

ProModel[®]

Passos para um Projeto de Simulação



Tradução do capítulo 3 (Steps for doing simulation) do manual do Usuário pertencente ao software "Promodel for Windows".

1) INTRODUÇÃO:	3
2) PROCEDIMENTO GERAL:	3
3) PASSO 1: PLANEJAMENTO DO ESTUDO	4
DEFINIR OBJETIVOS	4
IDENTIFICANDO AS RESTRIÇÕES	6
PREPARANDO A ESPECIFICAÇÃO DA SIMULAÇÃO	7
DESENVOLVENDO UM CRONOGRAMA E UM BUDJET	9
4) PASSO 2: DEFININDO O SISTEMA	10
DETERMINANDO OS DADOS NECESSÁRIOS	12
USANDO AS FONTES APROPRIADAS DE DADOS	13
FAZENDO SUPOSIÇÕES	14
CONVERTENDO DADOS PARA UMA FORMA ÚTIL	15
DOCUMENTANDO E APROVANDO OS DADOS	16
5) PASSO 3: CONSTRUINDO O MODELO	17
REFINAMENTO PROGRESSIVO	17
EXPANSÃO INCREMENTAL	18
VERIFICAÇÃO DO MODELO	18
VALIDAÇÃO DO MODELO	18
6) PASSO 4: CONDUZINDO EXPERIMENTOS	19
SIMULAÇÕES TERMINANTES OU NÃO-TERMINANTES	21
RODANDO SIMULAÇÕES TERMINANTES	22
RODANDO SIMULAÇÕES NÃO-TERMINANTES	23
OBTENDO AMOSTRAS	25
COMPARANDO SISTEMAS ALTERNATIVOS	25
PROJETO DOS FATORES	26
UTILIZAÇÃO DE UMA CORRENTE RANDÔMICA	27
7) PASSO 5: ANALISANDO OS OUTPUTS:	29
8) PASSO 6: REPORTANDO OS RESULTADOS:	30
9) ARMADILHAS NA SIMULAÇÃO:	30
10) SUMÁRIO:	31

1) INTRODUÇÃO:

Simular requer mais que simplesmente saber como se usar um SW de simulação; um estudo de Simulação é, por sua natureza, um PROJETO. Como qualquer projeto, existem etapas a serem cumpridas e recursos que são necessários para cumpri-las. Para se ter sucesso, um projeto de Simulação deve ser planejado com conhecimento das necessidades de cada etapa envolvida. Muitas falhas resultam de se pular diretamente para a modelagem e simulação sem primeiro deter-se para considerar os passos envolvidos e desenvolver um plano de procedimento.

. A modelagem para uma simulação requer habilidades analíticas, organizacionais, de engenharia e comunicação. O analista deve conhecer o sistema que está sendo modelado e estar apto a escolher, através de complexas relações de causa e efeito que determinam a performance do sistema. Um conhecimento básico mínimo de estatística é necessário para se elaborar experimentos e corretamente analisar e interpretar os dados de entrada e saída. Também é vital a comunicação com os clientes e demais pessoas envolvidas durante todo o processo, garantindo que todos entendam o objetivo, as considerações e resultados do estudo.

2) Procedimento Geral:

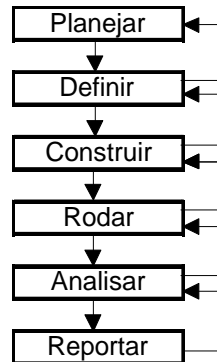
. A decisão de se fazer uma simulação normalmente resulta de uma percepção de que esta ferramenta pode ajudar a determinar um ou mais resultados, associados a um projeto de um novo sistema ou a modificação de um sistema já existente. Antes de se lançar em um projeto de simulação, uma ou mais pessoas devem ser designadas para o estudo tendo ao menos um conhecimento básico do sistema e de suas saídas. Deve se determinar através de informações de base suficientes, se a simulação é mesmo a ferramenta ideal para a obtenção da solução. Se a simulação for conduzida por pessoas de dentro da empresa, eles provavelmente tem o conhecimento básico do sistema; porém para consultores externos, uma breve descrição do sistema e seus resultados chave devem ser providenciados. Para um sistema existente, uma olhada no piso de fábrica é um modo excelente de se familiarizar com a operação.

. Uma vez que um projeto tenha sido identificado como candidato para a simulação, decisões sobre a condução do estudo devem ser tomadas. Não há regras precisas sobre como conduzir um estudo de simulação, no entanto, os passos seguintes são geralmente recomendados como linha guia (Shannon, 1975; Gordon, 1978; Law, 1991):

1. Planejar o estudo
2. Definir o sistema
3. construir o modelo
4. Rodar experimentos
5. Analisar os outputs
6. Fazer relatório dos resultados.

. Cada passo não necessita ser totalmente concluído antes de se seguir para o passo posterior. O processo de simulação é interativo e cada atividade é definida e algumas vezes redefinida com a interação. Descrevendo este processo, Pritsker e Pegden (1979) observaram:

A natureza interativa deste processo é mostrada abaixo:



. Enquanto as necessidades de cada passo variam de simulação para simulação, os procedimentos básicos são essencialmente os mesmos. O motivo principal em se adotar um procedimento sistemático como este ou qualquer outro é assegurar que o projeto, feito de forma organizada, com mínimo desperdício de tempo e recursos tenha máxima eficácia em atingir os objetivos.

3) Passo 1: Planejamento do estudo

Muitos projetos de simulação são fadados ao fracasso desde o início devido a um planejamento incompleto. Objetivos indefinidos, expectativas não realistas e uma falta de compreensão das necessidades, freqüentemente resultam em frustração e desapontamento. Para um projeto de simulação ter sucesso, um plano deve ser desenvolvido, sendo realista; claramente comunicado e seguido. O planejamento de um estudo de simulação envolve as seguintes sub-tarefas:

- Definir objetivos
- Identificar as Restrições
- Preparar as especificações da Simulação
- Desenvolver um Budget e um cronograma.

Cada uma destas etapas são discutidas abaixo:

Definir Objetivos

. Com um entendimento básico do sistema e consciência de seus pontos de interesse, um ou mais objetivos podem ser definidos para o estudo. A simulação só deve ser feita se um objetivo pode ser claramente determinado e se a simulação for a ferramenta ideal para atingir este objetivo. Definir um objetivo não significa necessariamente que há um

problema conhecido para ser resolvido; um objetivo perfeitamente válido pode ser verificar se há no sistema um problema que ainda não foi visualizado. Objetivos típicos de um projeto de simulação inclui o seguinte:

- **Análise de Performance** - Como o sistema se comporta segundo um dado conjunto de circunstâncias em todas as medidas de significado (utilização, débito, esperas etc.)
- **Análise de Capacidade** - Qual é a capacidade máxima de produção ou processamento de um sistema?
- **Análise de Capacidade** - O sistema é capaz de atingir as performances requeridas (débito, esperas etc.) ? E, se não, que mudanças (adição de recursos, modificação do método etc.) são necessárias para fazê-lo capaz.
- **Estudo Comparativo** - Qual a variação na performance de duas configurações ou sistemas?
- **Análise de Sensibilidade** - Qual variável é a mais influente em um ou mais indicadores medidos e em quanto esta variável afeta o sistema?
- **Estudo de Otimização** - Que combinação de valores, para um determinado conjunto de variáveis, melhor atinge os objetivos de performance desejados?
- **Análise de Restrição** - Onde estão os gargalos e quais alternativas de melhorias minimizam ou eliminam esta restrição
- **Comunicação Eficaz** - Que variáveis ou gráficos melhor representam o comportamento dinâmico de operação de um sistema?

. Definir objetivos deve levar em conta qual é a intenção final do modelo. Alguns modelos são construídos e usados somente uma vez e depois são jogados fora; outros modelos são construídos para serem usados como base para uma série de análises do tipo “e se...”. Alguns modelos são usados somente pelo analista; outros por gerentes com algum conhecimento de simulação e portanto devem ser fáceis de se usar. Alguns modelos são usados para tomada de decisões de menor importância; enquanto que outros envolvem gastos consideráveis.

. Para compreender os objetivos de uma simulação, devemos considerar tanto o propósito quanto a intenção de seu uso. As questões a seguir podem ajudar neste processo:

- Por que vamos fazer a simulação?
- Quem usará o modelo?
- Para que os resultados da simulação serão apresentados?
- Quais as informações que serão esperadas do modelo?
- Este é um modelo descartável?
- Qual é a importância da decisão a ser feita?

Identificando as Restrições

. Tão importante quanto definir os objetivos é determinar as restrições sob as quais o estudo deve ser conduzido. Não se pode permitir que a simulação resolva o problema e o tempo do estudo ultrapasse o limite para a aplicação da solução, ou que o custo de se achar a solução exceda o benefício conseguido. Os objetivos devem ser amarrados pelas restrições do projeto tais como budget, prazos, disponibilidade de recursos etc.

. As restrições não devem ser vistas sempre como um impedimento. Se nenhum prazo ou outra restrição é estabelecida, há o perigo de se envolver demais no estudo de simulação e correr o risco da “paralisia pela análise”. O escopo de um projeto tem a tendência de se encolher ou expandir para utilizar todo o tempo alocado.

. Na identificação das restrições, tudo que tiver um efeito limitante em relação ao cumprimento dos objetivos deve ser considerado. Veja as seguintes questões:

- Qual é o budget para o estudo?
- Qual é o prazo para se realizar o estudo?
- Qual é a competência das pessoas que estão fazendo o estudo?
- Os dados de input são acessíveis? Em que grau?
- Qual é o equipamento que será utilizado?

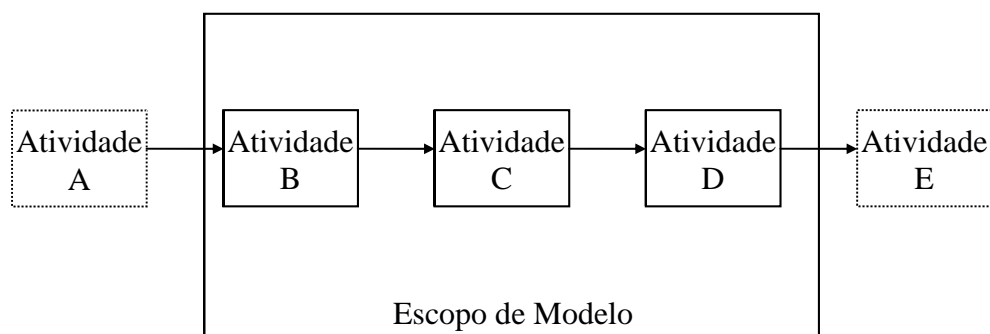
Preparando a Especificação da Simulação

. Com os objetivos claramente definidos e conhecidas as restrições, as exigências da simulação podem ser determinadas. Definir as especificações da simulação é fundamental para se projetar o tempo e custo que serão necessários para completar o estudo. As especificações também ajudam a guiar o estudo e a deixar bem claro para todos exatamente o que a simulação incluirá ou excluirá. A especificação do projeto é especialmente importante quando está sendo feita através de consultoria externa pois assim ficamos sabendo exatamente o que vamos conseguir pelo nosso dinheiro. Os aspectos do projeto de simulação que devem ser incluídos na especificação incluem os seguintes pontos:

- Escopo
- Nível de detalhes
- Precisão
- Tipos de experimentos
- Forma dos resultados

Cada um destes critérios serão apresentados nas páginas que se seguem:

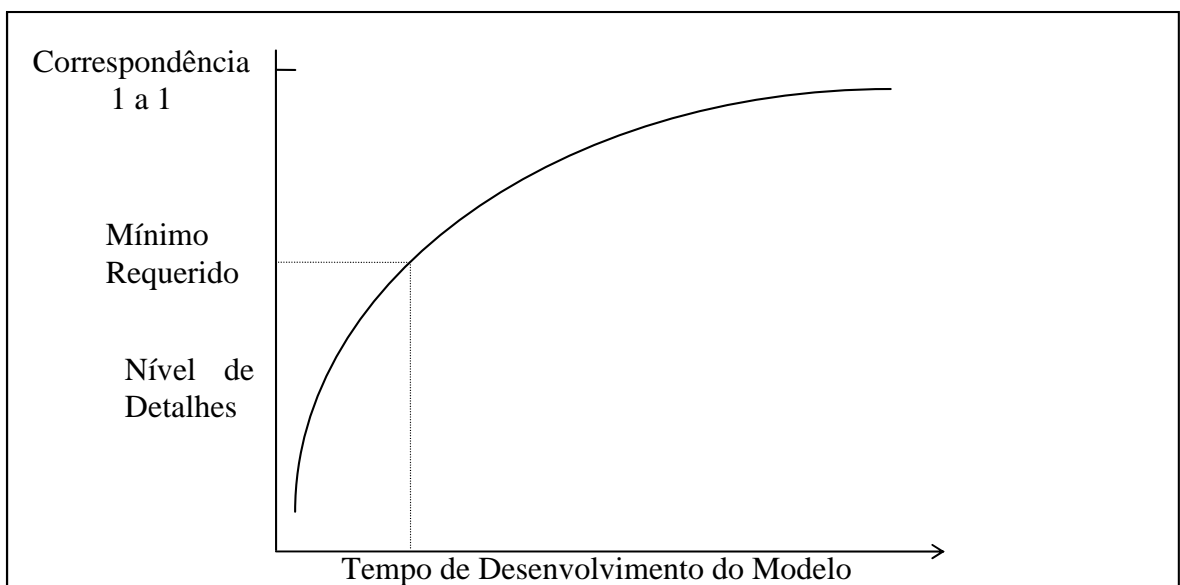
Escopo - O escopo se refere aos limites do sistema ou a quanto o sistema irá englobar. Para se determinar o escopo do projeto, devemos nos basear em quanta relação ou impacto uma atividade em particular tem, no sentido de atingir os objetivos da simulação. Uma tendência comum é modelarmos o sistema inteiro, mesmo quando a área problema e todas as variáveis associadas, estão realmente isoladas em um subsistema menor. Se, por exemplo, o objetivo é achar o número de operadores necessários para atingir uma determinada meta de produção para uma célula de trabalho, provavelmente não é necessário modelar o que acontece com as partes (produtos) após terem deixado a célula. Na figura seguinte vemos como o escopo do modelo deve estar confinado àquelas atividades, cujas interações têm efeito direto no processo estudado. As atividades anteriores e posteriores, que não causam impacto direto no sistema, devem ser ignoradas. Na figura abaixo, uma vez que a taxa de saída da atividade A é previsível, ela pode ser modelada como uma simples taxa de chegada (arrival) para a atividade B. Uma vez que a atividade E nunca restringe a produção da atividade D, ela pode ser desconsiderada.



Confinando o Escopo para as Áreas de Impacto

Nível de Detalhes - O nível de detalhes define a profundidade ou resolução do modelo. Em um extremo, uma fábrica inteira pode ser modelada como uma “caixa preta” com um tempo de atividade aleatório. Em um outro extremo, cada movimento detalhado de uma máquina pode ser modelado com uma correspondência um a um retratando toda a operação da máquina.

Diferentemente do escopo que afeta somente o tamanho do modelo, o nível de detalhe afeta a complexidade tanto quanto o tamanho. Determinar o nível apropriado de detalhes é uma decisão importante. Muitos detalhes tornam difícil e demorada a construção de um modelo válido; por outro lado, poucos detalhes podem tornar o modelo muito irreal pela exclusão de variáveis críticas. A figura abaixo ilustra como o tempo de desenvolvimento do modelo é afetado pelo nível de detalhes. Também evidencia a importância de se incluir somente o nível de detalhes suficiente para atingir os objetivos do estudo.



Efeito do nível de detalhes no Tempo de Desenvolvimento do Modelo

O nível de detalhes é bastante influenciado pelo grau de precisão requerido na saída do sistema. Se somente uma estimativa aproximada é necessária, podemos modelar cada atividade pelo seu tempo ao invés de especificar os detalhes que constituem aquela atividade. Se, por outro lado, detalhes como paradas ou tempos de deslocamento tem um efeito apreciável no modelo, eles devem ser incluídos.

Precisão - O grau de precisão diz respeito à correção dos dados usados. Para alguns modelos ou certas atividades a informação não precisa ser acurada ou exata assim como precisa para outras. O grau necessário de acurácia é determinado pelos objetivos do estudo. Se a decisão é importante ou os modelos são semelhantes, será necessário uma maior acurácia para determinar os valores. A acurácia pode algumas vezes ser sacrificada se as informações não estão disponíveis como por exemplo quando modelamos um sistema totalmente novo.

O grau de acurácia necessário tem um impacto importante no tempo e esforço requerido para o levantamento dos dados. Porém, freqüentemente temos pouco impacto no tempo de construção do modelo, uma vez que podemos construí-lo utilizando valores estimados e depois colocando os valores mais exatos. A precisão do output é governada pelo grau de acurácia do modelo.

Tipos de Experimentação - A quantidade ou natureza das alternativas de soluções a serem calculadas devem ser planejadas desde o início, de forma a assegurar que o tempo adequado está sendo alocado. Freqüentemente esta decisão é influenciada pelo limite de prazo imposto. Onde as alternativas a serem calculadas diferem muito pouco, um modelo base pode ser construído de forma a requerer somente pequenas modificações para modelar cada alternativa. Se as configurações das alternativas são significativamente diferentes, podemos ter que fazer o mesmo esforço para realizar os vários modelos quanto para desenvolver um modelo básico inicial.

Para estudos nos quais queremos considerar melhorias para um sistema existente, é recomendável modelar o sistema atual bem como o sistema proposto. A premissa básica é que você não está pronto para fazer mudanças em um sistema até que você entenda como ele funciona. As informações do sistema existente são mais fáceis de se obter do que as informações nas áreas a serem modificadas. Uma vez que o modelo do sistema corrente é construído, é mais fácil observar que alterações são necessárias para se fazer o sistema modificado. Os dois sistemas devem ser modelados juntos na mesma simulação e devem ser rodados lado a lado. Durante a apresentação final do projeto, a visualização das versões “como é” e “como será” efetivamente demonstram o impacto que as mudanças trariam para a performance do sistema.

Forma dos Resultados - A forma em que os resultados serão apresentados podem significativamente afetar o tempo e o esforço envolvidos no estudo de simulação. Se animação detalhada ou um relatório extensivo são esperados, o projeto pode se estender por várias semanas antes da fase experimental poder ser completada. Muitas vezes o único resultado requerido é a simples verificação do quanto um sistema é capaz de atingir um determinado patamar de produção. Nestes casos uma simples resposta bastará.

Desenvolvendo um Cronograma e um Budget

Com os objetivos e as restrições claramente definidas e a especificação preparada identificando o trabalho a ser realizado, um budget e um cronograma devem ser desenvolvidos projetando as expectativas de custo e tempo para completar o estudo de simulação. Obviamente o tempo de um projeto dependerá de sua dificuldade e de seu tamanho. Se os dados não estão prontamente disponíveis, pode ser necessário adicionar algumas semanas ao projeto. Um projeto pequeno pode levar de 2 a 4 semanas, enquanto que um projeto grande pode levar de 2 a 4 meses. Um cronograma de simulação deve ser baseado em projeções realistas de tempo mantendo-se em mente o seguinte:

- A definição do sistema a ser modelado pode levar até 50% do tempo do projeto.
- A construção do modelo usualmente utiliza a menor quantidade de tempo (10 a 20%).
- Uma vez que o modelo de base é construído, serão utilizadas várias semanas para conduzir todos os experimentos necessários, especialmente se estamos comparando as alternativas.

Quando a simulação pode ser a ferramenta mais adequada para atingir um determinado objetivo, a decisão de usá-la deve ser reconsiderada sob a luz do custo projetado e do tempo estimado. A simulação pode ser uma boa solução para o problema em vista, mas o tempo e o custo para se realizar o projeto podem ser incompatíveis com os benefícios, ou uma solução alternativa deve ser explorada, ou os objetivos devem ser definidos para se cortar o nível de esforço requerido.

4) Passo 2: Definindo o Sistema

Com objetivos claramente definidos e um plano de estudo bem organizado, o sistema em questão pode começar a ser simulado em detalhe. Isto pode ser visualizado como o desenvolvimento de um modelo conceptual sobre o qual o modelo de simulação será baseado. O processo de reunião dos dados do sistema pode ser dominado pela pilha de dados, sem correlação, que temos de investigar. Raramente os dados estão na forma exata que melhor pode representar o funcionamento do sistema. Muitos dos esforços de busca de dados acabam com uma montanha de dados, mas sem a menor informação útil.

A reunião de dados nunca deve ser feita sem um propósito. Ao invés de se procurar por todos os lados, a busca pelas informações deve ser orientada ao objetivo, com um foco sobre as informações que ajudam a atingir as metas do estudo. Há várias linhas-guia que ajudam durante a busca de dados.

- * **Identificar relações de causa e efeito** - É importante identificar corretamente as causas ou condições sob as quais as atividades são realizadas. Na busca de dados de paradas de equipamentos, devemos por exemplo, identificar aqueles que são devidos a falhas, paradas planejadas, troca de ferramentas etc., e aqueles que são na verdade devido à falta de estoque. Uma vez que as causas foram devidamente estabelecidas e analisadas, as atividades podem ser corretamente categorizadas.
- * **Procurar por fatores chave** - Devemos discriminar os valores que têm pouco ou nenhum impacto no sistema. Se, por exemplo, um operador é dedicado a uma máquina e nunca causa seu atraso, não devemos considerá-lo no modelo. Da mesma forma paradas extremamente raras, deslocamentos desprezíveis, inspeções visuais e outras atividades insignificantes ou irrelevantes que não tenham efeito apreciável sobre o sistema podem ser seguramente ignorados.

- * **Distinguir as atividades dependentes do tempo e das condições** - As atividades dependentes do tempo são aquelas que levam uma quantidade previsível de tempo para acabar, tais como as inspeções. As atividades dependentes da condição são aquelas que só se completam quando o sistema atinge uma determinada condição definida. Por serem incontroláveis, elas não são previsíveis. Um exemplo deste tipo de atividade pode ser o preenchimento de uma ordem de trabalho para um determinado cliente (que pode variar segundo as informações necessárias para o preenchimento total do formulário) ou fazer uma montagem que necessita da disponibilidade (no sistema) de vários componentes.

Muitas atividades são parcialmente dependentes do tempo e das condições do sistema. Quando recolhemos dados para estas atividades, é importante distinguirmos o tempo que esta atividade leva, e o tempo que ela demora para ter um recurso ou outra condição do sistema disponibilizada. Se, por exemplo, dados históricos são usados para determinar o tempo de reparo de um equipamento, devemos excluir a espera pelo operador de manutenção.

- * **Focalizar a essência ao invés da substância** - A definição de um sistema para o propósito de modelagem, deve capturar a chave das relações de causa e efeito e ignorar detalhes incidentais. Quando não estamos interessados na natureza da atividade, mas no impacto que ela causa na utilização de determinado recurso ou no fluxo de produtos, devemos usar a modelagem do tipo “caixa preta”. Por exemplo, a operação em si não é importante numa determinada máquina, mas somente o tempo que ela demora e os recursos que utiliza. É importante para o modelador estar constantemente pensando de forma abstrata sobre a operação do sistema de forma a evitar ser pego por detalhes casuais.
- * **Separar as variáveis de input das variáveis de resposta** - As variáveis de input em um sistema definem como ele funciona (tempo da atividade; seqüência de rotas etc.). As variáveis de resposta nos dizem como o sistema responde a um conjunto dado de variáveis de input (WIP; tempos ociosos; utilização de recursos etc.). As variáveis de input devem ser o foco do levantamento de dados uma vez que elas são usadas para definir o modelo. As variáveis de resposta, por outro lado, são o resultado da simulação. Consequentemente as variáveis de resposta só podem ser levantadas após construir e rodar o modelo ajudando a validá-lo.

Estas linhas guia certamente ajudam a garantir que o sistema foi corretamente pensado em termos de modelagem para simulação.

Para ajudar o processo de levantamento de dados para a definição do sistema, os passos seguintes são recomendados:

- ⇒ Determinar as necessidades em termos de dados
- ⇒ Usar as fontes apropriadas
- ⇒ Fazer suposições quando necessário (com o conhecimento do cliente)
- ⇒ Converter os dados para uma forma útil
- ⇒ Documente e aprove os dados (com o cliente)

Cada um destes passos é explicado nas páginas seguintes:

Determinando os Dados Necessários

O primeiro passo no levantamento dos dados de um sistema é determinar que dados são necessários para a construção do modelo. Ele deve ser direcionado pelo escopo e nível de detalhes necessários para se atingir os objetivos do modelo conforme já descrevemos anteriormente. É melhor partir do geral para o específico no levantamento de dados do sistema. O foco inicial deve ser sobre a definição geral do fluxo do processo, de forma a se obter um desenho esquemático onde vamos juntar informações mais detalhadas. Informações detalhadas podem ser adicionadas aos poucos assim que se tornam disponíveis. Começar com uma descrição geral do fluxo do processo não só provê uma metodologia ordenada para o levantamento dos dados, como também possibilita o início do processo de construção do modelo, o que irá reduzir o tempo de construir e corrigir o modelo depois. Frequentemente os dados esquecidos se tornam aparentes durante a construção do modelo.

Para definir o fluxo básico de entidades pelo sistema, um diagrama de fluxo pode ser útil, para documentar e visualizar o fluxo físico de atividades entre cada local de trabalho (location). Uma vez que o diagrama foi feito, é importante apresentá-lo para as pessoas que conhecem o processo para se certificar que nada foi esquecido. O próximo passo é definir como as entidades se movem entre as locations, e que recursos elas utilizam para realizar as operações nas locations. Neste ponto é importante determinar a capacidade das locations, o tempo de deslocamento, os tempos de processo etc..

Para direcionar a busca de informações e garantir uma reunião eficaz com quem deve fornecer estes dados, algumas perguntas são importantes de serem feitas para identificar os dados necessários. Uma lista de perguntas pertinentes pode ser encontrada a seguir:

1. Que tipos de entidades são processadas no sistema, e que atributos (se os tiver) distinguem o modo como entidades semelhantes são processadas ou direcionadas ?
2. Quais são as rotas no sistema. (incluindo todos os locais onde as filas ocorrem ou onde as decisões sobre as rotas são feitas) e qual é a capacidade desta location? Isto é, quantas atividades podem se acomodar dentro da location ou esperar por algum tempo ?
3. Além das rotas, que outros tipos de recursos (pessoas, veículos, máquinas etc.) são usados no sistema e quantas unidades destes recursos estão disponíveis ?
4. Qual é a seqüência de rota para cada tipo de entidade no sistema.
5. Que atividades tomam lugar a cada tempo em cada location ? (defina estes valores em termos de tempo requerido; utilização de recursos; número de entidades; ou qualquer outra decisão lógica)
6. Onde, quando e em que quantidades as entidades entram no sistema ?
7. De que forma as entidades deixam a location? (FIFO; LIFO etc.)

8. Nas situações onde a entidade pode se dirigir a série de alternativas, como é feita a decisão pelo operador do posto ?
9. Como as entidades se movem de um lugar para outro? (Defina isto em termos de tempo e recursos necessários)
10. O que limita a movimentação de entidades de uma location para outra?
11. Como os recursos se movimentam de location para location para realizar as tarefas? (Pode ser definido em termos de velocidade e distância ou tempo)
12. O que faz um recurso quando ele acabou de realizar uma tarefa e não tem outra para fazer? (por exemplo, fica no lugar, move-se para algum lugar especial etc.)
13. Quando ocorre de várias entidades estarem esperando, como é feita a escolha de qual vai entrar no sistema? (por exemplo, a maior espera, a mais próxima; a prioritária etc.)
14. Qual é o cronograma de disponibilidade de recursos e locations?
15. Quais são as interrupções planejadas para os recursos e locations?
16. Qual as falhas aleatórias que ocorrem com os recursos e as locations?

Dependendo do propósito da simulação e do nível de detalhes necessários, algumas destas questões podem não ser aplicadas. Para detalhes adicionais, devemos fazer outras perguntas. As respostas a estas questões devem nos proporcionar a maioria das informações necessárias para construir o modelo.

Usando as Fontes Apropriadas de Dados

Tendo o conjunto correto de questões, podemos agora procurar as respostas adequadas. As informações raramente vêm de uma mesma fonte. Elas são usualmente o resultado de se rever relatórios, fazer entrevistas pessoais, OC, e muitas suposições. “Tem sido minha experiência”, afirma Carson (1986), “que para um sistema de larga escala, é raro que um indivíduo apenas entenda suficientemente de todo o funcionamento do sistema de forma a poder construir um modelo de simulação acurado. O modelador deve ter um pouco de detetive em suas veias para achar o conhecimento necessário”. Boas fontes de dados incluem as seguintes:

- Modos Operatórios
- Estudos de tempos
- Tempos Standart pré determinados
- Sinóptico
- Layouts
- Relatórios de Manutenção
- Relatórios de Produção
- Fabricantes de Equipamentos

- Gerentes
- Engenheiros
- Pessoal do piso de Fábrica
- Observações no Piso
- Comparações com operações similares.

Para decidir qual fonte se utilizar temos que ter em mente a relevância, correção do dado e facilidade de acesso. Se a informação de uma fonte não é relevante para o processo, então não devemos consultá-la. Qual é a importância dos relatórios de manutenção, se foi decidido que as falhas não entrarão no modelo? A confiabilidade dos dados estão diretamente ligadas á validade do modelo. Finalmente, se a observação da fonte é difícil, como por exemplo a visita a um lugar distante onde tenham o mesmo equipamento, então é melhor deixá-la de lado.

Fazendo Suposições

Não é incomum se iniciar o processo de levantamento de dados e perceber que um determinado dado não está disponível, ou não é confiável. Dados completos, atuais e confiáveis de um sistema são raros, principalmente quando estamos construindo algo de inteiramente novo. Para sistemas sobre os quais pouco se conhece, devemos fazer suposições. Não há nada errado com suposições desde que as pessoas concordem com elas e saibam que são de fato suposições.

Muitas suposições são temporárias até que os dados mais corretos estejam disponíveis ou até que se determine que informações mais acuradas são necessárias. Frequentemente uma análise de sensibilidade, onde um grupo de valores são testados para observar seu impacto potencial no sistema, pode dar uma indicação de quanto acurado um dado deve ser. Se, por exemplo um grau de variação no tempo de uma atividade em particular tem pouco efeito sobre o conjunto, podemos supor um valor constante para esta variável. De outra forma, pode ser importante atribuir um valor mais exato para a distribuição desta variável.

Outra aproximação que pode ser feita para se lidar com as suposições, é rodar três diferentes cenários mostrando um “best case” onde usamos o valor mais otimista, um “worst case” onde usamos o valor mais pessimista e um “most likely case” usando o melhor valor estimado. Este método mostra qual o tamanho do risco que você terá ao assumir um determinado valor.

Convertendo Dados para uma Forma Útil

Os dados estão raramente numa forma que possibilita o seu uso diretamente na simulação. Usualmente, devemos realizar algumas análises e conversões para que os dados se tornem úteis como parâmetros de entrada no sistema. Fenômenos aleatórios devem ser hora apresentados como uma distribuição teórica standart como a normal ou exponencial (veja Law and Kelton, 1991), hora como uma distribuição de freqüência. As atividades devem ser agrupadas de forma a facilitar a descrição da operação do sistema.

Ajuste na Distribuição - Para se definir uma distribuição usando-se curvas teóricas é necessário que os dados sejam ajustados para uma distribuição que melhor descreve a variável. Alguns SW de distribuição estão disponíveis para ajudar no ajuste dos dados da amostra para uma distribuição teórica. Uma alternativa, ao invés de se utilizar uma distribuição teórica standart, é resumir os dados na forma de distribuição de freqüência que pode ser utilizada diretamente pelo modelo. A distribuição de freqüência é também conhecida como empírica ou “user defined”.

Seja usando uma distribuição teórica ou uma empírica, é sempre útil organizar os dados em uma tabela de distribuição de freqüência. A distribuição de freqüência é feita agrupando-se os dados em intervalos e depois especificando-se a freqüência de ocorrência para cada intervalo em particular. Para ilustrar como isto é feito, segue a tabela de freqüência:

Freqüência de Distribuição do tempo de reparo:

Tempo de Reparo (minutos)	Número de Observações	Percentagem	Percentagem Acumulada
0 - 1	25	16,5	16,5
1 - 2	33	21,7	38,2
2 - 3	30	19,7	57,9
3 - 4	22	14,5	72,4
4 - 5	14	9,2	81,6
5 - 6	10	6,6	88,2
6 - 7	7	4,6	92,8
7 - 8	5	3,3	96,1
8 - 9	4	2,6	98,7
9 - 10	2	1,3	100

Número total de Observações

Ainda que haja regras propostas para determinar o intervalo das células, a melhor maneira de se abordar o problema, é ter certeza que temos células suficientes para mostrar uma transição gradual nos valores, mesmo que tenhamos algumas células em branco.

Observe que na última coluna da tabela de frequência, a percentagem de cada intervalo é expressa opcionalmente como um valor cumulativo. Isto ajuda a verificar que 100% das possibilidades foram incluídas.

Quando do levantamento de uma amostra de uma população estática, podemos aplicar descrições estatísticas e extrair uma boa noção sobre a população. Quando do levantamento de dados de um sistema dinâmico e variável com o tempo, devemos estar atentos a tendências, padrões ou ciclos que podem ocorrer com o tempo. As amostras colhidas podem não ser homogêneas e, então, inadequadas para utilizarmos técnicas descritivas simples.

União de Atividades - Outra consideração para a conversão dos dados para uma forma aproveitável em termos de modelagem é agrupar as atividades. Frequentemente é útil agrupar atividades desde que não sacrificemos detalhes importantes. Isto faz com que os modelos se tornem mais fáceis de se construir e analisar. Temos que considerar alguns pontos quando formos agrupar atividades, como por exemplo, verificar se as atividades são realizadas em série ou em paralelo. Se forem realizadas em paralelo, o tempo em comum não deve ser adicionado. Se por exemplo uma parte é carregada em uma máquina ao mesmo tempo em que outra parte é descarregada da máquina, somente o maior tempo deve ser incluído. Atividades seriais são sempre aditivas. Por exemplo, se uma série de atividades são realizadas numa entidade ou location, é possível somar os tempos das atividades e entrar com um simples valor ou distribuição.

Documentando e Aprovando os Dados

Quando temos todas as informações relevantes recolhidas e organizadas de uma forma útil, é recomendável organizar as informações na forma de uma tabela de dados, diagramas e listas de suposições. As fontes dos dados também devem ser discriminadas. Este documento deve ser validado pelas pessoas que conhecem o processo. Ele poderá ser útil mais tarde quando podemos ter que fazer modificações ou entender porque que o sistema está se comportando de forma diferente do modelo.

Da mesma forma que colocamos os valores que incluímos no modelo, devemos também mostrar o que foi excluído por terem sido insignificantes ou irrelevantes. Se por exemplo, o tempo de quebra não foi incluído, devemos explicar o porque.

Validar os dados do sistema pode ser uma tarefa demorada e trabalhosa principalmente quando muitas suposições são feitas. O processo de validação é a busca de um consenso. Uma vez que o documento de dados é a base do sistema a ser modelado, frequentemente ele é revisto e alterado durante o processo de modelagem.

5) Passo 3: Construindo o Modelo

Uma vez que compilamos as informações necessárias para a operação básica do sistema, a atividade de construção do modelo pode iniciar. Enquanto iniciar a construção do modelo muito cedo pode ser uma atividade desperdiçada, esperar até que todas as informações sejam completamente levantadas pode provocar um adiamento desnecessário na construção do modelo. Iniciando a construção do modelo antes que todas as informações sejam colhidas ajuda a identificar informações necessárias ainda não vistas.

A meta da construção do modelo é prover uma representação válida da operação de um sistema. Também o modelo deve apresentar qualquer outra representação estatística ou gráfica no sentido de satisfazer os objetivos do estudo. Um modelo não é falso ou verdadeiro, mas útil ou inútil. Uma vez validado, um modelo é útil quando prove as informações necessárias para o cumprimento dos objetivos do estudo.

Refinamento Progressivo

Uma boa característica da simulação é que os modelos não precisam ter incluídos todos os detalhes finais antes de rodar. Isto permite um refinamento progressivo no qual os detalhes são incluídos por estágios, ao invés de tudo ao mesmo tempo. Não somente os modelos são mais facilmente construídos desta forma, como também este método torna mais fácil a correção de defeitos. No modelo inicial, por exemplo, gráficos bonitos não são muito úteis e, uma vez que podem ser trocados, eles devem ser incluídos somente no final para a forma de apresentação.

A complexidade do modelo nunca deve ser subestimada e, por isso, devemos construir o modelo do mais simples para o mais complexo ao invés de se colocar o modelo total de uma vez só. É também mais fácil adicionar detalhes ao modelo do que retirá-los. Ao se construir os modelos em estágios, podemos mais prontamente identificar e corrigir os problemas. Enfatizando a importância de se aplicar o refinamento progressivo na construção do modelo, Law e Kelton (1991) alertaram:

Ainda que haja poucas regras sobre como alguém deve construir modelos, um ponto onde a maioria dos autores concordam, é que sempre é uma boa idéia começar com um modelo simples que pode mais tarde vir a ser sofisticado se necessário. Um modelo deve conter apenas detalhes suficientes para captar a essência do sistema para os propósitos do estudo: Não é necessário ter uma relação um-a-um entre os elementos do modelo e os elementos do sistema. Um modelo com muitos detalhes pode ser muito caro de se construir e rodar.

Expansão incremental

Junto com a adição de complexidade ao modelo feita por etapas, os modelos que contemplam uma grande extensão do sistema têm sua construção facilitada quando são feitos em fases nas quais as seções são adicionadas de forma incremental ao modelo. Este método de “tomar a sopa pela beirada” permite que porções do modelo sejam construídas, testadas e corrigidas antes de se adicionar novas seções tornando uma tarefa grande mais fácil de gerenciar.

Para modelos muito grandes, pode ser útil identificar fronteiras determinadas dentro do modelo para permitir a *partição do modelo*. A partição do modelo é o processo de subdividir um modelo em dois ou mais módulos que representam seções do sistema fisicamente separadas. O propósito da partição do modelo é permitir modelar seções a serem construídas e corrigidas, até mesmo quando são construídas por pessoas diferentes independentemente uma da outra. Uma vez que as seções tenham sido terminadas, elas podem ser fundidas criando o modelo todo. Este método de “dividir para conquistar” na construção de modelos pode reduzir significativamente o tempo e a dificuldade de se construir e corrigir um modelo muito grande.

Verificação do Modelo

Uma vez que o modelo é construído utilizando-se uma ferramenta de simulação, ele precisa ser corrigido para assegurarmos que funciona corretamente. O processo de demonstração da funcionalidade e correção do modelo é conhecido na literatura específica como VERIFICAÇÃO. É muito mais fácil corrigir (debug) um modelo construído em etapas do que um modelo grande e complexo. Eliminar defeitos em um programa de simulação é muito complexo e toma um grande tempo especialmente se for utilizada uma linguagem de programação não específica (por exemplo C++ ou Clipper) onde códigos de erro freqüentemente ocorrem. Muitas linguagens de simulação fornecem uma rastreabilidade na forma de auditoria, mensagens na tela, animação gráfica ou alguma combinação destas três. Um “trace” permite que o usuário olhe dentro da simulação e verifique se está ocorrendo conforme o previsto. Os bons produtos de simulação provêm capacidade de correção interativa o que facilita muito o processo de correção. É recomendável que o produto tenha também um método de acompanhamento dos inputs.

Validação do Modelo

Durante todo o processo de construção do modelo, o modelador deve estar constantemente atento em quão perto o modelo reflete as definições do sistema. O processo de se verificar em que grau o modelo corresponde ao sistema real, ou pelo menos representa o documento de especificação do modelo de forma acurada, é referido como VALIDAÇÃO. Provar uma validação absoluta é uma meta não atingível. Neelamkavil (1987) explica: “A validação

verdadeira é uma impossibilidade filosófica e tudo que podemos fazer é invalidar ou falhar ao invalidar.” Por esta razão, o que nós procuramos é estabelecer um alto grau de semelhança (face validity). Semelhança neste caso significa que, por todos os aspectos externos, o modelo se parece ser uma acurada representação do sistema. Deste ponto de vista, validar um modelo é um processo de confirmar que o modelo, em seu domínio de aplicabilidade, é suficientemente acurado para a aplicação pretendida. (Schelesinger, 1979).

Não há nenhum teste simples para estabelecer a validade do modelo. A validação é um processo indutivo no qual o modelador extraí conclusões sobre a acurácia do modelo baseada nas evidencias disponíveis. O levantamento das evidências para determinar a validade do modelo é freqüentemente determinado pelo exame da estrutura do modelo (por exemplo, os algoritmos e os relacionamentos) para ver se ela corresponde às definições do sistema real. Para modelos com lógicas complexas de controle, a animação gráfica é uma boa ferramenta para a validação. Finalmente, as saídas (outputs) devem ser analisadas para ver se os resultados parecem razoáveis. Se as circunstâncias permitem, o modelo pode ser comparado com o sistema atual e podemos ver se eles correspondem. Se estes procedimentos são executados sem que se encontre uma discrepância entre o sistema real e o modelo, é dito que o modelo tem semelhança (face validity).

6) Passo 4: Conduzindo Experimentos

O quarto passo em um estudo de simulação é conduzir experimentos com o modelo. Simulação é basicamente uma aplicação do método científico. Na simulação, começamos com uma teoria do porque certas regras de projeto ou gestão são melhores que outras. Baseado nestas teorias, o projetista desenvolve uma hipótese que testa através da simulação. Baseado nos resultados da simulação o projetista extrai conclusão sobre a validade destas hipóteses. Em um experimento de simulação temos variáveis de entrada definindo o modelo que são independentes e podem ser manipuladas ou variadas. Os efeitos desta manipulação sobre as variáveis dependentes ou de resposta são medidos e correlacionados.

Em alguns experimentos de simulação estamos interessados no comportamento estável (steady-state) do modelo. O comportamento estável não significa que a simulação produza uma única saída, mas que a distribuição ou a variação estatística na saída não muda com o tempo. Por exemplo, a produção de um certo equipamento pode flutuar entre 200 e 220 peças por hora sob condições normais de operação. Para muitas simulações nós poderemos estar interessados num particular período de tempo, tal como um dia de trabalho. Para estes estudos, a simulação pode nunca atingir um comportamento estável.

Tal como qualquer experimento envolvendo um sistema com características aleatórias, os resultados da simulação serão aleatórios por sua natureza. Rodar somente uma simulação representa somente uma das várias possibilidades de saída. Isto requer que muitas replicações sejam rodadas para testar a reprodutibilidade dos resultados. De outra forma a decisão pode ser baseada numa saída excepcional, ou no mínimo numa saída que não é representativa do que

normalmente é esperado. Uma vez que a simulação se utiliza de um gerador de números pseudo-aleatórios para gerar os números, rodar uma simulação muitas vezes, somente reproduz a mesma amostra. De forma a buscar amostras independentes, o valor da semente de geração dos números aleatórios deve ser diferente para cada replicação, garantindo assim que os números aleatórios gerados para cada replicação são independentes.

Dependendo do grau de precisão requerido na saída, pode ser interessante determinar um intervalo de confiança para a saída. Um intervalo de confiança é uma gama dentro da qual podemos ter um certo nível de confiança que a verdadeira média se encontra. Para um dado nível ou probabilidade de confiança, digamos 0,90 ou 90%, um intervalo de confiança para uma taxa média de débito de um sistema pode ser determinado como estando entre 45,5 e 50,8 unidades por hora. Nós estaremos habilitados a dizer que há 90% de probabilidade de que a média verdadeira de débito do modelo (não do sistema real!!!) está entre 45,5 e 50,8 unidades por hora.

Afortunadamente, o Promodel provê meios para a condução e experimentos, rodando múltiplas replicações e automaticamente calculando intervalos de confiança. O modelador deve entretanto decidir que tipos de experimentações são apropriados. Quando da condução de experimentos de simulação, algumas perguntas devem ser feitas:

- Estou interessado no comportamento do estado estável da simulação ou em determinado período de operação?
- Como posso evitar as irregularidades do início da simulação ou ter no modelo uma condição inicial correta?
- Qual é o melhor método para obter amostras que possam ser usadas para estimar o comportamento esperado do modelo?
- Qual é a direção apropriada para a simulação?
- Quantas replicações devem ser feitas?
- Quantas gerações de números aleatórios diferentes devem ser feitas?
- Como o valor semente inicial para a geração do número aleatório pode ser controlado de replicação para replicação?

As respostas para estas questões serão largamente influenciadas pelos três seguintes fatores:

- A natureza da simulação (terminando ou não-terminando).
- O objetivo da simulação (análise de capacidades, alternativas de comparação etc.)
- A precisão requerida (estimativa aproximada ou intervalo de confiança estimado).

Simulações terminantes ou não-terminantes

Como parte das preparações dos experimentos de simulação, devemos decidir que tipo de simulação rodar. As simulações são usualmente distinguidas como de um ou de outro tipo: terminante (terminating) ou não-terminante (non-terminating). A diferença entre as duas têm a ver com o fato de estarmos interessados no comportamento de um período em particular do funcionamento do sistema ou se estamos interessados no estado estável do sistema. Isto não tem a ver necessariamente com o fato do próprio sistema terminar ou não.

Uma simulação do tipo terminante é aquela que começa em um estado ou tempo definido e termina em outro estado ou tempo definido. Um estado inicial pode ser um número de peças no sistema no início de um dia de trabalho. Um estado ou evento final pode ser quando um número definido de trabalhos tenham sido completados. Considere, por exemplo, que uma fábrica de produtos aeroespaciais tenha recebido uma encomenda de 200 aviões de um modelo em particular. A companhia pode estar interessada em quanto tempo levará para produzir o pedido. A simulação começará com o sistema vazio e terminará quando completarmos a produção do ducentésimo avião uma vez que isto cobre o período de interesse. Um ponto no tempo onde uma simulação do tipo terminante pode apresentar como fim o fechamento de uma oficina no fim de um dia de trabalho, ou ao completar um período semanal ou mensal de produção. Pode ser conhecido, por exemplo, que o cronograma de produção para um determinado item muda semanalmente. Ao final de um ciclo de 40 horas, o sistema se esvazia e um novo ciclo de produção se inicia. Nesta situação, uma simulação terminante pode ser rodada com um tempo de simulação de 40 horas.

Na simulação que termina, não temos a intenção de conhecer o comportamento estável do sistema. Neste tipo de simulação, as medidas médias têm pouca significação. Uma vez que a simulação do tipo terminante tem sempre um período transiente que faz parte da análise, os outpts serão mais úteis se reportados por intervalos de tempo.

Uma simulação do tipo não-terminante ou de comportamento estável é aquela na qual se está interessado em analisar o sistema quando este atinge um comportamento estável. ser uma simulação do tipo não-terminante não quer dizer que ela nunca termina, nem que o sistema que está sendo simulado não têm fim. Isto somente quer dizer que ela poderia continuar infinitamente sem nenhuma mudança estatística no comportamento.

Para simulações não terminantes, o modelador deve determinar um tempo propício para rodar o sistema. Um exemplo de uma simulação não-terminante é aquela onde filtros de óleo são produzidos em uma base contínua no mesmo passo. A operação ocorre em dois turnos, com uma hora de parada durante cada turno onde tudo para momentaneamente. A pausa e o terceiro turno são excluídos do modelo uma vez que o trabalho continua exatamente como foi deixado antes da pausa ou depois do turno. A duração da simulação é determinada em função de quanto tempo leva para se atingir um comportamento estável representativo do comportamento do modelo.

Rodando simulações terminantes

Experimentos envolvendo simulações terminantes são usualmente conduzidos fazendo-se rodar várias replicações do período de interesse, usando uma semente de número aleatório para cada rodada. Este procedimento permite obtermos observações estatisticamente independentes e não tendenciosas para serem usadas como a resposta do sistema para o período simulado. As estatísticas são também colhidas em medidas de performance para sucessivos intervalos de tempo durante o período.

Para simulações terminantes estamos mais interessados na contagem final de produção e nas mudanças de padrões de comportamento no tempo, do que no comportamento global médio. É bastante absurdo concluirmos que porque duas garçonetes ficam ocupadas somente 40% durante o dia, nós precisamos de 1 garçone! Esta média não reflete nada sobre a ocupação das garçonetes no período de pico. Um relatório mais detalhado sobre as esperas durante todo o dia de trabalho pode nos mostrar que precisamos de 3 garçonetes para atender a demanda no pico enquanto que é necessária uma durante os períodos de baixa. Neste sentido, Hoover e Perry (1990) escreveram:

É freqüentemente recomendado na literatura sobre simulação que a performance global seja acumulada durante o curso de cada replicação da simulação, ignorando o comportamento do sistema em pontos intermediários da simulação. Nós acreditamos que esta é uma aproximação muito simplista na coleta de estatísticas quando da simulação de um sistema terminante. Isto nos faz lembrar da história daquele estatístico que sem comer nenhum bife e vendo o colega comer dois, ficou feliz porque na média cada um comeu um bife.

Para simulações terminantes, as três questões importantes de serem feitas ao se rodar o modelo são:

1. Qual deve ser o valor inicial do modelo?
2. Qual deve ser o evento ou tempo final?
3. Quantas replicações devemos fazer?

Muitos sistemas têm um ciclo diário, ou, se um padrão ocorre após uma semana, o ciclo é semanal. Alguns ciclos podem variar mensalmente ou anualmente. Os ciclos não precisam ser repetitivos para serem considerados ciclos. Algum gerente pode estar querendo conhecer a rampa de partida de um novo produto, o que é uma ocorrência única.

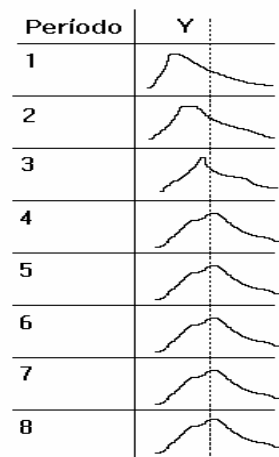
O número de replicações deve ser determinado pela precisão requerida pelo output. Se temos em vista somente uma estimativa aproximada, três a cinco replicações podem ser suficientes. Para uma estimativa mais precisa, devemos aumentar a quantidade de replicações até que tenhamos um intervalo de confiança adequado.

Rodando Simulações Não-terminantes

Os resultados associados com a geração de estatísticas de outputs significativos para simulações terminantes, são significativamente diferentes daquelas associadas com a geração de estatísticas para sistemas não-terminantes. Nas simulações do comportamento estável, nós devemos lidar com os seguintes procedimentos:

1. Determinar e eliminar as tendências iniciais no período de aquecimento.
2. Selecionar vários caminhos alternativos para obter as amostras.
3. Determinar a duração da simulação (run length).

Determinação do período de Aquecimento - Numa simulação de comportamento estável, nós estamos interessados no comportamento que o modelo atinge quando já não apresenta variações estatísticas ao longo do tempo. Uma vez que um modelo se inicia “vazio”, usualmente levamos algum tempo para atingir um estado estável. Neste estado, as variáveis de resposta do sistema (por exemplo, taxas de processamentos, utilização etc.) exibem uma regularidade estatística, isto é, a distribuição destas variáveis são aproximadamente iguais de um período para outro no tempo. A figura abaixo ilustra o comportamento típico de uma variável de resposta, Y, com o avanço da simulação através de n períodos da simulação.



O tempo que se leva para atingir o estado de comportamento estável é função do tempo de atividade e da quantidade total de atividades. Para alguns modelos, o estado de comportamento estável pode ser atingido em questão de algumas horas do tempo de simulação. Para outros modelos, pode ser necessária centenas de horas para se atingir o estado de comportamento estável. Este período de partida do sistema é usualmente referido como período de aquecimento (warm-up). Nós devemos aguardar até o fim deste período para começar a colher as estatísticas do sistema. Desta forma, nós eliminamos as tendências do estado transiente.

Enquanto que vários métodos têm sido apresentados para determinar o período de aquecimento, a maneira mais fácil é, ainda que não totalmente confiável, rodar simulações preliminares, com algumas replicações (3 a 5) e observar em que momento o sistema atinge uma estabilidade estatística. A duração de cada replicação deve ser suficientemente longa, permitindo mesmo algumas ocorrências raras como panes longas, umas 2 ou 3 vezes. Para determinar um período de aquecimento satisfatório usando este método, uma ou mais variáveis de resposta devem ser monitoradas durante o processo, tais como o número médio de entidades em uma fila ou a utilização média de um recurso. Esta abordagem assume que o valor médio de determinada variável é o indicador primário de convergência, ao invés da variância. É preferível, se possível, zerar a variável de resposta após cada período ao invés de acompanhar o valor acumulativo desta variável. Uma vez que a variável começa a exibir um estado estável, nós podemos adicionar de 20 a 30% ao tempo como fator de segurança e tomar este valor como o tempo necessário de aquecimento. Esta aproximação é simples, conservativa e usualmente satisfatória. Lembre-se, o perigo não é superestimar o período de aquecimento, mas o de subestimar. A figura abaixo ilustra a média do número de entidades processadas por hora para várias replicações. Uma vez que a estabilidade é atingida em torno de 10 horas de simulação, é provável que um período de aquecimento de 12 a 15 horas seja seguro.

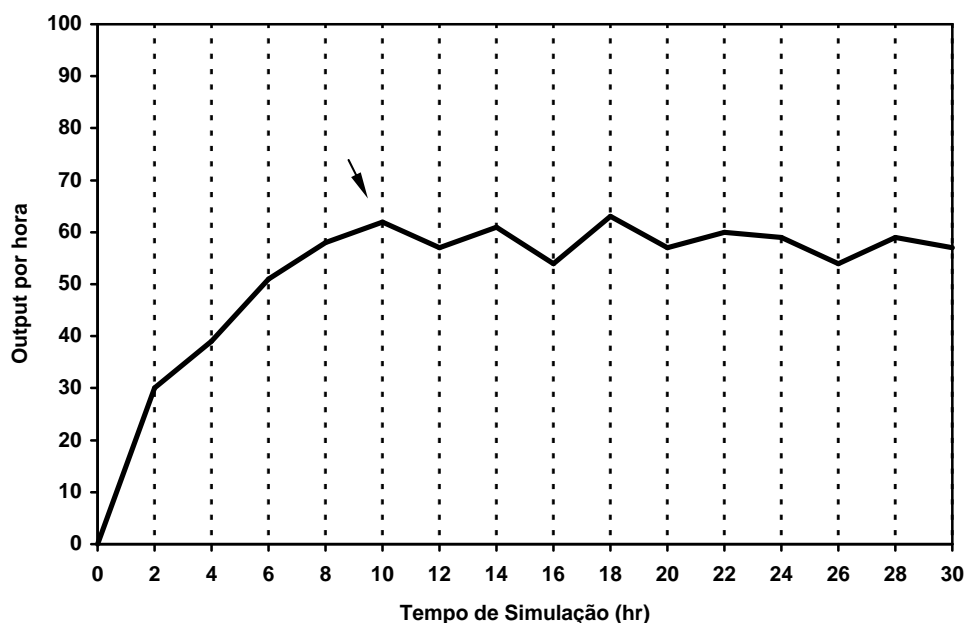


Gráfico do Output horário de Entidades para Identificar o Início do Estado Estável

Obtendo Amostras

Em uma simulação terminante, as amostras são feitas simplesmente rodando-se múltiplas replicações. Para simulações no estado estável, nós temos várias opções de se obter amostras. Duas abordagens que são muito usadas é rodar múltiplas replicações e intervalos de lotes (interval batching). O método usado pelo ProModel é rodar múltiplas replicações.

Rodar múltiplas replicações para simulações não-terminantes é bastante similar a rodar replicações para simulações terminantes. As únicas diferenças são que (1) as tendências do período de aquecimento devem ser determinadas e eliminadas, e (2) uma duração apropriada da simulação deve ser determinada. Uma vez que as replicações são feitas, podemos computar os intervalos de confiança como foi anteriormente descrito neste capítulo. Uma vantagem de se rodar replicações independentes é que teremos amostras independentes. Por outro lado, rodar um período de aquecimento para cada replicação aumenta um pouco o tempo total de simulação. Além do mais, há uma possibilidade do período de aquecimento ter sido subestimado para alguma replicação fornecendo resultados tendenciosos.

Intervalos de lotes (ou também conhecido como batch means technique) é um método no qual uma simples e longa simulação é feita com as estatísticas sendo “resetadas” a intervalos regulares. Isto permite que as estatísticas sejam levantadas para cada intervalo com uma média calculada para cada um. Uma vez que cada intervalo está correlacionado com o intervalo anterior e posterior (chamada correlação serial ou auto-correlação), os lotes não são completamente independentes. O modo de ganhar maior independência, é usar tamanhos de lotes maiores e valores médios para cada lote. Quando usamos intervalos de lote, os cálculos dos intervalos de confiança podem ser realizados. O número de intervalos de lotes a serem criados devem ser de 5 a 10 no mínimo e possivelmente mais dependendo do intervalo de confiança desejado.

Determinando a duração da simulação - Determinar a duração da simulação para as do tipo terminantes é bastante simples uma vez que existe um evento natural ou ponto no tempo que nos indica isto. Para as simulações do estado estável, isto se torna mais difícil uma vez que a simulação poderia ser rodada indefinidamente. O benefício, entretanto, é que podemos produzir boas e representativas amostras. Obviamente simulações muito longas não são práticas, assim a chave é determinar uma duração de simulação apropriada garantindo que foram obtidos dados suficientes do estado estável do sistema.

A duração recomendada depende de (1) o intervalo entre as ocorrências dos eventos mais freqüentes e (2) o método de amostragem (replicações ou intervalo de lotes). Se rodamos replicações independentes, é usualmente aceito realizar a simulação por tempo suficiente para aparecer todo tipo de evento (inclusive os raros) no mínimo várias vezes e, se possível, centenas de vezes. Lembre-se, quanto mais o modelo rodar, maior será a confiança na representatividade do comportamento estável. Se coletamos dados através do método de intervalo de lotes, é recomendável rodar um tempo longo o suficiente para incluir pelo menos 1000 ocorrências de cada evento (Thesen e Travis, 1992).

Comparando Sistemas Alternativos

As simulações são freqüentemente realizadas para se comparar duas ou mais alternativas de projeto. Esta comparação pode estar baseada em duas ou mais variáveis de decisão tais como capacidade de armazenagem, cronograma de trabalho, disponibilidade de recursos

etc.. A comparação de alternativas de projetos requer análise cuidadosa garantindo que as diferenças encontradas são devidos às mudanças e não as variações estatísticas. É neste ponto que rodar múltiplas replicações pode ser interessante. Suponha, por exemplo, que o método A para alocar recursos nos dá uma capacidade de saída de 100 entidades por um determinado período de tempo enquanto que o método B resulta em 110 entidades para o mesmo período de tempo. É válido concluir que o método B é melhor que o método A, ou com replicações adicionais podemos chegar a uma conclusão oposta?

Podemos algumas vezes realizar a comparação de alternativas de configuração ou modos operatórios do sistema pelo resultado médio de várias replicações. Onde as saídas estão próximas, ou onde a decisão requer grande precisão, um método chamado de teste de hipóteses (hypotesys testing) deve ser usado. No teste de hipóteses uma hipótese é feita, por exemplo, que os métodos A e B apresentam o mesmo output, e depois um teste é feito para ver se os resultados das simulações nos levam a rejeitar a hipótese.

Algumas vezes pode haver evidências insuficientes para rejeitar uma hipótese e então a análise é inconclusiva. Esta falha em se obter evidência suficiente em se rejeitar a hipótese pode vir do fato de que a diferença entre os modelos não existe, ou pode ser resultado de uma variância muito alta para um dado número de replicações se tornar conclusivo. Neste ponto, tanto replicações adicionais podem ser usadas (o que leva tempo), como uma ou mais técnicas de redução de variância podem ser empregadas (veja Law e Kelton, 1991).

Projeto dos Fatores

Em experimentos de simulação estamos freqüentemente interessados em como diferentes conjuntos de variáveis de input impactam no sistema como um todo. Ao invés de realizarmos centenas de experimentações com o sistema, técnicas de projeto experimental podem ser usadas como um atalho para achar as variáveis de input de maior significado. Usando a terminologia de projeto experimental, as variáveis de input são conhecidas como FATORES e as medidas de output são conhecidas como variáveis de RESPOSTA. Uma vez que a resposta de interesse foi identificada e os fatores que suspeitamos ter influencia nesta resposta foi definido, nós podemos usar o método do projeto dos fatores (Factorial Design) o qual prescreve quantas rodadas devemos fazer e em quais níveis de valores devemos trabalhar para cada fator. Como em todo experimento de simulação, é importante rodar múltiplas replicações para cada nível de fator e usar intervalos de confiança para checar a significância estatística dos resultados.

Uma inclinação natural quando experimentamos múltiplos fatores é testar o impacto de cada fator individualmente sobre o sistema. Esta é uma abordagem simples e direta, mas não proporciona nenhum conhecimento de como os fatores interagem entre si. É óbvio que experimentar um fator de cada vez tem um impacto muito diferente sobre um sistema, caso experimentemos dois ou mais fatores ao mesmo tempo.

Um tipo de experimento onde vemos o efeito combinado de múltiplos fatores sobre a resposta do sistema é conhecido como 'two-level full-factorial design'. Neste tipo de experimento, nós simplesmente definimos o valor mais alto e mais baixo de cada fator e, uma vez que este é um experimento em todos os fatores, nós testamos cada combinação no conjunto de fatores. Isto significa que se há 5 fatores diferentes e nós estamos testando dois níveis diferentes para cada fator, nós testaríamos cada uma das $2^5 = 32$ possíveis combinações de fatores altos e baixos. Para fatores que não tem uma range de valores de onde o valor maior e menor pode ser escolhido, os níveis alto e baixo são arbitrados. Por exemplo, se um dos fatores que estão sendo investigados é uma política de operação (FIFO, LIFO etc.) nós podemos definir um como o nível alto e o oposto como o nível baixo.

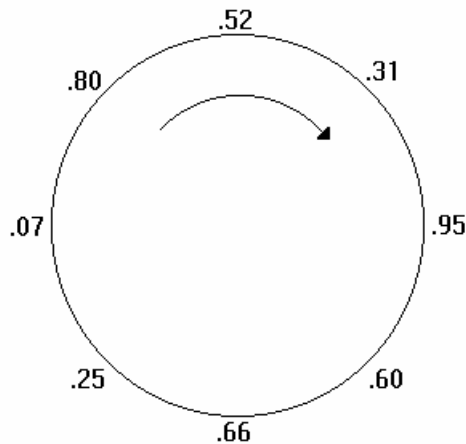
Para experimentos onde um número maior de fatores estão sendo considerados, uma abordagem do tipo projeto de 2 níveis e fatorial completo 'two-level full-factorial design' resultará em um número extremamente alto de combinações a serem testadas. Neste tipo de situação uma 'fractional-factorial design' é usada. Nesta abordagem é estrategicamente selecionado um subconjunto de combinações a serem testadas de forma a deixar de fora fatores que têm pouco ou nenhum impacto no sistema. Com um reduzido número de fatores restantes, experimentações mais detalhadas devem ser conduzidas tais como a 'full-factorial' de uma forma mais gerenciável.

Após identificarmos os fatores críticos para a performance do sistema através dos dois métodos abordados acima, é freqüentemente desejável conduzir experimentos mais detalhados, talvez sobre toda a range de valores, para aqueles fatores que foram identificados como os mais importantes. Isto nos dá valores mais precisos para tomarmos decisões. Para uma explanação mais completa sobre Projeto de Fatores na experimentação de simulações, veja Law e Kelton (1991).

Utilização de uma Corrente Randômica

Uma das mais valiosas características da simulação é a habilidade de reproduzir e randomizar as replicações de um modelo em particular. A simulação permite que fenômenos probabilísticos em um modelo sejam controlados ou randomizados como desejado para se conduzir experimentos controlados. Este controle é possível em função das Correntes Randômicas.

Uma Corrente é neste caso uma seqüência de números aleatórios únicos e independentemente ciclados que são distribuídos entre 0 e 1 (veja a figura abaixo). Uma corrente de Números Randômicos é usada para gerar outros números aleatórios com outras distribuições probabilísticas (Normal, Beta, Gama etc.). Após passar por todos os números randômicos no ciclo, voltamos de novo na mesma seqüência. O tamanho deste ciclo é chamado período do ciclo e normalmente é muito grande.



Exemplo de um Ciclo de Corrente Randômica com um Período Muito curto

Uma corrente Randômica é gerada usando-se um gerador de números aleatórios ou equação. O gerador de números aleatórios começa com uma semente inicial após a qual, cada valor seguinte usa o valor anterior como input para o gerador. Cada corrente usada na simulação tem sua semente independente e traça seus próprios valores para os inputs subsequentes. O ponto onde a seqüência inicia no ciclo depende do valor inicial da semente usada pelo gerador.

Sempre que um determinado número semeia uma corrente, a mesma seqüência de valores se repetirá sempre que a mesma semente for utilizada para iniciar a corrente. Isto significa que vários elementos dentro de um modelo podem ser mantidos constantes com respeito a sua performance enquanto que outros podem variar livremente. Simplesmente especifique uma corrente randômica para um conjunto de atividades e outra corrente para os demais conjuntos.

Em função da mesma semente produzir a mesma seqüência de valores toda vez que é usada, funções completamente independentes dentro de um modelo devem ter sua própria corrente randômica. Por exemplo, distribuições de chegada de peças devem ter sua corrente diferente da do resto do modelo. Deste modo, as atividades adicionadas ao modelo tomam amostras de uma corrente de números aleatórios que não irão inadvertidamente alterar o padrão de chegada porque eles não afetam os valores amostrais gerados pela distribuição de chegada.

Para mostrar um exemplo de como múltiplas correntes podem ser úteis,, consideremos duas máquinas, Mach1 e Mach2. Por conseguinte, as duas máquinas irão parar em tempos diferentes.

Suponhamos, entretanto , que o recurso que serve as máquinas, é utilizado nas duas ao mesmo tempo, assim, nós precisamos que as máquinas parem ao mesmo tempo. Usando a mesma corrente para determinar as duas paradas não fará com que elas parem ao mesmo tempo porque um número aleatório diferente será retirado da corrente para cada chamada para gerar uma variável normal aleatória. Usando duas correntes distintas para cada

máquina com a mesma semente de geração da corrente, garantirá que elas pararão ao mesmo tempo. Quando as duas correntes tem a mesma semente, gerarão os mesmos números.

7) Passo 5: Analisando os Outputs:

A análise dos outputs lida com a extração de conclusões sobre o sistema através das saídas da simulação. Durante a condução de experimentos de simulação devemos tomar extremo cuidado ao interpretar os resultados da simulação. Uma vez que os resultados dos experimentos de simulação são aleatórios (devido a natureza randômica dos inputs), uma medida acurada da significância estatística deve ser realizada.

As pessoas fazendo simulação nas universidades são freqüentemente acusadas de trabalhar com suposições inventadas e freqüentemente simplistas, enquanto são extremamente cuidadosas em verificar a significância estatística dos resultados do modelo. Por outro lado, os praticantes de simulação nas indústrias são cuidadosos em obter dados para o modelo ignorando os resultados estatísticos associados com os outputs da simulação. Para se conseguir resultados úteis através da simulação devemos ter um balanço entre as duas tendências acima.

O mais valioso benefício da simulação é obter insight e não necessariamente achar respostas absolutas. Com isto em mente, devemos ser cuidadosos sobre nos tornarmos muito pedantes em relação à precisão dos outputs da simulação. Com mais de 60 anos de experiência em se fazer simulações, Conway, Maxwell e Worona (1986) alertam que atribuir uma grande significância estatística aos outputs do modelo pode criar a ilusão de que os resultados são mais ou menos significantes do que realmente são. Eles enfatizam uma leitura prática e intuitiva dos resultados da simulação. A linha guia seria “se você não pode ver com olhos nus, esqueça”.

A meta de se conduzir experimentos não é saber o quanto bem um sistema se comporta, mas ganhar suficiente insight para melhorar o sistema. Infelizmente, os outputs do sistema raramente identificam a causa do problema, mas somente reportam o comportamento sintomático dos problemas. Atividades gargalo, por exemplo, são usualmente identificadas através da observação de filas que estão quase sempre cheias e alimentações em uma ou mais locations que estão quase sempre vazias. Detectar a fonte do gargalo é um pouco mais trabalhoso do que identificar o próprio gargalo. Os gargalos podem ser causados por tempos excessivos de operações, esperas prolongadas devido à indisponibilidade de recursos, ou uma quantidade expressiva de paradas. A habilidade de extrair conclusões corretas dos resultados é essencial para fazer as melhorias no sistema.

8) Passo 6: Reportando os Resultados:

O último passo no procedimento de simulação é fazer recomendações para melhorias no sistema atual baseadas nos resultados do modelo simulado. Estas recomendações devem ser bem apresentadas e embasadas de forma a permitir que se tome decisões (afinal simulação é uma ferramenta de apoio às decisões). Documentações a respeito dos dados usados, do(s) modelo(s) criado(s) e dos experimentos realizados devem ser incluídos como partes do relatório final da simulação.

A simulação falha quando produziu evidências para garantir uma mudança em particular que não é implementada; especialmente se prova que há um ganho financeiro. o processo de venda dos resultados de uma simulação é certamente um processo de estabelecer a credibilidade do modelo. Não é suficiente para o modelo ser válido, o cliente ou gerente devem estar convencidos de sua validade se ele será usado como uma ferramenta de ajuda à decisão. Finalmente, os resultados devem ser apresentados em termos de fácil compreensão e avaliação. A redução dos resultados a fatores econômicos sempre nos compele a fazer as mudanças no sistema.

Na apresentação dos resultados é importante ser sensível ao modo como as recomendações são feitas. É interessante descobrir onde as recomendações estão em vista e onde um simples sumário dos resultados é necessário. É geralmente de bom tom apresentar soluções alternativas e suas implicações para com o sistema sem sugerir uma das alternativas, particularmente quando mudanças pessoais ou cortes estão em vista. De fato, onde possa haver carreiras na linha, é melhor alertar que o seu estudo de simulação aborda somente os aspectos logísticos do sistema e que não leva em conta as reações ou dificuldades potenciais dos empregados de aceitarem uma solução em particular.

A animação e os gráficos são excelentes ajudas na comunicação dos resultados dos estudos de simulação. Usualmente se requer um retoque para criar um melhor efeito de visualização do modelo.

Após o final da apresentação e quando não há mais nenhuma análise a ser feita (normalmente durante a apresentação final ocorrem sugestões de se fazer isto ou aquilo com o modelo) as recomendações, se aceitas, estão prontas para serem implementadas. Se a simulação foi adequadamente documentada, ela deve prover uma boa especificação para o time de implantação.

9) Armadilhas na Simulação:

Se os passos que foram descritos são seguidos, as chances de realizar uma simulação com sucesso são grandes. Alguns motivos pelos quais um projeto de simulação falha são:

- Falha em estabelecer claramente os objetivos.

- Falha em envolver os indivíduos afetados pelo projeto.
- Estouro dos limites de Budget e tempo.
- Falha em documentar e chegar a um consenso quantos aos dados de entrada.
- Inclusão de mais detalhes do que é necessário.
- inclusão de variáveis que tem pouco ou nenhum impacto no sistema.
- Falha em verificar e validar o modelo.
- Basear as decisões em uma única simulação.
- Basear as decisões em estatísticas médias quando o output é realmente cíclico.
- Ser muito técnico e detalhista ao apresentar os resultados à gerência.

10) Sumário:

Um projeto de simulação têm fases distintas que devem ser compreendidas e seguidas de forma a obter o sucesso. A simulação requer planejamento cuidadoso com metas e expectativas realistas. Os passos para se realizar um estudo de simulação incluem: planejar o estudo, definir o sistema, construir o modelo, realizar os experimentos, analisar os outputs e apresentar os resultados. Sistemáticamente seguindo estes passos, as armadilhas que ocorrem em estudos de simulação serão evitadas.