

Capítulo 2

Automação industrial para controle de processos

De uma maneira em geral, quando se analisa a automação industrial, pode-se dividi-la em dois grandes objetos de estudos, ou seja, a Automação da Manufatura (MFCN¹⁰¹, CAD¹⁰²/CAM¹⁰³, robótica, entre outros) e o Controle de Processos (SDCD¹⁰⁴, CLP¹⁰⁵, FIELDBUS¹⁰⁶, entre outros).

Trata-se de uma distinção conceitual, pois através da observação percebe-se que determinados sistemas aplicam-se mais especificamente às indústrias cujas variáveis são relacionadas a processamento de fluidos (pressão, nível, vazão e temperatura) – características das indústrias químicas, petroquímicas, sucroalcooleiras – e outros são mais orientados para o controle de movimentação e processamento de sólidos (posicionamento, aceleração, velocidade, contagem e cronometragem), característicos da siderurgia, papel e celulose, têxtil, entre outras.

Sobre o controle de processos, motivo de análise para a indústria sucroalcooleira a partir de agora, a tecnologia incorporada à instrumentação percorre quatro fases distintas até então, isto é, a pneumática, a analógica a digital e a recente tecnologia *FieldBus*. Sobre a pneumática, a instrumentação e sistemas de decisão e controle eram acionados por tubos de pressão, sensoreando variáveis e acionando equipamentos adequados para monitorar e/ou controlar um processo produtivo. Na analógica, devido aos potenciais problemas de segurança e confiabilidade da tecnologia anterior, os transdutores e sistemas de decisão incorporaram circuitos eletrônicos analógicos. Assim, foram possíveis sensíveis incrementos na complexidade da lógica de controle, no tratamento das informações vindas dos sensores e precisão no acionamento de atuadores. Quanto

¹⁰¹ Máquinas Ferramentas de Controle Numérico.

¹⁰² Computer Aided Design (Projeto Assistido por Computador).

¹⁰³ Computer Aided Manufacturing (Manufatura Assistida por Computador).

¹⁰⁴ Sistemas Digitais de Controle Distribuído.

¹⁰⁵ Controladores Lógico Programáveis e sua forma mais atual: CP (Controladores Programáveis).

¹⁰⁶ Tecnologia de Rede em Campo. Será posteriormente detalhada.

à digital, o desenvolvimento da microeletrônica e o barateamento dos sistemas digitais permitiram que algumas desvantagens da eletrônica analógica pudessem ser sanadas, como a manutenção na lógica de controle, a crescente complexidade dos modelos matemáticos, a alta taxa de falhas de operação e o custo associado aos circuitos analógicos. Por fim, em relação à tecnologia de instrumentação *FieldBus*, que é um sistema de comunicação digital bidirecional que permite a interligação em rede de múltiplos instrumentos diretamente no campo realizando funções de controle e monitoração de processo e estações de operação (interface homem-máquina), através de *softwares* supervisórios e diferencia-se basicamente pela sua arquitetura aberta em que, ao contrário das arquiteturas proprietárias em que apenas um fabricante lançava produtos compatíveis com a sua própria arquitetura de rede, o usuário poderá encontrar em mais de um fabricante a solução para os seus problemas.

Neste segundo capítulo procuraremos o embasamento teórico sobre automação industrial para controle de processos através de uma busca pelas origens históricas, para que possamos entender a evolução tecnológica.

2.1. Caracterização histórica e tecnológica

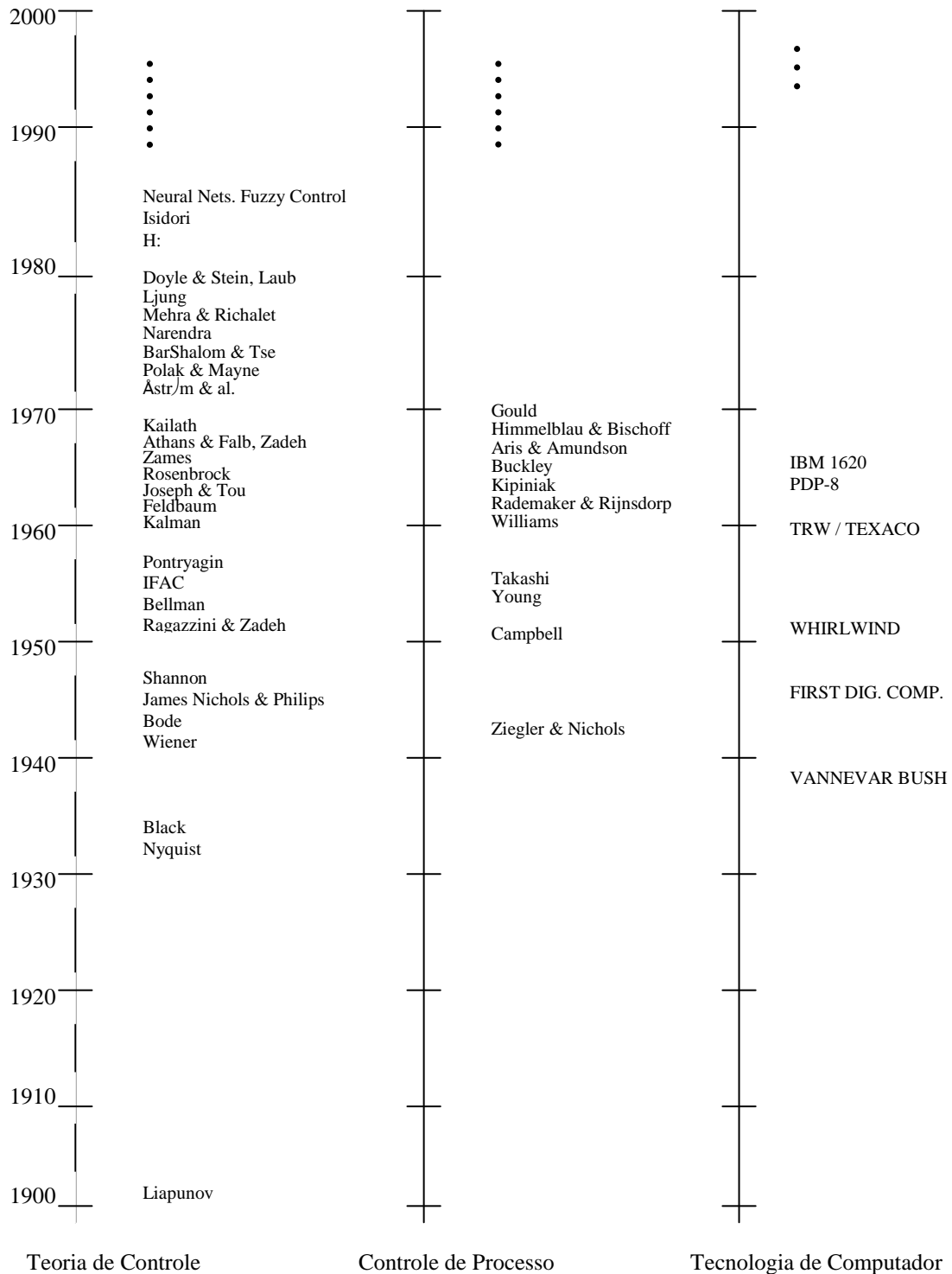
2.1.1. Teoria de controle

A figura 2.1, abaixo, mostra uma escala do tempo (1900-2000) em que alguns nomes são apresentados para indicar a importância de famosas contribuições para a Teoria de Controle.

Começando pela virada do século, Liapunov introduziu sua teoria geral da estabilidade de sistemas não-lineares e em 1922 Minorsky analisou a estabilidade de um veículo controlado. No início dos anos 30 Nyquist apresentou suas revolucionárias idéias sobre estabilidade e resposta de frequência e Black introduziu suas técnicas gráficas. Nos anos 40 Wiener desenvolveu sua teoria do filtramento e a teoria do controle ótimo e na mesma década Bode continuou trabalhos sobre a metodologia da resposta de frequência. Lur'e, em 1942,

formulou e resolveu um problema básico na estabilidade de aeronaves controladas (BALCHEN, 1999).

Figura 2.1: Marcos na teoria de controle, controle de processos e tecnologia de computador.



Fonte: BALCHEN (1999:103).

De acordo com este autor, a Segunda Guerra Mundial encadeou um rápido desenvolvimento na tecnologia de controle revisada, nos EUA, por James, Nichols e Philips. Assim, posteriormente Shannon apresentou as bases da teoria de informação na década de 40.

Nos anos 50, Ragazzini e Zadeh e muitos outros contribuíram para o entendimento do sistema de dados amostrados. Bellman introduziu a programação dinâmica e Pontryagin e co-autores desenvolveram o princípio máximo do controle ótimo dinâmico. Em 1956 surgiu a Federação Internacional de Controle Automático (*International Federation of Automatic Control - IFAC*) que significou muito para o desenvolvimento da comunidade de controle pelo mundo todo.

No início dos anos 60, Kalman apresentou sua teoria geral de sistemas de controle e a generalização do filtramento de Wiener que progrediu para o filtramento de Kalman. Um desenvolvimento estimulante aconteceu dentro da teoria de controle nos anos 60 que era principalmente dirigida pelos desafios dos projetos aeroespaciais que atraíram a atenção dos principais cientistas. Desta maneira destacam-se Joseph e Tou, com o princípio da separação, Rosenbrock com a teoria da otimização, Zames e outros com a nova teoria da estabilidade, Athans e Falb com a teoria do controle ótimo, e Kailath com a teoria da estimação. Todos forneceram uma plataforma sólida para desenvolvimentos posteriores.

O número de contribuições na década de 70 tornou-se quase incontável através de pessoas como Astrom e seus colaboradores, que proveram as bases da teoria da identificação e sistemas adaptativos, Polak e Mayne com a otimização restrita, BarShalom e Tse com o controle dual, Narendra com o restabelecimento das técnicas de Liapunov, e por fim Mehra e Richalet com a reformulação do controle ótimo mais adaptado para controle de processo. No final dos anos 70 Ljung e outros contribuíram significativamente para a teoria da identificação enquanto Doyle e Stein e colaboradores trabalharam sobre a teoria de sistemas de controle robusto com a ajuda de ferramentas CAD (*Computer Aided Design*) promovidas por Laub e outros.

Finalmente, a década de 80 teve uma grande extensão caracterizada pelas contribuições continuadas nos campos de projeto ótimo com ênfase na otimização restrita e novos critérios e posteriores estudos em robustez. Isidori deu impulso para a teoria de controle não-linear. Esta década também trouxe a teoria de controle em redes neurais e uma explosão em controle Fuzzy (que havia sido introduzido por Zadeh nos anos 60).

Segundo BALCHEN (1999), é difícil mostrar todos os nomes dos contribuidores mais significantes porque literalmente centenas de pesquisadores estão adicionando suas contribuições para o conjunto do conhecimento.

2.1.2. Controle de processo

Em paralelo à linha do tempo da Teoria de Controle, existe uma revisão histórica similar do Controle de Processos. Entretanto, existem poucos colaboradores, em particular James Watt e seus contemporâneos.

Em 1942 Ziegler e Nichols apresentam suas regras para sintonizar os laços de controle PID¹⁰⁷. Até então, nada realmente importante aconteceu nos fundamentos do controle de processo até que Donald P. Campbell no MIT¹⁰⁸ começou a preencher a lacuna existente entre aplicações do controle de processo e teoria de controle na primeira metade dos anos 50. A. J. Young (Inglaterra) e Takahashi (Estados Unidos/Japão) promoveram conceitos teóricos de controle no controle de processo, durante a década (BALCHEN, 1999).

De acordo com este autor, em torno de 1960, T.J. Williams e Rademaker/Rijnsdorp fizeram importante contribuição para o controle de destilação e Eckman foi um forte promotor de pesquisas de controle de processo. Kipiniak, no MIT, discutiu controle por meio de otimização e Buckley (DuPont) escreveu um bom levantamento de problemas de controle de processo, por volta de 1963. Aris e Amundson, seguidos por Himmelblau e Bischoff, estabeleceram

¹⁰⁷ Mais adiante será melhor detalhado tal controle, mas refere-se a um controle de malha fechada com fatores Proporcional (P), Integrativo (I) e Derivativo (D).

¹⁰⁸ Massachusetts Institute of Technology (EUA).

uma base sólida para uma modelagem matemática de processos industriais na metade da década de 60, e Gould apresentou um relatório sobre a teoria de controle de processo em 1969.

Weekman e outros, no início da década de 70, introduziram problemas de controle complexo, mas não deram nenhuma solução. Foss se queixou em 1973 a respeito do descompasso entre a moderna teoria de controle estabelecida e a necessidade de controle de processo. Assim, Seborg e outros estiveram ativos, no meio dos anos 70, em promover a aplicação de conceitos da teoria de controle moderna para uma variedade de problemas de controle de processos. Nos anos 70, Gilles demonstrou o uso do primeiro princípio de modelagem e simulação no controle de processos distribuídos.

Uma inovação maior aconteceu em torno de 1980 quando Cutler e colaboradores demonstraram que haviam convencido a gerência da Shell a instalar um controle de computador multivariável baseado em conceitos de controle ótimo. O significado deste acontecimento foi a aceitação industrial dos conceitos de controle moderno que conduziu a muitos e muitos projetos de controle industrial similares. Muitas contribuições vieram durante os anos 80 no desenvolvimento de pacotes de controle industrial executável para controle preditivo de modelos básicos com restrição em ambos controles e estados variáveis. Entre esses, Morari, Garcia e Biegler deveriam ser mencionados para seus resultados teóricos.

Entre 1980 e 1995 o número de artigos sobre teoria de controle de processos quase estourou e é difícil definir as contribuições mais significantes. Deve-se destacar, analisa BALCHEN (1999), que no campo de controle de processos havia um atraso de 10 anos, pelo menos, em relação ao campo aerospacial na aplicação de novos conceitos de controle.

2.1.3. Tecnologia de computador

Os desenvolvimentos no campo da tecnologia de computador também são muito importantes, particularmente quando vistos na mesma linha do tempo da história da teoria de controle e da tecnologia de controle de processo.

O primeiro dispositivo computacional científico, segundo BALCHEN (1999), foi o analisador diferencial mecânico de Vannevar Bush em torno de 1939. Durante a Segunda Guerra Mundial os conceitos dos analisadores diferenciais mecânicos e eletromecânicos foram desenvolvidos e fortemente aplicados em sistemas de armas. O primeiro computador digital apareceu em torno de 1946 e máquinas digitais úteis tornaram-se disponíveis em 1950. Simultaneamente, a idéia de se usar computadores digitais para fins de controle foi lançada, como por exemplo o projeto Whirlwind no MIT (década de 50).

No início dos anos 50, técnicas digitais foram aplicadas primeiramente no controle de máquinas-ferramentas e posteriormente, em torno de 1960, a primeira instalação de sucesso de um computador digital para fins gerais para controle de processo foi demonstrado pela companhia aeroespacial Thompson Ramo Woolridge (TRW) juntamente com a Texaco.

Um fator importante que explica muito a rapidez do desenvolvimento na relação entre teoria de controle e implementações de controle de processo é a capacidade disponível do computador digital a qualquer hora. Por volta de 1963, o primeiro minicomputador entrou no mercado num preço disponível para escalas médias e pequenas para fins de controle de processo. Um PDP-8 da “Digital Equipment Corporation” com uma capacidade de memória de 8 Kbytes custava em torno de US\$ 40.000 (BALCHEN, 1999). Desta maneira, com uma memória minúscula levou-se muito tempo para programar algoritmos de controle mais simples na linguagem *assembler*¹⁰⁹.

Posteriormente, o crescimento na capacidade computacional com a redução simultânea nos preços continuou na década de 70. Quando o microprocessador foi introduzido, por volta de 1973, uma nova situação ocorreu. O rápido desenvolvimento na capacidade computacional agora se transformou numa explosão. A capacidade computacional que somente estava disponível para aplicações “nobres” estava agora ao alcance da aplicação do controle de processo comum. Assim, de 1980 até 1995, a redução em custo por unidade de capacidade

¹⁰⁹ Linguagem de programação em nível de máquina, ou seja, utiliza-se de símbolos ao invés de interfaces amigáveis.

computacional continuou, resultando também em disponibilidade de resultados práticos no confronto entre teoria de controle e controle de processo, desde que possam ser representados por um algoritmo programado.

Nos anos 60 e 70, esforços foram centrados em projetos de programas computacionais em tempo real para economia de capacidade computacional. Isto parece ter sido substituído pela sofisticação e incrementos em nível de linguagem de programação que aumentam a conveniência de programação. Isso conduziu a possibilidades melhores para a implementação de resultados teóricos complexos em instalações práticas.

Segundo BALCHEN (1999), os fornecedores de controles computacionais que se utilizaram totalmente dos desenvolvimentos em tecnologia computacional foram inteligentes em comercializar soluções em controle computacional distribuído baseado em rede que são altamente flexíveis. Para este autor, existem novas tendências promissoras em padronização internacional na tecnologia *Fieldbus*, embora a tendência antiga seja de que alguns dos grandes fornecedores monopolizem esse campo. Porém, a concepção de que o fornecedor deveria fazer de seu cliente um usuário de todo o seu aparato tecnológico está fora de questão.

As modernas soluções em controle de computador distribuído oferecem todas as facilidades necessárias para a implementação de planos de controle de modelos básicos, sofisticados, em torno de laços de controle interno padronizados que tenham cuidado com funções elementares numa alta taxa e com alta precisão e grande facilidade. Desta maneira, os últimos desenvolvimentos em gráficos computacionais são muito promissores para a conveniência de comunicação na interface homem-máquina, quando o operador interagir com o processo através de tecnologia de realidade virtual (BALCHEN, 1999).

Em resumo, este autor conclui que o controle de processo tem ficado para trás, aproximadamente, de cinco a dez anos em relação aos desenvolvimentos em teoria de controle. Assim, analisa que tem sido os desenvolvimentos em tecnologia computacional que tem possibilitado as implementações em grande escala industrial.

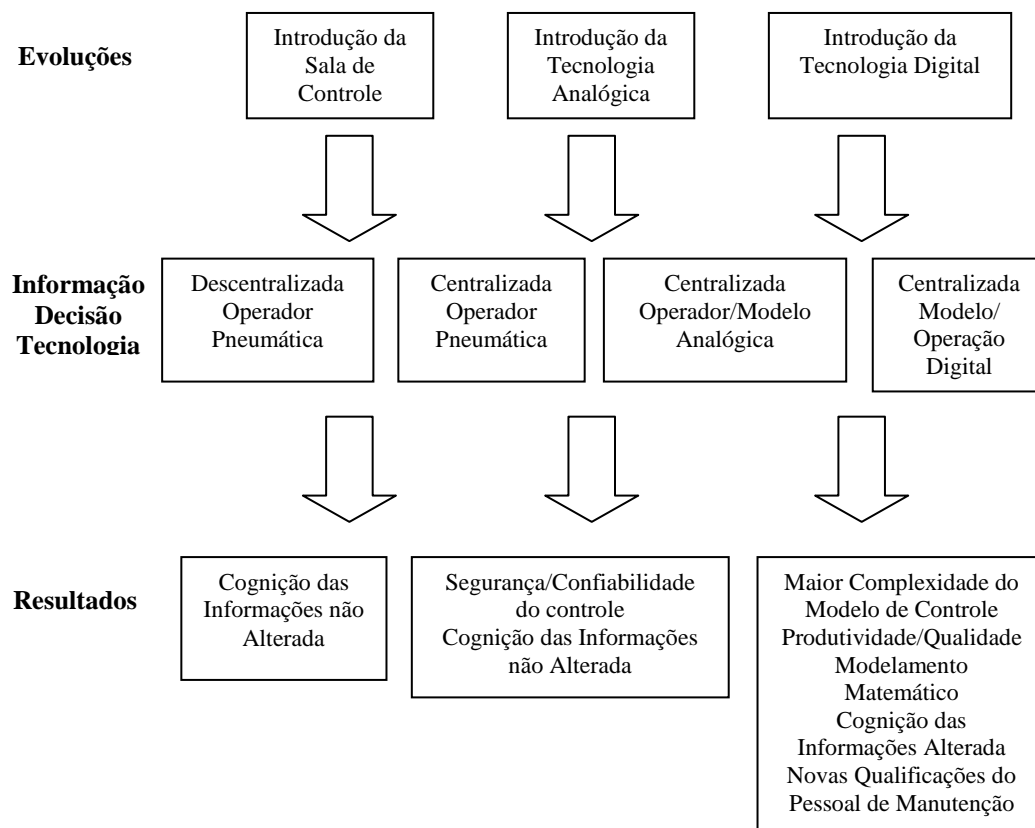
2.1.4. Evolução tecnológica dos equipamentos de controle de processo

As primeiras tentativas de introdução de computador na indústria para controle de processos datam por volta de 1960, com o trabalho pioneiro realizado pela companhia americana TRW (*Thonson Ramo Woolridge*) para uma unidade de polimerização catalítica da Texaco. O sistema de controle por computador, baseado no RW-300, entrou em operação em 1959, controlando 26 malhas de vazão, 72 de temperatura, 3 de pressão e 3 de composição. Neste sistema, como em outros instalados posteriormente, o computador operava em modo supervisor. Posteriormente, em 1962, a ICI (*Imperial Chemical Industries*) colocou um marco histórico nesta tendência. Toda a instrumentação analógica para controle de processos foi substituída por um computador, o *Ferranti Argus*, que realizava a aquisição de dados sobre 224 variáveis e controlava 129 válvulas diretamente. No entanto, as funções do sistema de controle ainda eram as mesmas, sendo que as malhas críticas permaneceram com *backup* analógico (GOMIDE & NETTO, 1987).

Entretanto, conforme mostra a figura 2.2 abaixo, o computador para controle de processos não é o início da intervenção via máquina no processo produtivo industrial das indústrias de processo contínuo. As primeiras tentativas de introdução de computador datam da década de 60, conforme já analisado, e nesta ocasião, com *hardware* pouco desenvolvido, não era difícil imaginar os problemas advindos com novas tecnologias.

Nesta época, a prática industrial comum para controle de processos consistia em medições, ajustes de controlador, controles em cascata e controles de razão, para se manter o balanço de massa e de energia da produção industrial. Todo o controle era baseado em instrumentação pneumática, com as informações sobre o andamento do processo distribuídas por toda a fábrica. Assim, para se obter um registro completo sobre a planta, um operador era obrigado a percorrer todos os pontos de controle, verificando um a um os registradores e, quando fosse preciso, intervir manualmente nos registros e válvulas.

Figura 2.2: Evolução da tecnologia de controle de processos contínuos



Fonte: FRANCISCHINI (1996:17)

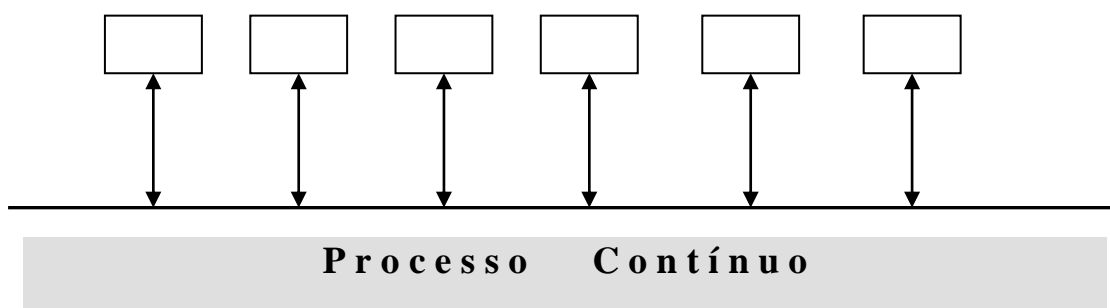
Esta situação foi melhorada pela fase de centralização dos instrumentos em painéis de controle instalados em salas, criando a necessidade de se obter a informação da variável a partir de transmissores. Desse modo evitava-se que “tubos de impulso pressurizados” pelos materiais processados chegassem até o painel, com potenciais problemas de segurança. Paralelamente, já existiam algumas tentativas de se introduzir o computador nas aplicações de controle de processo de indústrias siderúrgicas, petroquímicas e celulose e papel (FRANCISCHINI, 1996).

Este autor analisa que somente por volta de 1970 a tecnologia de instrumentação analógica atinge um bom nível de sofisticação, mas a malha básica de controle permanece, ainda, pneumática, constituída por um sensor, um transmissor, um controlador eletropneumático montado em painel e um atuador ou válvula de controle. Contudo, começa-se o processo de substituição da malha pneumática pela analógica, que reproduz as mesmas funções da pneumática, com

vantagens de maior velocidade de resposta, maior distância entre a instrumentação de campo e de painel, facilidade de manutenção, além de maior segurança e confiabilidade. Entretanto, tal tecnologia possuía algumas desvantagens, como a falta ou dificuldade de compatibilização entre várias marcas dentro de uma mesma malha, necessidades de fontes, distribuidores, *backups* mais sofisticados e caros do que o compressor ou o reservatório de ar comprimido, válvulas ainda pneumáticas, o que obrigava a inclusão de um transdutor entre o controlador e a válvula de controle.

Tais instrumentos são conhecidos como “sistemas convencionais de instrumentação analógica”, caracterizados, na maioria dos casos, por estruturas simples, isto é, transmissor, controlador, elemento final de controle, mais os acessórios necessários. Malhas mais complexas são possíveis, mas não convenientes, pois aumenta a necessidade de módulos de inter-relação, diminuindo a confiabilidade do conjunto. Porém, para plantas de grande porte, como é o caso das sucroalcooleiras, a estrutura dos sistemas convencionais, baseada em um módulo ou malha individual por função, conduz à confecção de painéis enormes, muitas vezes com dezenas de metros de extensão, e quilômetros de cabos de instrumentação. A figura abaixo representa a arquitetura de tal sistema.

Figura 2.3: Arquitetura de um sistema de controle totalmente paralelo



Elaboração: Sandro da Silva Pinto¹¹⁰

No Brasil, no início dos anos 70, começavam as primeiras implantações de controle direto e centralizado por computador nas indústrias petroquímicas, mas

¹¹⁰ Baseado em FRANCISCHINI (1996:26)

inicialmente de forma acessória complementando o sistema convencional analógico que de fato realizava as funções de controle (FRANCISCHINI, 1996). Nesta primeira fase, o computador atua apenas como aquisição de dados, a partir dos quais o processo passa a ser mais conhecido. Esse aumento no conhecimento do processo podia ser verificado através do aumento do nível de informação sobre o processo, da possibilidade de armazenar grande quantidade de informação e posterior recuperação, da possibilidade de correlacionar variáveis e estatísticas diversas, como por exemplo análises em séries temporais para previsões futuras.

Posteriormente, implementam-se as funções para guiar as atividades do operador do sistema, onde o computador executa programas de análise dos dados medidos em tempo real e orienta o operador sobre determinadas ações que devem ser aplicadas ao sistema convencional de controle. Vale destacar que as saídas (*outputs*) são apenas indicativas, cabendo ao operador do sistema a decisão final sobre a conveniência ou não de seguir a orientação dada. O passo seguinte foi possibilitar ao computador atuar diretamente sobre os valores de referência dos controladores do sistema convencional, sem necessidade da capacidade de decisão do operador. Os fabricantes de instrumentação analógica introduziram sistemas integrados de *hardware* e *software*, com interfaces adequadas às instrumentações analógicas. Como o controle era ainda centralizado, com o computador tendo capacidade de modificar os *set points* locais, sem a necessidade da decisão do operador, foi necessário introduzir redundância em algumas partes para prevenir falhas (PARK, 1988¹¹¹ citado por FRANCISCHINI, 1996). As redundâncias atuavam (e atuam) baseadas na possibilidade de quebra de qualquer equipamento, tanto em nível local de controle (operador), como em nível distante (sala de controles).

Nesta última forma, instrumentação analógica com supervisão por computador, os sistemas passam a ser chamados de “Controle Supervisório” ou *Set Point Control*, mais conhecido por sua sigla SPC ou Controle de Ponto de Ajuste. De acordo com FRANCISCHINI (1996), as vantagens do SPC seriam, além de todas as vantagens dos sistemas convencionais já citados, a capacidade de

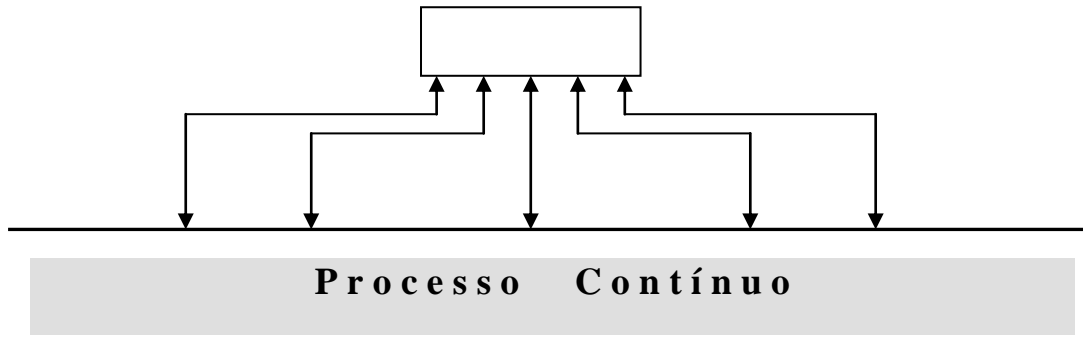
¹¹¹ PARK, S. W. et all. **Controle de processos na indústria nacional de celulose e papel**. Intec. Rio de Janeiro, v. 2, n. 10, 1988.

executar algoritmos visando a otimização, uma excelente confiabilidade em caso de falha do computador, e o funcionamento da instrumentação convencional nos últimos pontos de ajuste informados. Mas para obter todas essas vantagens, o custo do sistema é a soma da instrumentação convencional e do sistema digital.

Levando em consideração que as variáveis a serem controladas são analógicas, para este sistema necessitou-se primeiro converter os sinais Analógico/Digital (A/D) e Digital/Analógico (D/A), passíveis de serem lidos, interpretados e transformados pelo computador. Outra tendência que surgiu em meados dos anos 70 foi em relação aos sistemas conhecidos por *Direct Digital Control* (DDC) ou Controle Direto Digital. Como o próprio nome sugere, foi uma tentativa de eliminar a parte convencional da malha, com o computador recebendo informações das variáveis de processo, efetuando os algoritmos e fornecendo a saída para as variáveis controladas. Tratava-se, no entanto, de uma tecnologia prematura e sujeita a riscos inerentes à arquitetura de controle. Para FRANCISCHINI (1996), as desvantagens desse tipo de sistema relacionavam-se à *software* e *hardware* altamente complexos, menos confiáveis que o SPC, pois se o computador centralizado falhar, provoca a paralisação da planta ou parte do processo servido por aquele equipamento, a redundância para assegurar a confiabilidade do sistema é obtida através de altos custos e alta complexidade e a necessidade de manter um grupo de pessoas especializadas apenas para a programação, operação e manutenção deste equipamento.

Devido a esta centralidade que o DDC começava a exercer e para evitar que grande parte ou mesmo a totalidade da planta ficasse dependente de um único equipamento, sistemas duais foram implantados com uma unidade de arbitragem para a ocorrência de possíveis e eventuais discrepâncias em caso de falhas. Assim, dois computadores recebiam as mesmas informações, executavam os mesmos programas e deveriam produzir saídas idênticas, quando ambos funcionassem normalmente. A falha de um dos computadores provocaria uma inconsistência entre as saídas, e a unidade de arbitragem seria ativada para julgar qual delas fosse a verdadeira, geralmente em função de um programa de diagnóstico disparado na ocasião. Uma vez descoberta a resposta correta, essa era validada para a saída.

Figura 2.4: Arquitetura de um sistema de controle totalmente centralizado



Elaboração: Sandro da Silva Pinto¹¹²

O impacto da microeletrônica na Automação Industrial, a partir de 1975, para controle de processos começa a ficar mais evidente tendo como primeira consequência o barateamento dos sistemas de decisão representado pelos computadores digitais. Posteriormente, associado a sua crescente sofisticação, surge o controle de multivariáveis que possibilitou um controle centralizado de complexos industriais de grande porte. Desta maneira, não somente os computadores, mas também os sensores e atuadores foram sendo auxiliados em seu desenvolvimento pela microeletrônica. Assim, as formas tradicionais de se medir temperatura, pressão, nível, fluxo, velocidade, posição, aceleração e outras variáveis, sofreram melhorias a partir do aperfeiçoamento de antigos sensores ou do surgimento de novas formas de sensoreamento diretamente criadas pela microeletrônica e seus processos.

Entretanto, o elo de decisão da malha estava localizado nos computadores centralizados de processo. Os microprocessadores permitiram que surgissem os controladores programáveis, ou CP's, suficientemente baratos e poderosos para realizar o comando de múltiplas variáveis, tomar decisões e se comunicar com o computador hospedeiro, encarregado das decisões globais do sistema. Em princípio, os CP's vieram substituir os relês eletromecânicos que, basicamente, executavam operações de ligar e desligar uma máquina ou processo, com as

¹¹² Baseado em FRANCISCHINI (1996:27).

vantagens da eletrônica digital. Oferecem¹¹³ precisão e seu emprego resulta em maior produtividade e qualidade, um imperativo que produz reações em cadeia entre os diferentes parceiros industriais, exigindo a adequação de todos os novos padrões (FRANCISCHINI, 1996).

Na década de 70 convivia-se com sistemas analógicos ou convencionais que possuíam a desvantagem do gigantismo dos painéis de controle e custos elevados de implementação/estrutura do SPC e sistemas digitais centralizados com vulnerabilidade de falhas no computador central e custos elevados para sistemas duais.

Sendo assim, surgem os sistemas de controle distribuídos que através da distribuição dos sistemas de decisão das malhas de controle, distribuía-se também o risco contra falhas nos equipamentos, tornando o sistema mais confiável. Desta forma, as vantagens do tratamento digital de informações e apresentação analógica dos resultados, com riscos distribuídos de potenciais falhas, fundiram-se no que convencionou chamar de SDCD, Sistemas Digitais de Controle Distribuído, ou DIDC, *Digital Distributed Control*. É composto de estações locais de interface com o processo que realizam o controle (contínuo e seqüencial) e monitoração. Dispõem também de interfaces homem-máquina interativa para a supervisão e monitoração do processo com vídeos coloridos, teclados funcionais e uma rede de comunicação redundante de cabo coaxial ou fibra ótica. Um operador pode supervisionar uma unidade ou planta fabril a partir de uma console de vídeo. A apresentação dos diversos painéis de maneira hierarquizada e por regime de exceção, permite que a informação chegue até o operador, justamente o inverso do que ocorre com os sistemas analógicos convencionais.

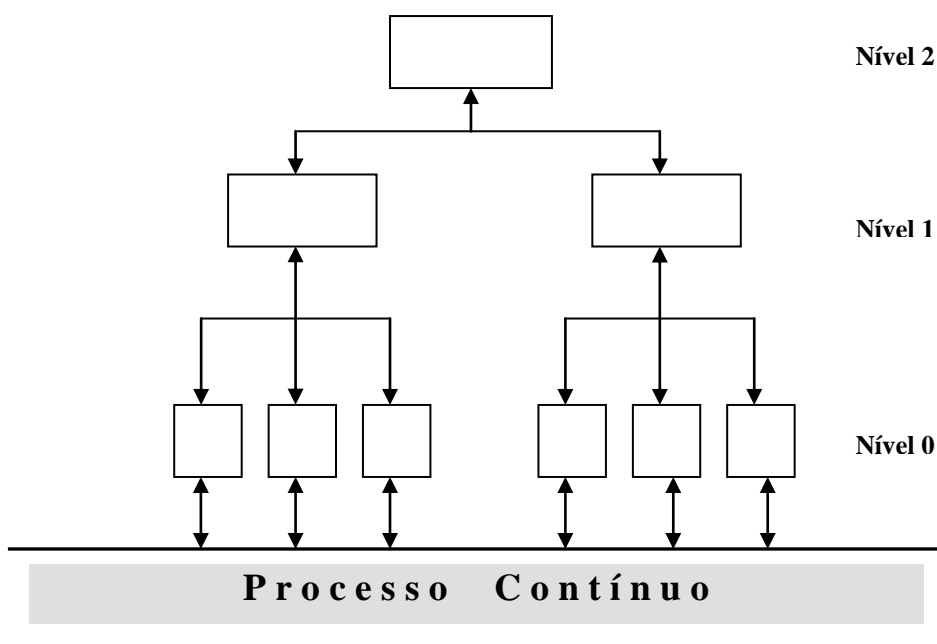
Para DELMÈE (1986) citado por FRANCISCHINI (1996), estes sistemas tiveram sucesso¹¹⁴ devido, entre outros, ao desenvolvimento através da cooperação entre especialistas em computadores e engenheiros de aplicação das plantas para problemas claramente definidos, à existência de instrumentação e

¹¹³ Os controladores Programáveis ainda são utilizados na indústria sucroalcooleira, mas em novas bases flexíveis com a nova tecnologia de instrumentação FieldBus.

¹¹⁴ Sucesso no sentido de uma aceitação inicial satisfatória para a tecnologia de instrumentação disponível na época.

modelos dos processos, embora ainda não suficientes, aos computadores utilizados serem confiáveis e capazes de resolver pequenos problemas, aos resultados econômicos claramente verificáveis num prazo razoável, aos principais problemas de interface homem-máquina notados e resolvidos com a tecnologia então disponível. A arquitetura de sistema típica de um SDCD é mostrada a seguir.

Figura 2.5: Arquitetura de um sistema de controle distribuído



Elaboração: Sandro da Silva Pinto¹¹⁵

A nova tecnologia em termos de instrumentação digital é a colocação de eletrônica junto aos equipamentos de medição (transdutores) de processo, onde as funções de amplificação e linearização, referentes ao tratamento do sinal, são feitas no próprio local de medida e esse valor é transmitido para a central diretamente através de uma rede denominada *FieldBus*.

¹¹⁵ Baseado em FRANCISCHINI (1996:27).

2.2. Sistema de automação para controle de processos contínuos

Os processos contínuos caracterizam-se, além dos aspectos já analisados no item 1.2 desta Dissertação, por possuírem variáveis que assumem valores que variam continuamente no tempo. Do ponto de vista matemático, pode-se definir como sendo processos cujas variáveis de entrada e saída são funções contínuas no tempo (ou pelo menos contínuas dentro de intervalos de tempo). Exemplo: $T = f(t)$; em que “T” representaria a temperatura; “t” o tempo e “f(t)” a função contínua.

As grandezas supervisionadas são basicamente os fluidos (pressão, vazão e temperatura), elétricas (corrente, tensão, potência) e mecânicas (força, rotação, deslocamento, aceleração). Percebe-se que todas são funções contínuas no tempo.

Neste capítulo, será de fundamental importância compreender de que maneira um sistema de automação é planejado e os conceitos para este fim envolvidos.

2.2.1. Estrutura de um sistema de automação

Para a compreensão de como um sistema de automação é estruturado, faz-se necessário, num primeiro momento, entendermos os conceitos básicos da estrutura de um sistema, em que a automação para controle de processos contínuos estará calcada, e posteriormente os elementos componentes de tal sistema.

A palavra **sistema** evoca a idéia de plano, método, ordem ou arranjo. Por outro lado, o seu antônimo seria então caótico, em que não existisse a noção de ordem, plano, e assim por diante.

A respeito da notoriedade de emprego, pode-se entender sistema como um conjunto organizado e complexo, uma reunião ou combinação de coisas ou partes que formam uma unidade, visando à realização de um objetivo ou conjunto de objetivos: “um conjunto de partes, funcionalmente inter-relacionadas, cada uma

denominada subsistema, organizadas de modo a alcançar um ou mais objetivos, com a máxima eficiência” (CHIAVENATO, 1994).

A partir de tal constatação, os sistemas podem ser classificados em sistemas fechados e abertos. Os sistemas fechados são aqueles sistemas que não influenciam externamente nem sofrem interferências do meio ambiente; já os sistemas abertos¹¹⁶, influenciam e sofrem influência do meio ambiente a que pertencem.

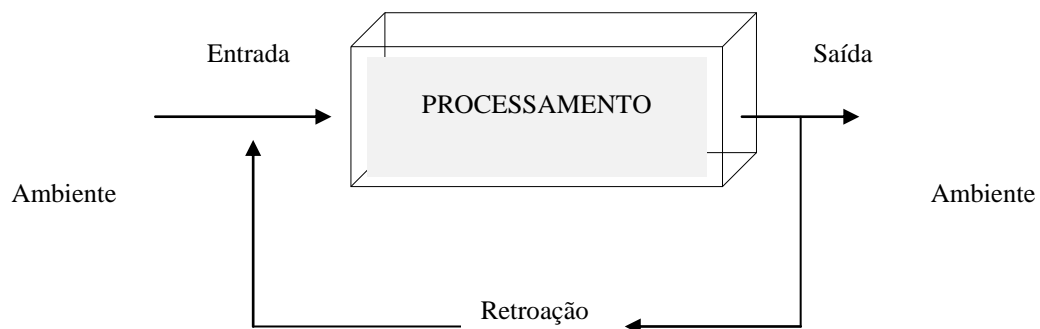
Qualquer que seja o sistema administrativo em estudo, o mesmo possuirá os seguintes elementos básicos: objetivos, entradas, processador, saídas e realimentação (feedback). Entende-se, no processo sistêmico, o objetivo como sendo a razão da existência do sistema, a entrada como tudo aquilo que o sistema necessita como “material” (pessoal, conhecimento tecnológico, informações, etc.) de operação, o processador como a parte do sistema que transforma (processa) as entradas, produzindo assim os resultados (Saídas¹¹⁷), e a realimentação (feedback) como necessidade de comparação dos resultados (saídas). Desta maneira, existirá necessariamente um padrão que será resultante de uma ação prévia de

¹¹⁶ Os sistemas abertos, numa visão rápida, possuem as seguintes características: a) *Importação de energia*: estes sistemas importam alguma forma de energia do ambiente externo. Nesse caso, pode-se entender “energia” como sendo material, informações, conhecimentos tecnológicos, etc; b) *Transformação e exportação de energia para o ambiente*: os sistemas abertos transformam praticamente toda a energia absorvida exportando para o meio ambiente o produto dessa transformação; c) *Ciclo de eventos* : o produto exportado para o meio ambiente garante a continuação das atividades do ciclo. Por exemplo, o dinheiro arrecadado com a venda dos produtos proporcionará a compra de matérias-primas e demais insumos; d) *Perpetuação de atividades*: é possível observar que todas as formas de organização, assim como os organismos vivos, se movem para a desorganização ou morte. No entanto, o sistema aberto, ao importar mais energia do seu ambiente externo do que aquela que consome, pode armazenar excedentes e, conseqüentemente, adquirir posição negativa, ou seja, evitar o seu desgaste ou encerramento; e) *Equilíbrio dinâmico*: a importação de energia em níveis superiores ao de consumo e a exportação de energia para o ambiente externo impõem certa constância nas operações, de modo que os sistemas abertos que sobrevivem são caracterizados por uma situação de firmeza ou equilíbrio, entre tais intercâmbios; f) *Especialização*: nos sistemas abertos há fortes tendências para a diferenciação de atividades e especialização. Cada dia que passa é possível observar a notória especialidade, como por exemplo, no campo da engenharia ou da administração geral; g) *Equifinalidade*: um sistema, por diversas maneiras, pode atingir o mesmo resultado final, mesmo considerando diferentes informações iniciais. Significa também que as técnicas de processamento a serem adotadas, mesmo que com diferentes formas de aplicação ou pensamento, podem conduzir os sistemas ao alcance de seus propósitos fundamentais, inclusive de modo bastante similar (CHIAVENATO, 1994; SLACK et al, 1997).

¹¹⁷ É importante não confundir as saídas com os seus objetivos. Por exemplo, numa indústria sucroalcooleira, assim como em qualquer outra empresa, o objetivo maior é o lucro, enquanto as saídas são os produtos açúcar, álcool, vinhaça, torta de filtro, cogeração de energia elétrica, entre outros.

planejamento que estabelece as condições esperadas das saídas. Assim, podem ser constatadas duas situações análogas, em que na primeira o resultado seria igual ao padrão, e na segunda, diferente.

Figura 2.6: Esquema de um sistema



Elaboração: Sandro da Silva Pinto

De acordo com PESSÔA & SPINOLA (1996), um sistema de automação, para a indústria de controle de processos contínuos, pode ser estruturado basicamente em três níveis, ou seja, subsistemas, como o da instrumentação, do supervisão e o de controle.

O subsistema de instrumentação, conhecido usualmente como instrumentação de processos, é o nível mais baixo do sistema de automação e está intimamente ligada ao processo, pois possui todos os sensores e atuadores, que representam os *órgãos do sentido*, em analogia com o corpo humano, do sistema de automação.

O subsistema supervisão tem a finalidade de levar informações para quem está operando o sistema. A decisão sobre quais as ações que devem ser tomadas com relação ao processo ficam por conta do operador. Desta forma a instrumentação realiza a aquisição de dados e os fornece para o computador. Este recebe as informações e as reorganiza para o operador através de painéis sinóticos, grandes quadros que possuem diagramas esquemáticos do processo, e monitores

de vídeo. O operador possui, em sua mesa de operação, manetes¹¹⁸ (alavancas de comando parecidas com um câmbio de carro) e outros dispositivos que lhe dão a possibilidade de ligar e desligar os equipamentos que atuam diretamente no processo.

Por fim, no subsistema de controle, além de se efetuar as tarefas de aquisição de dados e supervisão do processo, como no caso anterior, as ações de controle são tomadas pelo computador. Esse sistema, portanto, “tenta”¹¹⁹ operar sozinho, sem a intervenção humana. O operador apenas supervisiona e verifica se tudo está transcorrendo normalmente sem problemas.

2.2.1.1. Características do subsistema de instrumentação

A instrumentação de processo é a parte de um sistema de automação que se comunica com o processo, medindo as grandezas que interessam e atuando nos equipamentos adequadamente. Essa instrumentação possui um módulo de aquisição de dados, um módulo de processamento de informações, um módulo de controle (também chamado de acionamento e corresponde às variáveis de saída da instrumentação para o processo), além de variáveis de saída do processo que efetuam os comandos e de um módulo de interface com o operador (PESSOA & SPINOLA, 1996).

O módulo de aquisição de dados é a função que tem por finalidade trazer as informações para o centro de controle e possui os transdutores, os transmissores, e os linearizadores como elementos componentes. Deste modo, o elemento mais próximo ao processo é o transdutor, que transforma a grandeza do processo em uma grandeza adequada para os equipamentos de controle - geralmente em uma corrente ou uma tensão elétrica¹²⁰. Como exemplos de transdutores podemos citar os termopares, as placas de orifício, entre outros, conforme mostra o quadro abaixo:

¹¹⁸ Eram muito comuns na instrumentação pneumática e analógica, mas não na digital, que ao invés de manetes, possui comandos eletrônicos para atuação no processo produtivo.

¹¹⁹ Posteriormente será objeto de análise.

¹²⁰ Numa instrumentação pneumática, por exemplo, o transdutor precisava transformar a grandeza medida em um valor de pressão de fluido utilizado.

Quadro 2.1: Alguns transdutores¹²¹

<i>Grandeza</i>	<i>Transdutor</i>
Temperatura	Termopar
Força	Strain gage
Vazão	Placa de orifício
Corrente	Tensão em shunt

Fonte: PESSÔA & SPINOLA (1996).

Os transdutores normalmente estão localizados dentro dos próprios equipamentos da planta industrial. Dessa forma, é importante a transmissão desses dados para a sala onde os operadores estão trabalhando, que pode estar a dezenas de metros, como ocorre em uma usina de açúcar e/ou álcool, ou até quilômetros, como no controle de tráfego ferroviário. Um emaranhado de cabos chega à sala de controle, de centenas a milhares, provenientes dos mais diversos pontos da planta. Quem define os pontos a serem medidos é o engenheiro de processo juntamente com o engenheiro de instrumentação. Os sinais que chegam à sala de controle são sinais elétricos, no caso de instrumentação eletrônica, e cada um tem um significado específico.

Uma vez que os sinais chegam à sala de controle, é realizada a linearização dos mesmos para se estabelecer uma relação entre a tensão gerada e a grandeza medida (temperatura, pressão, vazão, etc.). Outra tarefa realizada é a padronização do sinal para facilitar a conexão de diversos equipamentos. Assim, um sinal qualquer é colocado sempre dentro de uma faixa padronizada de tensão ou corrente, em que a mais utilizada é a de 4 a 20 mA. Assim, por exemplo, supondo que se quisesse medir a temperatura de uma caldeira através de um termopar localizado proximamente, com temperaturas variando de 630,5°C a 1063°C, tomar-se-ia uma representação fazendo 630,5°C como 4 mA e 1063°C como 20 mA.

Finalmente, ao conectar-se esse sinal a um miliamperímetro, calibrada em graus Celsius, tem-se o último elemento de um sistema de instrumentação, isto é, a interface com o operador.

¹²¹ Cada transdutor mede a sua grandeza respectiva.

2.2.1.2. Características do subsistema supervisor

O computador de processo normalmente está em um nível hierárquico acima da instrumentação, conforme será analisado posteriormente na arquitetura de um sistema de automação, e realiza funções de nível mais global, como relatórios de operação fornecendo dados sobre o andamento do processo, o volume produzido, energia gasta, dados de qualidade, ocorrências anormais com alarmes, gráficos e tabelas que indicam tendências de variáveis e conjuntos de variáveis e apresentação dos dados em painel sinótico¹²².

Os computadores de processo que, além das funções de supervisão realizam controle, possuem modelos matemáticos que permitem determinar as ações a serem tomadas no processo. Nos novos sistemas de instrumentação digital os equipamentos são configurados em rede de tal forma que esses computadores estão na sala de operação comunicando-se com a instrumentação, como é o caso da tecnologia *FieldBus*.

2.2.1.3. Características do subsistema de controle

Antes de qualquer conceituação, devemos saber que para ser possível controlar o processo é necessário, antes de tudo, conhecê-lo, medir as suas grandezas e atuar nele sempre que necessário. Desta forma, desejamos controlá-lo para que se chegue ao produto pretendido, através de técnicas de controle automático, como, por exemplo, pesar a matéria prima, misturar insumos na seqüência correta, movimentar materiais em processamento, obedecer uma certa curva de temperatura no tempo, entre outros.

O conhecimento do processo é “materializado” através de seu modelamento matemático, em que os fenômenos físicos e químicos envolvidos seriam equacionados de acordo com os requisitos da produção desejada. Assim,

¹²² Termo muito difundido e significa “uma visão geral, um resumo” do que está acontecendo. Trata-se de um painel grande que possui um diagrama esquemático da planta produtiva com lâmpadas indicativas e instrumentos de painel localizados adequadamente -instrumentos de ponteiro ou mostradores digitais- para que o operador, ou os operadores possam, de longe, identificar com rapidez o que está ocorrendo na planta e tomar as ações necessárias.

por exemplo, em uma reação química sabe-se se ela é exotérmica ou endotérmica e, portanto se é necessário realizar alguma intervenção de resfriamento ou aquecimento. Desta forma, o grau de sofisticação dos modelos matemáticos do processo depende do refinamento com que eles são controlados, utilizando-se muitas vezes modelos simples, que estabelecem relações lineares entre as grandezas, para permitir uma operacionalização fácil.

Pode-se também desenvolver modelos sofisticados com as técnicas mais modernas de simulação e solução por elementos finitos. Assim, em uma reação físico-química, pode-se utilizar apenas as equações de balanço de energia para determinar as quantidades de materiais a serem misturados ou então construir modelos de elementos finitos, que possuem uma abordagem diferencial¹²³.

Com os dados reais, que são tomados empiricamente no processo produtivo em andamento, os coeficientes das equações são ajustados para que se consiga o resultado esperado, e assim o erro será maior para um modelo simplificado.

De uma maneira em geral as empresas utilizam um modelo matemático compatível com as exigências de mercado e com os equipamentos produtivos que possuem, caso da indústria sucroalcooleira, em que ao longo do tempo existe uma tendência de aperfeiçoamento e, portanto, um maior refinamento nos processos, acarretando a necessidade de pesquisa e desenvolvimento em processos, que acaba por aumentar os custos de produção. Se não o fazem, ficam tecnologicamente defasadas em relação às concorrentes, que em alguns casos são empresas transnacionais.

Dessa forma, uma maneira utilizada pelas empresas em geral, que também é o caso das usinas de açúcar e/ou álcool, é a aquisição de conhecimento (*know-how*), através da compra de tecnologia inserida dentro dos equipamentos

¹²³ Considera-se um elemento de volume dV onde são aplicadas as equações da reação química, onde são colocadas também as equações de aquecimento e de movimentação do material dentro do banho (equações de transmissão de calor e de mecânica dos fluidos). É feita a integral de volume desse elemento até se chegar à condição de contorno do banho todo e do ambiente onde ele está imerso. Nesse modelo, então, chega-se ao refinamento de se determinar, teoricamente, a velocidade de movimentação dos materiais, a temperatura em cada ponto e o estágio da reação em andamento. Uma vez elaborado o modelo, é necessário calibrá-lo através de medidas experimentais, onde são levantados dados para ajustar os coeficientes das equações teóricas.

produtivos adquiridos. São os chamados pacotes *turn-key* onde o fornecedor entrega o processo funcionando, com a “chave na mão”. Portanto, para a empresa que compra pacotes tecnológicos fechados, é necessária uma grande competência em conhecer a tecnologia recém adquirida, para não ser apenas "motorista" de processo e depender apenas desse fabricante.

Quanto à medição, uma vez definidas as grandezas do processo, é necessário verificar sua “observabilidade”, ou seja, se a grandeza a ser medida pode ser medida diretamente. Por exemplo, sabendo-se a temperatura superficial da caldeira, pode-se calcular qual seria a temperatura em seu interior, em cada instante.

Por fim, a atuação no processo pode ser realizada através de operadores, na chamada operação manual, ou automaticamente, na operação automática, através do sistema de controle, que aqui está sendo exposto. Em uma operação manual do processo o operador deve ter uma tabela para poder alterar o *set point* da operação unitária em que está envolvido. Vale destacar que, embora seja uma operação manual, o operador atua indiretamente nas grandezas do processo. Ele muda o *set-point* que pode ser uma temperatura desejada que, por sua vez, pode atuar na quantidade de combustível para o processo e assim por diante.

Desta forma, o sistema de controle é uma coleção de malhas de controle, vinculadas umas às outras, que permite o controle correto do processo. Processos completos possuem dezenas ou até centenas de malhas de controle. Em uma operação automática, a citada tabela está dentro do computador de processo que vai determinar os *set-point* automaticamente e continuamente conforme vão sendo realizadas as medidas no processo. Existem casos em que não são utilizadas tabelas, mas sim equações com os modelos de processo. Alguns processos utilizam a simulação em tempo real onde o computador simula, durante o andamento do processo o que deverá acontecer nos próximos momentos para determinar as ações a serem tomadas. Nesse caso, entretanto pode haver problemas com a velocidade de processamento.

2.2.2. Malhas de controle de processo

Conforme analisado anteriormente, nas características do subsistema de controle, um sistema de controle pode ser definido genericamente como sendo um conjunto de mecanismos que atuam sobre um sistema alterando seus parâmetros, composto por diversas malhas de controle. Entretanto, os sistemas de controle podem ser classificados de várias maneiras, isto é, pode ser uma malha aberta ou fechada; ser for uma malha fechada podem ser proporcionais, proporcionais derivativos, proporcionais integrativos, ou proporcionais derviativos-integrativos.

O sistema de controle em malha aberta caracteriza-se por ser de extrema simplicidade, em que a variável de saída não tem efeito sobre a ação do controle, isto é, na malha aberta, a variável de saída não é mensurada e nem possui um *feedback* (realimentação) para comparação com a entrada de referência. Um exemplo de um sistema de controle de malha aberta seria um forno microondas, que depois de acionado continua a trabalhar de acordo com o tempo estipulado (entrada de referência) determinado pelo operador humano. Os dados de saída, que neste caso seria o grau de cozimento de algum alimento, não são medidos e nem comparados com os dados de entrada (estado inicial dos alimentos) para que a máquina seja ajustada no decorrer do tempo. Uma consequência deste tipo de malha é que a cada entrada de referência corresponde apenas uma condição de operação fixa. Desta forma, a precisão do sistema depende de calibração e na presença de distúrbios o sistema não será capaz de desempenhar sua tarefa.

Por outro lado, um sistema de controle em malha fechada é aquele no qual o sinal de saída possui efeito direto na ação de controle. Por isso diz-se que esses sistemas são de controle realimentado, pois o sinal de saída, que está sob efeito de mecanismo controlador, o qual não existe no sistema em malha aberta, é confrontado com a entrada de referência dando origem ao que se chama de sinal erro atuante¹²⁴. Esse erro é realimentado no controlador de maneira a manter a saída do sistema em um valor desejado. Neste momento é importante ressaltar que uma vez obtido o erro, a atuação no processo pode ser feita de diferentes

¹²⁴ Que nada mais é do que o resultado da comparação entre os dados de saída e entrada.

maneiras, ou seja, através de um controle proporcional, proporcional derivativo, proporcional integrativo ou proporcional derivativo-integrativo.

No sistema de controle de malha fechada do tipo proporcional, o sinal de saída é relacionado com o controlador através de uma constante de proporcionalidade, denominada fator de amplificação do erro atuante e que nada mais é do que uma constante que diz o quanto o sistema é sensível às variações externas através de uma maior ou menor amplificação do erro verificado.

Para o tipo de controle proporcional derivativo (PD) é introduzida, além do erro e a sua respectiva constante de proporcionalidade, a derivada do erro, que também é relacionada a uma outra constante. O controle derivativo antecipa o erro atuante e pode produzir uma ação corretiva mais cedo antes que o valor do erro atuante se torne demasiadamente grande. Desta forma obtém-se um dispositivo controlador de alta sensibilidade que é também chamado de controle antecipatório. Entretanto, este tipo de sistema de controle possui uma estabilidade muito frágil, uma vez que corrige o erro através da tendência de variação, dada pela derivada do erro, a qual cresce muito mais rápido que o próprio erro. Um outro problema deste tipo de sistema de controle é sua susceptibilidade a comportamento oscilatório no caso de valor de constante de proporcionalidade inadequado. Uma última observação a ser feita é que por envolver o conceito de derivada, o sistema de controle proporcional derivativo só funciona quando o erro varia no tempo, pois caso contrário, a derivada do erro no tempo é zero e o sistema se comporta como se fosse apenas proporcional.

Quanto ao controle proporcional integrativo (PI)¹²⁵, tem-se uma maior precisão e o erro é melhorado, pois a integral funciona como uma “memória”, guardando a somatória dos valores obtidos até o momento. Desta forma, se o erro de regime permanente for constante o sistema o reduzirá a zero. No entanto, este sistema poderá ser menos estável que o original, podendo até mesmo se tornar instável caso as constantes de controle integrativo e proporcional não sejam

¹²⁵ Na indústria sucroalcooleira é muito comum usar este sistema de controle, tendo em vista que o anterior (PD) tem uma sensibilidade muito grande para as mudanças e como este setor industrial carece ainda de maiores investimentos em tecnologia de automação, é melhor ter um processo que mantenha um regime mais demorado de resposta, para que os engenheiros e técnicos de processo

escolhidas adequadamente. Uma outra característica do sistema de controle proporcional integrativo é que ele “amacia” a resposta ao transiente, isto é, à mudança nas condições do sistema, e o sistema fica mais lento para reagir. Quando existe uma variação brusca na entrada do integrador, o valor é somado e a atuação na saída é minimizada, pois vai depender também dos valores anteriores. Isso explica a “inércia”, pois o sistema vai demorar para reagir à entrada, se comparado com o sistema puramente proporcional. É a situação inversa com relação ao sistema de controle derivativo.

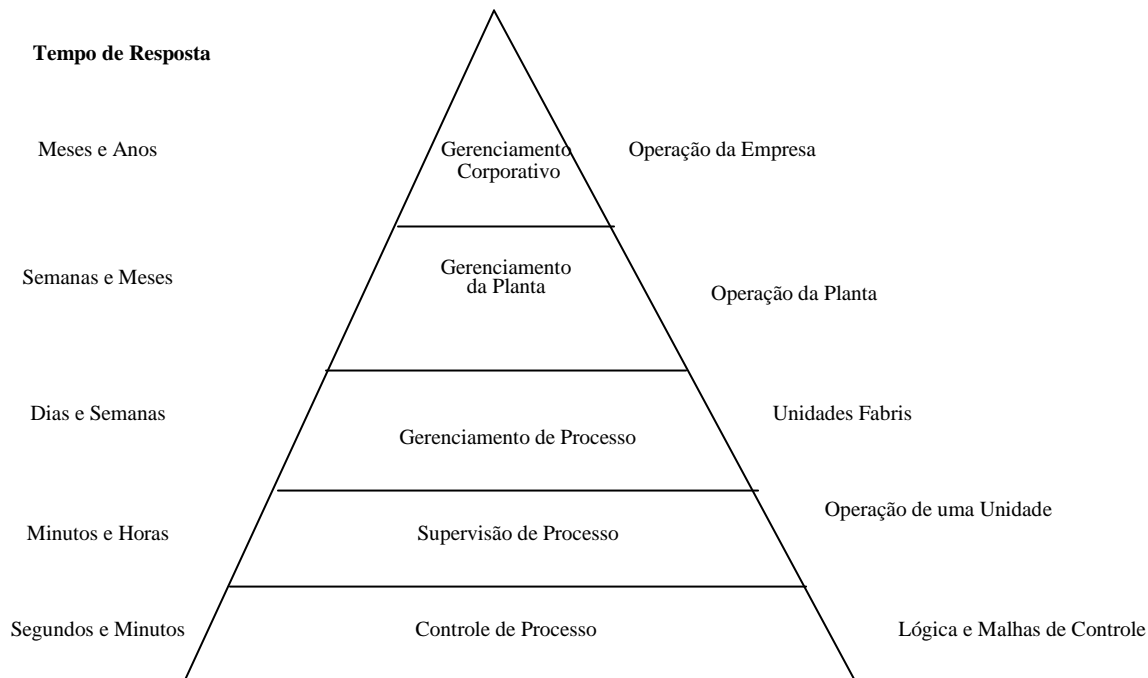
Finalmente, para o controle proporcional derivativo-integrativo (PID) pode-se ter na atuação sobre o processo, simultaneamente, os efeitos proporcional, integrativo e derivativo. As características de comportamento de cada processo específico é que vão determinar o melhor ponto de ajuste da contribuição proporcional, integrativa e derivativa.

2.2.3. Arquitetura do sistema de automação

Os sistemas de produção nas empresas que possuem um alto grau de automação, por diversas razões, não são interligados. Motivos para isso não faltam, como, por exemplo, a aquisição independente de sistemas de fabricantes que não possuem equipamentos que se interliguem, ou mesmo pela própria geração dos equipamentos que não possuem protocolos adequados de comunicação. Contudo, existe uma tendência de integração dos diversos subsistemas dentro das empresas e fora delas com seus clientes e fornecedores.

A pirâmide apresentada na Figura 2.7 pode ser utilizada como modelo para visualizar uma possível configuração de arquitetura de um sistema integrado. Esse modelo foi apresentado, de acordo com PESSÔA E SPINOLA (1996), pela *Purdue University* e estudado em grandes indústrias.

Figura 2.7: Hierarquia de integração de subsistemas de automação



Fonte: PESSÔA & SPINOLA (1996).

De acordo com esta arquitetura, no nível 1, controle de processo, estão todos os equipamentos que interagem diretamente com o processo. No nível 2, supervisão de processo, são estabelecidos os parâmetros de operação para o nível 1 e é apresentada uma visão global de funcionamento do equipamentos controlado através de relatórios de operação como volumes produzidos, características de desempenho e alarmes de funcionamento. Para o nível 3, gerenciamento de processo, normalmente são agrupados sistemas que operam em unidades afins ou complementares, para indústria de grande porte. Quanto ao nível 4, gerenciamento da planta, o planejamento e a programação da produção é realizado como um todo, pois nesse nível é feita a interligação entre as fábricas e o mundo externo, levando em consideração os pedidos colocados, seus prazos, suprimento de matéria-prima e estoques intermediários. Finalmente, no nível 5, o gerenciamento corporativo, é o nível mais alto que atende a outras áreas da empresa e efetua planejamentos a prazos mais longos.

2.3. Requisitos para a otimização do processo produtivo

Para os processos produtivos contínuos, caso das usinas sucroalcooleiras¹²⁶, não é suficiente que sejam apenas controláveis, mas, além disso, é necessário que estes controles sejam eficazes e eficientes. Desta forma, analisar, por exemplo, os requisitos de equipamentos, de *softwares*, de conhecimentos em engenharia, manutenção, operação, entre outros, conduz-nos a uma base necessária, mas, no entanto nem sempre suficiente, para a otimização de sistemas de controle de processos contínuos.

Para FRANCISCHINI (1996), o equipamento de controle de processo necessita de características elementares para que o sistema de controle possa ser o mais eficiente possível, como compatibilidade, confiabilidade, precisão e robustez para os sistemas controladores e seus equipamentos, assim como conhecimentos de engenharia, dos operadores de equipamentos e de manutenção.

A compatibilidade entre os sistemas controladores utilizados em uma planta industrial deve ser tratada em nível estratégico, dado que é base para a integração entre os vários níveis de controle e entre os vários sistemas atuantes na planta, ou mesmo em sub-processos. Por exemplo, quando se analisa o caso dos SDCD's, os mesmos atendem aos níveis operacional e supervisorio (níveis 0 e 1 da figura 2.8). Desta maneira, para possibilitar a integração ao nível otimização (nível 2) requer-se compatibilização de protocolos de comunicação e de *softwares* de várias procedências. A lógica é análoga para integração no nível gerencial (nível 3), em que as informações são recolhidas e processadas em computadores de uso geral.

Para os requisitos de confiabilidade, geralmente, dependem da função que está sendo executada, do processamento que está sendo controlado e outros fatores. Os requisitos para a instrumentação industrial, seja ela pneumática, analógica ou digital, são deduzidos do sistema global, dando-se devida atenção à contribuição de um determinado equipamento dentro deste sistema e aos objetivos de confiabilidade. Assim, quando uma fase do processo produtivo envolve riscos

¹²⁶ Conforme já delimitado no capítulo 1 desta Dissertação.

significativos de qualquer natureza, o planejamento do controle do processo deve prever redundâncias¹²⁷ para que na falha de qualquer equipamento o processo produtivo não pare ou mesmo para que não aconteça algum acidente, o que poderia levar a conseqüências imprevisíveis.

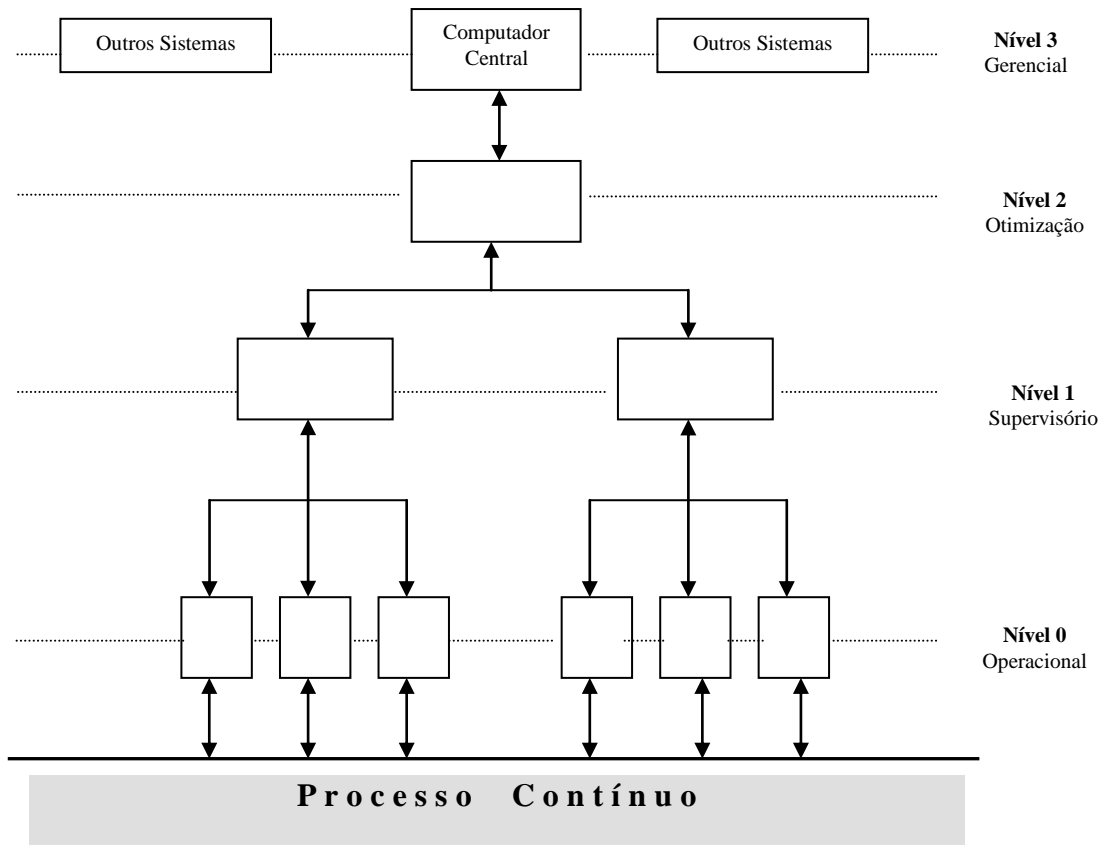
Quanto à precisão, a qualidade das leituras de variáveis do processo é um dos pontos fundamentais para o sucesso dos sistemas de controle. No entanto, não depende apenas do equipamento de medida, mas também do *software* com a aplicação de modelamento matemático para a filtragem dos dados, continuidade das leituras, calibragem automática, entre outros. Devido à impossibilidade de se colocar alguns sensores em determinadas fases do processo produtivo (como, por exemplo, um sensor no centro de uma caldeira), o sistema deve ser provido de modelos que simulem as equações de propagação da grandeza em questão, para que a leitura no ponto desejado seja correta.

Em relação à robustez, os processos contínuos, que são multivariáveis, apresentam interações entre as diferentes variáveis de entrada e saída. Portanto, é desejável a escolha de pares (manipulada, controlada) que minimizem estas interações. Desta forma, a aplicação de métodos determinísticos pressupõe algumas restrições que raramente são encontradas na prática, isto é, linearidade do modelo, conhecimento preciso de parâmetros, perturbações e ruídos.

Para os requisitos de *software*, sabemos que a operação de um processo contínuo é multiobjetiva por natureza. Desta maneira, além do aspecto quantitativo da otimização, há também diferentes aspectos qualitativos, ou seja, a busca pela operação estável do processo, a segurança da planta industrial, as restrições ambientais, a detecção de falhas, o controle regulatório de qualidades, entre outros.

¹²⁷ A necessidade de redundância em sistemas de controle deve levar em consideração os seguintes pontos: a) segurança: identificação dos pontos críticos e a alocação de recursos adequados de controle; b) lucratividade: possibilidade de paradas da planta e de sinistros com danos aos equipamentos. Por outro lado, evitar redundâncias desnecessárias; c) manutenção: disposição das malhas nos sistemas de decisão de tal modo que reduza o tempo necessário para que uma falha possa ser reparada - baixo Tempo Médio de Reparo (FRANCISCHINI, 1996).

Figura 2.8: Arquitetura de um sistema integrado de controle



Elaboração: Sandro da Silva Pinto¹²⁸.

Existem, portanto, objetivos qualitativos que para serem alcançados utilizam-se de instrumentos com saídas quantitativas. Assim, uma questão a ser colocada seria a de como alcançar os objetivos de controle a partir da monitoração e manipulação de variáveis de processo. Uma outra seria em relação a qual estrutura de *loops* de controle a ser adotada, isto é, qual o fluxo de informação entre as variáveis medidas e as manipuladas; e assim por diante.

Entretanto, na busca pela otimização do processo produtivo, a prática industrial em processos contínuos mostra que o ponto de operação ótimo muda da intersecção de um conjunto de restrições para outro, assim que as perturbações do processo mudarem com o tempo. Dadas estas perturbações, o objetivo do sistema

¹²⁸ Baseado em FRANCISCHINI (1996:29).

de controle é manter o processo operando no ponto economicamente ótimo e, simultaneamente, evitar que as restrições sejam violadas. Esta perseguição do ponto ótimo dentro da faixa de operação segura do processo, que está sujeito às perturbações, é chamada de controle otimizado ou evolução operacional ótima.

Para O'SHIMA (1983)¹²⁹, citado por FRANCISCHINI (1996), considerações econômicas podem conduzir a uma evolução operacional ótima de um processo, mas a operação ótima de um processo contínuo encontra-se na intersecção de restrições não-lineares.

A literatura de Pesquisa Operacional mostra a extrema complexidade de se lidar com otimização não-linear, requerendo para seus algoritmos uma considerável capacidade computacional que não estava disponível na tecnologia analógica. Os resultados, seguramente, seriam piores se a evolução operacional fosse deixada a cargo dos operadores que no máximo, conseguiriam otimizações locais e não globais.

Assim, o grande número de interações entre variáveis de processo causadas pela introdução de refluxos para aproveitamento de componentes e/ou energia, o estreitamento das faixas de controle para a redução da variabilidade do produto final e a sofisticação do ferramental matemático no desenvolvimento de modelos, tornaram ineficazes as técnicas de controle convencional. Foi necessário o desenvolvimento do Controle Avançado para resolver problemas de controle de sistemas multivariáveis sofisticados, requeridos para a melhoria da qualidade do processo.

Deste modo, o desenvolvimento da tecnologia de computadores¹³⁰, em especial os digitais, e métodos numéricos vem diminuindo, cada vez mais, as restrições impostas pela computação, fazendo com que a eficiência do controle esteja no próprio modelo adotado.

Quanto ao conhecimento envolvido na concepção de sistemas de controle de processos, pode-se citar pelo menos três níveis principais, ou seja, o conhecimento da engenharia, dos operadores de equipamentos e da manutenção.

¹²⁹ O'SHIMA, E. Computer Aided Plan Operation. **Computer and Chemical Engineering**. London, v.7, n. 4, 1983, pp 311-329.

Em relação aos conhecimentos de engenharia, a necessidade de se adequar à interação homem-máquina para a operação de sistemas de controle sempre foi um objetivo dos fabricantes de tecnologia para controle de processos. Desta forma, da passagem da fase pneumática para a analógica e posteriormente para digital, os painéis de controle tiveram uma evolução muito significativa, passando de painéis sinóticos simples com luzes piscando para informar problemas aos painéis sinóticos atuais, apresentados digitalmente e permitindo o controle das variáveis em questão.

Do ponto de vista operacional, a visão da engenharia numa planta industrial tende a ser conceitual, desconhecendo por muitas vezes algumas práticas adotadas pelo pessoal operacional para solucionar problemas não previstos pela própria engenharia. São os chamados “macetes de ofício”, tantas vezes já utilizados na literatura (LEITE LOPES, 1976; EID, 1988a; EID, 1988b).

Durante a fase de concepção e implementação do sistema de controle para processos contínuos, os engenheiros tendem a subestimar a variabilidade durante a operação do sistema e a necessidade de intervenção dos operadores. Subestimam acreditando que a “máquina” funcionará conforme o previsto e mesmo quando não funcionar, os sistemas redundantes¹³¹ entrariam em operação, evitando assim maiores problemas.

Mas na realidade, o que acontece no dia-a-dia de um chão-de-fábrica supera qualquer expectativa inicial prevista. TAKAMATSU (1983)¹³², citado por FRANCISCHINI (1996), coloca a importância do conhecimento do processo como fator fundamental para a controlabilidade, e detalha alguns pontos que devem servir de referência para a análise estruturada do processo para o desenho do sistema de controle, em que destacam algumas dificuldades, como a identificação do modelo e as incertezas nas informações do processo.

¹³⁰ Conforme já mostrado em sua evolução.

¹³¹ Sistemas estes controlados na maioria das vezes por máquinas.

¹³² TAKAMATSU, T. Nature and Role of Process System Engineering. **Computer and Chemical Engineering**. London, v. 7, n. 4, 1983, pp 203-218.

Assim, em relação à identificação do modelo, este autor menciona que talvez seja este o campo mais problemático entre engenheiros e matemáticos no sentido de elaborar métodos de identificar quantitativamente as relações entre fenômenos e eventos, sob condições de uma dada estrutura de relações, assim como a partir de dados de observações e experimentos. Outra dificuldade, continua o autor, é que esta estrutura de relações pode não ser única, cabendo então um trabalho de identificar uma estrutura ótima dentro de várias possibilidades.

Sobre as incertezas nas informações do processo, o autor destaca que a incerteza na informação vinda de um processo é geralmente expressa por uma quantidade estatística, mas as decisões nos sistemas de decisão são determinísticas. Determinar a que estágio do processamento da informação uma quantidade estatística deve ser transferida para uma quantidade determinística para a tomada de decisão, é outro problema fundamental na síntese do sistema de controle.

Portanto, percebe-se que o projeto de um sistema controlador envolve a identificação dos objetivos de controle, a seleção correta das variáveis medidas e manipuladas, a determinação das malhas que envolvem estas variáveis e a determinação dos algoritmos de controle. O passo seguinte é constituir os modelos e algoritmos que serão utilizados pelo sistema de controle, para alcançar os objetivos especificados.

Para FRANCISCHINI (1996), a adequação de um modelo de processo envolve a complexidade do processo, a complexidade do modelo e a possibilidade de cálculo por métodos numéricos em tempo compatível com as necessidades de controle. Assim, ao se projetar um sistema de controle deve-se ter como condicionantes, primeiro, quais as variáveis que devem ser manipuladas e quais as controladas para alcançar o controle completo da planta (e não mais apenas das unidades operacionais); segundo, qual estrutura de correspondência que deve haver entre as variáveis manipuladas e controladas para formar um sistema de controle robusto; e por fim, como transferir os requisitos operacionais da planta em objetivos de controle consistentes.

Para o projeto do sistema de controle de um processo complexo, torna-se gradativamente mais complicado efetivá-lo à medida que aumentam as interações entre os equipamentos envolvidos. As técnicas convencionais de controle, em que a estrutura de controle da unidade é baseada na análise individual de malhas, estão tornando-se cada vez menos eficientes, ou seja, as perturbações não são tratadas de modo integrado, fazendo com que o processo não flua dentro dos parâmetros preestabelecidos, não permitindo assim a otimização.

Quanto aos conhecimentos dos operadores de equipamentos, é fato que existe uma distância¹³³ entre a concepção de qualquer modelo e a sua efetivação. Nesta perspectiva, os operadores tentam adaptar-se a tecnologia do momento e quando tudo mais não funcionar, voltam a exercer a sua função convencional intrínseca, que não otimiza o processo produtivo, mas o controla.

Desta maneira, SALERNO (1991) afirma que os projetistas atuam por uma linha que privilegia as soluções distantes da realidade da operação rotineira, onde existe um grande número de situações e restrições não previstas pela engenharia.

DUARTE (1994) analisa o processo de vigilância que os operadores desempenham como forma de antecipação dos incidentes e suas conseqüências perigosas. As informações que os instrumentos trazem do campo podem ser passíveis de erro, levando os operadores à confrontação de diferentes medidas e por interações freqüentes com os operadores externos. Assim, os operadores em sala de controle estão permanentemente construindo os problemas a enfrentar.

No que diz respeito à cognição destes operadores, segundo MONTMOLLIN (1984)¹³⁴, citado por FRANCISCHINI (1996), designa o conjunto de atividades e de processos pelos quais um organismo adquire a informação, tratando-a, conservando-a e explorando-a. De uma certa maneira evoca o conjunto de atividades pelas quais o sujeito adquire e desenvolve conhecimentos.

¹³³ Tal distância é fruto de qualquer projeto de conformação, ou seja, quando se predetermina o funcionamento de qualquer sistema/máquina/operação, tem-se que as atividades foram prescritas na tentativa de prever o futuro. Mas como este último é incerto, ocorre o desvio, a perturbação, isto é, o distanciamento.

¹³⁴ MONTMOLLIN, M. *La intelligence de la tâche: éléments d'ergonomie cognitive*. Peter Lang, Berne, 1984.

Em processos contínuos com tecnologia analógica, os painéis de controle são especialmente desenhados para cada processo, e a disposição da instrumentação segue algumas regras básicas, que foram desenvolvidas ao longo da utilização dos painéis de controle. Desta maneira, a Ergonomia Cognitiva¹³⁵ procurou dispor a instrumentação de tal modo que minimizasse os erros de operação¹³⁶.

Na tecnologia digital, enquanto os sistemas digitais não atingiam um certo nível de capacidade de processamento, o tratamento digital das informações correspondia também a registrar em vídeo o valor da variável e dos *set points* em forma digital.

A solução para este problema somente foi conseguida com o aumento da capacidade de processamento para o tratamento digital das informações, e do desenvolvimento de *hardware* e *softwares* específicos para a apresentação analógica dos resultados. Com isso, quebrou-se o que faltava da rigidez dos painéis de controle analógicos¹³⁷.

¹³⁵ O ser humano, ao desenvolver um trabalho qualquer, mobiliza uma capacidade de trabalho físico e mental. Tal capacidade de trabalho não pode ser simplesmente decomposta em “trabalho físico” e “trabalho mental”, pois esses se complementam e dizem respeito a todos os aspectos do trabalho humano.

¹³⁶ “Nos painéis de controle com tecnologia analógica e pneumática, verificavam-se algumas características importantes que auxiliavam na sua operação, como o fato de controladores e registradores serem agrupados por fases do processo, as variáveis de controle e monitoração serem mostradas de forma analógica, as botoeiras de acionamento de atuadores serem colocadas próximas ao respectivo controlador, os registradores serem dispostos de modo a facilitar a visualização da interação de duas ou mais variáveis, os registradores e botoeira serem dispostos dentro da área de alcance, operação e visualização dos operadores, os acionamentos para emergência serem colocados próximos aos registradores de variáveis críticas e facilmente visualizados e a determinada ação corresponder a um efeito conhecido, sem ambigüidades” (FRANCISCHINI, 1996:45 – Nota de Rodapé).

¹³⁷ “A apresentação analógica do estado do processo que utiliza tecnologia digital caracteriza-se, por exemplo, no desenho da tela, que dispendo o esquema de controle, pode ser feito da maneira mais conveniente para o operador, nas alterações na apresentação dos resultados, que podem ser feitas com facilidade, na hierarquia da visualização do processo e de subprocessos que tende a ser totalmente flexível, ao fato do operador poder modificar as características da tela de apresentação, como as cores, ao histórico e escala dos gráficos poderem ser modificados segundo as necessidades da operação, às várias opções na forma de apresentação dos dados e ao fato do *software* poder apresentar de maneira adequada o ponto do processo que entrou em estado de emergência, sem a intervenção do operador” (FRANCISCHINI, 1996:45-46 – Nota de Rodapé).

E por fim, em relação à manutenção, para DANIELLOU (1988)¹³⁸, citado por FRANCISCHINI (1996), uma organização do trabalho que rigidamente impõe uma presença permanente dos operadores na sala de controle, não permite que eles atualizem seu conhecimento da instalação. Segundo este autor, isto pode levar a uma maior dificuldade no diagnóstico de falhas de sensores e equipamentos.

2.4 Razões e dificuldades para a automação microeletrônica

Um dos primeiros autores a estudar a automação industrial e seus impactos foi Georges FRIEDMANN (1972), que considerava a automação um termo que abrangia três setores, isto é, a integração numa cadeia contínua de produção de diversas operações; os dispositivos de retroação e os computadores e ordenadores eletrônicos.

A integração fazia-se numa cadeia contínua de produção, em que o produto era transformado sem ser tocado pela mão humana em diversas operações até então efetuadas separadamente. Os dispositivos de retroação, ou de regulação automática, munidos de sistemas subordinados (*feedbacks* ou *closed loops*), permitiam o ajustamento do resultado efetivo ao resultado previsto. E os computadores e ordenadores eletrônicos (*computers*) eram capazes de registrar e acumular informações e, depois, com bases nestas, de realizar operações matemáticas de uma complexidade e com uma rapidez muito superior às capacidades do cérebro humano.

Desta forma, a automação, para FRIEDMANN, distingue-se do automatismo, ou, como se diz às vezes, da automática, abrangendo estes últimos termos os aspectos técnicos de automatização, da qual a automação pode ser considerada como uma etapa histórica, que apresenta características originais.

Continuando este autor, entre 1950 e 1955, em seu primeiro período, a automação suscitou uma fé soberba na multiplicação de novos empregos por

¹³⁸ DANIELLOU, F. Ergonomie et demarche de conception das les industries de processus continus quelques étapes clés. **Le Travail Humain**. L'ergonomie de processus continus, V. 51, n. 2, 1988, pp 185-194.

novas máquinas, na reabsorção rápida do pessoal deslocado, na utilização altamente cultural de seus lazeres pelos benefícios de uma suposta semana de trabalho reduzida. A atribuição de uma maior responsabilidade, afirmavam ainda em 1954 os dirigentes da *Union of Automobile Workers*¹³⁹, compensaria, com grande vantagem, a redução do esforço físico e da destreza manual antes exigida.

Para FRIEDMANN, uma fração considerável da população ativa permaneceria, nas sociedades industriais, mesmo nos Estados Unidos, ocupadas em tarefas parceladas e repetitivas. Mas a automação, reforça este autor, certamente suprimiria muitas dessas tarefas e criaria outras novas em diferentes etapas da produção.

No entanto, desde Friedmann, outros autores têm estudado a automação e não poderíamos finalizar este tópico sem ao menos mencionarmos alguns motivos e obstáculos envolvidos. Os motivos referem-se às circunstâncias favoráveis para que uma empresa opte pela automação de seu processo produtivo; os obstáculos referem-se às limitações e impactos resultantes de empresas que já automatizaram seus processos produtivos.

Child¹⁴⁰ citado por Colin GILL (1984), identifica quatro estratégias da empresa na organização do trabalho, desde que se introduziu a tecnologia de informação, em referência à automação. A primeira refere-se à tentativa de eliminação da mão-de-obra (especialmente a mão-de-obra direta) do processo de produção. A segunda, em relação às novas formas de contrato de trabalho em que se transfere uma parte do emprego industrial para outros setores da economia, como o de serviços. A terceira, à manutenção e o desenvolvimento das forças de trabalho polivalentes, especialmente associadas a uma forma de controle compatível com uma certa autonomia dos trabalhadores e um engajamento normativo de sua parte em relação à empresa. E finalmente, a quarta estratégia refere-se à intensificação do controle direto da direção sobre o processo de trabalho associada a uma fragmentação e a uma “desqualificação” do trabalho industrial.

¹³⁹ U.A.W. – C.I.O. (Sindicato dos Operários Automobilísticos).

Para TAUILE (1988), existem determinantes¹⁴¹ para a automação com base microeletrônica. São eles: *os custos do fator trabalho, as condições de trabalho, a qualidade, a flexibilidade, o capital fixo e circulante, o controle e o acesso à tecnologia.*

Quanto aos custos do fator trabalho, nos países desenvolvidos, onde o custo da mão-de-obra industrial é alto, nada mais justificável economicamente do que buscar automatizar com o objetivo de reduzir os custos de trabalho. Com a automação, reduz-se a participação relativa de trabalho no processo de produção (cai a relação trabalho/capital), o ritmo de trabalho torna-se mais regular e uniforme (robôs industriais) e a produtividade dos trabalhadores que permanecem aumenta bastante. Substituir trabalho em ambientes e condições adversas ou perigosas deveria ser sempre a prioridade para a introdução da automação microeletrônica. Por outro lado, os empresários argumentam que o trabalho em ambientes poluídos ou com riscos de acidentes é mais caro (insalubridade), vagaroso e imperfeito, acarretando custos finais maiores. Em relação à qualidade, seu aumento no produto final é devido principalmente à precisão, a uniformidade, confiabilidade e durabilidade do produto (embora não existam estudos conclusivos a respeito disso). Além de maior versatilidade, ou seja, a capacidade de num mesmo ciclo realizar um maior número de tarefas diferentes, com a automação microeletrônica consegue-se ter um sistema de produção mais flexível, isto é, capaz de ser reprogramado com mais facilidade e rapidez. Sobre o capital fixo e circulante, é mencionada a economia de escopo devido à automação, quer dizer, o fato de que com o mesmo equipamento de capital é possível produzir uma variedade maior de produtos. No controle a questão é importante, pois ele aumenta com a automação microeletrônica. Existe uma tendência de transferência para os escritórios o controle sobre a fábrica. E finalmente, quanto ao acesso à tecnologia, cabe mencionar que é um dos motivos para as empresas

¹⁴⁰ CHILD, J. "Managerial Strategies". New Technology and the Labor Process, apresentado na conferência Aston-UNIST com o título "L'organisation et le contrôle du procès de travail". University of Manchester Institute of Science and Technology. Manchester, 23-25 mars 1983.

¹⁴¹ Vale destacar, em complemento a posição de Tauile, que um determinante essencial para a automação de base microeletrônica que não poderíamos deixar de mencionar é o próprio acirramento da concorrência intercapitalista.

automatizarem, pois querem manter-se atualizadas em relação ao estado tecnológico para não ficarem atrás da concorrente.

CORIAT (1988) analisa uma modificação que considera central¹⁴², isto é, a oferta torna-se superior a demanda - assim, os mercados tornaram-se globalmente regidos pela oferta (uma vez que as capacidades instaladas ficaram superiores às demandas); além disso, uma redução no poder de compra dos países centrais, conjugada com políticas restritivas de luta contra a inflação e o surgimento de novos produtores no Terceiro Mundo, consolidam o cenário motivador à automação.

Por outro lado, em relação aos obstáculos à automação, KAPLINSKY (1987), em seu trabalho sobre microeletrônica e emprego, formula as seguintes conclusões principais. Nos países avançados, a difusão microeletrônica tem sido desigual, mas rápida, e tem envolvido uma escala pormenorizada de produtos e processos. Segundo o autor, embora existam evidências para sustentar diferentes visões sobre os efeitos no emprego da nova tecnologia, os níveis de emprego estarão provavelmente em declínio no longo prazo, quer em termos da quantidade total empregada, do emprego de tempo parcial ou redução das horas trabalhadas. Por fim, Kaplinsky conclui que a respeito da natureza do trabalho, o padrão dominante é aquele em que as habilidades de ofício são deslocadas e somente substituídas parcialmente por uma demanda para recursos humanos (RH) em um nível mais elevado.

TAUILE (1988) apresenta uma lista de fatores, que segundo o autor, são fatores de freio à difusão da automação microeletrônica (AME). O alto custo dos equipamentos, devido à fase de desenvolvimento da tecnologia; limitadas fontes de financiamento devido à crise econômica da maioria dos países desenvolvidos; uma série de tecnologias específicas não estarem suficientemente desenvolvidas, sendo assim uma limitação tecnológica; a falta de conhecimento e experiência em engenharia; a capacidade doméstica de manutenção também é um fator restritivo, devido principalmente à distância do local em que o equipamento foi fabricado (falta de atendimento rápido, qualidade de consertos, etc.); políticas tecnológicas

¹⁴² De acordo com este autor, ao longo dos anos 70.

nacionais de alguns países (protecionismo) que tentam desenvolver tecnologia de automação, atrasando assim as empresas usuárias desta nova tecnologia; e por fim, a resistência dos trabalhadores e de seus sindicatos, devido ao desemprego gerado.

FALABELLA (1988) analisa a questão mencionando que a introdução da nova tecnologia não é uma decisão de tipo técnico, mas social e política do capital, que lhe proporciona um aumento significativo de lucro e poder empresarial. Mostra que a AME tem efeitos profundos em todas as dimensões da vida do trabalho, geralmente negativas, não sendo inevitável. Revela que estes efeitos anteriores dependem, definitivamente, do poder total (o sindical e o apoio político) que o sindicato traz à mesa de negociação. E finalmente, destaca que o processo exige uma resposta sindical de fundo, que requer um novo modelo de desenvolvimento e de ordem social.

As implicações da nova tecnologia para o emprego industrial são analisadas também por SCHMITZ (1988) como tendo possíveis impactos negativos para o nível do emprego nos setores que estão adotando a AME. Por um lado, criam-se novas oportunidades de trabalho nos setores produtores da nova tecnologia. Mas por outro lado, surgem as repercussões para a subcontratação e o trabalho externo (*outwork*). Este autor analisa os possíveis efeitos da “desqualificação” para profissões com alto nível de qualificação na base técnica anterior, e também as novas exigências de qualificação e a emergência de novas ocupações (ou remodelamento das antigas). A questão do salário também é analisada, em que se retoma o conceito de salário-confiança, resultante das novas exigências de responsabilidade colocadas pela automação programável.

* * *

A finalidade deste segundo capítulo foi proporcionar o embasamento teórico sobre automação industrial, em particular para controle de processos, característico de uma indústria de processo contínuo, caso da sucroalcooleira¹⁴³.

Por outro lado, mostramos que mesmo com muitas vantagens associadas ao uso da automação visando o controle industrial, existem naturalmente as desvantagens, ou melhor, preferimos chamar de “dificuldades” para a automação.

O próximo capítulo irá tratar da automação industrial para controle de processos na indústria sucroalcooleira, em que procuraremos expor as razões e dificuldades encontradas no caso da usina Y.

¹⁴³ Conforme já analisado no capítulo 1, item 2