

# SIMULAÇÃO DE SISTEMAS AGROPECUÁRIOS<sup>1</sup>

ALBERTO DUQUE PORTUGAL<sup>2</sup>

**RESUMO** - Este trabalho tem por objetivo contribuir para o melhor conhecimento da simulação como técnica de pesquisa a ser utilizada na agropecuária. Apresentam-se conceitos de sistemas, modelos, simulação e termos afins, vantagens e limitações dessa técnica, assim como diferentes tipos de modelos e os principais passos em simulação. Conclui-se que a simulação de sistemas é uma técnica de grande potencial, mas que apresenta dificuldades que demandam do pesquisador um alto grau de discernimento, criatividade e integridade.

**Termos para indexação:** pesquisa em sistemas, modelos de simulação.

## SIMULATION OF AGRICULTURAL SYSTEMS

**ABSTRACT** - This paper aimed at contributing to the greater knowledge of system simulation as a research technique to be used in agriculture. It presents concepts of system, models, simulation, and related terms, emphasizing advantages and limitations of that technique; it defines different types of models and describes the main steps in simulation. It is concluded that system simulation is a technique with a great potential but that it shows difficulties which demand a high level of judgment, creativity and integrity.

**Index terms:** system research, simulation models.

## INTRODUÇÃO

Desde o início da civilização humana, o homem desenvolve um contínuo trabalho de pesquisa, com o objetivo de conhecer e entender o universo em que vive, para melhor usufruir dos recursos disponíveis. Neste trabalho, a pesquisa, conduzida de forma organizada, como uma atividade específica, desenvolveu técnicas e métodos que contribuíram de forma decisiva para acelerar este processo de conhecimento e entendimento do universo. Entre as técnicas de pesquisa, a de simulação, disseminada após os recentes avanços na área de computação eletrônica, surgiu como de grande potencial, pelas possibilidades que oferece de simular o mundo real, com razoável grau de similaridade, e de permitir o estudo de complexos sistemas componentes do universo.

A técnica de simulação vem sendo usada, há longo tempo, em algumas áreas da atividade humana, como a de engenharia e a militar. Nas últimas duas décadas, ela tem sido apontada como uma opção interessante na área da pesquisa agrícola, à medida que a agricultura se torna cada vez

mais uma atividade estratégica para a humanidade. Esta opção ganha maior importância porque, além da complexidade própria da agricultura como uma atividade específica, as suas relações com outros setores da economia têm-se tornado cada vez mais complexas, sejam locais, regionais ou mundiais.

O objetivo deste trabalho é contribuir para um melhor conhecimento da técnica de simulação e de suas possibilidades e limitações para a pesquisa agropecuária no Brasil. O trabalho é apresentado em seis seções que abordam: (1) conceitos; (2) vantagens dos modelos de simulação; (3) problemas e limitações dos modelos de simulação; (4) classificação dos modelos de simulação; (5) principais passos em simulação; (6) conclusão.

### Conceitos

Simulação é uma palavra que está sendo usada no meio técnico-científico com bastante frequência e com um sentido amplo. Em termos gerais, o processo de simulação é constantemente exercido pelos homens, principalmente através de modelos e miniaturas. Assim é que o carro de brinquedo e as bonecas simulam ou representam, para as crianças, o mundo real. Na área técnica, o projeto agropecuário para uma fazenda simula o mundo real, projetando o desempenho técnico e/ou econômico da fazenda por um determinado período. Na área científica, o pesquisador, quando cria um ambiente controlado em uma casa de vegetação, está ten-

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 17 de janeiro de 1983.

<sup>2</sup> Eng.<sup>o</sup> Agr.<sup>o</sup>, Ph.D., Departamento de Ciências Sociais Rurais - EPAMIG, Caixa Postal 515, CEP 30000 - Belo Horizonte, MG.

tando simular o mundo real para testar suas hipóteses. Contudo, a simulação como técnica de pesquisa tem um conceito mais específico, o qual pode ser melhor entendido depois de se definirem sistema, modelo e termos afins. A simulação relaciona-se com sistema, porque um sistema do mundo real, seja ele mais simples ou mais complexo, é o seu objeto. Relaciona-se também com modelo, porque este é uma forma organizada e lógica de representar o sistema a ser simulado.

Enfoque sistêmico, análise de sistemas, pesquisa em sistemas são termos, às vezes, usados indiscriminadamente para definir uma atividade ou uma técnica, mas que, na realidade, têm significados diferentes. O enfoque sistêmico é antes de tudo uma forma de olhar o mundo. É uma forma global de o homem se posicionar diante do universo para entendê-lo. Nela o homem considera que o estudo isolado das partes de um sistema e sua posterior soma não são adequados para o entendimento do todo. Isto ocorre porque estas partes isoladas agem no mundo real de uma maneira interativa. A pesquisa em sistemas engloba todas aquelas atividades que caracterizam o estudo de um sistema. A análise de sistemas é uma parte do processo de pesquisa em sistemas oposta à síntese. As idéias de análise e de síntese serão abordadas mais adiante. Para conceituar sistema, pode-se usar a definição de Spedding (1979): "Sistema é um grupo de componentes interativos que agem juntos para um objetivo comum e que são capazes de reagir, como um todo, a estímulos externos. Ele não é afetado diretamente por seus próprios resultados ("outputs"), mas tem seus limites caracterizados, com base na inclusão de todos os feedbacks importantes".

As atividades de pesquisa em sistemas são fortemente baseadas no uso de modelos, por causa da dificuldade de realizar experimentos com sistemas no mundo real. Tais experimentos consomem muito tempo, são caros, difíceis de controlar e, muitas vezes, ineficazes. O ato de criar modelos ou modelação é uma atividade continuamente exercida pelo homem, uma vez que os modelos o ajudam a raciocinar logicamente. Assim, consciente ou inconscientemente, formal ou informalmente, o homem tende a usar modelos no seu cotidiano.

Churchman (1971) classifica os modelos em dois grupos: icônicos e simbólicos. Modelos icô-

nicos são representações físicas que incluem as propriedades relevantes de um sistema real. Assim o navio-miniatura no estaleiro e as parcelas experimentais na pesquisa agrícola são exemplos de tais modelos. Modelos simbólicos são aqueles em que as propriedades relevantes de um sistema real são representadas por símbolos. Assim eles são abstratos no sentido de que não têm forma física. Na verdade, é esta característica que torna os modelos simbólicos mais flexíveis e mais fáceis de manipular.

Na área de pesquisa em sistemas, os modelos matemáticos, nos quais os símbolos são quantidades, ganham grande importância como um meio de tratar o grande número de variáveis e relações existentes em sistemas complexos. De fato, os modelos matemáticos constituem o principal instrumento das técnicas usadas na pesquisa em sistemas. São classificados por Walker (1977) em três grupos: (1) modelos analíticos, baseados em inferências estatísticas (ex. análise de regressão); (2) modelos matemáticos (ex. programação linear); (3) modelos de simulação. Estes modelos de simulação, que constituem o cerne da técnica que leva o mesmo nome, são o principal objeto deste trabalho.

Simulação é definida por Naylor (1971) como . . . "uma técnica numérica para conduzir experimentos com certos tipos de modelos matemáticos, os quais descrevem o comportamento de um sistema complexo num computador digital, por determinados períodos de tempo". Este conceito, além de especificar o aspecto dinâmico, o que é, aliás, uma importante característica da técnica, enfatiza as fases de modelação e experimentação que compõem a técnica de simulação. O conceito inclui, explicitamente, o uso de computador. Embora teoricamente isso não seja essencial, para fins práticos, a fase de experimentação demanda o uso de um modelo de simulação baseado em computador, por causa da complexidade dos sistemas simulados. Esta complexidade resulta do grande número de variáveis e relações analisadas, por períodos de tempo relativamente longos. Um modelo de simulação baseado em computador é a tradução de um modelo matemático numa linguagem de computação apropriada. Por razão de simplicidade, o termo modelo de simulação será usado no restante deste trabalho. É interessante men-

cionar que, embora a definição usada faça referência a computador digital, é possível usar um computador analógico para desenvolver determinados modelos de simulação.

#### Vantagens dos modelos de simulação

- A maior vantagem e a principal característica dos modelos de simulação é a sua flexibilidade. Wright (1971) enfatiza "... como não há uma base formal para os modelos de simulação, o problema original deve ser especificado com bastante detalhe se for para atender ao objetivo proposto. Com as técnicas analíticas, o problema frequentemente tem que ser modificado para atender à técnica, mas o oposto ocorre com a simulação". De fato, os modelos de simulação permitem o estudo de complexos sistemas biológicos e bioeconômicos, tais como sistemas de produção agropecuários, sem impor simplificações consideráveis e/ou restrições artificiais. Isto significa que pode ser considerada tanto a complexidade do lado dos insumos, representada pela análise detalhada de um grande número de variáveis e relações, como a complexidade do lado dos resultados, representada por uma avaliação baseada em vários critérios.

Os modelos de simulação podem facilmente acomodar elementos estocásticos e características de dinamismo e dependência de tempo, os quais são frequentemente encontrados em sistemas bioeconômicos. Os sistemas bioeconômicos são dinâmicos no sentido de que estão em processo de constante mudança e evolução e são dependentes do tempo, pois as mudanças que ocorrem no momento presente, afetam o desenvolvimento do sistema no futuro. A possibilidade de incluir outras técnicas de pesquisa, como programação linear, nos modelos de simulação, também caracteriza bastante bem a flexibilidade destes modelos.

Além destas vantagens mencionadas, há outras que, embora comuns ao enfoque de sistema, são mais enfatizadas quando se usam modelos de simulação. A primeira resulta do fato de que o pesquisador que trabalha em simulação é forçado a juntar pedaços de conhecimento disponível e tentar dissecar e entender os mecanismos internos do processo biológico ou bioeconômico (caixa-preta). Este exercício resulta num melhor entendimento do sistema real e pode levar à identificação de falhas no estoque de conhecimento científico e,

assim, constituir um importante instrumento na alocação de recursos na pesquisa. A segunda é a possibilidade de criar um ambiente favorável para uma cooperação interdisciplinar, entre especialistas das áreas biológicas, sociológicas e econômicas, por causa do amplo conjunto de variáveis incluídas em tais modelos.

A terceira, talvez a mais importante, é a oportunidade que os modelos de simulação de sistemas complexos criam para uma maior participação e um papel mais decisivo do cientista, particularmente do cientista da área biológica, no processo de decisão política e econômica em diversos níveis, desde a unidade produtiva, que é a fazenda, até os mais amplos planos governamentais. O método científico de pesquisa, geralmente usado na pesquisa biológica, caracteriza-se pela análise de uma parte ou de um componente isolado de um sistema, visando aprimorar o entendimento daquela parte ou daquele componente. A técnica de simulação e, em termos gerais, o enfoque sistêmico consideram também uma fase de análise, mas a fase de síntese é uma característica fundamental deste enfoque e desta técnica. Nesta fase, os componentes considerados na fase de análise são colocados juntos num modelo representativo do sistema real. É a síntese de um sistema do mundo real em um modelo que coloca o pesquisador, que trabalha com sistemas, próximo de quem toma decisões. Este, seja fazendeiro, administrador ou político, desenvolve um processo de análise e de síntese do sistema real usando um modelo formal ou informal quando precisa tomar uma decisão porque, como mencionádo, os modelos ajudam o homem a pensar sistemática e logicamente sobre a realidade. A melhor ou pior sintonia das decisões tomadas, em relação a objetivos propostos pelo indivíduo ou pela sociedade, é dependente da capacidade de quem decide de colocar juntas as partes de conhecimento e informação disponíveis, bem como da sua capacidade de explorar as alternativas possíveis, as quais serão traduzidas em políticas. Num sistema complexo, que envolve um grande número de variáveis e relações, o processo de juntar conhecimento e informação e testar diferentes alternativas consome muito tempo e demanda grande habilidade de raciocínio; praticamente, este processo só pode ser desenvolvido com a ne-

cessária profundidade através da construção de um modelo formal. Embora outras técnicas possam ser usadas para construir tais modelos, a técnica de simulação, com suas características de flexibilidade para representar o mundo real, é a que cria a melhor oportunidade para uma maior participação do cientista no processo de decisão dentro da sociedade.

É importante enfatizar que o método científico e o enfoque sistêmico não são antagônicos, mas, acima de tudo, complementam-se. O conhecimento gerado pelo método científico de pesquisa constitui a base fundamental para construir os modelos usados na pesquisa em sistemas. Por outro lado, os modelos não só reduzem a distância entre o mundo científico e o mundo econômico e político dos que tomam decisão na sociedade, facilitando, assim, a realização dos objetivos da pesquisa, como ajudam também a identificar, para o pesquisador, os pontos falhos no estoque de conhecimento científico e as melhores alternativas ou combinações a serem testadas como experimentos físicos.

#### Problemas e limitações dos modelos de simulação

A técnica de simulação mencionada, apesar de suas vantagens, não é a solução para todos os problemas. O pesquisador que decide usá-la precisa estar ciente de seus problemas e limitações. Provavelmente, o primeiro e mais importante problema ocorra na fase de análise do sistema, quando o pesquisador tem que decidir quais variáveis e relações devem ser ou não incluídas no modelo e onde colocar os limites do modelo, de forma que este represente a realidade. É nesta fase que a caixa-preta, ou seja, os mecanismos internos do sistema analisado devem ser explorados. A falta de conhecimento e/ou entendimento do sistema analisado pode levar a falhas na identificação das variáveis e relações de maior importância. Isto pode mudar radicalmente o comportamento do modelo, e os resultados obtidos poderão estar muito longe da realidade. Por outro lado, a inclusão de muitas variáveis e relações, particularmente se nem todas elas forem de grande importância, tende a tornar o modelo por demais complicado e caro e, às vezes, até mesmo tornar o seu uso inviável.

O segundo problema, bastante relacionado com o primeiro, é a falta de informação sobre as variáveis e relações consideradas importantes na análise

do sistema. Esta situação ocorre com bastante frequência, principalmente nas regiões em que a geração de conhecimento científico e tecnológico não recebe grande suporte. Neste caso, o pesquisador terá que modificar os limites do modelo, fazendo-o mais simples, ou admitir determinadas relações e valores. Em ambos os casos, uma grande capacidade de discernimento precisa ser exercida, de forma a evitar que simplificações sejam feitas ou relações e valores sejam considerados erradamente e, assim, comprometam os resultados do modelo.

Um terceiro problema está relacionado com a validação do modelo. Validação é definida por Jones (1975) como "... o processo de definir se o modelo representa ou não suficientemente bem um sistema de acordo com os objetivos do pesquisador". Este e outros pesquisadores enfatizam a diferença entre validação e verificação, uma vez que verificação se refere ao processo de definir se o modelo é ou não representação correta e verdadeira da realidade. É difícil executar a validação porque freqüentemente não há informação quantitativa suficiente sobre o sistema simulado para ser usada como comparação. Este problema é mais acentuado quando há variáveis estocásticas e/ou o modelo apresenta características dinâmicas com resultados simulados por longos períodos de tempo. Outra dificuldade é a escolha das variáveis (insumos e resultados) a serem controlados para comparação, uma vez que não se pode escolher um grande número de variáveis para controle, e as escolhidas deverão dar uma idéia correta da validade do modelo para os objetivos propostos.

A interpretação dos resultados de um modelo que inclui variáveis estocásticas tende a ser um problema também. Isto acontece porque as variáveis estocásticas têm seus valores mudando ao acaso, e elas podem interagir produzindo resultados completamente diferentes, cada vez que o modelo é rodado no computador. Assim, há o problema de definir até que ponto as diferenças observadas nos resultados são devidas aos valores obtidos ao acaso ou são a resposta do modelo às mudanças efetuadas nas variáveis. Na prática, isto levanta a questão de quantas vezes o modelo deve ser rodado para se obterem resultados confiáveis. Naylor (1971) apresenta algumas maneiras de definir o número de

vezes em que um modelo deve ser rodado, e Anderson (1974) discute algumas alternativas quando o pesquisador trata de interpretação de resultados de modelos de simulação, na área de economia agrícola.

Além dos problemas específicos mencionados, há outros dois de caráter geral que merecem ser destacados. O primeiro está relacionado com o alto custo dos modelos de simulação, em termos de tempo do pesquisador e tempo e capacidade do computador, embora, em termos relativos, este custo seja pequeno, considerando o alto custo de experimentos com modelos físicos. O segundo problema é a pequena aceitação e o relativamente pequeno impacto que os modelos de simulação têm tido sobre o mundo político e econômico, ficando seu uso mais restrito ao círculo profissional, apesar do grande potencial existente. Este fato parece estar ligado a mais de uma razão. Entre elas, está a falta de conhecimento da realidade a ser simulada por parte do pesquisador, a dificuldade de representar os sistemas com acuidade e razoável grau de simplicidade e, finalmente, a extrema complexidade que os modelos de simulação aparentam aos olhos daqueles que devem tomar decisões, mas que não estão familiarizados com essa técnica.

#### Classificação dos modelos de simulação

Os modelos de simulação têm sido classificados, com base em diferentes critérios, por muitos autores. Para os objetivos deste artigo, tais modelos são classificados, de acordo com o objetivo, em modelos de **predição** e **mecanísticos**; e de acordo com as características, em **dinâmicos** e **estáticos**; **estocásticos** e **determinísticos**, **biológicos** e **econômicos**.

Modelos de predição são aqueles que têm por objetivo prever o comportamento de um dado sistema sob diferentes condições. Modelos mecanísticos são aqueles que objetivam melhorar o entendimento da estrutura de um dado sistema, ou seja, melhorar o conhecimento sobre as características e funções das variáveis e relações de um sistema. Quanto aos modelos de predição, apesar de não ser o principal objetivo melhorar o entendimento da estrutura do sistema, o processo de análise e síntese desenvolvido na fase de modelação também contribui para este ponto.

A inclusão ou não da dimensão de tempo no

modelo o caracteriza como dinâmico ou estático. Nos modelos dinâmicos, os valores das variáveis e suas relações são dependentes do tempo. Isto significa que os valores podem mudar com o tempo, e que eles têm relação com seus próprios valores passados e futuros e com valores passados e futuros de outras variáveis e relações. Nos modelos estáticos, os valores das variáveis e as relações não mudam com o tempo. Estes valores se referem a um dado ponto no tempo, sem relação com valores passados ou futuros.

Modelos probabilísticos ou estocásticos são os que encerram variáveis aleatórias, que seguem distribuições estatísticas específicas. Uma característica de tais modelos é que os resultados podem ter diferentes valores cada vez que o modelo é rodado. Nos modelos determinísticos, os valores de todas as variáveis e relações são rigidamente determinados, sem levar em conta a variação casual, mesmo que isto ocorra no mundo real simulado. Tais modelos produzem resultados exatamente iguais em cada repetição.

Modelos biológicos se caracterizam pelo estudo de aspectos biológicos de um sistema, sem consideração de aspectos econômicos. Eles são concentrados, por exemplo, no estudo fisiológico de plantas e animais, como o modelo desenvolvido por Brockington (1970) para estudar o crescimento de forragens e o desenvolvido por Jones (1970) para estudar o crescimento de cordeiros. Em oposição a estes, os modelos econômicos são usados para estudar um sistema do ponto de vista econômico, sem considerar variáveis e relações biológicas ou considerando-as de uma forma muito simplificada. Exemplos de tais modelos são o de Low & Agarwala (1970) sobre a indústria de ovos no Reino Unido e o estudo de McCarthy & Taylor (1980) sobre políticas de alimentação no Paquistão.

Além dos modelos mencionados, há os bioeconômicos, que incluem variáveis e relações biológicas e econômicas, dentro de um certo equilíbrio, de acordo com a importância delas no sistema. Na verdade, a experiência profissional do pesquisador, o objetivo do modelo e a disponibilidade de dados podem levar a uma maior concentração na área biológica ou na econômica. Os modelos bioeconômicos são de grande interesse para o estudo de

sistemas agropecuários porque os dois tipos de variáveis e relações desempenham um papel muito importante nestes sistemas. Estes modelos têm sido usados para estudar todo um setor, toda uma fazenda, um produto ou aspectos de um produto na agricultura.

Em nível de setor, podem ser citados o modelo desenvolvido por Halter et al. (1976), para estudar a pecuária de corte na Venezuela, e o modelo desenvolvido pelo CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) e usado por Sere & Doppler (1981), para estudar a produção de carne bovina, em Togo. Em nível de fazenda, Patrick & Eisbruger (1968) desenvolveram um modelo para fazendas de jovens produtores em Indiana (EUA). Contudo, os modelos para um setor ou para uma fazenda, considerando os aspectos biológicos e econômicos, originam um conflito entre o contexto geral do tema e o detalhamento necessário para especificar as variáveis e relações de importância no modelo. Por causa desta dificuldade, a maioria dos modelos bioeconômicos, na área agrícola, está concentrada em produtos específicos ou em aspectos de um produto. Isto significa reduzir o contexto geral do tema, de forma a melhorar a especificação das variáveis e relações no modelo, obtendo, assim, resultados mais próximos da realidade. Como exemplos, podem ser citados os trabalhos de Halter & Dean (1965), Crabtree (1970), Street (1975), Gartner & Herbert (1979) e Assis (1981).

#### Principais passos em simulação

Em termos gerais, a simulação pode ser dividida em duas fases bem caracterizadas: modelação e experimentação. A modelação, por sua vez, pode ser subdividida em análise e síntese. Durante a análise, o pesquisador deve decompor o sistema em estudo, identificar as variáveis e as relações de maior importância e entender o funcionamento interno do sistema, tão detalhadamente quanto possível. Na fase de síntese, ele deve juntar as variáveis e relações, consideradas importantes na fase de análise, num modelo que possa representar suficientemente bem o sistema em estudo. Num detalhamento maior, estas fases podem ser decompostas em passos específicos. Para efeito de ilustração, estes passos são apresentados de forma lógica e sequencial na Fig. 1, publicada originalmente por Dent & Blackie (1979), na qual é enfatizada tam-

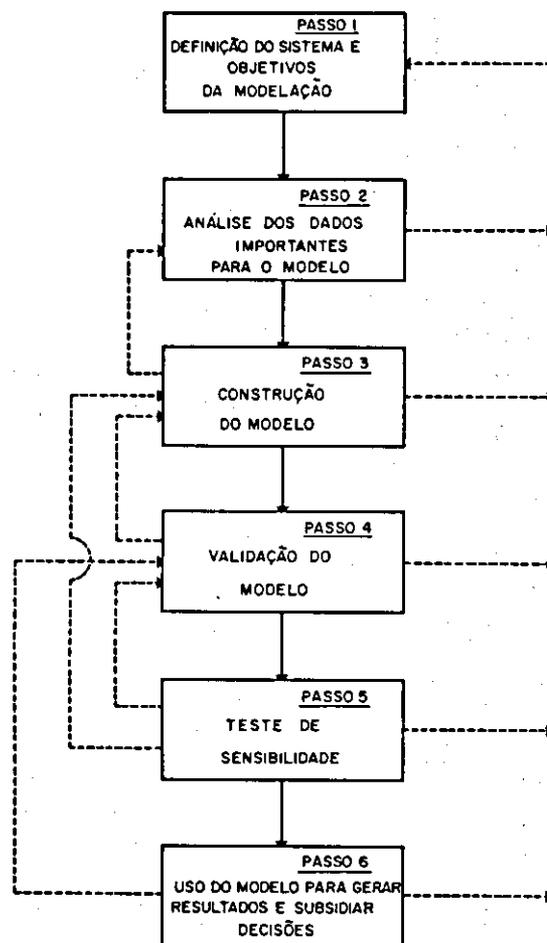


FIG. 1. Principais passos em simulação.

bém a intensa reciclagem que ocorre entre os passos, à medida que se desenvolve o trabalho de simulação.

O passo 1 concentra-se na definição do sistema a ser modelado e nos objetivos da simulação a ser desenvolvida. A definição do sistema é feita com base em suas características e nos seus limites.

O passo 2 está concentrado na definição dos dados necessários e na análise e avaliação dos dados disponíveis. Este passo constitui a parte central da fase de análise e é de extrema importância porque o passo seguinte (construção do modelo) e, conseqüentemente, o resto da simulação, será grandemente afetado pelas decisões tomadas aqui. A

definição dos dados necessários implica uma análise do sistema real para identificar as variáveis e relações que devam ser incluídas no modelo. Esta decisão demanda um bom conhecimento do sistema a ser modelado e uma boa capacidade de discernimento para elaborar um modelo conceitual e definir o tipo e nível de detalhe dos dados necessários. Como afirmado anteriormente, as limitações na disponibilidade de dados freqüentemente exigirão mudanças num modelo conceitual ideal. Novamente, uma boa capacidade de discernimento tem que ser exercida para decidir se as variáveis e relações que apresentam dados incompletos devem ser eliminadas ou incluídas com base em alguma hipótese.

O passo 3 refere-se à construção do modelo. O pesquisador, baseado no seu conhecimento do sistema, nos dados disponíveis e no modelo conceitual desenvolvido, inicia a elaboração de diagramas capazes de representar o sistema real com suas variáveis e relações mais importantes. Completada a representação do sistema em diagrama, as variáveis e relações têm que ser representadas em um modelo matemático. Finalmente, este modelo deve ser traduzido em um programa de computador, mediante uma linguagem adequada. A escolha da linguagem, que pode ser específica para simulação, como *Dynamo* ou mais geral, como *Fortran*, é bastante importante, pois não só facilitará a representação do sistema real como influirá na eficiência do programa de computador elaborado, em termos de tempo e custo. Châpas (1970), Charlton (1971) e Dent & Blackie (1979) discutem com mais detalhes a importância e os critérios para a escolha da linguagem de computador.

O passo 4 refere-se à validação do modelo construído. Conceito, características e problemas de validação foram discutidos anteriormente. Uma discussão mais ampla e completa sobre diferentes enfoques relativos à validação de modelos de simulação, é apresentada por Naylor & Finger (1967).

O passo 5 refere-se ao teste de sensibilidade do modelo, o qual é conduzido através da observação do efeito da mudança de valores de uma variável ou relação, ou de toda uma parte do modelo sobre os resultados, enquanto o resto do modelo é mantido inalterado. Um parâmetro é considerado

sensível quando produz mudanças notáveis nos resultados; neste caso, diz-se que o modelo é sensível a tal parâmetro. O teste de sensibilidade oferece ao pesquisador informações sobre os parâmetros mais sensíveis e importantes, os quais devem, então, ser bem especificados e bem controlados no modelo. Se o modelo for uma boa representação do sistema real, tais parâmetros devem ser bem controlados também no mundo real porque eles têm um forte impacto sobre o desempenho do sistema. Além disso, estes parâmetros mais sensíveis devem tornar-se um ponto importante para a pesquisa, se o conhecimento existente sobre eles não for bastante completo.

O passo 6 refere-se à aplicação do modelo ou à fase de experimentação propriamente dita para gerar resultados que completarão os objetivos para os quais o modelo foi construído. Note-se que os passos 4 e 5 envolvem também uma parte de experimentação, mas o principal objetivo de ambos é testar e melhorar o modelo antes de gerar resultados.

## CONCLUSÕES

No trabalho de pesquisa, uma questão continuamente colocada para o pesquisador é: Qual é a técnica mais adequada para analisar um determinado problema em estudo? Esta questão se torna mais importante quando, entre as técnicas possíveis, inclui-se a simulação, porque, se por um lado ela oferece grande potencial, por outro, apresenta uma série de problemas e tende a apresentar altos custos. Irwin (1968) sugere as circunstâncias em que a simulação deve ser usada: "... quando o processo de decisão é extremamente complexo e enfoques analíticos não tenham sido ou não possam ser desenvolvidos. Isto inclui situações com (1) múltiplos objetivos, (2) indivisibilidade, (3) decisões em seqüência dentro de um horizonte de planejamento com diferentes critérios, (4) funções não-lineares e (5) conceitos de teoria de organização, administração e comportamento".

Em suma, pode-se afirmar que a simulação de sistemas agropecuários, como técnica de pesquisa, tem um grande potencial, principalmente se houver um bom estoque de conhecimento científico e tecnológico e uma boa interação com a pesquisa

científica em andamento. Paralelamente, para que esta técnica seja produtiva é de extrema importância que o pesquisador tenha um bom conhecimento do sistema a ser simulado e uma idéia clara dos resultados a serem gerados e dos interesses e limitações dos possíveis usuários dos modelos de simulação.

Os problemas delineados, neste trabalho, não significam que os modelos de simulação sejam inadequados, mas, acima de tudo, caracterizam um desafio a ser enfrentado pelos que decidem trabalhar com simulação.

Uma afirmação de Dent & Blackie (1979) sintetiza bem aquilo de que trata a simulação "... trabalhar com simulação não é simplesmente uma questão de transcrever conhecidas fórmulas numa forma adequada para computação. É, antes de mais nada, uma arte que requer genialidade, visão e esforço e, acima de tudo, integridade por parte do pesquisador. Como em outras artes, é a maneira de usar a técnica e não a técnica em si mesma que determina o sucesso ou insucesso".

#### REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J.R. Simulation: methodology and application in agricultural economics. *Rev. mark. agric. econ.*, 42:3-55, 1974.
- ASSIS, A.G. Using computer modelling to study dairy cow feeding in Brazil. Reading, University of Reading, 1981. Tese Doutorado.
- BROCKINGTON, N.R. Herbage growth. In: JONES, J. G.W. ed. *The use of models in agricultural and biological research*. Hurley, Grassland Research Institute, 1970.
- CHALRTON, P.J. Computer languages for system simulation. In: DENT, J.B. & ANDERSON, S.R. ed. *Systems analysis in agricultural management*. Sydney, J. Wiley, 1971.
- CHAPAS, L.C. Computer languages for model-building. In: JONES, J.G.W. ed. *The use of models in agricultural and biological research*. Hurley, Grassland Research Institute, 1970.
- CHURCHMAN, C.W. *The design of inquiring systems: basic concepts of systems and organization*. New York, Basic Books, 1971.
- CRABTREE, J.R. Towards a dairy enterprise model. In: JONES, J.G.W. ed. *The use of models in agricultural and biological research*. Hurley, Grassland Research Institute, 1970.
- DENT, J.B. & BLACKIE, M.J. *Systems simulation in agriculture*. London, Applied Science, 1979.
- GARTNER, J.A. & HERBERT, W.A. A preliminary model to investigate culling and replacement policy in dairy herds. *Agric. Syst.*, 3:189-215, 1979.
- HALTER, A.N. & DEAN, G.W. *Simulation of a Californian range feedlot operation*. s.l., California Experimentation Station. Gianini Foundation, 1965 (Research Report, 282).
- HALTER, A.N.; MILLER, S.F.; DE JONGH, R. & ESTRADA, H. Application of systems simulation in the Venezuelan cattle industry. *Agric. Syst.*, 1(2): 139-62, 1976.
- IRWIN, G.D. A comparative review of some firm growth models. *Agric. Econ. Res.*, 20(3):82-100, 1968.
- JONES, J.G.W. Lamb production. In: JONES, J.G.W. ed. *The use of models in agricultural and biological research*. Hurley, Grassland Research Institute, 1970.
- JONES, J.G.W. Models of agricultural production systems and their application. In: FREEMAN, B.M. & BOORMAN, K.M. ed. *Economic factors affecting egg production*. Edimburg, British Poultry Science, 1975.
- LOW, E.M. & AGARWALA, R. An econometric analysis of support buying in the U.K. egg market 1958 - 68. In: JONES, J.G.W. ed. *The use of models in agricultural and biological research*. Hurley, Grassland Research Institute, 1970.
- MCCARTHY, F.D. & TAYLOR, L. Macrofood policy planning: a general equilibrium model for Pakistan. *Rev. Econ. Stat.*, 62(1):107-21, 1980.
- NAYLOR, T.H. *Computer simulation experiments with models of economic systems*. New York, John Wiley, 1971.
- NAYLOR, T.H. & FINGER, J.M. Verification of computer simulation models. *Management Sci.*, 14(2): 92-101, 1967.
- PATRICK, G.F. & EISBRUGER, L.M. The impact of managerial ability and capital structure on growth of the farm firm. *Am. J. Agric. Econ.*, 50(3):491-506, 1968.
- SERE, C. & DOPPLER, W. Simulation of production alternatives in ranching systems in Togo. *Agric. syst.*, 6(4):249-60, 1981.
- SPEEDING, C.R.W. *An introduction to agricultural systems*. London, Applied Science, 1979.
- STREET, P.R. The practical application of bio-economic models. In: DALTON, G.E. ed. *Study of agricultural systems*. London, Applied Science, 1975.
- WALKER, H.V. Models for decision-making in agricultural marketing. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ECONOMISTS, 16., Nairobi, 1977. *Anais . . .* Lincoln, University of Nebraska Press, s.d.
- WRIGHT, A. Farming systems, models and simulation. In: DENT, J.B. & ANDERSON, J.R. ed. *Systems analysis in agricultural management*. Sydney, John Wiley, 1971.