

## Trabalho Final da Disciplina: Modelagem Ambiental

Dr. Tiago Garcia de Senna Carneiro  
Departamento de Computacao  
Universidade Federal de Ouro Preto

### 1. Introdução

Neste trabalho, você deverá resolver questões teóricas e práticas. Você buscar responder todas as questões com suas próprias palavras. O referências apresentadas na seção 7 deste texto serão de especial utilidade para este fim. As questões práticas deverão ser resolvidas com o uso da plataforma de modelagem e simulação de nome Vensim. Para fins educativos, este programa pode ser obtido, sem custos, a partir do endereço [www.vensim.com](http://www.vensim.com) na Internet. Todo e qualquer gráfico solicitado como resposta a uma questão deve ser acompanhado do texto que descreve sua análise, geralmente, um único parágrafo.

A respostas as questões teóricas e práticas devem ser entregues, em formato digital, em um único arquivo texto, preferencialmente em formatos .odt ou .doc, dos programas BrOffice.org Writer e Microsoft Word, respectivamente.

**O trabalho deverá ser feito individualmente.**

### 2. Questões teóricas

**QUESTÃO 2.1)** De acordo com a teoria acerca da modelagem e simulação matemático- computacional de processos ambientais, defina os termos:

- a. Modelo
- b. Modelo Dinâmico
- c. Modelo Dinâmico Espacialmente-explícito
- d. Simulação
- e. Calibração

**QUESTÃO 2.2)** O processo de desenvolvimento de modelos ambientais acontece de forma cíclica e incremental. Desta forma, a cada ciclo completado pela equipe de

desenvolvimento, uma versão melhorada do modelo é produzida. Quais são quatro fases nas quais cada ciclo se divide? Que atividades deverão ser executadas em cada uma dessas fases?

**QUESTÃO 2.3)** Com relação aos dados coletados em campo, quais os principais cuidados a serem tomados nas fases de calibração e validação do modelo?

**QUESTÃO 2.4)** São três as principais classes de abordagens utilizadas para o desenvolvimento de modelos ambientais: modelos teóricos (relógios), modelos experimentais (nuvens) e modelos emergentes (formigas).

a) Quais as principais diferenças entre estas três abordagens?

b) Considerando a Teoria de Sistema, a Teoria de Automatos Celulares (AC), a Teoria de Agentes e a Teoria Estatística, como você classificaria a abordagem utilizada por modelos baseados nessas quatro diferentes teorias?

- Modelo Estatístico: [ ] teórico, [ ] experimental ou [ ] emergente
- Modelo Sistêmico: [ ] teórico, [ ] experimental ou [ ] emergente
- Modelo baseado em Agentes: [ ] teórico, [ ] experimental ou [ ] emergente
- Modelo baseado em AC: [ ] teórico, [ ] experimental ou [ ] emergente

**QUESTÃO 2.5)** Segundo a Teoria de Sistemas, defina os termos?

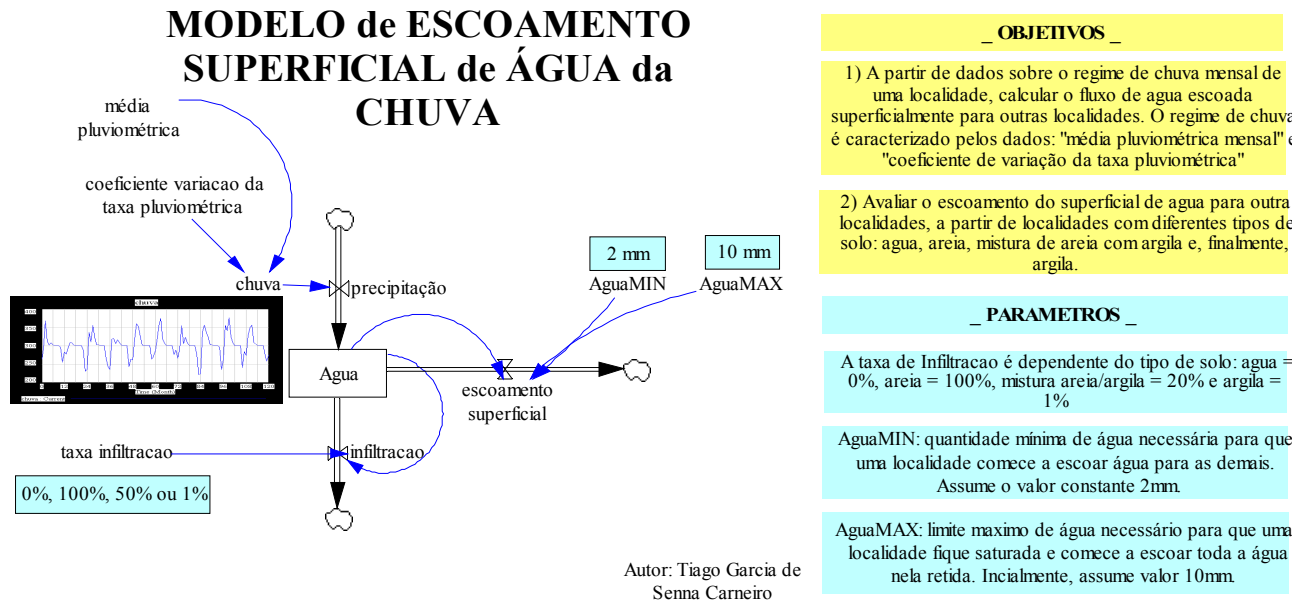
- a) Sistema
- b) Fluxo
- c) Sistema Fechado e Sistema Aberto.
- d) Estado de Equilíbrio.
- e) Retro-alimentação (feedback).
- f) Retro-alimentação Positiva e Retro-alimentação Negativa
- g) Resiliência

**QUESTÃO 2.6)** Utilizando no máximo 150 palavras para cada um dos itens abaixo, descreva o modelo formal subjacente a cada uma das seguintes teorias:

- a) Teoria de Sistemas
- b) Teoria de Autômatos Celulares
- c) Teoria de Agentes

### 3. Questões práticas

**QUESTÃO 3.1)** O modelo hidrológico abaixo mostra como, a partir de dados sobre o regime de chuva de uma localidade, é possível calcular o fluxo de água escoada superficialmente para outras localidades. O regime de chuva é caracterizado pelos dados: "média pluviométrica mensal" e "coeficiente de variação da taxa pluviométrica". Este modelo foi implementado na plataforma Vensim pelo professor e é fornecido em arquivo no formato “..mdl”, junto com este texto.



**Figura 1.** Modelo para escoamento superficial de água para uma localidade de acordo com seu regime de chuvas.

O modelo da Figura 1 assume que o escoamento superficial só terá início quando o limiar mínimo de água retida em uma localidade (“Água”) for ultrapassado, parâmetro “ÁguaMIN = 2 mm”. Antes desse momento o escoamento superficial é nulo. Além disso, uma localidade se torna saturada quando a quantidade de água nela retida (“Água”) ultrapassa um limiar máximo, parâmetro “ÁguaMAX = 10”. A partir desse momento a localidade passa a escoar toda a água nela retida: “escoamento superficial = Água”, como descrito na Equação 1. Como mostra a Tabela 1, a taxa de infiltração, isto é, a taxa na qual o fluxo de água no sentido vertical muda está intimamente relacionado ao tipo do solo de cada localidade.

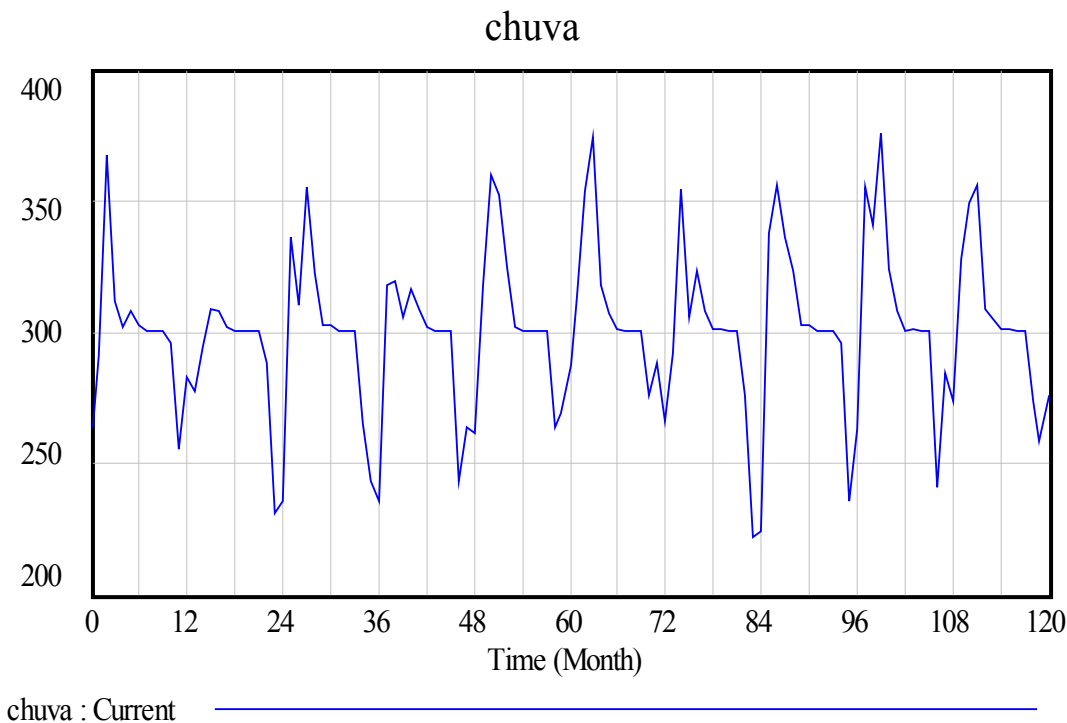
$$escoaSuper = \begin{cases} 0, & \text{se } agua < aguaMIN \\ \frac{aguaMAX \times agua}{aguaMAX - aguaMIN} - \frac{aguaMAX * aguaMIN}{aguaMAX - aguaMIN}, & \text{se } aguaMIN \leq agua \leq AguaMAX \\ agua, & \text{se } agua > aguaMAX \end{cases}$$

**Equação 1.** Cálculo do escoamento superficial em função da quantidade de água no solo.

Tipo de Solo	Taxa de Infiltração
agua	0
areia	100
mistura areia/argila	50
Argila	1

**Tabela 1.** Taxa de infiltração para cada tipo de solo.

A Figura 2 apresentada a variação do regime de chuvas para uma período de 10 anos, para uma localidade onde a média pluviométrica mensal é igual a 300 mm e o coeficiente de variação pluviométrico é igual a 30%. Nos primeiros 4 meses de cada ano acontece a estação chuvosa e nos 4 últimos meses a estação seca. A partir dos parâmetros “média pluviométrica” e “coeficiente de variação pluviométrico”, o leitor pode variar o regime chuvas de uma localidade. Por exemplo, uma “média pluviométrica” alta e um “coeficiente de variação pluviométrico” alto são características típicas de lugares úmidos com muita variação no regime de chuvas ao longo do ano. Por outro lado, uma “média pluviométrica” baixa e um “coeficiente de variação pluviométrico” baixo são características típicas de lugares secos com pouca variação no regime de chuvas.



**Figura 2.** Regime de chuvas gerado como entrada para o modelo de escoamento superficial que acompanha este texto.

**a) Para entender qual o impacto de diferentes regimes de chuva sobre o escoamento superficial, responda:**

a.1- Suponha uma localidade A e uma localidade B onde o solo é uma mistura de areia e argila (taxa de infiltração = 50%), ambas de clima árido, onde a média pluviométrica mensal é igual a 1mm e o coeficiente de variação pluviométrico é igual a 1%. Nestas condições, qual será o estado de equilíbrio do sistema hidrológico? Quando esse estado é atingido? Apresente os gráficos da dinâmica da quantidade de água retida no solo, “Água”, e do “escoamento superficial”.

a.2 – Agora, suponha que mais 10 anos de dados foram coletados e que foi observada uma alteração no regime de chuvas para dessas localidades. Desta vez, a média pluviométrica mensal observada na localidade A foi igual a 5 mm. Na localidade B, a média pluviométrica mensal observada permaneceu inalterada, entretanto, o coeficiente de variação pluviométrico observado subiu para 30%. Nestas condições, qual será o estado de equilíbrio do sistema hidrológico, em cada localidade? Quando esse estado é atingido? Apresente os gráficos da dinâmica da quantidade de água retida no solo, “Água”, e do “escoamento superficial”.

a.3 - Novamente, mais 10 anos de dados foram coletados e foi observada uma nova alteração no regime de chuvas da localidade A. A média pluviométrica mensal observada subiu para 50 mm. Nestas condições, qual é será o estado de equilíbrio do sistema hidrológico para a localidade A? Quando esse estado é atingido? Apresente os gráficos da dinâmica da quantidade de água retida no solo, “Água”, e do “escoamento superficial”.

a.4 – Compare os resultados dos experimentos acima e relate suas conclusões.

**b) Com o objetivo de entender como o tipo de solo de uma localidade influencia a quantidade de água que ela escoar para outras localidades, responda:**

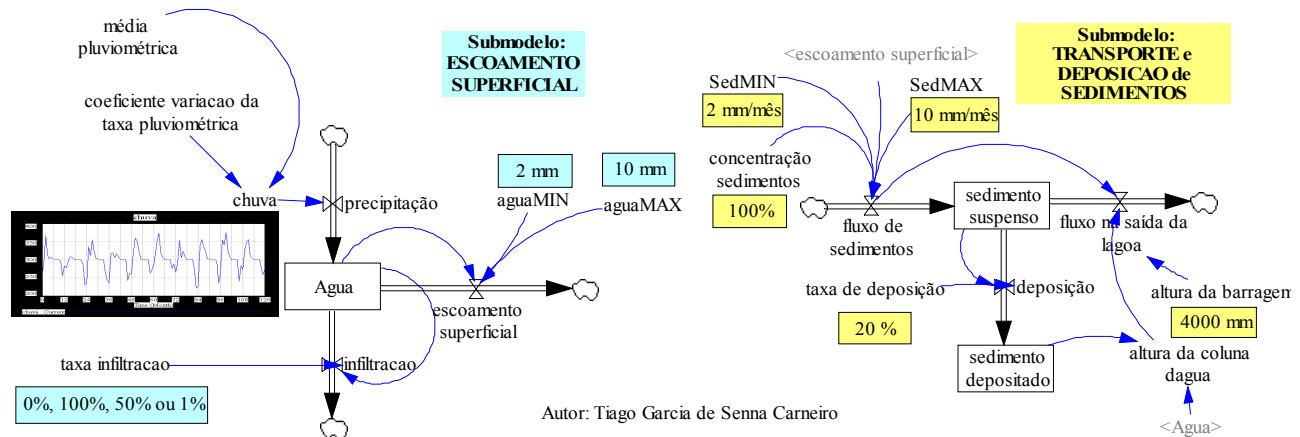
b.1 – Suponha uma localidade de clima seco, onde a média pluviométrica mensal é igual a 1 mm com coeficiente de variação igual a 30%. Para cada tipo de solo (água, areia, mistura areia/argila, argila), apresente os gráficos da dinâmica da quantidade de água retida no solo, “Água”, e do “escoamento superficial”.

b.2 – Suponha outra localidade, agora, de clima úmido, onde a média pluviométrica mensal é igual a 100 com coeficiente de variação igual a 30%. Para cada tipo de solo (água, areia, mistura areia/argila, argila), apresente os gráficos da dinâmica da quantidade de água retida no solo, “Água”, e do “escoamento superficial”.

b.3 – Compare os resultados dos experimentos acima e relate suas conclusões.

**QUESTÃO 3.2)** O modelo hidrológico abaixo permite a análise dos impactos da construção de uma barragem de rejeito em localidades sujeitas a diferentes regimes de chuva. O regime de chuva é caracterizado pelos dados: "média pluviométrica mensal" e "coeficiente de variação da taxa pluviométrica". Este modelo foi implementado na plataforma Vensim pelo professor e é fornecido em arquivo no formato “.mdl”, junto com este texto.

## MODELO para CARREAMENTO e DEPOSICAO de SEDIMENTOS em BARRAGENS DE REJEITO



**Figura 3.** Modelo para simular os impactos da construção de uma barragem de rejeito em localidades com diferentes regimes de chuva.

**a) Para entender qual o impacto de diferentes regimes de chuva sobre o escoamento superficial, responda:**

a.1 – Suponha uma localidade de clima seco cujo solo é uma mistura de areia com argila (taxa de infiltração = 50%), e onde a média pluviométrica mensal é igual a 1 mm com coeficiente de variação igual a 30%. Apresente os gráficos da dinâmica do “fluxo de escoamento”, do “fluxo na saída da lagoa”, do “sedimento em suspensão” e do “sedimento depositado”.

a.2 – Suponha uma localidade de clima temperado cujo solo é uma mistura de areia com argila (taxa de infiltração = 50%), e onde a média pluviométrica mensal é igual a 10 mm com coeficiente de variação igual a 10%. Apresente os gráficos da dinâmica do “fluxo de escoamento”, do “fluxo na saída da lagoa”, do “sedimento em suspensão” e do “sedimento depositado”.

a.3 – Suponha uma localidade de clima úmido cujo solo é uma mistura de areia com argila (taxa de infiltração = 50%), e onde a média pluviométrica mensal é igual a 100 mm com coeficiente de variação igual a 10%. Apresente os gráficos da dinâmica do “fluxo de escoamento”, do “fluxo na saída da lagoa”, do “sedimento em suspensão” e do “sedimento depositado”.

a.4 – Compare os resultados dos experimentos acima e relate suas conclusões.

## 4.Data de entrega do trabalho

A data limite para entrega do trabalho será 05/09/2009 (sexta-feira)

## 5. Referências

Wainwright, J., Mulligan, M. (2004). Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity, John Wiley and Sons Ltd.

Odum, H. T., Odum, E.C. (2000).”Modeling for all Scales: A Introduction to System Simulation, Academic Press, Inc.

Carneiro, T., Câmara, G., Monteiro, M. A.. [Neted-CA: um fundamento para a modelagem de uso e cobertura do solo em multiplas escalas](#). Tese de doutorado em Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2006.

Tutoriais e Apresentações disponiveis em :  
<http://www.terralab.ufop.br/dokuwiki/doku.php?id=terralab:curso:model:material>.