EA 044 Planejamento e Análise
de Sistemas de Produção

Fundamentos de Modelagem de Sistemas

©DCA-FEEC-Unicamp

Tópicos

1-Modelagem e decisão

2-Processo de tomada de decisão

3-Modelagem para decisão

4-Tipos e desenvolvimento de modelos

5-Modelos de otimização

6-Modelos de simulação

7-Uso de dados em modelagem

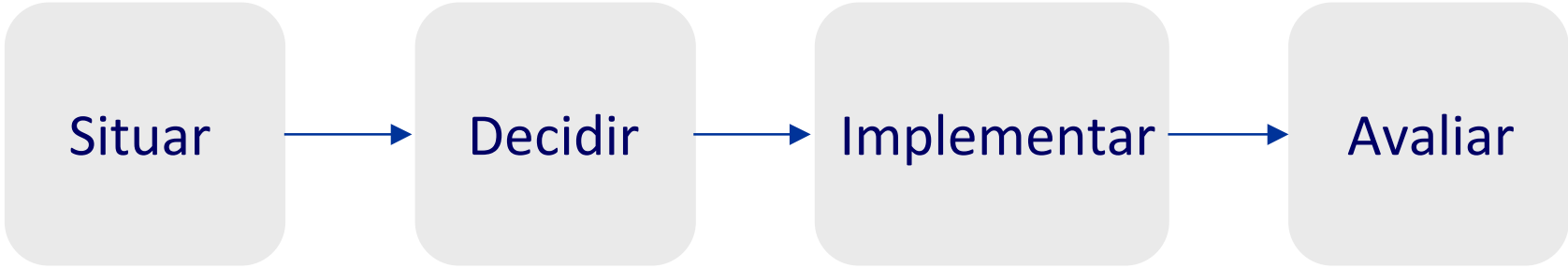
©DCA-FEEC-Unicamp

1-Modelagem e decisão

- Introdução
  - modelagem: não é arte sofisticada só para especialistas
  - avanço tecnológico
    - Computadores pessoais
    - Programas, sistemas, interfaces de alto nível
- Modelos: essenciais para melhorar a tomada de decisão
- Itens importantes em qualquer situação de decisão
  - quais são as questões fundamentais
  - quais alternativas a serem investigadas
  - onde focalizar a atenção

©DCA-FEEC-Unicamp

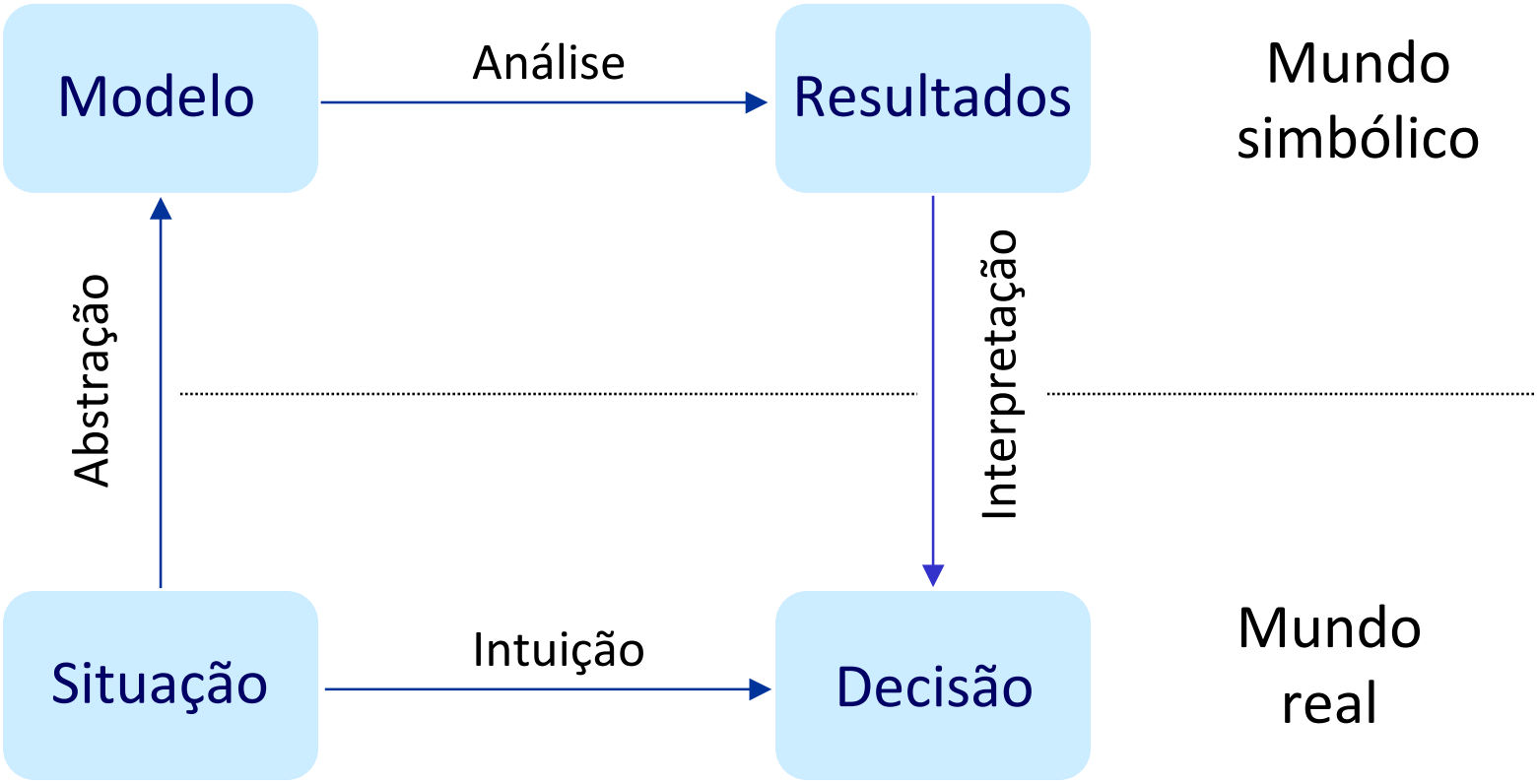
2-Processo de tomada de decisão



- Situar: analisar estado e alternativas (conflitos, competição)
- Decidir: escolher alternativa, resolver conflitos
- Implementar decisão
- Avaliar *payoffs* (financeiros, estratégicos, etc.)

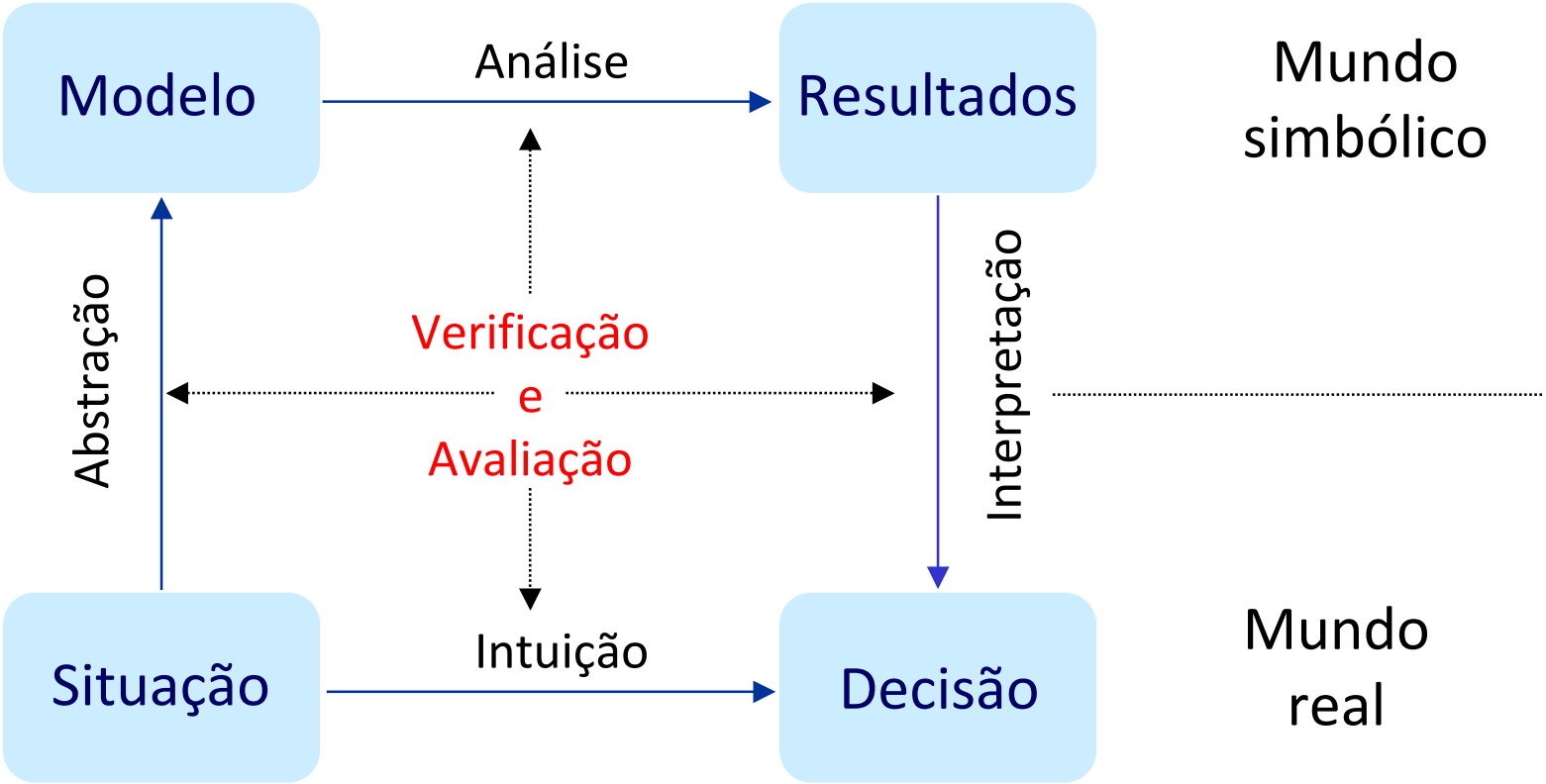
©DCA-FEEC-Unicamp

3-Modelagem para decisão



©DCA-FEEC-Unicamp

Verificação e avaliação de modelos



©DCA-FEEC-Unicamp

- Abstração, formulação, interpretação e implementação
  - cruciais no processo de modelagem para tomada de decisão

- Essencial entender e ficar claro:
  - situações que são passíveis de serem modeladas
  - disponibilidade e acessibilidade de dados
  - dados para análise do modelo
  - resultados em tempo hábil e a custos praticáveis
  - interpretabilidade do modelo e viabilidade implementação

A model is valuable if you make better decisions when you use it than when you don´t." Eppen et al., 1998

©DCA-FEEC-Unicamp

- Papel de modelos nos níveis de uma empresa
  - altos
    - planejamento estratégico e futuro
    - planos contingência e tempo reação
  - médios
    - planejamento e coordenação
    - logística e adaptação
  - baixos
    - programação e operação, expansão, análise impacto
- Modelo permite
  - análise lógica e consistente de processos
  - uso técnicas analíticas e heurísticas
  - uso sistemas de computação, programas, dados

©DCA-FEEC-Unicamp

Importância de modelos

1 explicitar objetivos e estratégias

2 identificar decisões que influenciam os objetivos

3 identificar interações e *trade-offs* entre decisões

4 raciocinar criteriosamente sobre variáveis e definições

5 quantificar objetivos, restrições, conflitos

6 identificar dados pertinentes para quantificar variáveis e suas interações

7 identificar restrições e limitações de valores de variáveis

8 comunicar e trabalhar em grupo

9 ajustar e melhorar com a experiência e a histórica

10 aprendizagem adaptativa

©DCA-FEEC-Unicamp

4-Tipos e desenvolvimento de modelos

Tipo de Modelo	Características	Exemplos
Físico	Tangível Fácil compreensão Reprodução difícil Manipulação difícil Escopo uso: muito baixo	Modelo aeronaves Modelos de residências Modelos de cidades
Analógico	Intangível Compreensão difícil Reprodução mais fácil Manipulação mais fácil Escopo de uso: baixo	Mapas de estradas Velocímetro Gráficos
Simbólico	Intangível Compreensão mais difícil Reprodução muito fácil Manipulação muito fácil Escopo de uso: amplo	Modelos simulação Modelos algébricos Modelos planilhas

©DCA-FEEC-Unicamp

Modelos simbólicos

- Matemática
  - estabelece relações entre variáveis de interesse
- Modelo matemático
  - conciso, preciso, computável
- Dados numéricos
  - dão significado ao modelo

©DCA-FEEC-Unicamp

- Modelo
  - abstração (aproximação) cuidadosa (tratável) da realidade
  - qualidade/representatividade depende do seu propósito

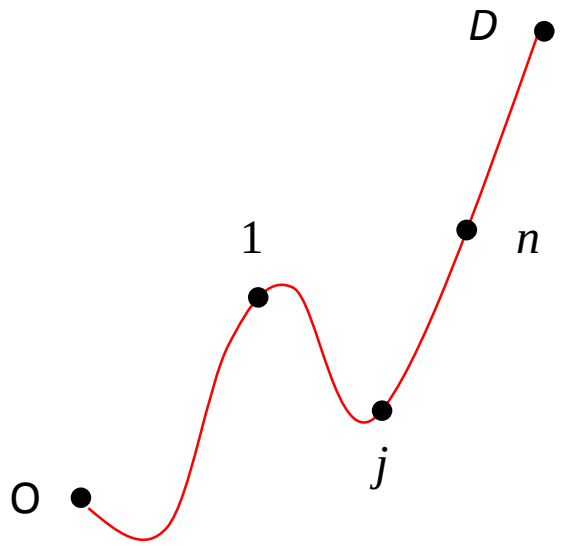
- Grau de abstração: o suficiente para que
  - os resultados satisfaçam as necessidades
  - seja consistente com os dados disponíveis
  - haja alta correlação entre o previsto pelo modelo e a realidade
  - possa ser analisado dentro das disponibilidades

©DCA-FEEC-Unicamp

Exemplo

$t = d / v$

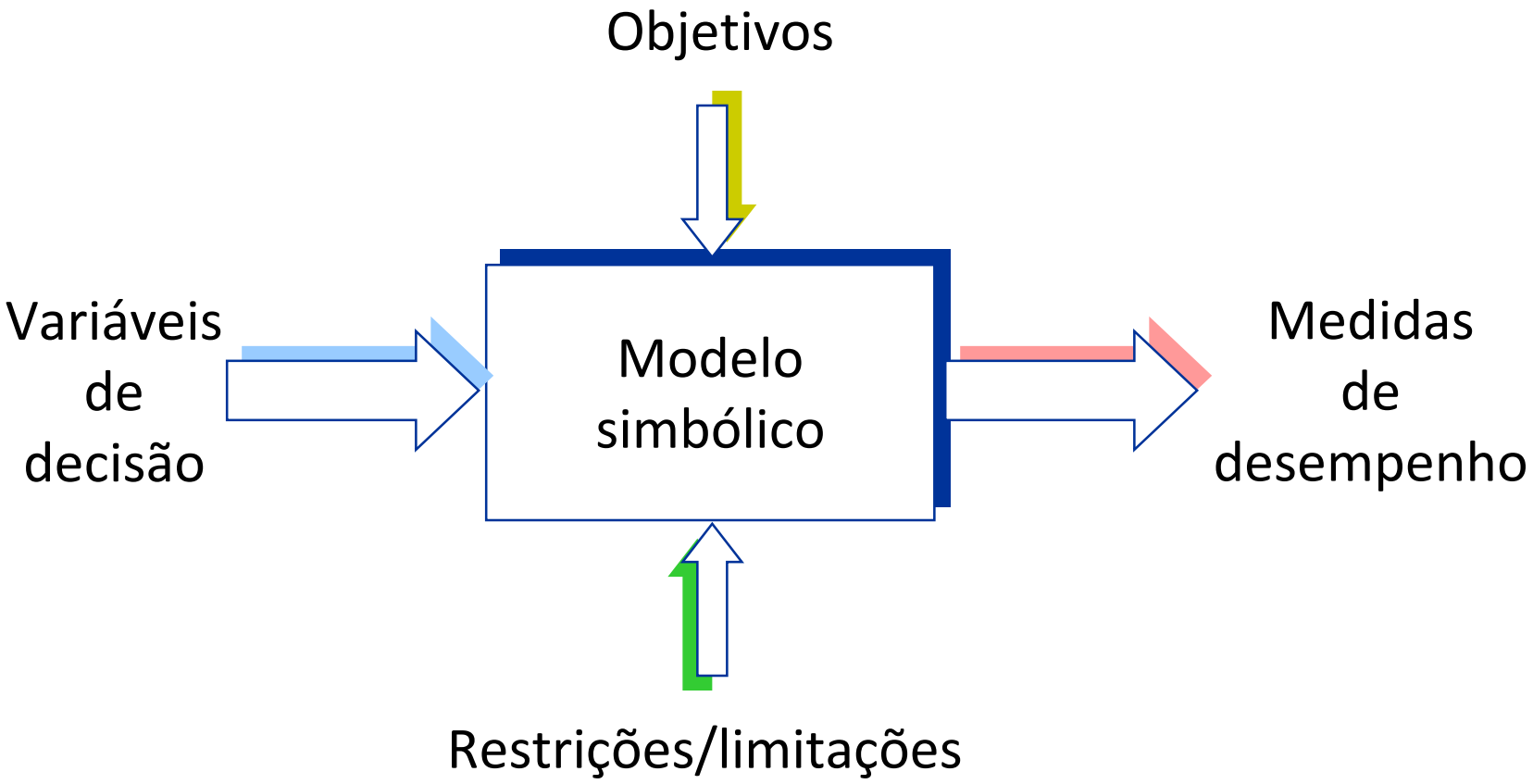
$t = d/v + rn$



t : tempo (h)
d : distância (km)
v : velocidade (km/h)
r : intervalo tempo médio/parada (h/parada)
n : número esperado paradas

©DCA-FEEC-Unicamp

Modelo de decisão



©DCA-FEEC-Unicamp

- Modelo de decisão
  - representa a situação de decisão

- Componentes
  - variáveis de decisão (afetam objetivos)
  - objetivos
  - restrições/limitações
  - medidas de desempenho (refletem objetivos)

©DCA-FEEC-Unicamp

Classes de modelos de decisão

- Funções do negócio
  - financeiro, custo, *marketing*, operações
- Área de aplicação
  - engenharia, economia, militar, logística,...
- Organizacional
  - estratégico
  - tático
  - operacional
- Horizonte
  - curto, médio, longo prazo

©DCA-FEEC-Unicamp

- Matemática
  - linear, não linear
- Natureza do modelo
  - determinístico
  - estocástico
- Dinâmica
  - estático, dinâmico
- Tecnologia
  - programas
  - planilhas
  - sistemas,...

©DCA-FEEC-Unicamp

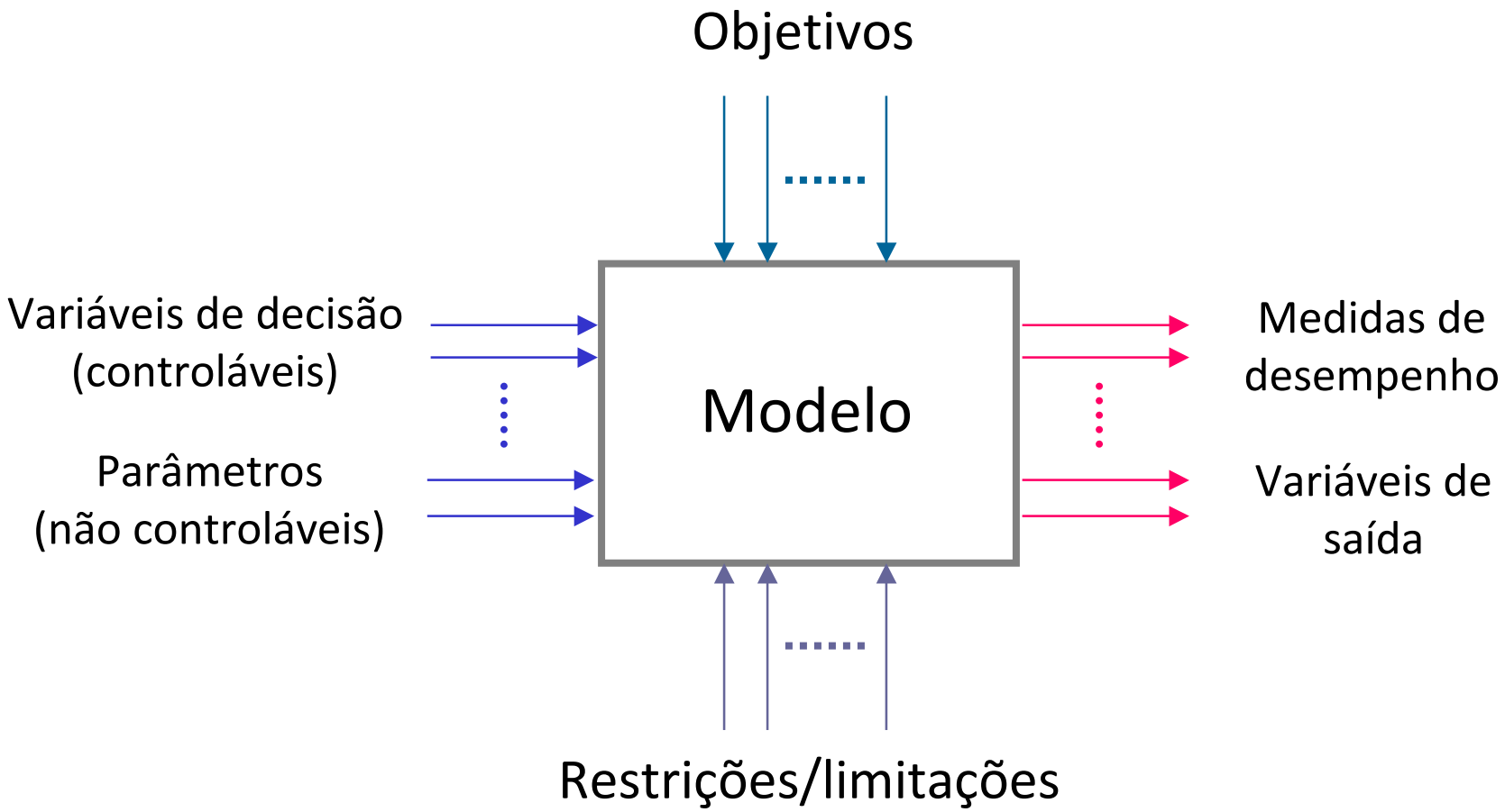
Desenvolvimento de modelos

- Modelagem requer
  - arte, imaginação, cooperação
  - talento, criatividade, paciência
  - *know-how* (técnico)
- Etapas para construir modelos

1. Estudar e caracterizar a situação de decisão
2. Formular e selecionar uma representação da situação
3. Construir e analisar o modelo simbólico
4. Quantificar e subsidiar o modelo com dados
5. Validar e testar: modelo × realidade

©DCA-FEEC-Unicamp

5-Modelos de otimização



©DCA-FEEC-Unicamp

Modelo de otimização

$$\max (\min) \quad f(x)$$

objetivos

sa

$$g(x) = b$$

$$h(x) \leq r$$

restrições

$$q(x) \geq d$$

$$x \in S$$

limitações

$x \in R^n \qquad g: R^n \rightarrow R^m \qquad h: R^n \rightarrow R^k \qquad q: R^n \rightarrow R^l$

©DCA-FEEC-Unicamp

- Variável de decisão

$\mathrm{x} = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$

- Parâmetros
  - vetores

$\mathrm{b} = (b_1, b_2, \ldots, b_m)$

$\mathrm{r} = (r_1, r_2, \ldots, r_k)$

$\mathrm{d} = (d_1, d_2, \ldots, d_l)$

  - coeficientes das funções

$\mathrm{f} = (f_1, .., f_i, \ldots, f_o) \qquad f_i : \mathrm{R}^n \rightarrow \mathrm{R}$

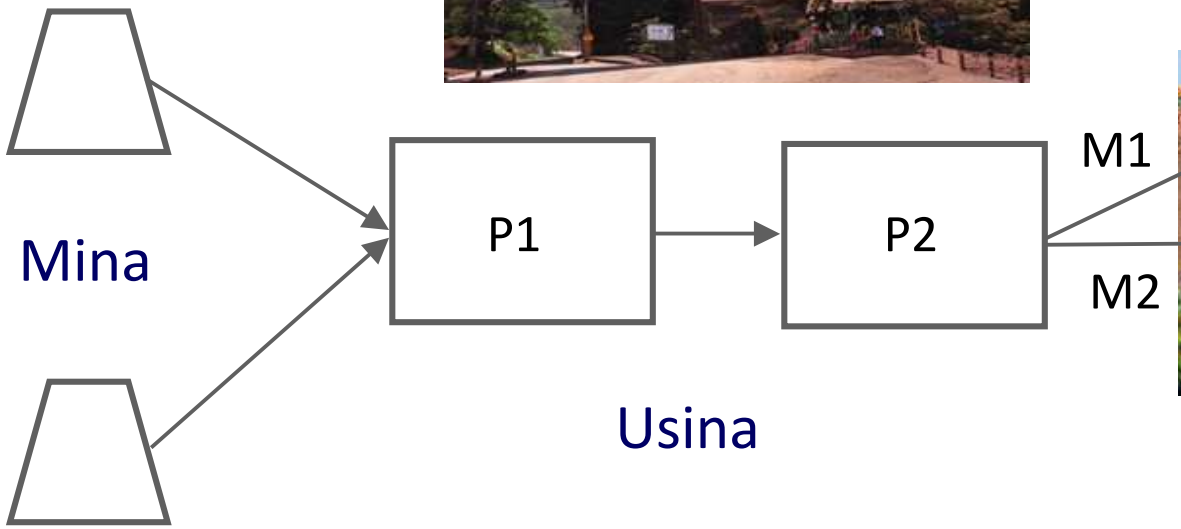
$\mathrm{g} = (g_1, .., g_j, \ldots, g_m) \qquad g_j : \mathrm{R}^n \rightarrow \mathrm{R}$

$\mathrm{h} = (h_1, .., h_t, \ldots, h_k) \qquad h_t : \mathrm{R}^n \rightarrow \mathrm{R}$

$\mathrm{q} = (q_1, .., q_s, \ldots, h_l) \qquad q_s : \mathrm{R}^n \rightarrow \mathrm{R}$

©DCA-FEEC-Unicamp

Exemplo



©DCA-FEEC-Unicamp

Dados

Processador	Horas/ton		
	M1	M2	Total disponível
P1	10	15	150
P2	20	10	160

M1 = minério tipo 1
M2 = minério tipo 2

Receita ($/ton)	50 (M1)	40 (M2)	
Estratégia mercado	pelo menos 1 de M2 para cada 3 de M1		
Cliente preferencial	5 ton no mínimo de M1 e/ou M2		
Teste qualidade (h/ton)	30	10	≥ 135

©DCA-FEEC-Unicamp

Modelo de otimização

$$
\begin{aligned}
\max \quad & 50x_1 + 40x_2 \\
\text{sa} \quad & 10x_1 + 15x_2 \leq 150 \\
& 20x_1 + 10x_2 \leq 160 \\
& 30x_1 + 10x_2 \geq 135 \\
& x_1 - 3x_2 \leq 0 \\
& x_1 + x_2 \geq 5 \\
& x_1, x_2 \geq 0
\end{aligned}
$$

Objetivo

Restrições

Variáveis de decisão: $\mathrm{x} = (x_1, x_2)$ toneladas de M1 e M2 a produzir

Variáveis de saída: $\mathrm{y} = (x_1, x_2, v_1, v_2, v_3, v_4, v_5) \equiv$ variáveis decisão/duais

Medidas de desempenho: receita $\equiv$ função objetivo f, restrições ativas

©DCA-FEEC-Unicamp

- Parâmetros
  - vetores

    b = não existem restrições de igualdade

    r = $(r_1, r_2, r_3) = (150, 160, 0)$, $k = 3$

    d = $(d_1, d_2,) = (135, 5)$, $l = 2$
  - coeficientes das funções

    f = $f_1 = f = 50x_1 + 40x_2$ $(o = 1)$

    g = não existem restrições de igualdade

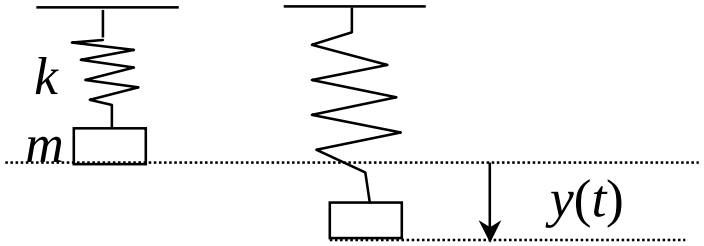
    h = (h_1, h_2, h_3)

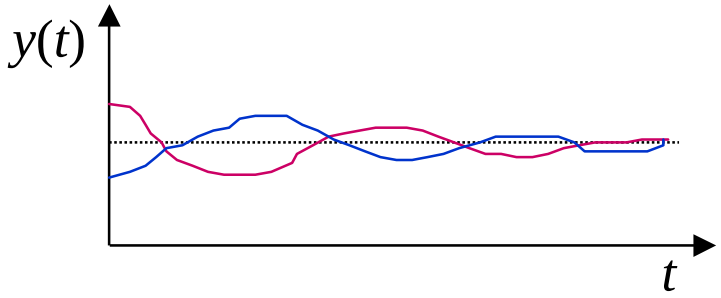
    q = (q_1, q_2)

©DCA-FEEC-Unicamp

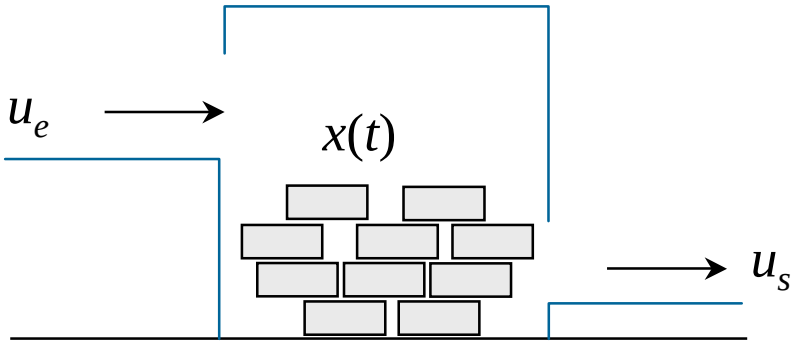
6-Modelos de simulação

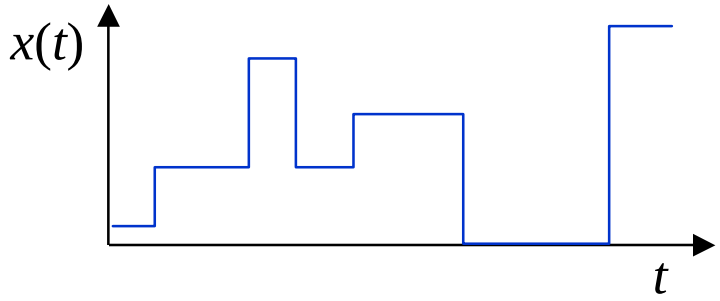
Sistema contínuo





Sistema discreto

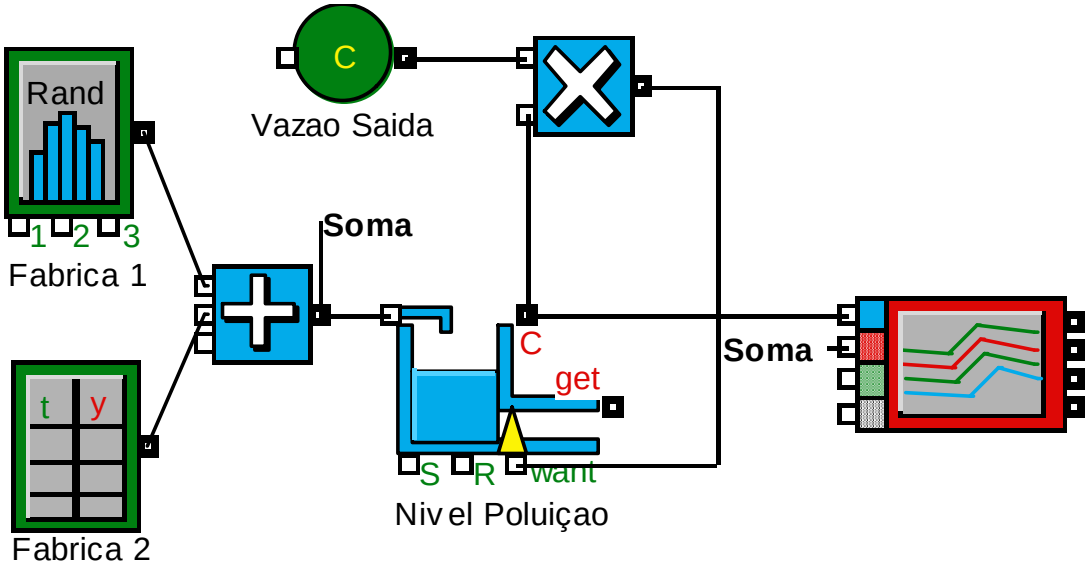




©DCA-FEEC-Unicamp

Simulação sistemas contínuos

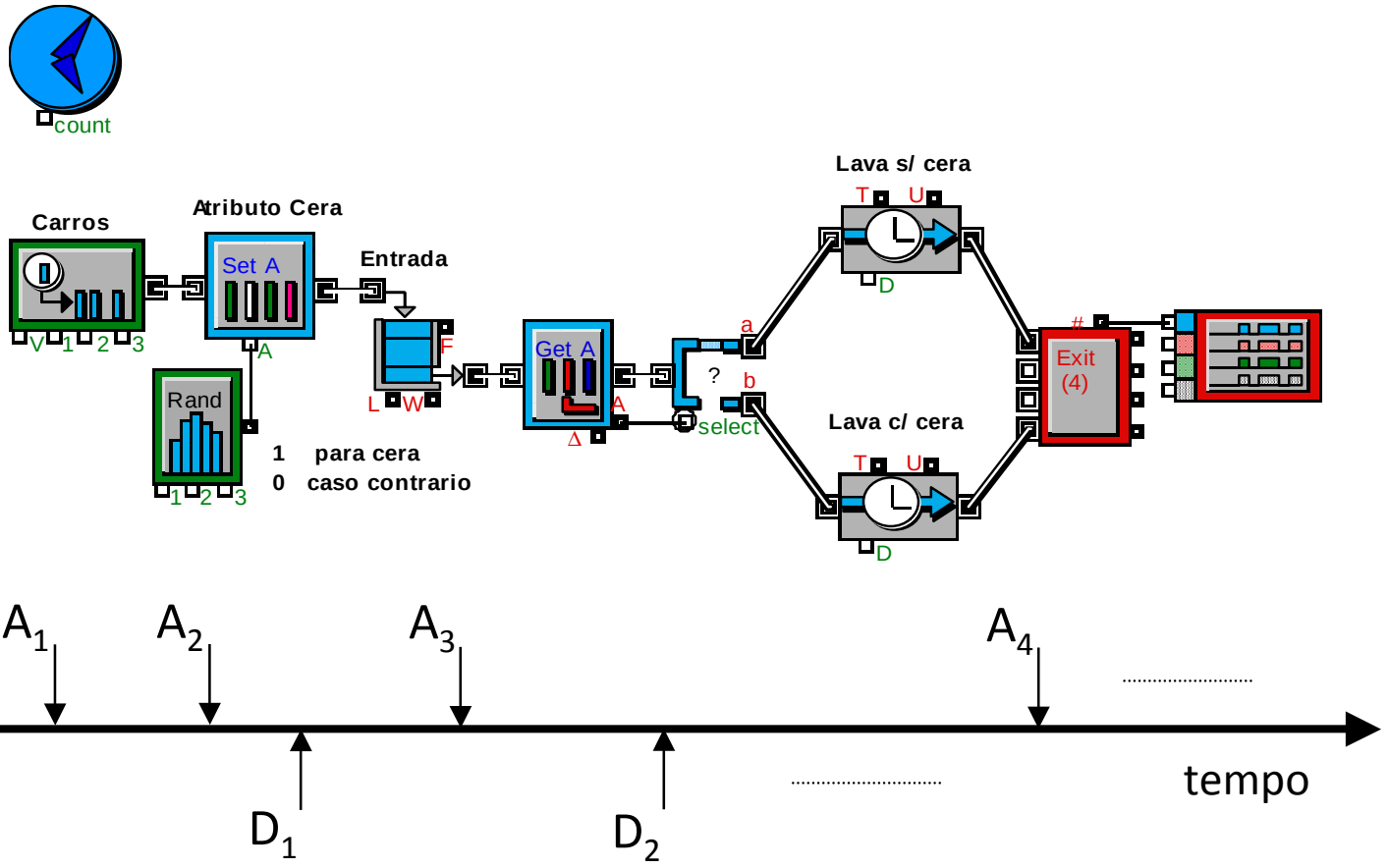
- Coleta de dados é feita em todo instante de tempo



©DCA-FEEC-Unicamp

Simulação sistemas discretos

- Coleta de dados feita nos instantes de tempo onde ocorre mudança de estado devido à ocorrência de evento

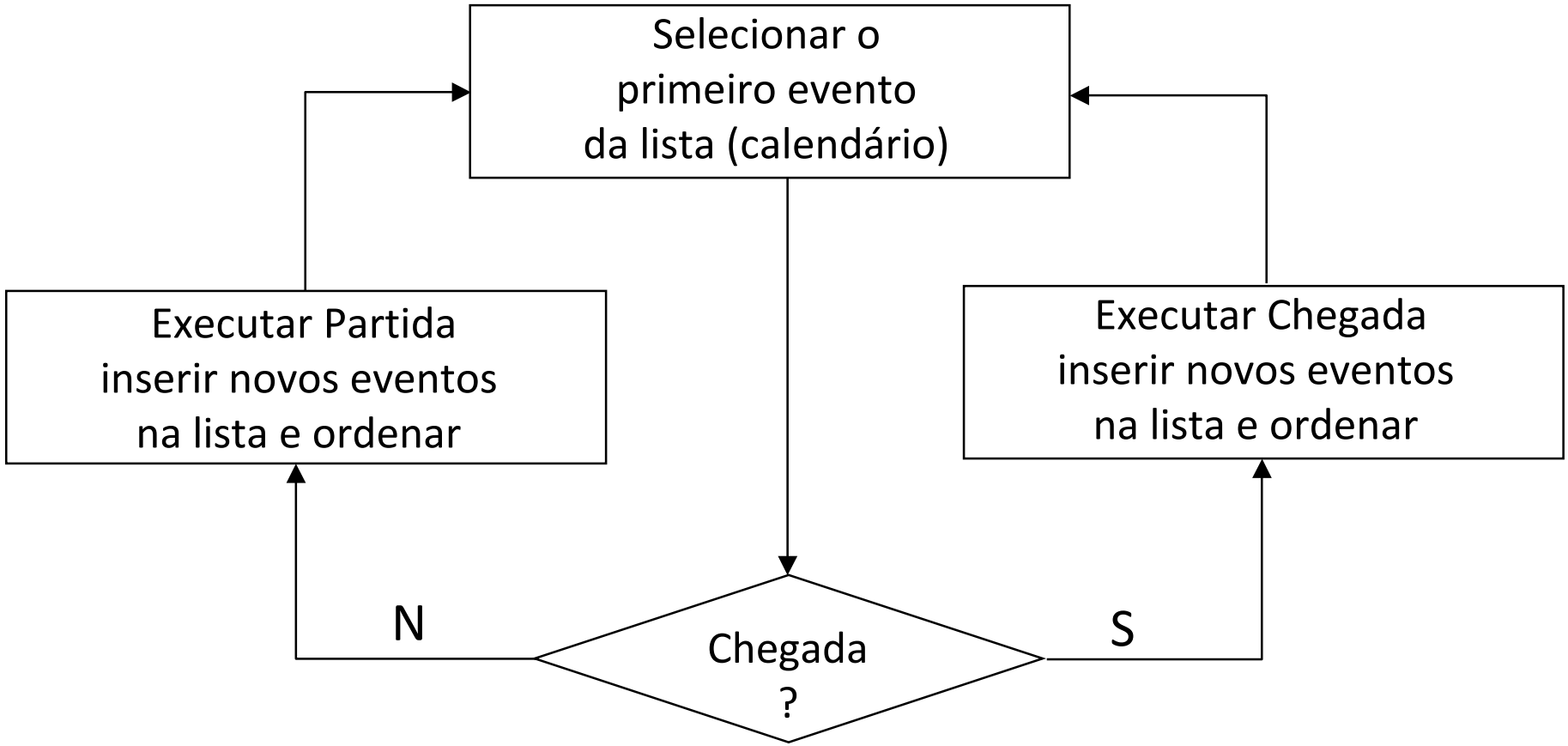


©DCA-FEEC-Unicamp

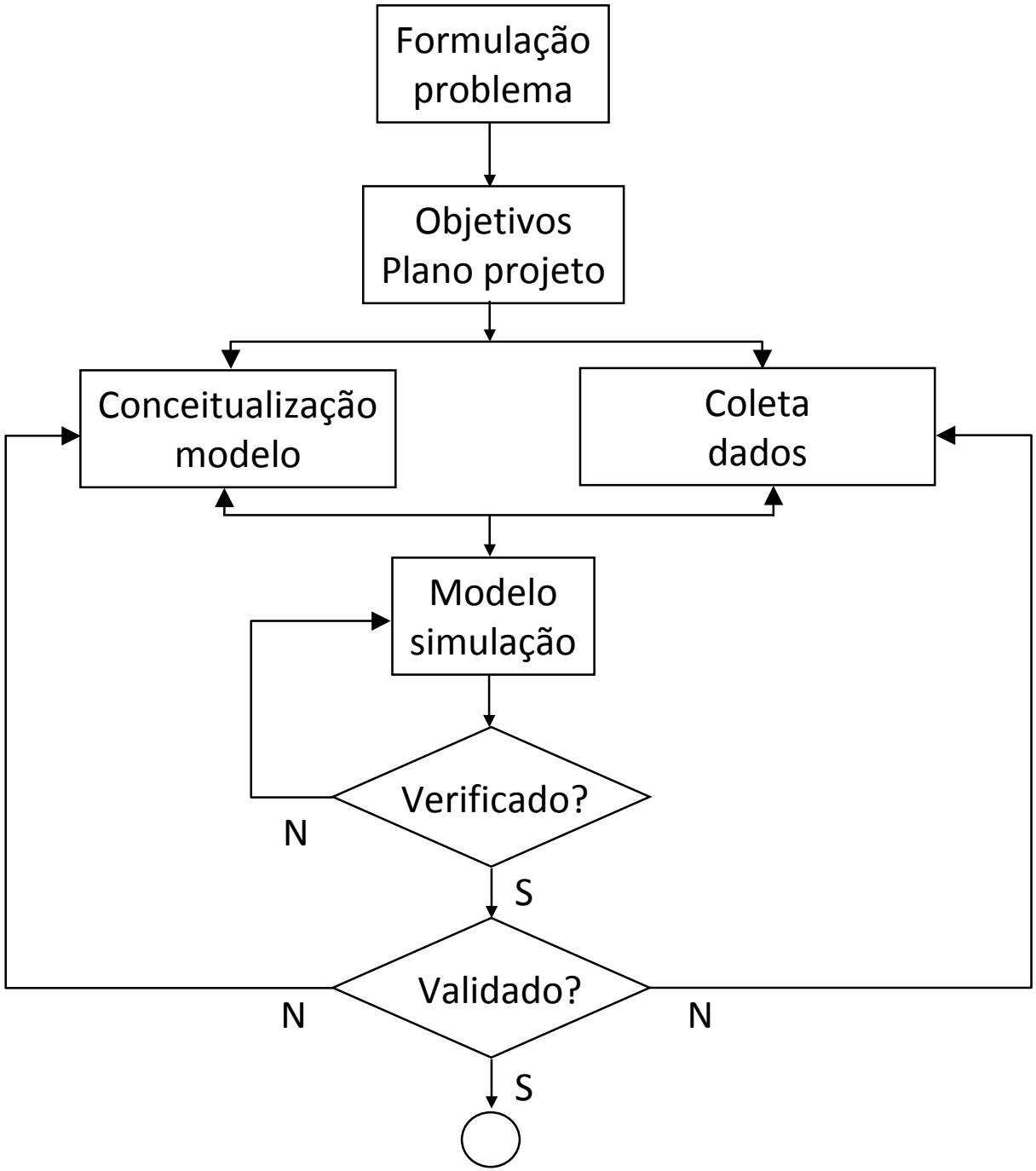
- Modelos de simulação tipicamente
  - representa o sistema como um todo e não de forma segmentada como em modelos matemáticos
  - considera relações causa/efeito entre os diferentes componentes do modelo ao longo do tempo
- Simulação é um experimento estatístico
  - portanto é necessário
    - caracterizar distribuições de probabilidades
    - executar modelo N vezes e coletar dados
    - resultados: estatísticas

©DCA-FEEC-Unicamp

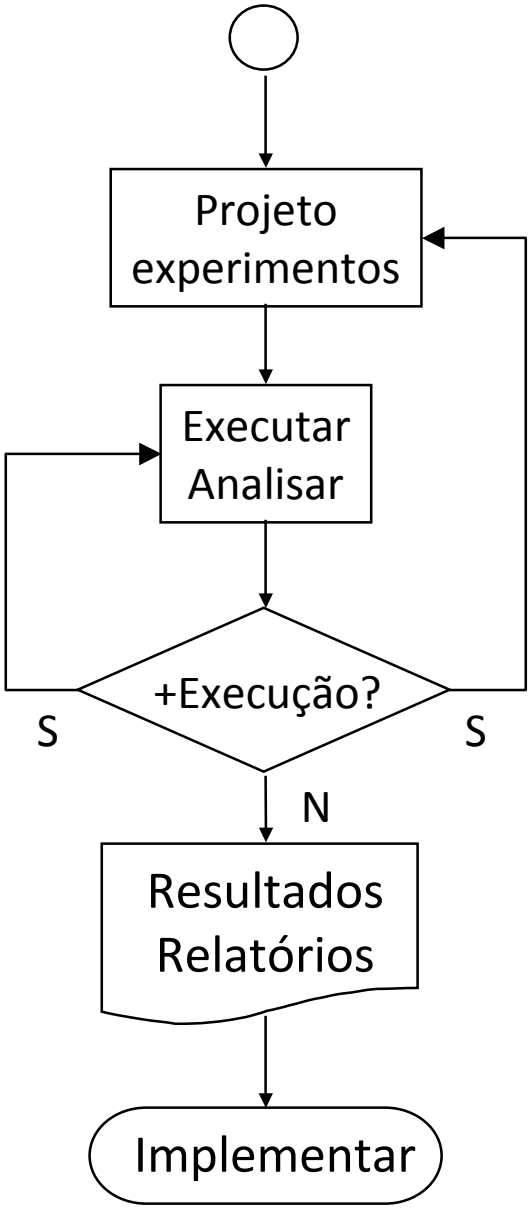
Simulação de sistemas discretos: ideia geral



©DCA-FEEC-Unicamp



©DCA-FEEC-Unicamp



©DCA-FEEC-Unicamp

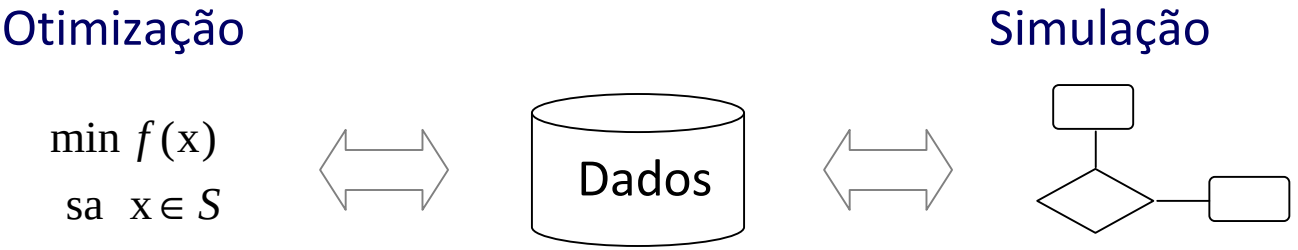
Importância da simulação

1. Prever comportamento e resultados de ações/decisões
2. Entender porque certos eventos ocorrem
3. Identificar problemas antes de implementar/implantar
4. Explorar alternativas e avaliar impactos de modificações
5. Avaliar idéias/soluções e identificar ineficiências
6. Obter *insights* e estimular criatividade
7. Comunicar a integridade e mostrar viabilidade de planos
8. Criar cenários para planejar, decidir, resolver conflitos

©DCA-FEEC-Unicamp

7-Uso de dados em modelagem

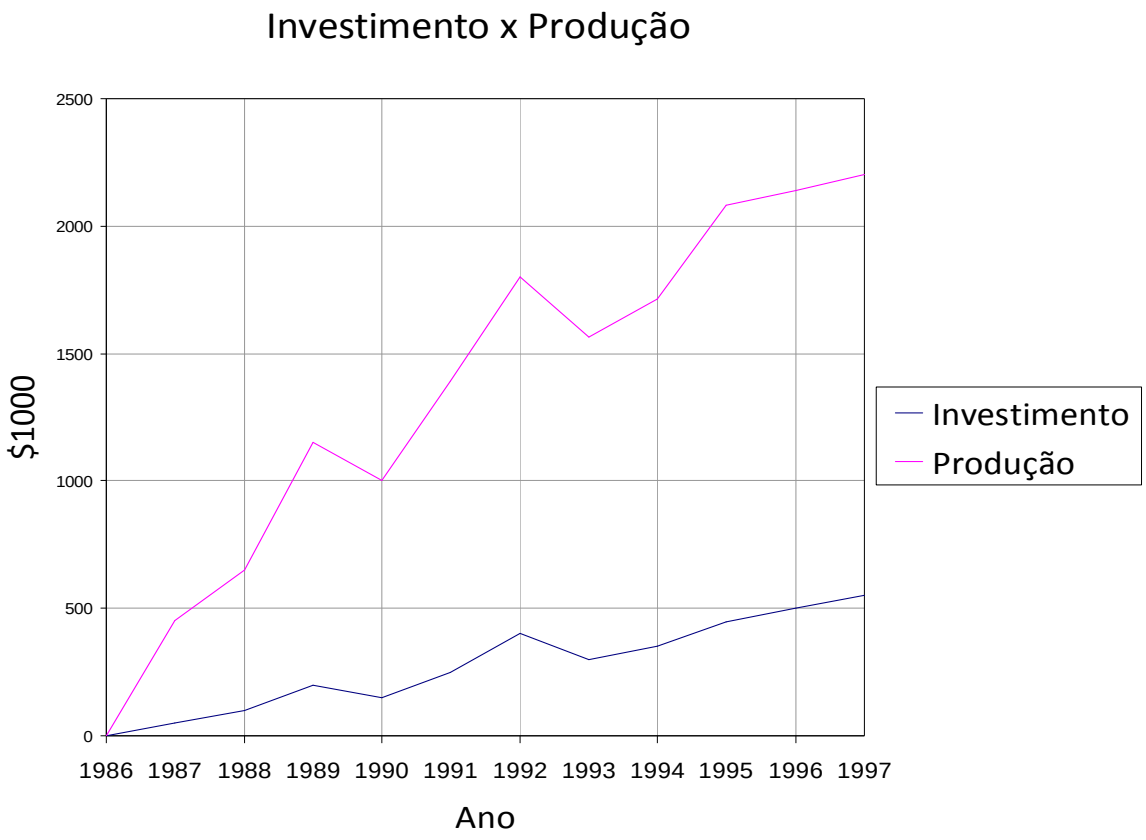
- Decisão envolve o uso de dados para avaliação e interpretação
- Dados são interpretados em um contexto e vice-versa
- Dados potencializam o uso de modelos
- Levantamento de dados envolve esfôrço, atenção e *custos*
- Aquisição de dados requer disponibilidade, precisão e relevância
- Modelos simbólicos permitem avaliar e interpretar dados de forma sistemática e consistente
- Modelos simbólicos podem ser usados para gerar dados (sintéticos)
- Dados são importantes para construir, complementar e validar modelos



©DCA-FEEC-Unicamp

Exemplo

Ano	Invetimento	Produção
	$1000	($1000)
1986	0	0
1987	50	450
1988	100	650
1989	200	1150
1990	150	1000
1991	250	1390
1992	400	1800
1993	300	1565
1994	350	1715
1995	445	2080
1996	500	2140
1997	550	2200



©DCA-FEEC-Unicamp

- Inúmeros modelos possíveis
  - estáticos, dinâmicos
  - linear, não linear
  - determinístico, estocástico
- Modelo apropriado depende da situação de decisão
  - sobre o que decidir, horizonte, propósito
- Produção proporcional ao investimento
  - qual é o fator de proporcionalidade?
  - governo

©DCA-FEEC-Unicamp

- Desempenho depende só do investimento no ano corrente?
  - anos anteriores?
  - quais?
- Outros fatores relevantes
  - estado economia
  - *marketing*
  - política operação
  - governo
- Absolutamente falando: dados não são um modelo
  - modelos emergem das relações entre dados
  - refletem interpretações via relações/distribuições
  - modelo é uma representação (seletiva) da realidade

©DCA-FEEC-Unicamp

Formas e fontes de dados

- Coleta, armazenagem e interpretação dependem do uso
  - unidades dos dados
  - agregação de dados
  - refinamento de dados
  - incerteza e precisão
- Fonte de dados
  - arquivos, sistemas de informação (memória do passado)
  - modelos (para entradas conhecidas)
  - estimativas e previsões
- Levantamento de dados
  - observação direta
  - conhecimento especialista

©DCA-FEEC-Unicamp

Modelagem e decisão

- Aplicação de modelos em decisão
  - Formulação do modelo: situação $\rightarrow$ abstração $\rightarrow$ modelo simbólico
  - Validação do modelo: realidade $\times$ abstração
  - Análise do modelo para gerar resultados: decisões
  - Interpretação e validação de resultados
    - informação disponível $\times$ realidade
  - Implementação: conhecimento $\rightarrow$ funcionar na prática

©DCA-FEEC-Unicamp

Validação de modelos

- Predição da história
  - Dados históricos sobre situações similares
    - decisões, parâmetros, resultados
    - comparação entre dados e resultados
    - análise das similaridades e diferenças
- Julgamento de valor
- Bom senso, intuição, experiência

©DCA-FEEC-Unicamp

Observação

Este material refere-se às notas de aula do curso EA 044 Planejamento e Análise de Sistemas de Produção da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp. Não substitui o livro texto, as referências recomendadas e nem as aulas expositivas. Este material não pode ser reproduzido sem autorização prévia dos autores. Quando autorizado, seu uso é exclusivo para atividades de ensino e pesquisa em instituições sem fins lucrativos.

©DCA-FEEC-Unicamp