

MODELOS DE SIMULAÇÃO CONTÍNUA

(Dinâmica Industrial de Jay Forrester)

INTRODUÇÃO

Uma simulação é a imitação, durante determinado período de tempo, da operação de um sistema ou de um processo do mundo real. A simulação envolve a geração de uma história artificial do sistema, e a partir desta história artificial a inferência de como o sistema real funcionaria.

O comportamento do sistema é estudado pela construção de um Modelo de Simulação. Este modelo normalmente toma a forma de um conjunto de considerações relacionadas a operação do sistema. Estas considerações são expressas através de relações matemáticas, lógicas e simbólicas entre as entidades, ou objetos de interesse, do sistema.

Uma vez construído e validado, um modelo pode ser usado para investigar uma grande quantidade de questões do tipo “e se” sobre o sistema do mundo real. Alterações no sistema podem ser inicialmente simuladas para se prever as consequências no mundo real. A Simulação também pode ser usada para estudar sistemas no estágio de projeto, ou seja, antes do sistema ser construído.

Assim, a Simulação pode usada tanto como uma ferramenta de análise para prever o efeito de mudanças em sistemas já existentes, quanto como uma ferramenta para prever a performance de novos sistemas sobre as mais variadas circunstâncias.

OS MODELOS

Considerações Iniciais

O homem, ao estudar sistemas, objetos ou fenômenos, muitas vezes depara-se com dificuldades em analisá-los na sua forma natural de existência, por dificuldade de acesso, medição ou mesmo altos riscos e custos envolvidos. Por isto são utilizadas formas de representação que permitam manipular e compreender as entidades estudadas, quer em seus aspectos qualitativos, quer nos quantitativos. Esta representação é feita por meio de modelos.

A definição de modelo que iremos considerar em nossos estudos é: “Um modelo é uma representação de um objeto, sistema ou ideia em alguma forma que não da entidade em si”.

Num sentido amplo, o modelo é uma certa quantidade de informações e atributos sobre aquilo que é representado, conforme os objetivos e necessidades de análise. Pode variar desde uma representação simplificada, croqui, descrição, equação matemática ou até uma réplica acrescida de sensores para medida e experimentação. Dados, parâmetros, relações e vínculos devem ter representação adequada ao problema sob investigação.

A construção de um modelo proporciona uma maneira sistemática, explícita e eficiente dos analistas e administradores orientarem seus julgamentos e decisões. Pode, também, servir como um meio conveniente de comunicação e auxílio ao raciocínio.

O que deve ser modelado e os objetivos do trabalho é que ditam os requisitos dos modelos, pois existe um tipo de modelo que é mais apropriado para um estudo específico.

O propósito dos modelos é o permitir a realização de estudos sobre sistemas, analisando sua reação ante as influências externas, internas ou sua abrangência no meio ambiente.

Não existe regra absoluta para a construção de modelos, visto que cada sistema, objeto, fenômeno ou ideia apresenta características peculiares e os objetivos de estudo são, também, muito diferentes, sendo que alguns autores se referem à “arte” de modelagem. No entanto, um ponto serve de referência para a construção de bons modelos: a característica evolutiva.

A modelagem consiste da habilidade de analisar o problema, considerando dele os aspectos essenciais, selecionando e modificando as hipóteses básicas que o caracterizam e então aperfeiçoando o modelo, até que uma boa aproximação seja conseguida.

A importância dos modelos pode ser sumariada no fato de que o progresso e a história da ciência e da engenharia estão intimamente relacionados com o aumento da habilidade humana em desenvolvê-los. Entretanto, ao utilizá-los deve observar que a resolução do modelo do problema não resolve o problema em si.

Funções e Características Principais

A utilização de modelos é muito ampla e se dá em todos os ramos da ciência, sendo múltiplas as suas funções. Isto está relacionado na maneira com a qual o modelo é usado para mostrar os comportamentos dos componentes e suas interações nas entidades modeladas.

Buscando reconhecer alguns usos comuns dos modelos, podemos definir cinco funções básicas:

- (i) Ajuda na elaboração de raciocínios, visto que um modelo força uma organização, avaliação e validação das ideias para a representação de sistemas de forma clara e objetiva. Neste sentido, conceitos são ordenados e inconsistências eliminadas.
- (ii) Auxílio à comunicação. Em muitas situações a linguagem verbal é ambígua, enquanto que os modelos tornam possível uma descrição única da estrutura e revelam relações importantes.
- (iii) Se refere aos propósitos de treinamento e instrução. Assim, menos riscos são envolvidos, menores custos são necessários. A prática pode ser exercida em tempo de instrução sem a pressão de não poderem acontecer erros.
- (iv) Realização de previsões. Os modelos servem de ferramenta para estudos antecipados de comportamentos e situações, podendo ser detectadas antes de sua ocorrência.
- (v) Torna possível a efetivação de experiências controladas, em situações onde a experimentação direta é impraticável ou custa muito.

Além dessas funções, os modelos devem apresentar outras características:

- Simplicidade de compreensão pelo usuário;
- Indicação clara dos objetivos ou propósitos;
- Consistência, no sentido de não das respostas absurdas;
- Facilidade de controle, manipulação e comunicação dos resultados;
- Completo, no nível de abrangência necessária;
- Adaptativo, com procedimentos fáceis de modificação e atualização;

- Evolucionário, podendo iniciar-se simples tornando-se mais complexo em função da utilização.

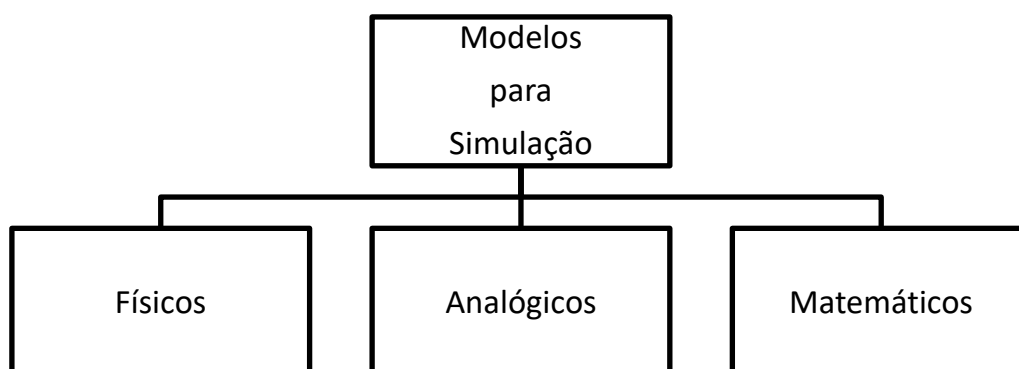
Estas características são próprias dos modelos em si, não englobando aspectos do desempenho importantes para a avaliação de performance e determinação da relação custo/benefício do seu uso. Estes parâmetros são relativos a custos de desenvolvimento, implementação, uso, tempo consumido para sua utilização, obtenção dos resultados, assim como a rapidez para a execução de alternativas.

Um importante fator ao qual a modelagem deve se ater é a capacitação do modelo para representar de maneira realística as informações qualitativas e quantitativas da entidade em estudo. Neste particular, deve ser estipulado o nível de precisão requerido para os dados e um critério de teste e aceitação. Por isto, usualmente algumas interações são requeridas, até ser encontrado um modelo para implementação, cujos resultados possam ser validados experimentalmente.

Tipos de Modelos para Simulação

Os modelos para simulação podem ser classificados de diferentes maneiras. Alguns são concretos, têm representação física, enquanto outros são abstratos, porque formulados por meio de símbolos, dados ou descrições.

A classificação abordada neste trabalho é ampla, considerando os diversos aspectos abordados pelos autores em forma de níveis hierárquicos.



Os **modelos físicos** são representados por atributos físicos semelhantes aos sistemas em estudo. São utilizados para demonstração ou experimentação

indireta. A este grupo pertencem os protótipos, modelos pilotos e modelos em escala.

Os protótipos são modelos físicos que representam a equivalência um-para-um com o sistema real, podendo ser uma cópia contendo todos os níveis de detalhes e atributos. São utilizados para minimizar os riscos e incertezas, associados com a realização de experiências em sistemas já definitivos. Têm grande capacidade de fornecer informações com precisão. A suas desvantagens são as de serem caros para a construção e teste, além de não facilitarem modificações, visando a exploração de alternativas.

Os modelos pilotos são uma versão operacional de um processo ou sistema contendo os atributos essenciais predominantes da entidade modelada. Normalmente são utilizados em laboratórios ou locais bem determinados, para produzirem as mesmas operações e resultados do sistema modelado, mas não em escala industrial. São mais flexíveis que os protótipos para modificações, fornecendo informações precisas sobre desempenho e custos de operação. Certos processos industriais são realizados com modelos pilotos, assim como a implantação de alguns sistemas computacionais pode ser feita inicialmente com modelos pilotos restritos a ambientes específicos.

Outro tipo de modelo físico são aqueles em escala. A denominação escala reduzida é empregada quando as dimensões do modelo são menores do que a real. Acontecem, por exemplo, nos tuneis de vento para estudos aerodinâmicos e nos IPH para experiências hidrodinâmicas. A escala ampliada ocorre quando o modelo é maior que o sistema em estudo. Como exemplo podem ser apresentados os modelos de átomos e células.

Os **modelos analógicos** são aqueles nos quais as propriedades do sistema em estudo são representadas por propriedades análogas, isto é, que se comportam de maneira similar. Os estudos são feitos com um tipo de variável e os resultados transpostos para outra variável.

Os gráficos são outro tipo de modelos analógicos. Neles, a distância pode representar o valor das variáveis modeladas e a forma das linhas mostrar as inter-relações. As dimensões dos gráficos podem representar custos, tempo, produção ou outros dados.

Os modelos esquemáticos, como os organogramas, fluxogramas ou fluxos de processos são também modelos analógicos.

Nos **modelos matemáticos**, os símbolos algébricos são usados para representar os componentes dos sistemas e suas inter-relações. São buscadas aproximações matemáticas para os atributos físicos. Constituem-se no tipo de modelo mais abstrato, conseqüentemente mais geral e com grande uso em estudos de sistemas. São construídos por idealização do problema, sendo eliminados detalhes desnecessários e feitas simplificações para tornar possível sua resolução. Estes fatos ocorrem praticamente em todos os tipos de modelos, entretanto as restrições devidas aos métodos matemáticos disponíveis são mais fortes.

As principais vantagens são a de terem grande flexibilidade, exigirem poucos recursos de tempo e custo para seu desenvolvimento e darem respostas rápidas.

Fórmulas, sistemas de equações ou desigualdades, matrizes, série de valores estatísticos, séries temporais, modelos de pesquisa operacional e econométricos são todos exemplos de modelos matemáticos.

Os modelos matemáticos se dividem em analíticos e numéricos. Os analíticos são aqueles que resultam em uma expressão matemática bem definida entre as variáveis dependentes e independentes e a solução é conseguida pela resolução da expressão correspondente. Nos modelos numéricos não é necessário o conhecimento de equações matemáticas que regem o sistema. A solução é obtida por interações, métodos de convergência, interpolação, sendo fornecido um valor estimado, simultaneamente ao erro do método.

VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO

As principais vantagens da simulação são:

- Novas políticas, procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação, procedimentos organizacionais, etc. podem ser estudados sem interferência nas operações do sistema real.
- Novos equipamentos, arranjos físicos, sistemas de transporte, etc. podem ser testados antes de se investir recursos com as aquisições envolvidas.
- Hipóteses de como e por que certos fenômenos ocorrem podem ser avaliados.

- O tempo pode ser comprimido ou expandido, permitindo que o fenômeno em estudo possa ser acelerado ou retardado.
- “Gargalos” onde as informações ou materiais têm seus fluxos comprometidos podem ser identificados.

As principais desvantagens são:

- A construção de modelos requer um treinamento especial. Pode ser considerada uma “arte” que se aprende ao longo do tempo e que envolve o “bom” uso da experiência.
- Os resultados da simulação podem ser difíceis de interpretar. Como as saídas da simulação podem incluir variáveis aleatórias, não é trivial determinar se os resultados observados resultam de interrelações efetivas das partes do sistema ou se são fruto da aleatoriedade do sistema.
- A modelagem do sistema e a análise dos dados podem consumir muito tempo e muitos recursos. Por outro lado, economizar tempo e recursos na modelagem e na análise pode resultar em cenários insuficientes para atender os objetivos.

Na defesa do uso da simulação, as desvantagens acima citadas têm sido minimizadas através dos seguintes argumentos:

- Fornecedores de softwares de simulação têm continuamente desenvolvido pacotes que contêm um tipo de *template* de modelos pré-concebidos nos quais é necessário somente definir os dados da operação.
- Muitos fornecedores de softwares têm desenvolvido pacotes com ferramentas que facilitam a análise dos dados de saída da simulação.
- Os avanços nas plataformas computacionais permitem que a simulação seja realizada cada vez mais rapidamente.

PROCEDIMENTOS DE UMA SIMULAÇÃO

Formulação do problema a ser simulado

Todo estudo deve começar pela definição do problema. Se as definições são realizadas pelo usuário que está com o problema, o projetista deve se assegurar de que o problema foi efetivamente entendido. Se as definições do problema são desenvolvidas pelo projetista, é importante que o usuário também esteja de acordo com a formulação. há ocasiões em que o problema precisa ser reformulado à medida que o estudo evolui.

Definição dos objetivos e planejamento geral

Os objetivos envolvem as questões que precisam ser respondidas pela simulação. Neste ponto deve-se avaliar e confirmar que a simulação é a técnica adequada para tratar o problema e, como se planeja atingir os objetivos previstos. Se a simulação é apropriada, o planejamento geral deve incluir uma especificação das alternativas que devem ser consideradas, e um critério para comparar os resultados. Deve especificar também as estratégias para o estudo em termos dos recursos envolvidos, o custo do estudo, o número de dias necessários para completar cada fase e, os resultados previstos no final de cada estágio.

Concepção do modelo

A tarefa de modelagem envolve certa habilidade para abstrair as características essenciais de um problema, para selecionar e modificar as suposições que caracterizam o sistema, e para destacar os resultados de interesse. Deve-se começar com um modelo simples, e então, a partir deste, chegar a modelos mais complexos. A complexidade do modelo não deve ser maior que aquela requerida para alcançar os objetivos do estudo. A violação deste princípio aumenta os custos de construção do modelo e de execução do modelo. Não é necessário ter uma correspondência bi-unívoca entre o modelo e o sistema real. Apenas a essência do sistema real é necessária no modelo. É aconselhável envolver o usuário na concepção do modelo. Isto aumenta a qualidade do modelo resultante e a confiança deste usuário na aplicação do modelo.

Coleta de dados

Há uma relação entre a concepção do modelo e os dados de entrada necessários. Ao variar a complexidade do modelo, os dados necessários também podem mudar. Como a coleta de dados pode envolver muito tempo, é recomendável iniciar esta fase o quanto antes, geralmente junto com as etapas iniciais da construção do modelo. Os objetivos do estudo definem os tipos de dados a serem coletados.

Tradução do modelo

Os sistemas do mundo real podem resultar em modelos que envolvem uma grande quantidade e variedade de informações assim, os modelos precisam ser traduzidos para um formato adequado para serem tratados num computador. O projetista precisa decidir se editará o modelo em uma linguagem de simulação ou então se usará “pacotes” de softwares específicos. As linguagens de simulação são geralmente mais poderosas e mais flexíveis que os “pacotes” para fins específicos. Contudo, se o problema é passível de resolução com o uso de “pacotes”, o tempo de construção de modelo será certamente menor. Além disso, os “pacotes” têm acrescentado características que aumentam sua flexibilidade.

Verificação

A verificação em geral faz parte do processo de edição do modelo e programação do computador preparando-o para a simulação. Deve-se verificar se o programa de computador executa o modelo conforme o esperado. Modelos complexos, envolvem maiores riscos na sua tradução para o computador e por isso deve-se ter maior cuidado nestes casos.

Validação

A validação é a confirmação de que um modelo é uma representação adequada do sistema real. Validação é geralmente resultante da calibração do modelo, isto é, um processo iterativo de comparar dados do modelo com o comportamento do sistema real, usando as discrepâncias entre os dois para melhorar o modelo. Este processo é repetido até que o modelo seja julgado aceitável.

Projeto do Experimento

As alternativas e/ou cenários que serão simuladas devem ser detalhadas. Em geral, a decisão de quais alternativas serão simuladas é função do histórico dos cenários previamente obtidos e analisados. Para cada cenário que é simulado, decisões precisam ser tomadas sobre a magnitude dos valores de inicialização, do tempo de simulação, e o número de repetições que devem ser feitas.

Execução do modelo e análise

A execução do modelo e sua subsequente análise são realizadas e utilizadas para estimar medidas de desempenho para o sistema que está sendo simulado. Baseado na análise das execuções realizadas, determina-se se são necessários experimentos adicionais e se novas especificações devem ser consideradas.

Relatórios

Existem dois tipos de documentação: do programa e do experimento. A documentação do programa (do modelo de simulação) é imprescindível quando o programa é usado novamente e, é fundamental para a confiança dos usuários do sistema que podem tomar decisões baseados nos dados gerados. Os relatórios dos experimentos fornecem a “história” do projeto de simulação. Os resultados das análises devem ser apresentados de forma clara e concisa em um relatório final. Isto permite que os usuários do modelo revejam a formulação final, os critérios pelos quais alternativas foram comparadas, os resultados de experimentos, e a solução recomendada.

Implementação

O sucesso da fase de implementação depende de como foram conduzidos os passos anteriores. Se o usuário esteve envolvido durante o processo de edição do modelo e entende a natureza do modelo e suas saídas este poderá contribuir efetivamente para a fase de implementação.

DINÂMICA DE SISTEMAS

Dinâmica de Sistemas se presta para a identificação das seguintes características básicas de qualquer sistema:

Relações de causa e efeito

É comum numa situação-problema complexa, ficar-se debatendo horas e horas, sem que se chegue a uma conclusão de quais são as causas estruturais de um problema, mesmo quando se reúne especialistas das diversas áreas de abrangência do problema. Todos têm razão e ninguém tem razão. Dinâmica de Sistemas permite a construção de gráficos de relações causais onde se procura delimitar e pesquisar quais as relações de causa e efeito que existem entre os elementos de um sistema. Dinâmica de Sistemas permite a construção destes gráficos causais em reuniões com a participação de especialistas e usuários de um sistema, fazendo com que cada um compartilhe suas visões do sistema (modelos mentais), estabelecendo uma linguagem que facilita o aprendizado mútuo entre os constituintes do grupo.

Tempos de resposta

Nem sempre o resultado de uma decisão vem de imediato. Um exemplo típico: toma-se um comprimido para dor de cabeça, espera-se um tempo para fazer o efeito. Se a pessoa não toma as doses do remédio nos horários recomendados, ela pode ocasionar complicações no seu organismo ou não sentir qualquer efeito do mesmo. Decisões estratégicas importantes podem estar sendo tomadas simplesmente sem que se saiba a importância e quais são os tempos de resposta dos sistemas onde elas devem produzir seus resultados. Isto frequentemente tem sido causa de oscilações ou mesmo da falência total de sistemas que se desejam estáveis. Os modelos de Dinâmica de Sistemas ajudam a explicitar e estudar estes tempos de resposta inerentes a qualquer sistema.

Efeitos de realimentação

É comum uma decisão ocasionar um efeito realimentador. Este efeito pode ser no sentido de reforçar a decisão. Por exemplo: numa disparada do

dólar, as pessoas se sentem tentadas a comprar a moeda toda vez que o dólar sobe, tentando se antecipar a uma alta mais acentuada ainda. Quanto mais pessoas fazem isto, mais a procura por dólar aumenta, mais sobe a cotação. O efeito de realimentação também pode se dar no sentido de anular o efeito da decisão ou de chegar a um ponto de equilíbrio almejado para o sistema. Por exemplo, após algum tempo de subida acentuada do dólar, as pessoas se dão conta que ele passou dos limites do razoável e de que existe um patamar para a cotação da moeda. Passam então a só comprar a moeda dentro de uma determinada faixa de valor que elas consideram razoável. Se a cotação passa da faixa, as pessoas tendem a vender dólar, se está abaixo da faixa, elas tendem a comprar. O efeito de realimentação dessa decisão no mercado do dólar é de estabilização em torno de uma faixa (ou banda) cambial, fazendo com que a cotação caia se a mesma tende a passar da banda, ou suba se ela tende a ficar abaixo da banda.

Aplicações Específicas

A metodologia de Dinâmica de Sistemas tem sido usada com sucesso nas Ciências Sociais (Economia, Administração de Empresas, Marketing, etc) para se entender basicamente duas coisas: (i) a estrutura de relações que governa o comportamento de um sistema; (ii) comportamento de um sistema ao longo do tempo, isto é, sua dinâmica.

Os problemas tratados nas Ciências Sociais são bastante complexos do ponto de vista dinâmico pois normalmente incluem entre seus elementos o ser humano, cujo comportamento não é coisa simples de ser caracterizado através de modelos.

MODELOS CAUSAIS

Um problema do mundo real é quase sempre colocado de forma genérica e imprecisa. Normalmente quem formula o problema deixa de especificar vários detalhes que são fundamentais para uma compreensão única do mesmo. Além disso, na formulação do problema, o contexto no qual o mesmo se insere fica implícito. Por exemplo, um diretor de uma empresa ao expor um problema para seus gerentes, considera implicitamente que todos estão razoavelmente

familiarizados com as práticas gerenciais da organização. Entretanto, cada ser humano tem sua própria experiência e poderá entender de forma completamente diferente, um mesmo problema colocado para um grupo de pessoas. Via de regra quando se está diante de uma situação-problema para a qual buscamos uma solução, o entendimento do problema e as soluções dadas pelos seres humanos podem divergir bastante.

Os **Modelos Causais** são diagramas que servem para descrever uma situação-problema de acordo com o que pensa cada observador. São modelos que procuram explicitar as **relações de causa e efeito** dentro do contexto do problema.

Por meio dos modelos causais é possível:

- Maior compartilhamento de informações.
- Maior participação na construção do modelo.
- Maior comprometimento na execução da solução proposta para o problema.

Vamos analisar uma situação-problema típica que é vivenciada pelas empresas de alimentos que precisam atender um determinado mercado com seus produtos. Construiremos um modelo causal para entender a decisão de produzir mais produtos alimentícios para atender à demanda existente no mercado.

- **situação-problema:** atender à demanda com produto alimentícios.
- **decisão:** produzir ou não mais produtos alimentícios? Em que quantidade? De quanto em quanto tempo?
- **algumas variáveis importantes:** (A) tamanho da demanda não atendida; (B) quantidade de produtos alimentícios a ser produzida; (C) quantidade de produtos disponíveis no mercado; (iii) problemas com excesso de produtos alimentícios no mercado (perdas por prazo de validade).

Não vamos nos preocupar, nesse primeiro momento, em colocar todas as variáveis da situação-problema nessa primeira versão do seu modelo.

Agora, vamos descrever que relações de causa e efeito existem entre estas quatro variáveis:

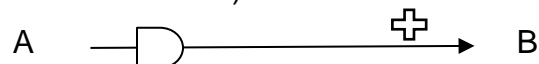
- **relação 1:** se a demanda não atendida aumenta, a quantidade de produtos a serem produzidos tende a aumentar.
- **relação 2:** a cada produto produzido, acumula-se o número de produtos disponíveis para atender a demanda.
- **relação 3:** quanto maior a quantidade acumulada de produtos disponíveis, depois de um certo tempo, a demanda não atendida tende a diminuir, até ser atendida completamente.
- **relação 4:** quanto maior a quantidade acumulada de produtos disponíveis, depois de um certo tempo, os problemas com excesso de produtos tendem a aumentar.
- **relação 5:** o aumento dos problemas com excesso de produtos, faz com que a quantidade de produtos a serem produzidos seja reduzida.

Para desenhar um modelo causal definiremos os seguintes diagramas primários:

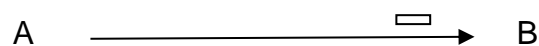
- a variável A influencia a variável B positivamente, isto é, se A cresce então B cresce (ou se A decresce, B decresce).



- a variável A influencia a variável B positivamente, depois de um certo tempo (não imediatamente).



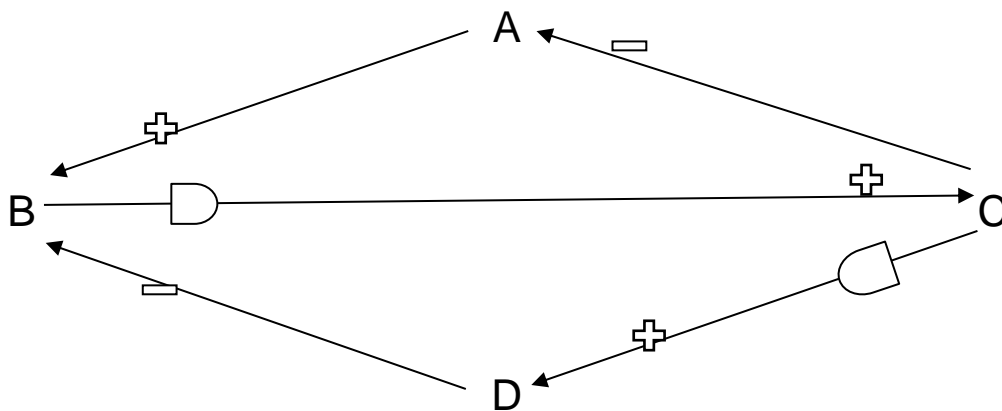
- a variável A influencia a variável B negativamente, isto é, se A aumenta então B diminui (ou se A diminui, B aumenta).



- a variável A influencia a variável B negativamente, depois de um certo tempo (não imediatamente).



Para o nosso problema de produzir para atender a demanda por produtos perecíveis, o modelo causal pode ser representado pelo diagrama que se segue.



Apesar da simplicidade dos elementos que compõe um diagrama de causa e efeito, eles são as peças com que montaremos em Dinâmica de Sistemas os **modelos causais** com o qual representaremos as situações-problema a serem estudadas.

Deve ficar claro que os modelos causais são um tipo de instrumento eficaz para se iniciar a discussão de uma situação-problema. A utilidade destes modelos está apenas em que eles nos permitem comunicar e dialogar sobre um assunto de uma forma simples, compartilhando nossas ideias com outras pessoas.

MODELOS DE ESTOQUE E FLUXO

Na seção anterior vimos que os modelos causais (ou diagramas causais) são muito bons para representarmos **qualitativamente** as relações de causa e efeito que ocorrem num sistema complexo.

Entretanto, se quisermos representar **quantitativamente** estas mesmas relações de causa e efeito, os modelos causais não são adequados. Para isto, usaremos os **modelos de estoque e fluxo**. Estes são semelhantes aos modelos causais, com a diferença de que as relações são expressas através de fórmulas lógico-matemáticas.

Nesta seção vamos começar a trabalhar com os modelos de estoque e fluxo. Vamos modelar (representar) e simular o problema apresentado na seção anterior: demanda x produção.

O modelo causal apresentado anteriormente, mostra as relações de causa e efeito que ocorrem no problema.

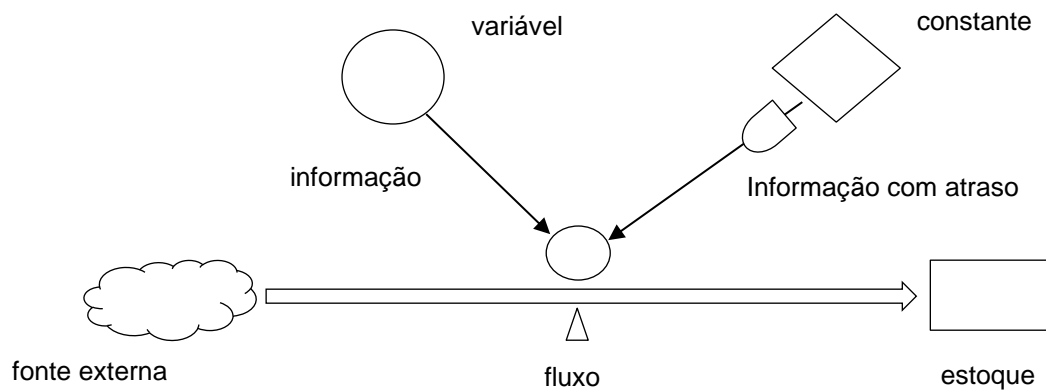
É fácil perceber que com este modelo causal não temos condições de fazer qualquer estimativa futura sobre os valores da demanda, da produção, das disponibilidades (estoques) ou das perdas de produtos. Apenas dá para deduzir que crescimentos e decréscimos das variáveis mencionadas, pois há um círculo vicioso: (i) quanto maior a demanda, maior a produção; (ii) quanto maior a produção, maior a disponibilidade; (iii) quanto maior a disponibilidade, maior a perda de produtos; (iv) quanto maior a disponibilidade, menor a demanda; (v) quanto maior a perda de produtos, menor a produção. E, assim por diante.

Também podemos deduzir, que quanto maior a demanda não atendida, maior será a produção de produtos e, portanto, maior a disponibilidade de produtos (estoques). Dizemos que existe, neste caso, uma **malha de realimentação positiva** (*positive feedback loop*) entre as variáveis "produção" e "produtos disponíveis (estoques)". Com os modelos causais podemos inferir a tendência de crescimento ou decrescimento. Também podemos identificar a existência de uma tendência de estabilidade no sistema demanda – produção, pela influência de uma **malha de realimentação negativa** (*negative feedback loop*). Em resumo:

- Malha de realimentação positiva = tendência de crescimento (ou decrescimento).
- Malha de realimentação negativa = tendência à estabilidade (não cresce, nem decresce)

Entretanto, somente com os modelos causais jamais teremos condições de dizer o quanto exatamente (em valor) um sistema está evoluindo.

Para permitir que sejam quantificadas as relações causais é que foram criados os **modelos de estoque e fluxo**. Nesta metodologia de representação sistêmica, com apenas cinco elementos básicos (figura que se segue) se pode construir modelos (representações) de sistemas bastante complexos.



Elementos básicos de um modelo genérico de estoque e fluxo.

Os elementos básicos usados nos modelos de estoque e fluxo mostrados na figura acima são:

- **variáveis** (círculos) - representam os **parâmetros** que são usados no sistema. Eventualmente uma variável pode assumir um valor que não varia, ou seja é uma **constante** (losangos).
- **fluxos** (setas de traço duplo com círculo e triângulo) - representam o transporte de **recursos** (água, dinheiro, prestígio pessoal, produto químico, etc) no sistema. Os fluxos são vazões controladas por equações e por isto são representados por um ícone parecido com "uma torneira sobre um cano". Os fluxos são medidos em unidade de uma grandeza qualquer (metros, quantidades ou lucros, por exemplo) por unidade de tempo (segundo, semana ou mês, por exemplo).
- **estoques** (retângulos) – representam **acumulações ou desacumulações** de algum **recurso** (água, recursos financeiros, prestígio pessoal, quantidade de produtos, etc). **Estoques são variáveis especiais cujo valor depende do passado.** A equação de transição de um estoque no tempo (**t**) para o tempo seguinte (**t + Δt**), onde **Δt** é o intervalo de tempo, é dada pela seguinte equação:

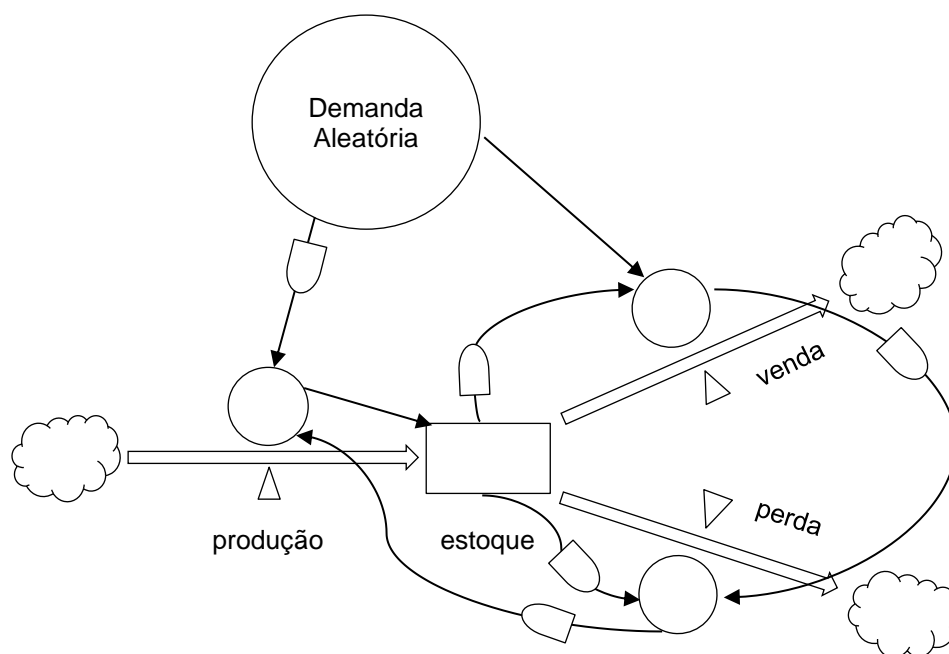
$$\text{estoque (t + } \Delta t) = \text{estoque (t) + fluxo (}\Delta t) * \Delta t$$

Normalmente o intervalo de tempo **Δt** é igual a uma (1) unidade de tempo (segundo, hora, dia, mês, ano, etc). Esta unidade de tempo é que comanda todo o processo de simulação do modelo no decorrer do

tempo, isto é, os valores das variáveis do sistema são calculados de Δt em Δt unidades de tempo.

- **informação** (setas de traço simples) – fazem a ligação entre os elementos do sistema e explicitam relações entre os mesmos. É importante observar que as informações, diferentemente dos fluxos, não retiram ou colocam recursos nos estoques. As informações também podem ter um "D", significando que as mesmas só estarão disponíveis num instante de tempo futuro e não imediatamente.
- **fonte externa** (nuvens) – representa alguma fonte de recurso que está fora do escopo de interesse do modelo em estudo. Isto é, no diagrama acima, o fluxo retira recursos da fonte externa e joga no estoque. Os detalhes da fonte externa não são considerados no estudo do sistema representado pelo modelo.

Podemos observar, na figura que se segue, o modelo de estoque e fluxo correspondente ao modelo causal da demanda x produção.



O sistema de equações que representa o diagrama acima, e será utilizado para a simulação, é dado por:

$$\text{demanda}(t) = \text{valor aleatório}$$

$$\text{produção } (t + \Delta t) = \text{demanda } (t) - \text{perda } (t)$$

$$\text{estoque } (t + \Delta t) = \text{estoque } (t) + \text{produção } (t) - \text{venda } (t)$$

$$\text{venda } (t) = \text{mínimo } (\text{demanda } (t) - \text{estoque } (t - \Delta t))$$

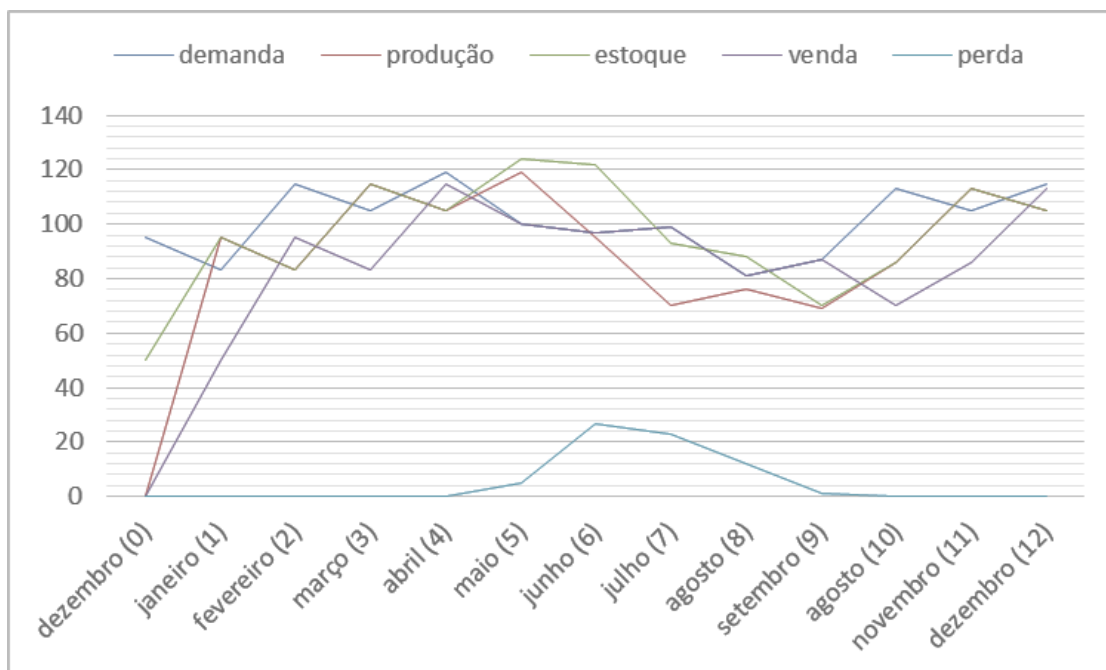
$$\text{perda } (t) = \text{estoque } (t - \Delta t) - \text{venda } (t)$$

Para fazermos uma simulação do modelo demanda x produção desenvolvido, vamos estabelecer as seguintes premissas:

- $\Delta t = 1$ mês ($t = 1$, janeiro; $t = 2$, fevereiro; $t = 3$, março e assim por diante)
- demanda (t) = valor aleatório entre 80 e 120
- produção (0) = 0
- estoque (0) = 50
- venda (0) = 0
- perda (0) = 0
- perda (1) = 0

A partir destes dados iniciais, podemos fazer uma simulação do sistema. Os resultados da simulação estão apresentados na tabela e no gráfico que se seguem:

mês	demanda	produção	estoque	venda	perda
dezembro (0)	95	0	50	0	0
janeiro (1)	83	95	95	50	0
fevereiro (2)	115	83	83	95	0
março (3)	105	115	115	83	0
abril (4)	119	105	105	115	0
maio (5)	100	119	124	100	5
junho (6)	97	95	122	97	27
julho (7)	99	70	93	99	23
agosto (8)	81	76	88	81	12
setembro (9)	87	69	70	87	1
outubro (10)	113	86	86	70	0
novembro (11)	105	113	113	86	0
dezembro (12)	115	105	105	113	0



Novas simulação podem ser feitas com o objetivo de verificar o comportamento das decisões de produção e dos consequentes resultados dos estoques, das vendas e das perdas, tendo em vista que as demandas, por serem aleatórias, viriam a cada simulação. Com os resultados de diversas simulações é possível estabelecer o melhor processo de tomada de decisões de produção.

Para facilitar os cálculos das diversas simulações, poderemos desenvolver uma planilha no Ms-Excel, com as seguintes fórmulas (vide arquivo **modelo demanda x produção.xlsx**):

mês	demanda	produção	estoque	venda	perda
dezembro (0)	=ALEATÓRIOENTRE(80;120)	=0	=50	=0	=0
janeiro (1)	=ALEATÓRIOENTRE(80;120)	=B3-F3	=D3+C4-E4	=MÍNIMO(D3;B4)	=0
fevereiro (2)	=ALEATÓRIOENTRE(80;120)	=B4-F4	=D4+C5-E5	=MÍNIMO(D4;B5)	=SE(D4-E5<0;0;D4-E5)
março (3)	=ALEATÓRIOENTRE(80;120)	=B5-F5	=D5+C6-E6	=MÍNIMO(D5;B6)	=SE(D5-E6<0;0;D5-E6)
abril (4)	=ALEATÓRIOENTRE(80;120)	=B6-F6	=D6+C7-E7	=MÍNIMO(D6;B7)	=SE(D6-E7<0;0;D6-E7)
maio (5)	=ALEATÓRIOENTRE(80;120)	=B7-F7	=D7+C8-E8	=MÍNIMO(D7;B8)	=SE(D7-E8<0;0;D7-E8)
junho (6)	=ALEATÓRIOENTRE(80;120)	=B8-F8	=D8+C9-E9	=MÍNIMO(D8;B9)	=SE(D8-E9<0;0;D8-E9)
julho (7)	=ALEATÓRIOENTRE(80;120)	=B9-F9	=D9+C10-E10	=MÍNIMO(D9;B10)	=SE(D9-E10<0;0;D9-E10)
agosto (8)	=ALEATÓRIOENTRE(80;120)	=B10-F10	=D10+C11-E11	=MÍNIMO(D10;B11)	=SE(D10-E11<0;0;D10-E11)
setembro (9)	=ALEATÓRIOENTRE(80;120)	=B11-F11	=D11+C12-E12	=MÍNIMO(D11;B12)	=SE(D11-E12<0;0;D11-E12)
agosto (10)	=ALEATÓRIOENTRE(80;120)	=B12-F12	=D12+C13-E13	=MÍNIMO(D12;B13)	=SE(D12-E13<0;0;D12-E13)
novembro (11)	=ALEATÓRIOENTRE(80;120)	=B13-F13	=D13+C14-E14	=MÍNIMO(D13;B14)	=SE(D13-E14<0;0;D13-E14)
dezembro (12)	=ALEATÓRIOENTRE(80;120)	=B14-F14	=D14+C15-E15	=MÍNIMO(D14;B15)	=SE(D14-E15<0;0;D14-E15)

CONCLUSÃO

O modelo demanda x produção apresentado é bastante simples mas é ideal para que você se familiarize com modelos financeiros e suas inúmeras possibilidades de aplicação. É um bom exercício alterar algumas das variáveis no modelo e estudar o comportamento do sistema, fazendo o modelo, um autêntico "simulador de vôo gerencial", muito comum para treinamento de executivos em grandes empresas.

Ficará por conta da sua experiência pessoal e interesse, introduzir sofisticções neste modelo de tal forma que você explore ao máximo os limites da sua imaginação.