos no que se refere à otimização.

## 5 PERSPECTIVAS PARA CONTINUAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho apresentou uma contribuição (quer seja pelas estratégias de controle voltadas ao processo de mineração ou mesmo pela visão geral de um projeto de automação/instrumentação). Entretanto, determinados aspectos podem ser melhorados e apresentados mais detalhadamente, possibilitando também sua expansão para demais áreas da Engenharia.

Em particular, são sugeridas as seguintes linhas de atuação:

- 1- O trabalho exemplificou algumas estratégias de controle, porém elas são válidas para todo o projeto, sendo importante destacar que cada etapa do processo pode ser avaliada individualmente;
- 2- Diferentes processos requerem diferentes estratégias de controle, logo é necessário o estudo delas em diferentes projetos;
- 3- Apesar de não ser escopo do trabalho, a programação do CLP é essencial para a implementação do projeto, sendo um item que também deve ser estudado em trabalhos futuros.
- 4- Estudo detalhado do modelo de controle preditivo (MPC) na mineração.

## 6 REFERÊNCIAS

BEGA, Edígio A.; DELMÉE, Jean G.; COHN, Pedro E.; BURGARELI, Roberval; KOCH, Ricardo; FINKEL, Vitor S. **Introdução Industrial**. 3.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

BIRES, Miroslav; BRAGA, Antonio de Pádua. **Modelagem por redes neurais artificiais da flotação de minério de ferro da usina Cauê da CVRD**. VI Seminário de Automação de Processos da ABM. Outubro de 2002.

CANADÁ. ANDRITZ. **Home-Page**. Disponível em: <<http://www.andritz.com/automation.htm>> Acesso em: 16 fev. 2014.

CHAVES, Arthur Pinto. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. Volume 1. 2 ed. São Paulo: Signus. 2002.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, Brasil. NRM 18; **Beneficiamento**. Brasil, 22 de janeiro de 2002. Disponível em: <[www.dnpm.gov.br/assets/legislacao/p00310102.rtf](http://www.dnpm.gov.br/assets/legislacao/p00310102.rtf)> Acesso em: 03 fev. 2014.

FERNANDES, José Manoel. **Próxima fronteira: Interação entre a automação e o operador**. InTech Brasil. Revista número 152. Janeiro - Fevereiro de 2014.

GIRODO, Antônio C., BERALDO, José L. **Elementos Básicos de um Projeto de Mineração**. In: **Curso Projetos de Mineração, IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração**. Belo Horizonte: Paulo Abib Engenharia S.A, 1981. Módulo 8, p.03-19.

GUIMARÃES, Joaquim Ferreira. **MPC – Como fazer uma aplicação com sucesso**. InTech Brasil. Revista número 150. Setembro de 2013.

LUZ, Adão B.; SAMPAIO, João A.; ALMEIDA, Salvador L.M. **Tratamento de Minérios**. 4 ed. Rio de Janeiro: CETEM/ MCT, 2004.

MARTINS, Lucas. **Estratégias de controle industrial**. Scribd, 2014. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/219385699/Projeto-de-Controle-Estrategias-de-Controle-Industrial>> Acesso em: 14 mar. 2014.

NUNES, Tiago Caixeta. **Práticas Industriais para Instrumentação e Controle em Circuitos de Flotação Mecânica**. Departamento de Engenharia de Minas – UFOP, 2010.

OLIVEIRA, Adalberto Luiz de Lima. **Fundamentos de controle de processo**. SENAI/ CST. 1999.

PINHEIRO, Daniel Amaral. **Instrumentação para água de selagem**. IETEC. Revista Techoje. Disponível em: <> Acesso em: 04 fev. 2014.

QUEIROZ, Júlio César Braz de. **Integração de Sistemas**. Revisão 2. 2011.

ROSA, João Guimarães. **Instrumentação: Símbolos e Identificação**. Scribd, 2010. Disponível em: <<http://pt.scribid.com/doc/64>> Acesso em: 10 set. 2012.

SANTOS, Carlos Henrique Faria dos. **Introdução às estratégias de controle**. FOZ, 2012. Disponível em: <[http://www.foz.unioeste.br/~chsantos/ENG\\_CONT/Aula\\_02.pdf](http://www.foz.unioeste.br/~chsantos/ENG_CONT/Aula_02.pdf)> Acesso em: 07 out. 2012.

SEIXAS, Constantino. **A Automação nos Anos 2000 – Uma Análise das Novas Fronteiras da Automação**. CONAI 2000 / ATAN Sistemas. 2000.

VALADÃO, George Eduardo Salas. **Guias de aula: EMN504 – Balanço de Massas**. 2011.

VALE, Júlia Maria de Carvalho. **Guias de aula sobre documentação e estratégias de controle voltadas a um projeto de beneficiamento de minério de ferro**. Instituto Politécnico – IPUC – PUCMG, 2012.