

VALIDAÇÃO DE MODELO

E

VERIFICAÇÃO

Profa. Andrea Cardoso

Habilidade, desempenho e confiabilidade

O conhecimento da habilidade do modelo em representar o processo ou sistema modelado, depende fundamentalmente da aplicação de métodos de validação (baseados em parâmetros e comparação real/modelado, análises das similaridades e diferenças). Mesmo validado o modelo necessita ser continuamente avaliado (verificando o desempenho ao longo do tempo, após o seu desenvolvimento), processo de verificação.

Habilidade, desempenho e confiabilidade

Termos:

- **Acurácia** – se refere a exatidão com a qual o modelo representa o processo e relações do sistema alvo (complemento do erro, p. ex. 95% de acurácia implica em 5% de erro); proximidade entre o modelado e a realidade; eficácia do modelo.
- **Erro** – diferença da realidade, obtido pela comparação do conjunto modelado e observado (realidade); normalmente representa a diferença média entre esses valores.
- **Precisão** – grau de ajuste entre o conjunto modelado e observado, i. e. consistência do resultado do modelo; e pode se referir aos dígitos significativos de uma observação ou saída do modelo.

VALIDAÇÃO

Validação é o processo de determinar o grau em que um modelo é capaz de realizar uma representação precisa do mundo real a partir da perspectiva da avaliação de suas simulações, procurando atingir o melhor ajuste.

- ✓ Os parâmetros obtidos através da validação dependerão dos dados e técnicas utilizados no desenvolvimento do modelo;
- ✓ É um processo fundamental, buscando um melhor ajuste com a realidade, podendo ser repetido até que a precisão seja aceitável;
- ✓ Para validar o modelo é importante testar sua capacidade de determinar processos (ou casos) que não foram considerados em sua calibração (ajuste).

A partir da validação busca-se atingir o melhor ajuste do modelo, permitindo que o mesmo esteja disponível para realizar simulações, experimentos ou estimativas.

VERIFICAÇÃO DE SIMULAÇÕES RECENTES

Mesmo sendo o modelo validado, é importante estabelecer uma avaliação contínua de suas simulações ou estimativas (verificação), de forma a identificar possíveis limitações, que possam exigir um novo processo de validação (p. ex., aumentando a base de dados, incluindo variáveis, alterando as funções e re-calibrando).

- Essa prática é desenvolvida pela verificação do desempenho (ou habilidade) do modelo em simular novos processos (não considerados na calibração e na validação);
- Pode auxiliar no conhecimento da habilidade do modelo para as estimativas (ou simulações) de casos distintos, visto que apesar do modelo descrever a realidade atual de um determinado fenômeno (ou problema), poucos fenômenos apresentam padrões idênticos quando se repetem.

Alguns parâmetros de avaliação

Sendo F o valor modelado e O o valor observado, obtêm-se os seguintes parâmetros:

- **Erro absoluto (EA):** quantifica a amplitude erro do modelo, através da média dos módulos das diferenças (dos erros):

$$EA = \frac{1}{n} \sum |F - O|$$

- **Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM):** quantifica o erro médio da previsão, considerando as diferenças quadráticas (permitindo ressaltar erros extremos):

$$REQM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (F - O)^2}$$

- **Erro Viés ou Bias (VIES):** quantifica o erro sistemático do modelo (se positivo, indica superestimativa, se negativo, subestimava):

$$VIES = \frac{1}{n} \sum (F - O)$$

- **Erro relativo (ER):** quantifica a razão entre o erro absoluto e o valor observado:

$$ER = \frac{1}{n} \sum |F - O| / O$$

- **Erro percentual (EP):** $ER \times 100\%$

Quanto mais próximos de zero forem os valores desses parâmetros, melhor será o desempenho do modelo.

- **Correlação simples (r):** fornece coeficiente de correlação entre o modelado (y_p) e o observado (y_o), para n pares observado-modelado:

$$r_{y_o y_p} = \frac{\left[\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n [(y_{oi} - \overline{y_o})(y_{pi} - \overline{y_p})] \right]}{\left\{ \left[\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (y_{oi} - \overline{y_o})^2 \right]^{1/2} \left[\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (y_{pi} - \overline{y_p})^2 \right]^{1/2} \right\}}$$

se $r = 1$ (-1) as séries tem máxima correlação positiva (negativa) e o modelo tem alto desempenho (péssimo desempenho – estima o oposto), se r tender a 0 a relação é fraca (isto é, o modelo não reproduz as variações). Quanto mais próximo de 1 for r , maior será o desempenho (skill).

Ex.: CORREL é o comando no Excel e Calc

Parâmetros para avaliação por tipos eventos

➤ *Avaliando o desempenho para uma determinada categoria (ocorrência de uma condição ou fenômeno, p. ex.)*

- **Taxa de acerto ou *Hit Rate* (H):** quantifica os acertos. Se a categoria observada é igual a modelada a simulação está correta (hit):

$$H = \text{Acertos} / \text{Obs. sim}$$

se H tender a 1, o modelo é bom simulador de tal condição (alta probabilidade de detecção)

- **Taxa de alarme falso ou *False Alarm Rate* (F):** quantifica os alarmes falsos do modelo.

$$F = \text{Alarmes falsos} / \text{Obs. não}$$

Alta probabilidade de falsa detecção se F tender a 1

- **Acurácia (A):** quantifica as estimativas corretas do modelo para o conjunto de simulação:

$$A = (\text{Acertos} + \text{Negativo correto}) / \text{Total}$$

Alta acurácia A tender a 1, ou seja se H tender 1 e F tender a 0

Tabela de contingência:

		Observado		
		Sim	Não	Total
Modelado (previsto)	Sim	nº Acertos	nº Alarmes falsos	nº Prev. sim
	Não	nº Falhas	nº Negativo correto	nº Prev. não
	Total	nº Obs. sim	nº Obs. não	Total

A2) Prática de verificação de modelos

Avalie e compare o desempenho de modelos considerando um conjunto de dados observados de precipitação mensal (mm/dia) na cidade de São Paulo e as previsões climáticas realizadas com o prazo de um mês de antecedência, geradas por três modelos distintos de circulação geral da atmosfera. Os modelos considerados são: COLA, CCM3 e ECHAM (rodados pelo IRI - International Research Institute for Climate and Society). Os dados constam no arquivo *dados_modelos_precsp.xlsx*.

Para tanto, avalie os modelos no período de 2005 a 2016, através do cálculo dos seguintes parâmetros:

- a) Erro Bias ou VIES;
- b) Erro Absoluto (EA);
- c) Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) ;
- d) Correlação simples entre os conjuntos simulados e observado;
- e) Taxa de acerto, Taxa de alarme falso e Acurácia para somente casos de precipitações observadas menor ou igual a 10 mm.

Gere um arquivo texto, indicando os resultados através de tabelas (valores dos parâmetros calculados, itens a - e) e redija um texto sucinto discutido as diferenças entre os desempenhos dos modelos, destaque o modelo com melhor modelo.

Enviar o PDF pelo Moodle => Prazo 23h do dia 08/10/2026

Referências Bibliográficas:

BARNSLEY, Michael J.; Environmental modeling: a practical introduction. New York: CRC Press, c2007. 406 p.

CARNEIRO, T. G. S. (2009). A Evolução das Idéias na Modelagem e Simulação Ambiental. TerraLAB - Laboratório INPE/UFOP para simulação e modelagem dos sistemas terrestres. Curso do Modelo TerraME.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

JOLLIFFE, IT E DB STEPHENSON, 2003: *Verificação de Previsão. Um Guia do Profissional de Ciências Atmosféricas*. Wiley and Sons, 240 pp.

MELLO, B. A. (2001) Modelagem e Simulação de Sistemas. In: <http://munif.com.br/munif/arquivos/ap-sim.pdf?id=319>. Acesso 2 de maio de 2011.

Richards, K.S. (1990) 'Real' geomorphology, *Earth Surface Processes and Landforms* 15, 195–197 [and discussion in vol. 19, 269f.].

Verificação de Previsão - Problemas, Métodos e FAQ.
http://www.cawcr.gov.au/projects/verification/verif_web_page.html

WILKS, D.S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: an introduction**. San Diego: Academic Press, 1995. 467 p.