

Sistemas

Eduardo Goulart de Sampaio

Resumo: O presente artigo apresenta conceitos elementares da abordagem sistêmica para solução de problemas. Apresenta noções da Teoria Geral dos Sistemas, o escopo da Engenharia de Sistemas, suas técnicas e a utilização de modelos na solução de problemas.

INTRODUÇÃO

Até o início da era moderna, não havia um delineamento nítido das variedades de concepções e técnicas. O reduzido conhecimento da época permitia a um só homem incursionar em diversos campos, produzindo, algumas vezes, resultados admiráveis. Com a ampliação do conhecimento humano e a conseqüente necessidade de especialização, tal atividade foi tornando-se mais difícil e, em conseqüência da complexidade das estruturas teóricas e das técnicas utilizáveis em cada setor cognitivo contemporâneo, o mundo de hoje caracteriza-se por uma crescente departamentalização científica. O volume de informações faz com que o profissional seja compelido a isolar-se em seu mundo, dificultando e reduzindo o diálogo entre os habitantes de universos diferentes.

Como uma tentativa de solução para o problema da necessidade de interfaces entre regiões aparentemente estanques, em meados do século passado, a partir de trabalhos de Ludwig von Bertalanffy, Anatol Rapoport e outros, desenvolveu-se uma nova abordagem científica, com aplicação em praticamente todas as especialidades - a Teoria dos Sistemas.

Através do legado filosófico dos nossos ancestrais e da observação dos fenômenos, pode-se concluir que não existem problemas de física, biologia ou sociologia – existem, apenas, problemas – as disciplinas científicas correspondem, simplesmente, a diferentes modos de visualizá-los.

É fato, entretanto, que nem sempre compensa tratar um problema à luz de uma disciplina qualquer, existindo uma hierarquia de métodos para sua resolução que pode ser ditada, em última análise, pelos objetivos pretendidos para o problema considerado.

Na maioria das vezes, porém, o problema se apresenta sob uma forma vaga e imprecisa, sendo, portanto, o

primeiro trabalho, analisá-lo e defini-lo do modo mais explícito possível, isto é, determinar os objetivos, as restrições, o tempo aceitável para sua solução, etc, e, assim, escolher o tipo de conhecimento setorizado a ser empregado.

O despertar para este tipo de abordagem dos problemas reais gerou a necessidade de uma nova conceituação - as ciências interdisciplinares - que permitem estabelecer “pontes” entre as especialidades de modo a obter uma solução *ótima*, isto é, que satisfaz a um objetivo da melhor forma possível, dada a sua necessidade e o custo de sua obtenção.

A Teoria dos Sistemas é um desenvolvimento científico de natureza interdisciplinar que busca coordenar esforços realizados em diferentes campos do conhecimento humano e estudar, sob uma conceituação geral, as relações que estes componentes apresentam entre si e o total que se deseja considerar. Sua metodologia é a mesma da filosofia estruturalista: pesquisar leis que sistematizem ou estructurem uma totalidade proposta, por caótica que se apresente.

O objetivo deste trabalho é oferecer uma visão, em nível elementar, desta teoria: em que consiste, sua metodologia, suas características e sua aplicabilidade.

I – SISTEMAS

1. CONCEITO DE SISTEMA

Com o advento da indústria da guerra, desde os primórdios da Segunda Guerra Mundial, a complexidade crescente da tecnologia obrigou a uma reorientação básica do pensamento, que persiste até os dias de hoje: não se pode mais raciocinar em termos de unidades isoladas, mas em termos de *sistemas*. No mundo moderno, mesmo nas atividades mais simples, somos forçados a tratar, cotidianamente, com *complexos* ou *totalidades*, isto é, com sistemas.

A idéia de sistemas traduz, de um modo geral, um grupo de elementos, interconectados, com funções determinadas. Cada elemento, ou *subsistema*, interage com os demais, de modo a realizar um objetivo, que é o objetivo do sistema. O sistema inclui recursos específicos e é envolvido por um ambiente característico que define as suas fronteiras, normalmente, não muito nítidas.

Cada sistema é, por sua vez, componente de um sistema maior, e assim por diante. É, portanto, falacioso, tratar um sistema como um universo completo em si mesmo, sem atentar às suas interações com outros sistemas de mesmo nível e de nível superior.

Neste ponto, é importante esclarecer uma confusão existente sobre o conceito de sistemas. Os especialistas em computação usam o termo *sistemas*, com muita frequência, para definir uma combinação de equipamentos (*hardware*) ou programas (*software*) que podem ser utilizados no desempenho de uma tarefa. Conquanto a aplicação do termo *sistemas* esteja correto e seja adequado, não se deve inferir, a partir de sistemas de computação, os sistemas, em geral, nem pretender que alguns conceitos específicos sejam aplicáveis fora da ciência dos computadores. Os especialistas em Pesquisa Operacional cometem, muitas vezes, erro similar: pretendem dar uma solução ideal fundamentada apenas em conceitos matemáticos a qualquer tipo de problema. Ambos os campos são técnicas largamente empregadas na aplicação da Teoria dos Sistemas, porém, nada mais são do que *ferramentas* para atingir uma solução mais adequada para um problema maior onde estarão presentes outras considerações.

Uma vez entendido, é conveniente que, à semelhança de *conjunto*, na álgebra, o termo *sistema* seja aceito sem definição, como um conceito primitivo, a partir do qual será desenvolvida toda uma teoria.

2. ORIGEM E EVOLUÇÃO DA TEORIA DOS SISTEMAS

A origem da abordagem de sistemas remonta à antigüidade, desde as discussões da época dos filósofos pré-socráticos, passando por Platão, Aristóteles, São Tomás de Aquino, Descartes, Leibnitz, Spinoza, Kant e chegando até Hegel, Marx e os atuais.

As diferenças no enfoque do tema, ao longo dos séculos, residem, principalmente na ênfase dada às idéias. Nos primeiros tempos, a abordagem adotada era a de explicar a realidade ou, no sentido oposto, idealizar, através da filosofia ou da religião. Mais tarde, o enfoque deslocou-se para a experimentação e, nos dias de hoje, a utilização de métodos matemáticos (apoiada largamente pela evolução dos computadores) domina, em sua quase totalidade, a abordagem dos problemas.

Nos primórdios, as ciências nada mais eram do que ramificações da filosofia. Assim, filosofia e sistemas se confundiam na medida da preocupação com problemas globais. À medida que o conhecimento humano foi se aprofundando, tornou-se praticamente impossível, para uma só pessoa, manter-se a par de todo o progresso e descobertas de cada ciência. Além disto, estas evoluíram no sentido de dar maior atenção ao *como* do que ao *por quê* das coisas. Desta forma, as ciências foram tornando-se autônomas e distanciando-se, umas das outras, advindo a especialização. A preocupação com os problemas do todo voltam a ser objeto de atenção apenas de alguns filósofos que, por não existir uma formulação adequada para o tratamento dos problemas, apresentam suas idéias de forma, freqüentemente, complexa e hermética, suscitando um grande número de interpretações, muitas vezes, conflitantes.

No início do século XX, alguns analistas, particularmente de ciências naturais, começaram a sentir, com intensidade cada vez mais forte, que importantes oportunidades de progresso de pesquisas estavam sendo perdidas devido a várias práticas que prevaleciam (e, em muitos casos, ainda se observam hoje). Protestaram contra a tendência de compartimentalização das disciplinas e a conseqüente redução dos intercâmbios em diversos campos de pesquisa, o que provocava a multiplicação de esforços. A preocupação com fenômenos específicos e estudos pormenorizados, que deixavam à margem considerações teóricas gerais e abstratas, estava conduzindo a uma incapacidade de integrar significativamente o conhecimento adquirido nas diversas disciplinas.

A partir da década de 20, com as idéias do biólogo alemão Ludwig von Bertalanffy, começou a ser elaborada uma teoria interdisciplinar capaz de transcender aos problemas exclusivos de cada ciência e proporcionar modelos gerais, de modo que, para todas as ciências, descobertas efetuadas em cada uma pudessem ser utilizadas nas demais.

Pouco valor foi dado e pouco desenvolvimento foi verificado até a Segunda Guerra Mundial, quando um dos métodos da Teoria dos Sistemas, a Pesquisa Operacional (PO), foi amplamente aplicada: dois anos após iniciada a guerra, todos os três serviços militares britânicos tinham adotado grupos de PO formalmente organizados. O número de pessoas engajadas nas diversas especialidades de PO cresceu durante todo o período da guerra. Em 1942, por exemplo, o Exército considerou a possibilidade de lotar 36 oficiais em unidades de PO nas linhas de combate; ao final da guerra, cerca de 120 oficiais haviam sido incorporados a essas

unidades. Na Força Aérea Americana, a utilização da PO não foi menor, pois, à altura do dia D, vinte e seis grupos de análise estavam instalados nos quartéis de combate.

O estrondoso sucesso da aplicação da Pesquisa Operacional no combate proporcionou grande impulso à Teoria Geral dos Sistemas, levando ao desenvolvimento de novas técnicas aplicadas a um número cada vez maior de problemas.

Como conseqüência da necessidade de planejar, projetar e operar sistemas, a cada dia mais complexos, que solucionassem grandes problemas sociotécnicos, isto é, que incluam variáveis sociais e tecnológicas, surgiu a necessidade de formação de profissionais que conhecessem e soubessem aplicar os métodos da Teoria dos Sistemas. Uma vez que a ênfase consistia na aplicação de conceitos quantitativos a problemas concretos, a formação profissional cujo perfil mais se aproximava do objetivo pretendido e, portanto, mais adequada, seria a de Engenharia. Assim, em meados da década de 50, criou-se uma nova modalidade de engenharia, a Engenharia de Sistemas.

Um trabalho de Engenharia de Sistemas, conquanto o engenheiro seja o especialista na aplicação das técnicas da Teoria dos Sistemas, deve ser realizado por uma equipe interdisciplinar, isto é, o grupo de projeto conta com engenheiros, economistas, sociólogos, psicólogos, etc. Num trabalho deste tipo, *engenharia* refere-se a seu sentido mais amplo, o de *criação*.

Nos dias de hoje, a evolução da Teoria dos Sistemas e os resultados apresentados pela Engenharia de Sistemas são de tal forma apreciáveis que, em países desenvolvidos, nenhum administrador de grande empresa inteligente e verdadeiramente competente prescinde de um grupo de Engenheiros de Sistemas.

II - A TEORIA GERAL DOS SISTEMAS

Toda teoria que se propõe a ser geral deve, necessariamente, apresentar-se sob uma forma abstrata, uma vez que não se pode prender a um caso específico que, por mais abrangente que fosse, poderia prejudicar a sua generalidade. A Teoria dos Sistemas não é exceção a esta regra. Seus conceitos são bastante abstratos e, por vezes, de compreensão não muito fácil.

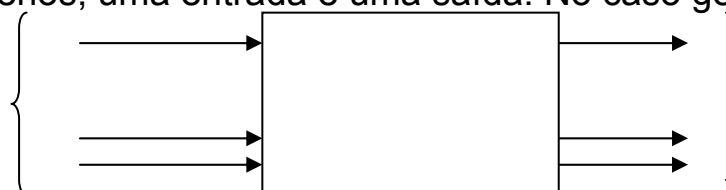
O objetivo deste capítulo é apresentar alguns conceitos elementares da Teoria Geral dos Sistemas, necessários para a compreensão da sua natureza e de suas possibilidades.

1. ELEMENTOS ATIVOS

Um sistema é composto por elementos. Na sua concepção, entretanto, é necessária a inclusão de mais dois atributos: o conjunto das relações que conectam entre si os elementos do sistema e o conjunto das atividades desses elementos. É importante lembrar que um sistema implica, sempre, a existência de um processo operacional global e não, meramente, uma coleção de partes interligadas de um modo qualquer. Assim, quando se concebe um sistema, deve-se considerar, simultaneamente, três conjuntos: os elementos que compõem o sistema, as relações que ligam cada elemento aos demais e o conjunto de suas atividades, efetivas ou potenciais.

Um elemento do sistema que influencia e é influenciado pelo meio-ambiente que o envolve é chamado de *elemento ativo*. É através de suas relações com o resto do sistema ou com o meio ambiente que age o elemento ativo, seja influenciando, seja recebendo influências.

Aos estímulos que influenciam o elemento ativo, dá-se o nome de *entradas*. *Saídas* são as respostas por ele transmitidas ao resto do sistema ou ao meio exterior. Um elemento ativo possui, pelo menos, uma entrada e uma saída. No caso geral, há



diversas entradas e diversas saídas. A representação de um elemento ativo está mostrada na figura 1.1.



De um modo geral, dado um elemento ativo de um sistema, existe uma relação bem definida que liga as entradas às saídas. Isto quer dizer que, dado um conjunto de entradas, as saídas podem ser determinadas por meio do conhecimento da relação R que estabelece uma regra que liga as entradas às saídas do elemento. Esta relação R é, muitas vezes, referida como *modo de ação* ou *comportamento* do elemento ativo.

Esquemáticamente, um elemento ativo com uma entrada e uma saída pode ser caracterizado como xRy , onde x é a entrada, y a saída e R é o modo de ação, isto é, a relação que liga x a y . Um

elemento ativo qualquer, com várias entradas e várias saídas, pode ser caracterizado de forma análoga, \mathbf{XRY} , onde \mathbf{X} é o vetor de entradas, \mathbf{Y} o vetor de saídas e \mathbf{R} é a matriz que relaciona \mathbf{X} a \mathbf{Y} .

Como exemplo de aplicação do modo de ação, imagine-se uma análise sistemática de pensamento humano sob um ponto de vista filosófico. Considerando o equipamento neurofisiológico de um indivíduo normal, a um estímulo qualquer obtém-se uma resposta instintiva (que, para efeito da presente elaboração, será chamada de *intuição*), através de uma relação que se pode chamar de *sensação*. Neste caso, tem-se a transformação de um estímulo em resposta por meio de uma relação batizada de *sensação*. Esta situação é mostrada na figura 1.2.

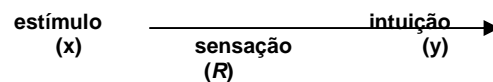


Fig.1.2. Primeiro nível de análise do pensamento humano

Num segundo nível de análise, considera-se o elemento ativo (pensamento) sob o ponto de vista de sua função como elemento ordenador das sensações, o que produz a *percepção*. Agora, a entrada é a sensação e a saída é a percepção. Ao modo de ação do pensamento, neste nível, será dado o nome de *concepção* (formação do conceito). Tem-se, então, a situação da figura 1.3.

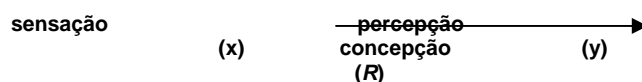


Fig.1.3. Segundo nível de análise

No nível seguinte, a concepção transforma-se numa *afirmação* através de uma relação denominada *juízo*, tal como ilustra a figura 1.4.

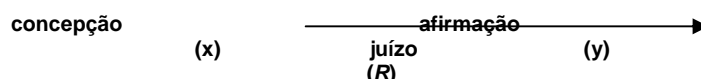


Figura 1.4. Terceiro nível de análise

O juízo, por sua vez, pode ser transformado através do *raciocínio*, produzindo uma conclusão não verificada ainda, isto é, uma *inferência*, que pode ser vista na figura 1.5.

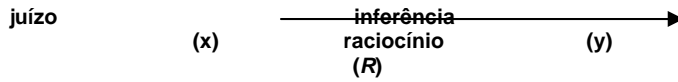


Figura 1.5. Quarto nível de análise

Prosseguindo a análise, o raciocínio, aliado ao *conhecimento*, produz uma *verdade*, num sentido axiomático, apresentando a forma da figura 1.6.

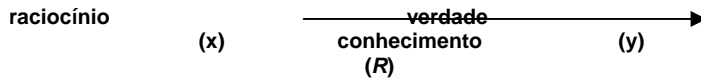


Figura 1.6. Quinto nível de análise

Entretanto o conhecimento é modificado pela *ciência*, tendo como resposta uma *explicação*, tal como mostra a figura 1.7.

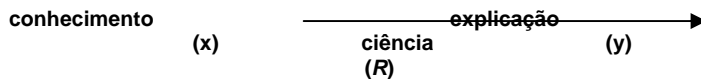


Figura 1.7. Sexto nível de análise

Finalmente, num sétimo nível, o modo de ação do pensamento é a filosofia, no seu sentido mais nobre, isto é, a *sabedoria*, que transforma a ciência, produzindo todo o comportamento do indivíduo, ou seja, sua própria vida em seu sentido mais amplo (social, cultural, afetivo, etc), surgindo a configuração da figura 1.8.

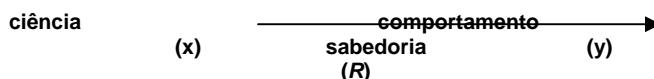


Figura 1.8. Sétimo nível de análise

O processo completo, em todos os seus níveis, é apresentado na figura 1.9. Note que, para o i -ésimo nível de análise, $R_i = x_{i+1}$.

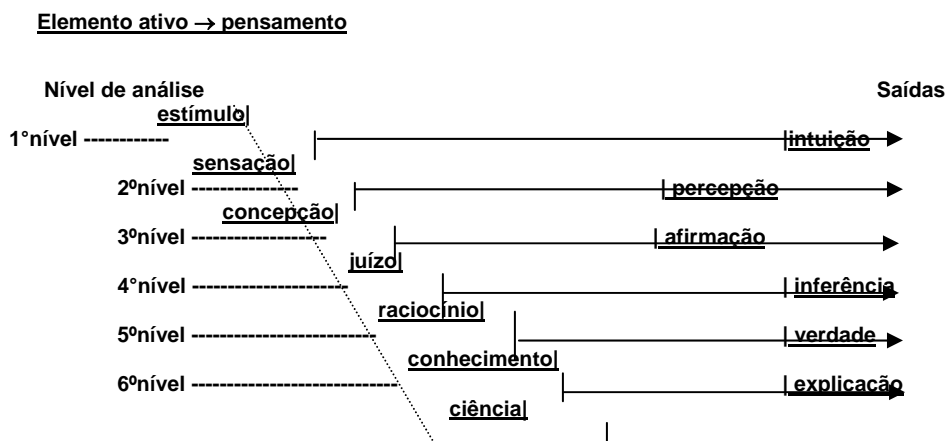




Fig. 1.9. Análise do pensamento humano

Conquanto as hipóteses de natureza filosófica possam ser objeto de crítica, isto não invalida o exemplo, cujo objetivo é, apenas, mostrar uma aplicação do conceito de modo de ação. É importante notar que, sendo um conceito puramente lógico, o modo de ação não garante, por si, a veracidade dos resultados, ou seja, entradas falsas ou viciadas podem conduzir a saídas falsas ou inaplicáveis, apesar da correção na aplicação do método.

2. INTERAÇÕES

A simples consideração da existência de dois ou mais elementos ativos, partes de um mesmo conjunto a ser analisado, conduz ao problema da organização e, por conseguinte, ao problema da complexidade. O comportamento de cada um dos elementos, no caso geral, é influenciado pelos demais, o que equivale a dizer que os elementos *interagem*.

Evidentemente, a interação entre os elementos somente pode se dar através de suas entradas e saídas. O relacionamento entre a saída de um elemento ativo e a entrada de outro, com o qual interage, recebe o nome de *acoplamento* entre os dois elementos. Este conceito é fundamental para a Teoria dos Sistemas, uma vez que permite a análise abstrata do fenômeno da organização. De fato, qualquer organização nada mais é do que um conjunto de elementos ativos acoplados de alguma forma, que interagem entre si.

O acoplamento entre dois elementos é dito em *série* se a saída de um deles é ligada à entrada do outro, como mostra a figura 2.1.

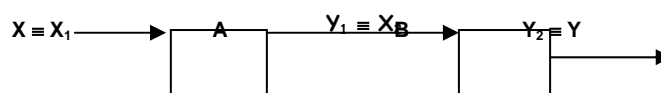


Fig.2.1. Acoplamento em série de dois elementos ativos

Neste caso, se X_1 e X_2 , e Y_1 e Y_2 são, respectivamente, as entradas e as saídas dos elementos e X e Y a entrada e a saída do conjunto formado pelos dois elementos ativos, A e B , acoplados em série, tem-se

$$\begin{aligned}
 X &= X_1 \\
 Y_1 &= X_2 \\
 Y_2 &= Y
 \end{aligned}$$

Se, por outro lado, os elementos A e B estão acoplados em paralelo, tem-se

$$\begin{aligned}
 X_1 &= X_2 = X \\
 Y_1 &= Y_2 = Y
 \end{aligned}$$

A representação deste caso é a mostrada na figura 2.2.

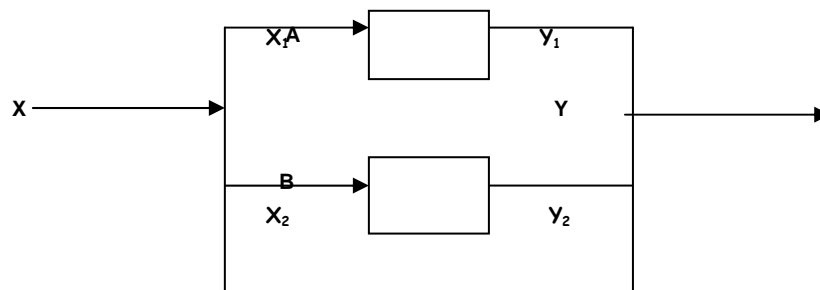


Fig. 2.2. Acoplamento em paralelo

Por meio da combinação de elementos acoplados em série ou em paralelo, podem-se construir sistemas mais complexos. Deve-se notar que o conceito de acoplamento não faz restrição ao número de entradas e saídas dos elementos acoplados. A figura 2.3 exemplifica acoplamentos entre elementos com várias entradas e saídas.

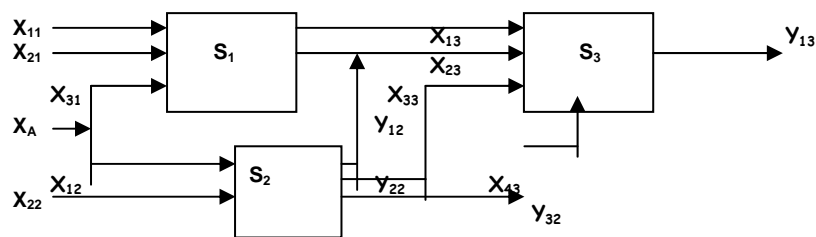
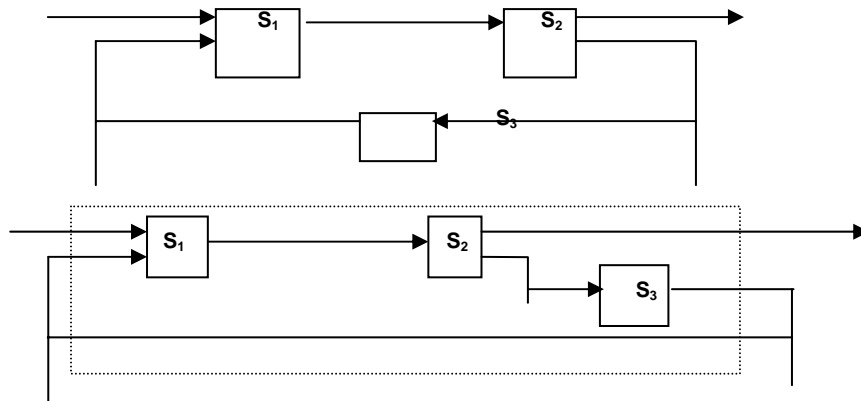


Fig. 2.3. Acoplamentos múltiplos

Um tipo especial de acoplamento, de grande importância na teoria dos sistemas é o mostrado na figura 2.4. Neste, existe um retorno na cadeia, e uma fração da saída é reinjetada na entrada. Observe-se que, reunindo os elementos ativos e considerando o conjunto como um único elemento ativo, existe um

auto-acoplamento, ou seja, o elemento ativo está diretamente acoplado a si mesmo. Este tipo de acoplamento é denominado *realimentação*. De um modo geral, pode-se definir a realimentação como a ligação de uma saída de um conjunto de elementos ativos acoplados com uma entrada deste mesmo conjunto. Esta ligação pode ser realizada diretamente ou através de outros elementos ativos.



A realimentação é um dos conceitos mais importantes da Teoria dos Sistemas, pois, permite o controle do sistema. Sistemas sem realimentação, ditos de *malha aberta*, não podem ser controlados, isto é, a saída, função direta da entrada, varia com as variações internas do sistema, sem qualquer possibilidade de correção. Já, nos sistemas de *malha fechada*, ou realimentados, a saída é muito menos sensível a variações internas do sistema. No apêndice deste capítulo, encontram-se os fundamentos da teoria do controle.

É comum chamar os acoplamentos dentro de um sistema de *conexões* do sistema, uma vez que se tratam, realmente, de ligações entre seus elementos ativos.

Com os conceitos apresentados neste item, podem-se ampliar os estudos e passar a observar conjuntos de elementos ativos que interagem entre si, isto é, conhecer as *estruturas*.

3. ESTRUTURAS

Dado um conjunto de elementos ativos em interação, vale dizer, dado um sistema S, este sistema estará definido se forem conhecidos o conjunto S_S dos elementos ativos e o conjunto S_R , das relações entre os elementos de S_S . Simbolicamente, isto pode ser representado por

$$S = S_S + S_R$$

Pode-se notar, então, que o conhecimento do modo de ação dos elementos ativos de um sistema não determina completamente o conhecimento global do sistema. Em outras palavras, o todo é mais do que a soma das partes. O comportamento global de um sistema somente fica completamente determinado se forem conhecidos o comportamento das partes e de que modo estas partes se relacionam.

O relacionamento entre as partes de um sistema constitui o que se chama a *estrutura* do sistema. Assim, um sistema é definido por um conjunto S_S , de elementos ativos, e uma estrutura S_R , isto é, pelo conjunto das relações entre os elementos ativos.

Os elementos *limites* de um sistema são as entradas e saídas simples do sistema, isto é, os acoplamentos do sistema com o meio-ambiente. Os demais elementos da rede de acoplamentos (estrutura) são identificados como elementos *interiores*. Ao conjunto de elementos limites, dá-se o nome de *superfície* do sistema.

Classicamente, diz-se que um sistema é *fechado* se não contém elementos limites; todos os seus elementos são interiores. Vale dizer que um sistema fechado não interage com o meio-ambiente, ou seja, não possui superfície. Já, um sistema *aberto* possui uma superfície, o que quer dizer que sua estrutura possui elementos limites. Estes conceitos caíram em desuso porque um sistema fechado não apresenta qualquer interesse para a Teoria dos Sistemas, uma vez que não possui finalidade para estudo e, em conseqüência, não precisa ser caracterizado como sistema. Deste modo, a teoria preocupa-se, apenas com os sistemas abertos, que são os que influenciam e podem transformar o meio-ambiente. Além disto, não é incomum a confusão entre sistemas abertos e fechados com sistemas de malha aberta e de malha fechada. Um sistema é dito de malha fechada quando sua estrutura apresenta realimentações, caso contrário, é de malha aberta. Um sistema aberto, então, pode ser (e freqüentemente o é) de malha fechada. Devido a esta possibilidade de confusão e à inexistência prática de sistemas fechados, os conceitos de sistemas abertos e fechados tornaram-se imateriais e, raramente, a eles se faz referência.

Todo sistema apresenta *invariantes*, isto é, características que não mudam quando o sistema é submetido a um determinado grupo de transformações. Por exemplo, o papel dos fatores de produção na vida social é um invariante em

relação a transformações no regime político: revoluções podem modificar profundamente a natureza das relações sociais e políticas de um país, entretanto, qualquer que seja o regime político, o homem terá que trabalhar, valendo-se de sua inteligência para interpretar o meio, transformá-lo e adaptá-lo ao atendimento de suas necessidades fundamentais. Em outras palavras, serão, sempre, necessários o trabalho humano, o capital e os recursos naturais para que seja mantido o funcionamento da sociedade.

4. MEDIDAS

Uma dificuldade na aplicação dos conceitos da Teoria dos Sistemas a um fenômeno particular é o problema da medida. Qualquer que seja o caso a ser estudado, devem ser especificadas variáveis a partir da observação da realidade. Estas variáveis devem poder ser medidas, caso contrário pode-se, apenas, constatar a existência do fenômeno, mas nada poder-se-á dizer sobre sua natureza. Sobre isto pronuncia-se William Thomson, Lorde Kelvin:

“Freqüentemente afirmo que se pudermos medir aquilo que falamos e exprimir por números o resultado, conhecemos algo sobre o assunto; entretanto se não o pudermos, nosso conhecimento é deficiente e insatisfatório; pode ser o início do conhecimento, mas teremos alcançado, em nossos raciocínios, apenas o estágio da ciência, qualquer que seja o assunto”.

Como pôde ser observado, os conceitos apresentados são bastante gerais, devendo ser particularizados para aplicação num caso específico. É importante ressaltar que a Teoria dos Sistemas é, essencialmente, uma teoria *matemática* e, se houver interesse em aprofundar os conhecimentos, devem-se aprofundar os conhecimentos das técnicas matemáticas necessárias. Por outro lado, a Teoria dos Sistemas, para ser aplicada a um problema particular exige um suficiente conhecimento do caso a ser estudado. Deste modo, a teoria não é, por si só, suficiente, sendo apenas uma ferramenta para um conhecedor de determinada área emitir conceitos e formular conclusões com um melhor respaldo e, com freqüência, acertar mais do que errar.

III - ENGENHARIA DE SISTEMAS

Para que um sistema seja útil, deve satisfazer a uma necessidade. Entretanto, projetar um sistema para satisfazer a uma necessidade atual não é suficiente. Com algumas raras exceções, o sistema deve atender um conjunto de requisitos durante todo um período de tempo; somente assim

justificará o investimento de tempo, dinheiro e trabalho. Por esta razão, o sistema deve ser analisado sob um ponto de vista dinâmico.

A finalidade da Engenharia de Sistemas é, basicamente, o projeto, a avaliação, a análise, a produção, a instalação e a manutenção de um sistema que deve funcionar um determinado tempo. Durante todo esse tempo, sua atividade relaciona-se com as decisões tomadas para a correta operação do sistema. Isto significa que é pressuposto um ciclo de vida para o sistema, ao longo do qual a Engenharia de Sistemas se faz presente para que ele atenda, permanentemente, seus requisitos.

1. O CICLO BÁSICO DE UM SISTEMA

Todo sistema real possui um ciclo de vida que começa com a identificação de uma necessidade e termina com a obsolescência, ou seja, quando ele deixa de satisfazer à necessidade com uma relação benefício/custo tida como razoável. Algumas vezes não se completa o ciclo de vida previsto para o sistema, normalmente, por não ter sido considerada, durante o planejamento original, suficiente flexibilidade para permitir a adaptabilidade adequada.

Qualquer sistema é caracterizado por usuários e analistas. O usuário é, em última análise, o cliente, e o analista, na maioria dos casos, o engenheiro. O usuário identifica uma necessidade e define conceitos de operação e manutenção, desta forma, provendo informações para que o analista projete. O analista, a partir dos dados fornecidos pelo usuário, elabora as etapas do projeto, da produção e da instalação de um sistema que satisfaça à necessidade identificada pelo usuário e que possa ser operado e mantido eficazmente.

A figura 1.1 apresenta as fases ou etapas gerais do ciclo de vida de um sistema. De um ponto de vista bastante geral, podem-se considerar três períodos: concepção, implantação e utilização. A concepção é, em última análise, a fase de planejamento do sistema. É o seu período inicial. Durante esta etapa, identifica-se a necessidade, estabelecem-se restrições, tais como recursos necessários, financiamento, etc, formulam-se conceitos, tais como objetivo, operacionalidade e outros, determinando se são realizáveis, concluindo-se um conjunto de requisitos para a implantação do sistema, que é a fase seguinte. A concepção é responsabilidade, principalmente do usuário, pois ele é o mais bem informado sobre os recursos disponíveis e as necessidades que devem ser satisfeitas, enfim, é quem sabe o que deseja do sistema e, por isto, é o mais indicado para sugerir o sistema ótimo. O analista, entretanto, deve trabalhar em conjunto com o usuário, de maneira a orientá-lo na escolha do sistema e traduzir seus desejos numa linguagem quantitativa.

O período de implantação consta de todas as atividades que incluam o projeto, a avaliação, a produção e a instalação do sistema. É de responsabilidade principal do analista, que deve transformar os requisitos definidos durante o período de concepção em um modelo que será usado, depois, para construir e instalar o sistema.

O período de utilização consiste em todas as atividades para operar e manter o sistema, incluindo modificações ou adaptações periódicas para estender sua vida útil, para satisfazer as necessidades que mudam com o tempo e, finalmente, para desativá-lo, quando a relação benefício/custo baixar a ponto tal que isto se torne mais econômico. Novamente, este período é de

responsabilidade principal do usuário, fechando-se o ciclo. A decisão de desativação do sistema conduz à produção de novos requisitos, que reiniciará o processo.

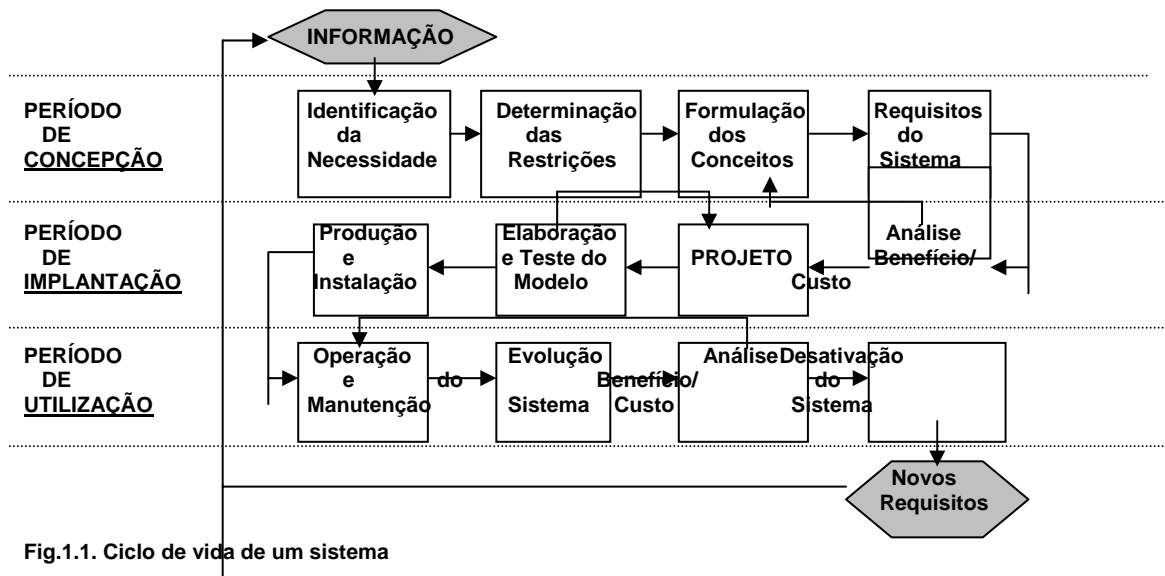


Fig.1.1. Ciclo de vida de um sistema

2. DECISÕES

Cada etapa do ciclo completo de um sistema é implementada com a utilização de um *processo básico de decisão*, cujas etapas principais estão mostradas na figura 2.1.

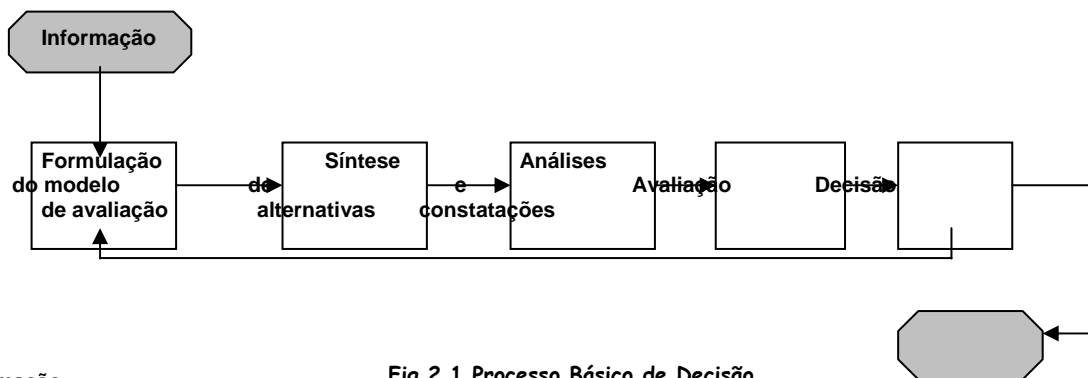


Fig.2.1. Processo Básico de Decisão

Informação

A entrada do processo é a informação necessária para identificar e definir um modelo. Esta informação é obtida a partir de pesquisas e decisões feitas em etapas anteriores. O produto, ou saída, inclui informação mais detalhada, organizada e exata dos requisitos do sistema *ótimo* para a etapa.

A implementação do processo básico de decisão gera um projeto. Durante os períodos de concepção e implementação, este projeto consiste na identificação, descrição, produção e instalação do sistema *ótimo*. No período de utilização, o projeto inclui a identificação das táticas *ótimas* para operação e evolução do sistema.

A Engenharia de Sistemas se relaciona diretamente com o problema de tomar decisões. Uma técnica estritamente matemática ou uma técnica unicamente qualitativa jamais poderá conter todos os aspectos complexos

da tomada de decisões, pois, esses aspectos incluem fatores conhecidos e desconhecidos, tangíveis e intangíveis, etc. O enfoque de sistemas trata de incluir todos os aspectos relevantes numa tomada de decisão quando enfatiza, não só a sua representação quantitativa, como suas interligações.

Nem sempre se obtém êxito na construção de um sistema, sobretudo se não existe suficiente informação a seu respeito. Entretanto, em última instância, o enfoque da Engenharia de Sistemas – e aí reside o seu maior valor nessa circunstância – proporciona um panorama global do problema, dentro do contexto de seu ambiente, o que conduz à melhor solução possível, isto é, a uma solução ótima, com os dados disponíveis.

IV – MODELOS

Uma vez formulado o problema e identificadas as possíveis soluções que as restrições permitem considerar, o passo seguinte consiste em construir um modelo.

Um modelo é uma representação simplificada da realidade. Por esta razão, não inclui todos os aspectos do sistema real, mas somente aqueles considerados de maior relevância para o problema.

No caso geral, um problema pode ser observado como uma "caixa preta", isto é, um sistema cujos elementos ativos e respectivas conexões são desconhecidos para o observador, mas seus terminais de entrada e saída podem ser observados e livremente manipulados, de modo que o observador pode deduzir possíveis modos de ação da caixa e estabelecer uma provável estrutura de seu conteúdo, ou seja, construir um modelo que simule o comportamento da caixa.

1. CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS MODELOS

De um modo geral, os modelos podem ser de dois tipos: físicos ou matemáticos. Os modelos físicos possuem a vantagem de permitir uma visão mais clara do funcionamento do sistema e das conexões entre os seus elementos, porém, normalmente, é muito dispendioso. Os modelos matemáticos, quando aplicáveis, são mais baratos e mais precisos, todavia, mais abstratos, o que pode dificultar a visão do funcionamento do sistema. Em todos os casos, entretanto, os modelos constituem-se numa ferramenta poderosa para o estudo do sistema e a solução de problemas.

Os modelos apresentam enormes vantagens sobre a descrição verbal do problema, pois, descrevendo-o de forma mais concisa, permitem uma compreensão mais fácil, evidenciando que dados adicionais são necessários para a análise completa.

O aspecto geral de um modelo é o apresentado na figura 4.1.1. A entrada **E** representa os dados, variáveis, etc, que o sistema requer, ou seja, os recursos necessários. A entrada **P** é o conjunto de perturbações, ou variáveis não controladas pelo analista, que influenciam o sistema. A saída **S** representa o produto (resultado) do modelo, o objetivo do sistema, e, finalmente, a saída **I** são as variáveis geradas internamente ao sistema que podem ou não influenciar outros sistemas ou o ambiente.

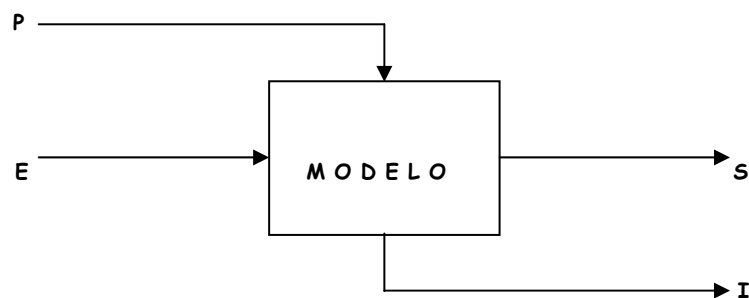


Fig.4.1.1. Aspecto Geral do Modelo

Existem três tipos de problemas relacionados com modelos:

- análise ou previsão
- projeto ou síntese
- controle ou detecção

Na análise, para um dado modelo, procura-se determinar o conjunto de saídas **S** correspondente a um determinado conjunto de entradas **E**. O controle é o problema inverso, isto é, procura-se um conjunto **E** que produza, em um modelo conhecido, um conjunto **S** especificado. O projeto ou síntese diz respeito, propriamente, à construção do modelo: deve-se estabelecer um modelo que, alimentado por um conjunto **E**, conhecido, na entrada, produza um conjunto desejado de saídas, **S**. Suponhamos, por exemplo, que uma empresa fabrique e venda um certo produto. Neste caso, **E** poderia ser tomado como o preço do produto, a eficiência da produção, a efetividade de sua promoção comercial, etc; **P** poderia ser o coeficiente de vendas anuais; **I** a depreciação, o consumo de combustíveis e matérias primas, o trabalho humano, etc e **S** o lucro da empresa com o produto. A meta final do problema poderia ser a recomendação, positiva ou negativa, acerca da construção de uma unidade adicional de produção.

O primeiro problema seria, a partir de **E**, **P**, **I** e **S**, decidir que classe de modelo se deve empregar. Um modelo muito simples poderia ser

$$S(t) = G(t) - C(t)$$

Onde **S(t)** é o lucro, **G(t)** os insumos e **C(t)** os gastos, todos referidos a um tempo, **t**. Evidentemente, **S**, **G** e **C** são funções de **E**, **P** e **I**. O problema do controle seria encontrar o valor de **E** necessário para obter um valor de **S** desejado. A análise poderia ter como objetivo encontrar a melhor combinação das variáveis **E**, **P** e **I** para maximizar **S** (objetivo típico de otimização) ou, simplesmente, descobrir de que modo estas variáveis afetam o valor de **S** (objetivo típico de simulação).

Esta ilustração, conquanto bastante genérica, mostra que um modelo pode ser utilizado em decisões que, de outra forma, seriam tomadas de maneira subjetiva ou não sistemática, aumentando, perigosamente, a influência do acaso ou fator sorte.

2. MODELOS DE DECISÃO

O elemento primário, em qualquer situação onde se requer decidir, é a pessoa ou grupo de pessoas (**D**) que tem autoridade e responsabilidade de selecionar a alternativa que deverá ser implementada. A decisão que **D** toma está baseada, normalmente, na informação a seu alcance.

Na informação requerida, primeiramente, é necessário conhecer todos os caminhos factíveis para resolver o problema. Em seguida, deve-se procurar saber as variadas condições do ambiente que **D** pode encontrar. As conseqüências associadas com a seleção e implementação de uma alternativa em um determinado estado de ambiente se chama um **produto**. A **utilidade** deste produto é uma medida de sua contribuição para o êxito da missão, ou seja, para a satisfação da necessidade.

Um elemento muito importante no processo de decisão é o juízo humano. O procedimento básico de decisão é apenas uma ferramenta para obter e satisfazer desejos ou necessidades humanas, que são, fundamentalmente, subjetivos. Também subjetivos são o risco e a incerteza associados com cada alternativa possível, dado um ambiente específico. Pode-se ver, assim, que não se pode eliminar o juízo humano do processo decisório. Deve-se, então, procurar aplicar este juízo da maneira mais efetiva possível.

No problema geral, o juízo humano deve ser aplicado a nível de critério ou medida de valor. Poder-se-á, então, calcular explicitamente os produtos associados a cada alternativa. A relação entre o critério ou medida de valor do produto e a utilidade deste pode ser representada por uma função de utilidade que deverá ser otimizada com a decisão que escolha a melhor alternativa.

Em resumo, para a construção de um modelo de decisão, é necessário identificar três elementos ou características básicas:

- uma medida de valor, **Y**, tal como custo, distância, etc, para descrever o atributo do sistema que está, mais intimamente, relacionado com as metas e objetivos do problema (produto);
- uma medida probabilística de valor, **P**, para representar quantitativamente as probabilidades dos diversos ambientes possíveis;
- uma medida de utilidade, **U**, que relacione a medida de valor de cada produto com sua contribuição à satisfação dos objetivos do problema.

Identificados estes três elementos, pode-se obter a alternativa ótima combinando a informação de **Y**, **P** e **U** em um modelo que forneça uma medida do tipo $A = f(Y, P, U)$, que representa uma função objetivo que deverá ser otimizada.

3. MODELOS NA ADMINISTRAÇÃO

Pode-se conceber que um gerente ou administrador possua a seu alcance toda a informação necessária e não tome a decisão correta para resolver um problema. Isto ocorre porque ele, encontrando-se envolvido por condicionantes técnicas, econômicas e políticas, muitas vezes resolve os problemas sem conhecer todos os seus aspectos *científicos*, pejorativamente chamados *teóricos*. Frequentemente encontra-se uma organização dirigida por um gerente que utiliza certos métodos que, embora muito eficientes, não admitem qualquer forma de sistematização lógica. Isto é, em geral, num prazo que pode ser mais curto do que o que se imagina, prejudicial à organização, sobretudo, se o gerente é substituído.

Suponhamos, por exemplo, que numa determinada organização, o administrador tome suas decisões baseado em sua própria intuição e juízo. Suponhamos, também, que seus resultados sejam, na maioria das vezes, melhores do que os obtidos por métodos científicos (modelos) e, por esta razão, os modelos são banidos da administração. Se o administrador é substituído, o sistema de administração muda e, provavelmente, a organização viverá um tempo muito longo para adaptar-se à mudança, a não ser que o novo

administrador possua as mesmas características do anterior, o que é improvável. Deste modo, os modelos de decisão, embora trazendo resultados inferiores aos obtidos por aquele particular administrador, com o tempo, teriam mais valor para a organização do que a habilidade intuitiva de tomar decisões.

Não pode ser esquecido que, conquanto seja inegável o valor dos modelos em uma administração, a matéria prima de trabalho é o ser humano. Um modelo, por mais completo que seja, jamais poderá conter todas as variáveis presentes no comportamento humano. Cabe ao analista mostrar a quem decide o valor dos modelos, ressaltando que é apenas uma ferramenta para ajudá-lo a tomar uma boa decisão, com menor risco de erro.

V-TÉCNICAS DA ENGENHARIA DE SISTEMAS

A abordagem da Engenharia de Sistemas respalda-se num conjunto de técnicas que dizem respeito à solução objetiva do problema. Todas as técnicas utilizadas possuem a mesma finalidade: apontar a melhor solução viável com os dados disponíveis. Em outras palavras, as técnicas visam, por meio da construção de modelos e sua resolução, à obtenção do melhor sistema possível, vale dizer, do sistema ótimo.

1. PESQUISA OPERACIONAL – OTIMIZAÇÃO

A Pesquisa Operacional, que procura a alocação eficiente de recursos escassos, pode ser vista, tanto uma arte, como uma ciência. A arte reside na habilidade de exprimir os conceitos de eficiente e escasso por meio de um modelo matemático bem definido para uma determinada situação; a ciência consiste na dedução de métodos computacionais para solucionar tais modelos.

Por conveniência, e com precisão razoável, pode-se definir Pesquisa Operacional (PO) como uma abordagem científica à resolução de problemas para a administração executiva. Uma aplicação da PO envolve:

- construir descrições ou modelos matemáticos, econômicos e estatísticos, de problemas de decisão e controle para tratar situações complexas e de incerteza;
- analisar as relações que determinam as conseqüências futuras prováveis de ações alternativas e estabelecer medidas apropriadas de eficácia, de modo a calcular o mérito relativo de cada uma das ações.

O primeiro passo na solução de um problema é a sua clara formulação. A análise quantitativa de um problema de decisão deve ser precedida de uma análise qualitativa completa, fase inicial de diagnóstico que procura identificar quais parecem ser os fatores críticos. Em particular, deve-se chegar a uma noção preliminar de quais são as decisões principais e que medidas de eficácia podem aquilatar estas decisões. Isto deve conduzir a uma identificação dos elementos do problema, que incluem as variáveis controláveis

ou de decisão, as variáveis não controláveis, as restrições sobre as variáveis e os objetivos para definir uma solução aceitável.

No processo de formulação do problema, devem ser estabelecidos os limites da análise, questão, principalmente, de juízo pessoal. Problemas gerenciais de tomada de decisão, tipicamente, têm impactos de muitos aspectos, alguns imediatos e outros remotos (muitas vezes igualmente significativos) e, assim, é importante estabelecer os confins da abordagem analítica.

A seguir deve-se construir o modelo. Aqui é onde se desce aos detalhes finos. Deve-se decidir sobre os dados de entrada apropriados e projetar as saídas adequadas de informações. Tem-se que identificar, tanto os elementos estáticos como os dinâmicos e estabelecer fórmulas matemáticas para representar o inter-relacionamento entre estes elementos. Algumas destas dependências podem ser postas sob a forma de restrições sobre as variáveis, outras podem tomar a forma de um sistema probabilístico. Deve-se, também, escolher um horizonte de tempo para estimar as medidas de eficácia selecionadas para as várias decisões, escolha esta que, por sua vez, influencia a natureza das restrições impostas, uma vez que é freqüentemente possível, com um horizonte suficientemente longo, remover quaisquer restrições de curto prazo com um dispêndio adicional de recursos.

Concluída a primeira aproximação do modelo, bem como seus parâmetros especificados por dados históricos, técnicos e de juízo pessoal, determina-se uma solução matemática e, em seguida, verifica-se a sensibilidade da solução às especificações do modelo, em particular, à precisão dos dados de entrada e das suposições estruturais. O processo é repetido, ou seja, o modelo é realimentado até que se obtenha uma solução aceitável que possa ser implementada.

A implementação da solução, na verdade, começa com a formulação do problema. Por isto é de extrema importância que os executivos que devem decidir com base nos resultados participem da equipe que analisa o problema.

Em geral, os projetos de PO conduzem a modelos de programação matemática. Num modelo de programação matemática o objetivo e as restrições são expressos como funções matemáticas e relações funcionais, normalmente, do tipo:

$$\begin{array}{ll}
 \text{otimizar: } z = f(x_1, \dots, x_n) & \text{objetivo} \\
 \text{sujeito a: } \left. \begin{array}{l}
 g_1(x_1, \dots, x_n) \rightarrow b_1 \\
 g_2(x_1, \dots, x_n) \rightarrow b_2 \\
 \dots \dots \dots \\
 \dots \dots \dots \\
 g_n(x_1, \dots, x_n) \rightarrow b_n
 \end{array} \right\} & \text{restrições}
 \end{array}$$

onde o sinal \rightarrow indica uma relação de ordem (\leq , $=$, \geq) que relaciona cada uma das restrições g_i com a respectiva constante b_i .

Como exemplo, suponhamos que uma Força Aérea decida renovar parte de sua equipagem e, para isto, dispõe de \$300.000.000. São

selecionados para compra aviões do tipo A, que custam \$12.000.000 a unidade e aviões do tipo F, cujo preço unitário é de \$4.000.000. A economia anual, obtida em consumo e manutenção, em relação aos aviões atuais será de \$50.000 por unidade de A e \$25.000 por unidade de F. A disponibilidade de pessoal qualificado para manutenção, considerado o tempo médio de reparo, limita o número de aviões num máximo de 45. O problema é determinar quantos aviões de cada tipo devem ser comprados, de modo que a economia anual em relação aos gastos atuais, seja a maior possível.

Se chamarmos de x_1 o número de aviões do tipo A e x_2 o número de aviões do tipo F que devem ser comprados, o gasto total, em milhões, é

$$12 x_1 + 4 x_2$$

Este valor não pode ultrapassar a disponibilidade, que é de 300 milhões, o que dá a restrição

$$12 x_1 + 4 x_2 \leq 300$$

Outra restrição surge pela limitação em 45 do número máximo de aviões. Assim,

$$x_1 + x_2 \leq 45$$

Evidentemente nenhuma das duas variáveis pode ser negativa, pois isto não teria significado.

A grandeza a ser otimizada é a economia anual, representada por

$$50 x_1 + 25 x_2$$

Em resumo, o modelo para o problema pode ser escrito:

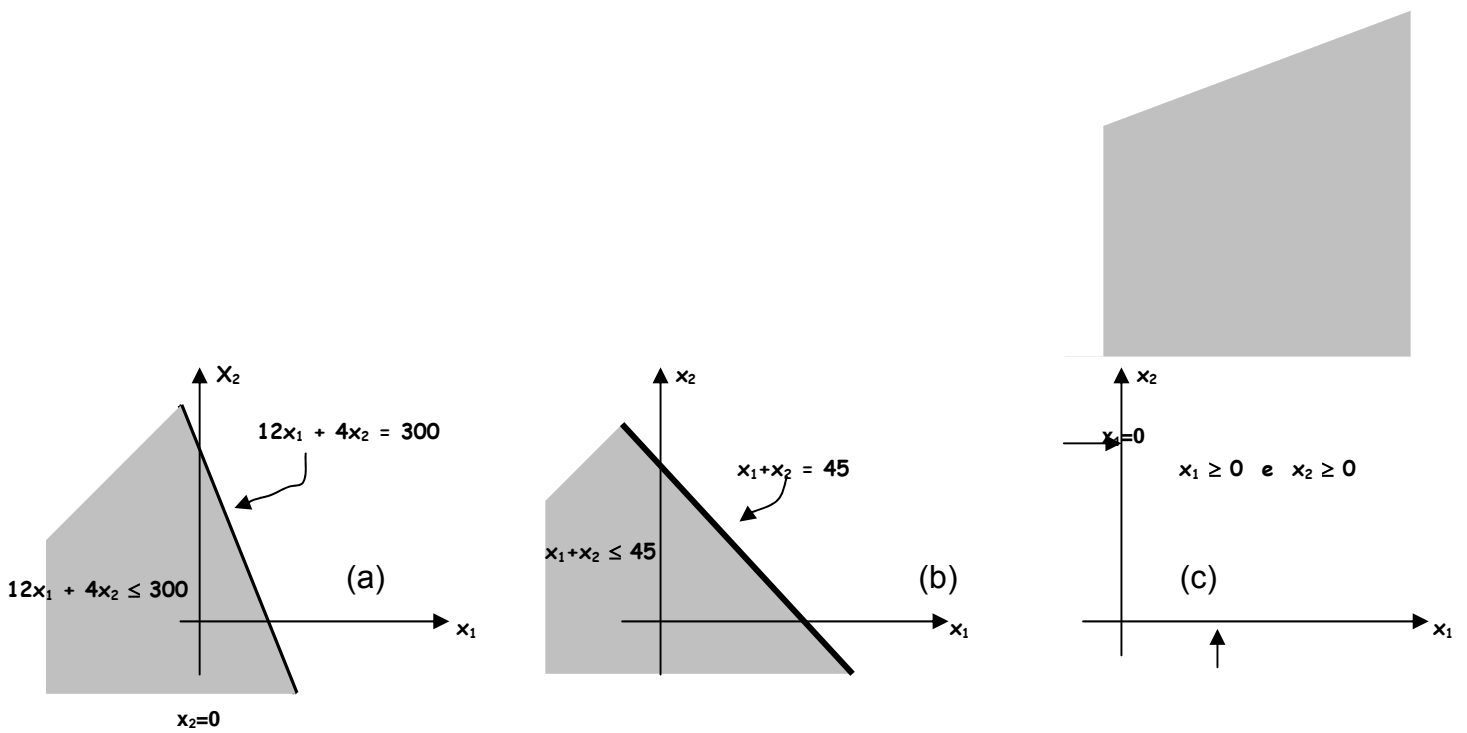
$$\text{maximizar: } z = 50 x_1 + 25 x_2$$

$$\text{sujeito a: } \begin{aligned} 12 x_1 + 4 x_2 &\leq 300 \\ x_1 + x_2 &\leq 45 \end{aligned}$$

$$x_1 \geq 0 \text{ e } x_2 \geq 0$$

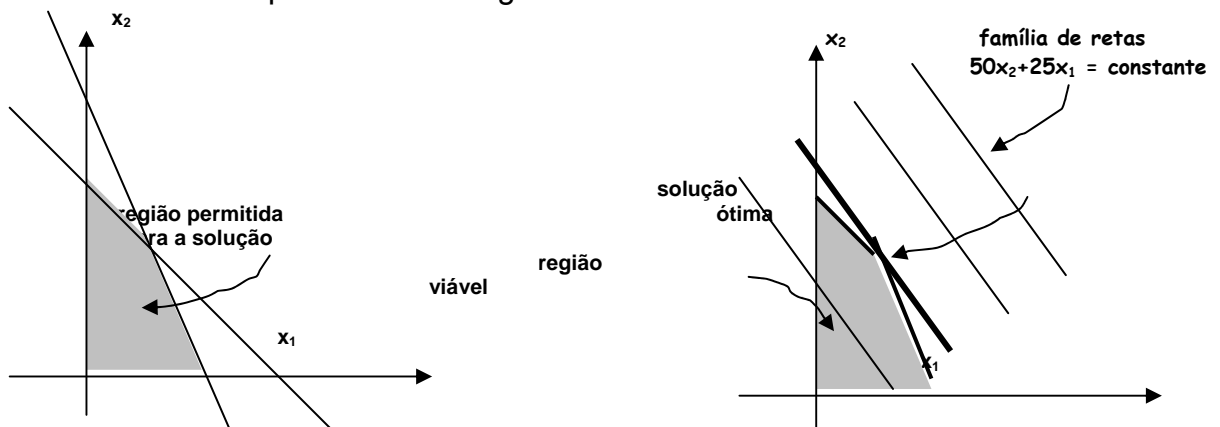
Este modelo é um caso particular da programação matemática que recebe o nome de *programação linear*, uma vez que todas as relações funcionais envolvidas são lineares. Como ilustração mostraremos a solução do modelo.

Como temos apenas duas variáveis, podemos representar graficamente as restrições, o que é mostrado nas figuras 5.1.1.a, 5.1.1.b e 5.1.1.c



$x_2=0$
Fig.5.1.1. Representação Gráfica das Restrições

A combinação das restrições fornece a figura 5.1.2.a, onde a parte sombreada mostra a região permitida para x_1 e x_2 . Encontram-se valores ótimos para x_1 e x_2 se a economia for tomada a maior possível, respeitadas as restrições. O problema de otimização é, então, maximizar a função $z = 50x_1 + 25x_2$. Qualquer que seja a solução, deve estar sobre uma reta do tipo $50x_2 + 25x_1 = \text{constante}$. Assim, a reta mais “alta” da família que ainda tem um ponto na região de restrição é o valor ótimo da função objetivo e este ponto representa uma solução ótima para o modelo. Isto está representado na figura 5.1.2.b.



Note que, neste caso, há somente uma solução ótima, que ocorre na interseção das restrições do número de aviões e do capital disponível. Consequentemente pode-se calcular os valores ótimos de x_1 e x_2 resolvendo as equações

$$\begin{aligned} 12x_1 + 4x_2 &= 300 \\ x_1 + x_2 &= 45 \end{aligned}$$

cuja solução é $x_1 = 15$ e $x_2 = 30$, o que dá o valor para a função objetivo:

$$50 \times 15 + 25 \times 30 = 1500$$

Deste modo, se forem comprados 15 aviões do tipo A e 30 aviões do tipo F, a economia anual será máxima e igual a \$1.500.000.

Numa aplicação real de programação linear, podem estar presentes centenas de restrições e milhares de variáveis, tornando obrigatório o uso do computador.

Existem diversos tipos de modelos de programação matemática que são montados de acordo com o problema considerado. Num problema real de tomada de decisão gerencial, os valores necessários para a montagem do modelo não são conhecidos com absoluta certeza. Muitas vezes, portanto, o modelo apresenta-se como um modelo probabilístico. Para a construção do modelo, qualquer que seja ele, duas perguntas devem sempre ser respondidas:

- que incertezas têm que ser enfrentadas e como elas podem influenciar a escolha de uma decisão ótima?
- o modelo matemático considerado leva em conta essas incertezas de maneira adequada?

Estas perguntas devem estar sempre presentes e, de sua resposta depende o tipo de modelo a ser construído.

2. SIMULAÇÃO

O maior sucesso dos modelos de PO encontra-se no auxílio dos esforços de planejamento de grandes organizações. Entretanto, a despeito da grande diversidade e abrangência daqueles modelos, muitos problemas importantes de tomada de decisão gerencial devem ser analisados por outros tipos de técnicas. Por exemplo, problemas do tipo

- efeitos de modificações na política de uma companhia aérea (capacidade de manutenção, aviões de reserva, espaço para carga, etc) nas operações das linhas;
- efeitos produzidos no trânsito em um cruzamento pela dessincronização dos sinais;
- efeitos das decisões políticas de governantes na economia de um país;
- efeitos de modificações políticas ou filosóficas na organização gerencial de uma empresa;
- etc.

A técnica de *simulação* é de grande valia em problemas destes tipos e, graças ao computador, pode ser aplicada com a utilização de modelos matemáticos.

O objetivo da simulação, à diferença do da otimização, consiste em auxiliar o analista a entender as relações entre os elementos ativos do sistema, bem como sua importância.

A simulação pode utilizar desde modelos exatos – réplicas do sistema real – até modelos matemáticos abstratos. De qualquer forma, deve ser desenvolvida de modo a que parâmetros, variáveis e estrutura

correspondam ao sistema real. Os parâmetros devem incluir as características necessárias para definir o comportamento do sistema, ao passo que as variáveis descrevem o comportamento dos parâmetros.

A abordagem de simulação inicia na construção de um modelo experimental para o sistema. Várias alternativas específicas, então, são avaliadas em termos de como elas se comportam em testes repetidos do modelo.

Freqüentemente é caro e inconveniente demais resolver problemas de decisão administrativa por simulação analógica de ambientes. Em vez disto, então, é preferível representar um sistema complexo por um modelo matemático computadorizado. As incertezas, as interações dinâmicas e as interdependências complexas são todas caracterizadas por fórmulas armazenadas na memória do computador. A simulação do sistema começa num estado inicial específico. Os efeitos combinados de decisões e de eventos, controláveis ou não controláveis, alguns dos quais podem ser aleatórios, fazem com que o modelo passe para um outro estado num instante futuro no tempo. O processo evolutivo continua desta maneira até o fim do horizonte. Geralmente os intervalos de tempo são finamente divididos e se estendem por um horizonte relativamente extenso.

Pode-se sentir que os experimentos de simulação envolvem um vasto número de cálculos efetuados rapidamente pelo computador. Este aspecto de anos de acontecimentos desenrolarem-se em uns poucos minutos num computador é chamado **compressão do tempo**. Os modelos de simulação que representam aproximações de situações reais são orientados no sentido de fornecer um meio-ambiente simulado no qual se podem testar os efeitos de diferentes políticas administrativas.

Existem diversos tipos de modelos de simulação. Há alguns que procuram incluir comportamento orientado ou intencional, caso típico dos modelos de jogos de xadrez, por exemplo. Estes modelos exibem o que é denominado **inteligência artificial**.

Evidentemente a simulação em computador nunca pode fornecer a exatidão do teste de campo real. Não obstante, uma vez que a maioria das organizações emprega testes de campo em situações muito restritas, é aconselhável a utilização de análise de simulação em computador para sugerir o projeto de um determinado sistema antes que ele seja implementado numa base de tentativa.

Finalmente, deve-se ressaltar que a simulação é uma técnica, normalmente, muito cara. Por isto, sempre que a otimização puder ser usada para estudar satisfatoriamente o sistema e obter a solução ótima, esta deve ser a técnica preferida.

3. PROBLEMAS DE GRANDE ESCALA

Em problemas de grande escala, os quais geram sistemas extremamente grandes e complexos, torna-se impossível considerar todas as variáveis relevantes. Para estes casos, duas filosofias foram desenvolvidas para simplificar a análise: agregação e decomposição.

A *agregação* consiste em combinar (agregar) certas variáveis e subcomponentes do modelo detalhado do sistema. A agregação se realiza de maneira que se possa utilizar alguma sistemática já disponível. Por

exemplo, pode-se representar um conjunto de fatores e inter-relações complexas de uma economia por meio de uma variável ou parâmetro específico (índice de preços, de consumo, etc). De modo semelhante, um modelo de insumo-produto para análise de uma economia é a agregação de uma série de modelos setoriais interconectados, que seriam impossíveis de resolver em conjunto por causa do grande número de variáveis que isto implicaria.

Raciocinando de outra forma, poder-se-ia decompor o sistema complexo em subsistemas e otimizá-los individualmente, de acordo com um procedimento iterativo que obteria, eventualmente, uma solução ótima para todo o sistema. Esta é a técnica de *decomposição*.

É conveniente lembrar que o ótimo de um sistema não coincide, em geral, com a combinação dos ótimos dos componentes, uma vez que os objetivos destes não são sempre compatíveis. Esta metodologia, entretanto, tende a facilitar a análise do problema, pois as otimizações dos subsistemas são mais simples e menos custosas e, muitas vezes, é satisfatório obter uma solução menos cara, ainda que sub-ótima.

É óbvio que se dentro do sistema que se estuda existem grupos de componentes estreitamente conectados, ou seja, que possuem muitas inter-relações, poder-se-iam, como primeira abordagem, agregar estes grupos e obter uma solução aproximada para o problema global. Analogamente, se existe um modelo apropriado para representar individualmente os subsistemas, provavelmente é mais adequado utilizar o método de decomposição para resolver o problema. Frequentemente é fácil agregar variáveis, mas não subsistemas. Nestas circunstâncias pode-se usar as duas técnicas: a agregação para as variáveis e a decomposição para os subsistemas.

CONCLUSÃO

Procuramos apresentar neste trabalho uma visão geral de toda a potencialidade da abordagem de sistemas e suas técnicas.

Não é demais lembrar que tudo o que foi mostrado não passa de ferramentas que podem auxiliar (ou não) quem decide, caso sejam utilizadas correta e judiciosamente. É preciso não esquecer que todos os sistemas reais começam e terminam no mesmo ponto: com o ser humano.

Se o indivíduo é um analista, deve escolher o melhor modelo para estudar o sistema. Se é o administrador, deve decidir pela melhor solução. Em qualquer caso, dele é a responsabilidade pelo sucesso ou fracasso.

Fundamental para o analista e importante para o decisor é o conhecimento das técnicas e processos de decisão. Para isto existe uma vasta bibliografia, facilmente disponível.

Estando o juízo humano presente em todas as situações, esta é mais uma onde ele é requerido: podemos tentar aperfeiçoar-nos nas regras e técnicas de decisão (que não garantem o sucesso) ou simplesmente ignorá-las e continuar a decidir intuitivamente (o que também não garante o sucesso). Como reflexão, sugiro ao leitor que olhe o Brasil, seus sistemas, a situação a que chegaram e pergunte-se: se a abordagem sistêmica tivesse sido usada em lugar das decisões orientadas pelos (vorazes) apetites humanos, como estaríamos?

O juízo é seu, a escolha é sua, o sucesso é seu. E o fracasso também.

BIBLIOGRAFIA

Copiar um livro é plágio.
Copiar vários é pesquisa.

1. Ackoff, R.L. & Sasieni, M.W. – Pesquisa Operacional – LTC – 1974
2. Bertalanffy, L.V. – Teoria Geral dos Sistemas – Vozes - 1968
3. Cárdenas, M.A. – La Ingeniería de Sistemas-Filosofía y Técnicas – LIMUSA – 1974
4. Chiavenato, I. – Recursos Humanos (Ed. Compacta) – Atlas – 1994
5. Churchman, C.W. - Introdução à Teoria Geral dos Sistemas – Vozes - 1968
6. Davies, I.K. et al – A Organização do Treinamento – McGraw-Hill do Brasil - 1976
7. Hillier, F.S. & Lieberman, G.J. – Introduction to Operations Ressearch – McGraw-Hill – 1990
8. Hopeman, R.J. – Análise de Sistemas e Gerência de Operações – Vozes – 1974
9. Kolasa, B.J. – Ciência do Comportamento na Administração – LTC – 1978
10. Maciel, J. – Elementos de **Teoria Geral dos Sistemas** – Vozes - 1973