

Esta relação complexa entre ciência e tecnologia, e em particular, a caracterização da Engenharia de Controle e Automação através de seus problemas, conceitos e história é o assunto a ser desenvolvido neste capítulo.

## 1.1 O que caracteriza a engenharia?

Uma definição abrangente do fazer do engenheiro é o planejamento, implementação e gerenciamento de intervenções em práticas sociais de *base tecnológica*, considerando o seu impacto econômico e, atualmente, os impactos ambientais e sócio-políticos.

Há um século poderíamos dizer que a *base tecnológica* restringia a engenharia à transformação de energia e de materiais, seus produtos sendo ou potência posta à disposição dos mais diferentes processos físico-químicos ou materiais e objetos ou processos de transformação de materiais ou de produtos; as ciências de base sendo a física, a química e a matemática. Mas, hoje em dia, além de a biologia estar entre as ciências de base (pense na engenharia genética, na engenharia de alimentos e na agronomia atual), engenheiros também produzem programas de computador ou outros meios de processamento de dados, modificam processos de trabalho para aumentar sua produtividade ou confiabilidade, projetam sistemas de gerenciamento ou organizacionais, ou redigem normas técnicas. O setor de serviços passou a necessitar da capacidade de modelagem e sistematização desenvolvida na engenharia. *Produto*, de objeto material, estendeu-se a processos e a serviços intangíveis, como o processamento de informações (ou dados), sistemas de gerenciamento ou sistemas de análise de risco de investimentos financeiros. Também é produto um relatório de consultoria, quando a compreensão do fator técnico e o conhecimento dos sistemas de produção em geral mostram-se essenciais para tomar decisões econômicas ou políticas.

Olhando por outro prisma, aumentar a produtividade (isto é, aumentar o valor de uso ou diminuir o trabalho social necessário para um dado produto ou serviço) é um dos objetivos mais freqüentes em problemas de engenharia; e que pode ser atingido através de uma nova máquina ou por um melhor gerenciamento das que já existem, isto é, um melhor gerenciamento do processo de produção. Nesta situação, o objetivo do problema de engenharia não é o produto em si (desde que já se saiba como produzi-lo), mas o aumento de produtividade do processo que o produz. O trabalho pode ser realizado sem o conhecimento profundo das leis que regem os materiais, embora seus limites afetem os resultados. O foco do trabalho é intangível, será medido por seus efeitos econômicos e sociais, como o aumento do conforto do cliente, de sua segurança, ou aumento da disponibilidade ou diminuição do custo de um produto já existente.

Uma conseqüência é que as fronteiras entre as áreas de engenharia, estatística, matemática aplicada, administração, economia e direito ficaram fluidas - o que leva ao trabalho em equipes multidisciplinares, onde cada um dos profissionais implicados deve ser capaz de negociar objetivos e métodos com os de-

mais membros. Isto é, o engenheiro deve ser capaz de compreender as razões e métodos não só de cientistas, mas também de administradores, economistas, advogados, etc.

Deixando essa questão para a discussão sobre a formação do engenheiro contemporâneo, passaremos a uma caracterização epistemológica da engenharia como forma de atuação no mundo em que vivemos.

Engenheiros, antes de tudo, resolvem problemas colocados por um cliente (o patrão, o contratante, a sociedade) em torno de um determinado objeto, processo ou sistema, dentro de um determinado contexto. O problema nasce de algo que incomoda, ou que precisa ser melhorado, ou simplesmente de um desejo a ser realizado - o que sempre remete a questões sociais, para além das questões factuais e psicológicas.

Após uma às vezes longa negociação, formalizam-se objetivos (metas, critérios) a serem alcançados, restrições ou limites a serem respeitados (prazos e limites econômicos, tecnológicos, ambientais, sociais, etc.) e classes de soluções admissíveis. Uma solução admissível pode ser um novo objeto, sistema ou serviço, ou uma modificação em objetos, sistemas ou serviços já existentes, de forma que, respeitando as restrições, atendam ao objetivo preestabelecido. Cabe lembrar que o interesse do cliente nunca é completamente representável, o que leva a contínuas negociações redesenhando os termos do problema formal de acordo com interesses trazidos à tona pela solução apresentada, ou pela verificação de sua impossibilidade.

Quais os resultados esperados? Uma intervenção técnica através de um produto (objeto ou serviço) ou de um procedimento (ou gerenciamento) projetada para atingir a finalidade determinada. Isto é, a atividade de engenharia é racional e teleológica, dado que seu sentido é o atingir a finalidade preestabelecida, e seu sucesso é medido pelo grau de satisfação deste critério, frente às restrições, etc. Seu foco é a intervenção resolvendo o problema dado, de forma satisfatória.

Vamos agora explorar duas vertentes desta problemática: a produção de uma tecnologia que se torna um conhecimento e o recente alargamento do foco dos problemas de engenharia para abranger os impactos e o interesse social de suas soluções.

O engenheiro, para resolver o problema de que foi encarregado, usa, racional e pragmaticamente, as práticas habituais ou as técnicas disponíveis no acervo de conhecimento já estabelecido (o estado das práticas e o estado das técnicas), ou desenvolve novas técnicas a partir das existentes ou do conhecimento científico disponível (o estado da arte). Se, no início da história, havia um conjunto de técnicas díspares para problemas singulares, com o desenvolvimento destas apareceu a necessidade de uma descrição organizada que permitisse uma escolha entre técnicas diferentes aplicáveis ao mesmo problema, ou a adaptação de uma delas a um problema particular. A essa descrição organizada que permite uma dedução consciente de adaptações ou de novos caminhos chamamos tecnologia. Com o enriquecimento das técnicas e sua imbricação com as diferentes ciências passamos a usar o termo no plural: tecnologias.

Experimentos científicos geram problemas que usam tecnologias para serem resolvidos. A maior capacidade de intervenção permite uma investigação mais profunda do real, até mesmo a construção de uma nova realidade (pense nos elementos químicos transurânicos, previstos teoricamente e depois construídos em laboratório). A tecnologia passa a fazer parte do desenvolvimento da ciência, assim como esta passou (muito recentemente) a permitir e fundamentar avanços tecnológicos.

Como diz J. Habermas (Habermas, 2004) p. 34: “Do ponto de vista pragmático, o processo do conhecimento é representado como um comportamento inteligente que resolve problemas e possibilita processos de aprendizagem, corrige erros e invalida objeções”. A atividade de engenharia é um exemplo da resolução de problemas citada acima como base dos processos de aprendizagem e de formação do conhecimento – este visto como *um conjunto de erros retificados* (Bacherlard, 1993), sempre sujeito a críticas e a novas retificações. Mais fortemente, “os juízos empíricos formam-se nos processos de aprendizagem e provêm de soluções de problemas” (Habermas, 2004) p. 35. Por outro lado, a atividade de engenharia aplica o conhecimento já estabelecido – que, é, circunstancialmente, posto à prova. Não é objetivo de engenheiros por à prova o conhecimento, mas usá-lo. Se a realidade cria obstáculos à teoria, estes serão deixados para a pesquisa científica. Engenheiros, enquanto tais, buscarão uma solução empírica ou uma solução técnica contornando o obstáculo. Seu compromisso é com a resolução do problema, não com o conhecimento!

Uma explicação científica, que pretende explicar de forma racional e objetiva a realidade, não deve ser teleológica. Ou, ao menos, explicações da realidade a partir de finalidades externas ao sujeito humano (como as deístas) não se mostraram fecundas, pois finalizam prematuramente a questão da causalidade. Não é outra a razão de se colocar o nascimento do espírito científico na empreitada galileiana, ou mais exatamente, no argumento teológico de Galileu separando a ciência da religião (Boido, 1996) p. 157-159.

Se o interesse primeiro do cientista é explicar (explicação causal antes de funcional), o engenheiro busca intervir para modificar em função de algum interesse. A engenharia constrói um mundo novo para atender os interesses humanos.

Dado que falamos de um produto da atividade humana, cabe a discussão dos interesses ali apresentados frente a valores, isto é, a discussão ética da engenharia. Mas este é tema para outro trabalho.

Olhando por outro lado, a técnica faz parte da cultura. Mudando a tecnologia, mudamos possibilidades e objetivos, mudamos o homem e sua cultura. Aparecerão novas necessidades (imaginárias ou não), e daí novos problemas e a exigência de novas tecnologias. Esse caminho dialético é bem expresso pelo aparecimento dos computadores pessoais, cujo uso generalizado possibilitou a Internet, que alterou profundamente os processos de trabalho e as formas e possibilidades de comunicação social, o que tem gerado novas necessidades e expectativas, que levam à necessidade do aumento de capacidade dos com-

putadores pessoais e à sua integração a outros objetos (os telefones celulares, por exemplo), etc.

A consciência generalizada deste processo (devido à sua aceleração); a mundialização trazendo a informação e o reflexo das desigualdades político-econômicas para dentro das casas; a generalização da consciência ambiental a partir da primeira crise do petróleo (1973) e de alguns megadesastres ambientais (os vazamentos de óleo do Amocco-Cadiz, 1978, e do Exxon Valdez, 1989; o acidente da usina nuclear de Tchernobil, 1986; etc.); com a conseqüente organização da sociedade civil em torno destes temas (a multiplicação de ONGs politicamente ativas); levaram a uma mudança radical do processo de projeto em engenharia. A construção de uma usina para produção de energia ou começa pela discussão ambiental nos foros políticos adequados ou está fadada ao fracasso. A *indústria ambiental* está se tornando um negócio lucrativo. Os rumos da pesquisa tecnológica estão sendo alterados pela presença de um custo ambiental, talvez já por um custo político (pense na indústria farmacêutica frente aos medicamentos para pandemias como a AIDS). O engenheiro não pode mais se restringir às considerações técnicas, o problema de engenharia agora abrange um campo mais extenso. Seu projeto começa na avaliação das possibilidades político-legais, ambientais e financeiras, imbricando-as com as possibilidades técnicas, sabendo que as últimas afetam fortemente as anteriores. Assim, a formação culturalmente ampliada e a capacidade de trabalhar em equipes multidisciplinares tornaram-se imperativas para o engenheiro. Este é outro tema para a discussão da formação do engenheiro contemporâneo.

## 1.2 Uma pequena e polarizada história da automação

Na rápida e polarizada reflexão histórica aqui apresentada serão tratados os conceitos nascidos na tecnologia de controle e automação, mas apenas na medida em que influenciaram os processos de produção industrial. Este ponto de vista leva a ignorar parte dos precursores. A percepção clara de um determinado conceito de forma que possa ser aplicado a outros campos da técnica ou do conhecimento pode ocorrer muito após o seu primeiro uso eficaz (como é o caso do conceito de realimentação ou *feedback*), ou, ao contrário, o conceito pode ser explicitado antes de seu uso tecnológico (como é o caso dos conceitos de *sistema* e de *recursividade*). Dados históricos mais completos podem ser obtidos em (Whitaker, 2003), (Kew Bridge Steam Museum, 2004) e (Lewis, 1992).

Para evitar confusões, cabe lembrar que máquinas transportam ou geram sinais que, funcionalmente, levam a escolhas automatizadas. Dados são sinais codificados e memorizados. Só seres humanos (até agora) interpretam dados como informações e tomam decisões em conseqüência. As tabelas de decisões automatizadas (árvores de decisões geradas por engenheiros e inscritas no registro das máquinas) nos levam à metáfora de tratar os sinais e suas conseqüências em máquinas como informações e decisões, como aparece na primeira