



# SME0333 – Computação numérica e simulações para Engenharia Ambiental I

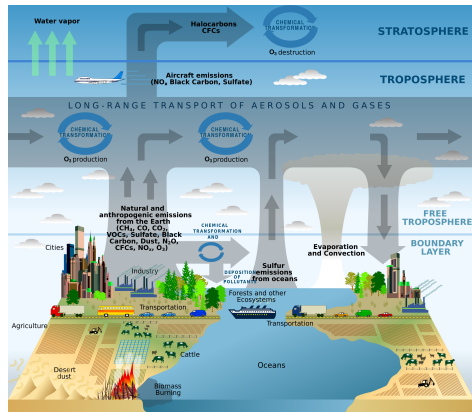
**Livia S. Freire**

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC/USP)  
Depto de Matemática Aplicada e Estatística (SME)

14 de março de 2024

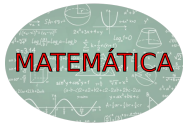
“O engenheiro ambiental deverá ser capaz de **compreender** a dinâmica dos processos ambientais, reconhecer os agentes envolvidos e os riscos existentes, analisar as intervenções humanas e **planejar** as interferências adequadas.”

Projeto pedagógico do curso



By Philippe Rekaewicz

**problemas complexos → ferramentas diversificadas**



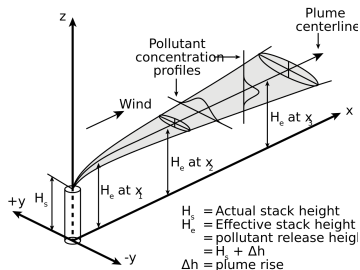
# Exemplos práticos: Dispersão de poluentes

MATEMÁTICA

ESTATÍSTICA

COMPUTAÇÃO

- ▶  $Q$  → taxa de emissão  
 $U$  → velocidade horizontal média  
 $H$  → altura da emissão
- ▶  $\sigma_y, \sigma_z$  → desvio padrão da distribuição



$$C(x, y, z, t) = \frac{Q}{U} \frac{\exp[-y^2/(2\sigma_y^2)]}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \frac{\exp[-(z - H)^2/(2\sigma_z^2)]}{\sigma_z \sqrt{2\pi}}$$

AERMOD

# Exemplos práticos: Dinâmica de populações

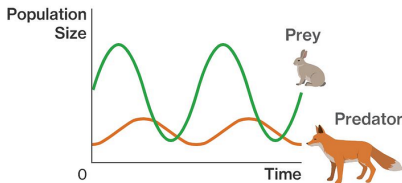
MATEMÁTICA

ESTATÍSTICA

COMPUTAÇÃO

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x - \beta xy$$
$$\frac{dy}{dt} = \delta xy - \gamma y$$

- ▶  $\alpha$  → taxa de crescimento da presa  $x$  *per capita*
- ▶  $\gamma$  → taxa de óbito do predador  $y$  *per capita*
- ▶  $\beta$  → efeito do predador  $y$  na taxa de crescimento da presa  $x$
- ▶  $\delta$  → efeito da presa  $x$  na taxa de crescimento do predador  $y$



# Exemplos práticos: Modelos hidrológicos

MATEMÁTICA

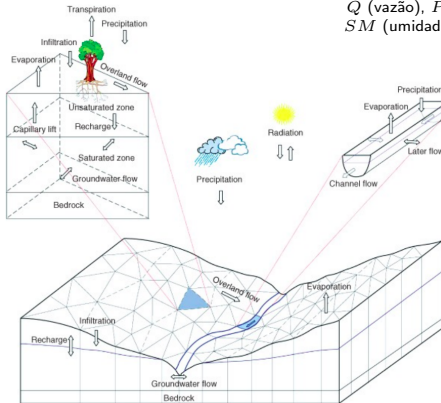
ESTATÍSTICA

COMPUTAÇÃO

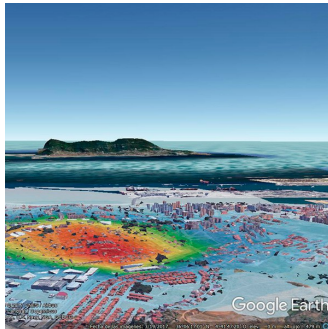
$$Q = P - ET - \Delta SM - \Delta GW$$

$$\frac{dS}{dt} = P - ET - Q \pm GW$$

$Q$  (vazão),  $P$  (precip.),  $ET$  (evapotranspiração)  
 $SM$  (umidade do solo),  $GW$  (água subterrânea)  
 $S$  (volume reservatório)

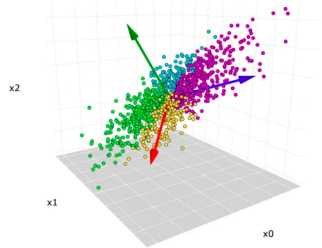


- ▶ *softwares* vs. teoria
- ▶ *software*: eq. algébricas e diferenciais, sist. lineares e não-lineares
- ▶ o que está por trás do *softwares*: aproximações, parâmetros, etc.



# Análise de dados: **monitoramento**

- ▶ Estatística descritiva (média, dispersão, etc.)
- ▶ Qualidade dos dados (dados faltantes, outliers, etc.)
- ▶ Visualização dos dados
- ▶ Regressão linear e não-linear
- ▶ Redução de dimensionalidade
- ▶ Agrupamento
- ▶ etc.





# Alguns exemplos reais: redução de pontos de monitoramento

## Qualidade da água de uma mineradora na região Amazônica

- ▶  $m$  variáveis em  $n$  pontos de coleta durante  $x$  anos
- ▶ organização, agrupamento
- ▶ redução de dimensionalidade



# Alguns exemplos reais: curva-chave (relação cota-vazão)

## Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA): HidroWEB

<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/download>



📄 Apresentação

🕒 Séries Históricas

📍 Mapa

⬇️ Downloads

🗨️ Fale Conosco

☰ HIDROWEB v3.2.7

👤 Acesso Restrito

O Portal HidroWeb é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos. Trata-se de uma importante ferramenta para a sociedade e instituições públicas e privadas, pois os dados coletados pelas estações hidrometeorológicas são imprescindíveis para a gestão dos recursos hídricos e diversos setores econômicos, como geração de energia, irrigação, navegação e indústria, além do projeto, manutenção e operação de infraestrutura hidráulica de pequeno e grande porte, como barragens, drenagem pluvial urbana e mesmo bueiros e telhados. Os dados disponíveis no **Portal HidroWeb** se referem à coleta convencional de dados hidrometeorológicos, ou seja, registros diários feitos pelos observadores e medições feitas em campo pelos técnicos em hidrologia e engenheiros hidrólogos.

Por meio dessas informações, pode-se, ainda, acompanhar a ocorrência de eventos hidrológicos considerados críticos, inundações e secas, e se planejar medidas de mitigação dos impactos decorrente desses eventos. Dados em tempo real são disponibilizados no **Portal Hidrotelemetria** - <http://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria>. Mais que acompanhar esses fenômenos, o conjunto de dados até hoje coletados no âmbito da RHN também permite, em diversos casos, a simulação dos eventos e seus resultados sobre as bacias hidrográficas e a sua previsão.

O Portal ainda publica dados coletados pelos Estados que aderiram ao Programa coordenado pela ANA denominado Qualiáguas, que fomenta o monitoramento da qualidade da água.

### Rede Hidrometeorológica Nacional

A Agência Nacional de Águas (ANA) é responsável pela coordenação da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), um sistema que hoje abriga 4.641\* pontos de monitoramento no país divididos em estações que monitoram parâmetros relacionados aos rios (1.874), como níveis, vazões, qualidade da água e transporte de sedimentos, e outros que monitoram principalmente as chuvas (2.767).

As estações hidrometeorológicas são operadas por entidades parceiras ou contratadas pela ANA, que é a responsável pelo planejamento, normatização de procedimentos e equipamentos, fiscalização, organização dos dados hidrometeorológicos e sua publicação. Atualmente, são responsáveis pela operação da Rede o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI/SC), o Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE/SP), o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM/MG), o Instituto das Águas do Paraná (AGUASPARANÁ) e as empresas contratadas COHIDRO, CONSTRUFAM e UFC.

Além das estações sob responsabilidade da ANA, também são integrantes da Rede as estações mantidas pelos Estados no âmbito dos programas de implantação e operação das Salas de Situação Estaduais e do fomento ao monitoramento da qualidade da água (Qualiáguas).

O monitoramento das águas no Brasil remonta ao século 19, havendo registros de estações na base da ANA desde o ano de 1855 (estação pluviométrica Morro Velho, em Minas Gerais). Entre 1900 e 1920, o governo federal incorpora o monitoramento como serviço público federal e cria instituições para abrigá-lo. Desde então, a Rede foi coordenada por entidades ligadas ao setor elétrico, passando à responsabilidade da ANA em 2000, pela Lei Federal nº 9.984/2000.



# Alguns exemplos reais: curva-chave (relação cota-vazão)

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA): HidroWEB

<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/download>



☐ Apresentação

🕒 Séries Históricas

🗺️ Mapa

⬇️ Downloads

🗨️ Fale Conosco

HIDROWEB v3.2.7

Rede Hidrometeorológica Nacional - RHN

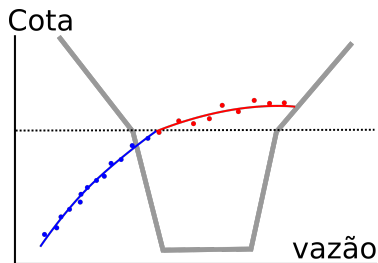
Encontre endereço ou local

(1 of 5)

**URUARÁ**

Código: 18250000  
Nome: URUARÁ  
Visualizar Dados no HidroWeb: [Mais Info](#)  
Visualizar Dados no HidroTelemetria: [Mais Info](#)  
Responsável: Agência Nacional de Águas  
Responsável Sigla: ANA  
Operadora: VLF Serviços  
Operadora Sigla: VLF  
Operadora Unidade: FA  
Notas: 4  
Tipo: Fluvimétrico  
Operando: Sim  
Área de Drenagem: 2960,000000  
Bacia: RIO AMAZONAS  
Sub-Bacia: RIO  
[Zoom In](#)

## Alguns exemplos reais: curva-chave (relação cota-vazão)



$$Q = A(H - H_0)^N$$

- ▶  $Q$  (vazão, [m<sup>3</sup>/s])
- ▶  $H$  (cota, [m])
- ▶  $A, N, H_0$  (constantes de ajuste)

## Cadastro das Estações Telemétricas

Filtrar por:  Listas  Pesquisa  Setor Elétrico

<b>Estados:</b> 0 -> Todos AM	<b>Origens:</b> 0 -> Todas 1 - Inpa/Siam/Desar 4 - Cota Online 5 - RHN 7 - Apudis Semiárido	<b>Bacias:</b> 0 -> Todas 1 - RIO AMAZONAS	<b>Sub-bacias:</b> 0 -> Todas 10 - RIO SOLIMÕES_JAVARI_ITACL	<b>Estações:</b> 5 - 10100000 - TABATINGA 6 - 10100000 - TABATINGA 7 - 10100000 - TABATINGA 1 - 10200000 - PALMEIRAS DO JAVARI 5 - 10200000 - PALMEIRAS DO JAVARI 5 - 10500000 - ESTIRAO DO REPOUSO 5 - 10910000 - LADARIO - JUSANTE
-------------------------------------	--	--	--	---

Pesquisar Por:  
 Estação  Município  Rio

Status da Estação  
 Ativo  Manutenção  Desativada

Total de registros encontrados: 7.



### - Inventário da Estação

<b>Cód. Estação:</b>	10100000	<b>Nome Estação:</b>	TABATINGA
<b>Cód. Sub-bacia:</b>	10	<b>Nome Rio:</b>	RIO SOLIMÕES-AMAZONAS
<b>Sigla Estado:</b>	AM	<b>Nome Município:</b>	TABATINGA
<b>Sigla - Nome Resp.:</b>	ANA - Agência Nacional de Águas	<b>Sigla - Nome Oper.:</b>	CPRH/AM
<b>Latitude:</b>	-4,2347	<b>Longitude:</b>	-69,9447
<b>Altitude (m):</b>	78	<b>Área Drenagem (km2):</b>	874000
<b>Telemetria - Início:</b>	01/08/2000 00:00:00	<b>Última atualização:</b>	08/09/2023 00:00:00

### - Detalhamento da PCD

<b>Id. Estação (Telemetria):</b>	41469560	<b>Nome Origem:</b>	CotaOnline
<b>Desc. Status:</b>	Ativo	<b>Id. Transmissão:</b>	4600
<b>Tipo Estação:</b>	H	<b>Tipo Coleta:</b>	T
<b>Cód. Flu:</b>	469001	<b>Cód. Flu:</b>	10100000
<b>Intervalo TX:</b>	720	<b>Intervalo Coleta:</b>	720
<b>Contador de Chuva:</b>	4095	<b>Última transmissão:</b>	30/11/2020 17:00:00
<b>Descrição (Telemetria):</b>	TELEMÉTRICA - VAISALA_GOES PCD_RESP_ANA RHR2018		

### + Histórico da estação

- Detalhamento da Res. Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010

### + Filtros da estação

### + Sensores da estação

### + Alertas da estação

### + Permanências da estação

### - Curvas de Descarga

Estação	Nível de construção	Validade Início	Validade fim	Cota mínima (cm)	Cota máxima (cm)	Numero da curva	Tipo da curva	Tipo de equação	Coef. A	Coef. B(m)	Coef. N
10100000	2	01/01/1995	25/06/2012	-90	1119	01/02	1	1	670	-6,72	1,5
10100000	2	01/01/1995	25/06/2012	1119	1400	02/02	1	1	353,4659	-7,39	1,7
10100000	2	26/06/2012	31/12/2021	60	1400	01/	1	1	1009,1677	-6,16	1,397
10100000	1	01/01/2022	31/12/2023	-50	1400	01/01	1	1	1009,1677	-6,16	1,397

### + Equipamento Telemétrico

### + Informações Adicionais

### + Parâmetros para Rio Seco e Rio Cortado

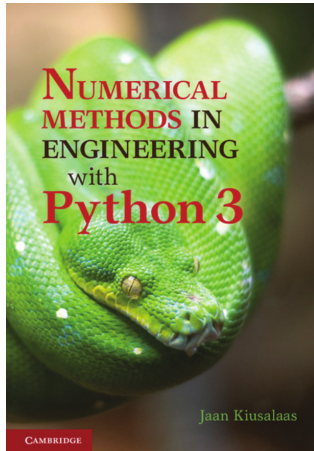
## Disciplina: quintas, 16:20h-18h

1. **Introdução**
2. Representação de números no computador, erros numéricos
3. Operações básicas, algoritmo
4. Vetores e matrizes
5. Estruturas condicionais e de repetição
6. Funções e subrotinas
7. Arquivos
8. Gráficos

revisão de programação, **NumPy**, aplicações em Eng. Ambiental

Disciplina: quintas, 16:20h-18h

NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING WITH PYTHON 3  
Jaan Kiusalaas, Cambridge University Press, 2013



Disciplina: quintas, 16:20h-18h

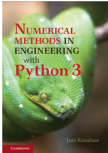
## NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING WITH PYTHON 3

Jaán Kiusalaas, Cambridge University Press, 2013

Numerical Methods in Engineering with Python 3

Search in this book

Search within full text



**Access** Cited by **33**

3rd edition  
[Jaán Kiusalaas, Pennsylvania State University](#)

---

**Publisher:** Cambridge University Press  
**Online publication date:** June 2014  
**Print publication year:** 2013  
**Online ISBN:** 9781139523899  
**DOI:** <https://doi.org/10.1017/CBO9781139523899>

---

**Subjects:** Mathematics, Engineering, Engineering Mathematics and Programming, Numerical Analysis and Computational Science

[Export citation](#)

[Buy a print copy](#)

[Information](#) [Contents](#) [Metrics](#)



# Disciplina: quintas, 16:20h-18h

- ▶ **E-disciplinas (moodle)**
- ▶ **comunicação por email**

The screenshot shows the Moodle interface for a course. The top navigation bar includes the USP logo, the course title 'DISCIPLINAS Apoio às Disciplinas', and user information for 'Luiza Souza Freire Grion'. The course title is 'SME0333 - Computação numérica e simulações para Engenharia Ambiental I (2024)'. The breadcrumb trail is 'Início / Meus Ambientes / 2024 / ICMC / SME / SME0333-101-2024'. The left sidebar contains 'Administração' and 'Navegação' menus. The main content area shows a 'Geral' section with a 'Contrair tudo' button, an 'Avisos' notification, and a 'Link para livro da disciplina' with a download button. Below this is a table of contents with chapters 1 through 6.

USP **DISCIPLINAS**  
Apoio às Disciplinas

Disciplinas >> Suporte >> Português - Brasil (pt\_br) >>

SME0333 - Computação numérica e simulações para Engenharia Ambiental I (2024)

Início / Meus Ambientes / 2024 / ICMC / SME / SME0333-101-2024

Administração

- Administração do ambiente
  - Configurações
  - Conclusão de curso
  - Usuários
  - Filtros
  - Seletores
  - Configuração das Notas
  - Resultado da aprendizagem
  - Emblemas
  - Importar
  - Backup
  - Restaurar
  - Download center
  - Banco de questões
  - Kit de ferramentas de acessibilidade
  - Certificados

Navegação

Ativar edição

Contrair tudo

Avisos

Link para livro da disciplina

Disponível para download pela USP

- 1 - Introdução
- 2 - Representação de números no computador, erros numéricos
- 3 - Operações básicas, algoritmo
- 4 - Vetores e matrizes
- 5 - Estruturas condicionais e de repetição
- 6 - Funções e subrotinas

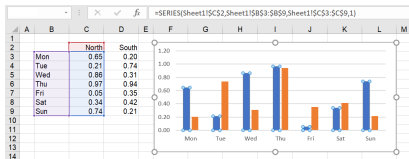
## Disciplina: quintas, 16:20h-18h

- ▶ Presença mínima: 70% (regra da USP)
- ▶ Avaliação: média dos trabalhos (~ um por aula)

Dúvidas?

# Computação

## planilhas (exemplo: excel)



© 2013 Microsoft. All rights reserved.

- ▶ variáveis vs. linhas/colunas
- ▶ etapas de execução
- ▶ tarefas repetitivas
- ▶ integridade dos dados
- ▶ quantidade de dados
- ▶ versões (compartilhamento)
- ▶ contas complexas

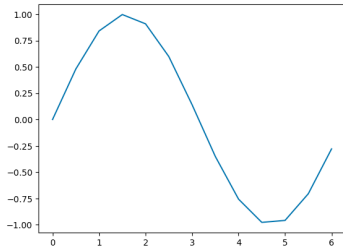
## programação (exemplo: python)

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import math
```

```
x = np.arange(0, math.pi*2, 0.5)
y = np.sin(x)
plt.plot(x,y)
```

```
x
```

```
array([0. , 0.5, 1. , 1.5, 2. , 2.5, 3. , 3.5, 4. , 4.5, 5. , 5.5, 6. ])
```



# Linguagens de Programação

- ▶ Básicas (baixo nível, compiladas, mais rápidas, códigos complexos)



**Fortran** (FORmula TRANslation): métodos numéricos



**C, C++**: geral (sist. operacionais, softwares, interface...)

# Linguagens de Programação

- ▶ Básicas (baixo nível, compiladas, mais rápidas, códigos complexos)



**Fortran** (FORmula TRANslation): métodos numéricos



**C, C++**: geral (sist. operacionais, softwares, interface...)

- ▶ Especializada (alto nível, interpretadas, mais lentas, códigos simples)



**Python**,  **Julia**: geral



**R**: estatística,  **Wolfram Mathematica**: matemática



**Matlab** (MATrix LABoratory): álgebra linear

# Programação simbólica

FROM THE MAKERS OF WOLFRAM LANGUAGE AND MATHEMATICA

# WolframAlpha

d cos(x) / dx



NATURAL LANGUAGE



MATH INPUT



EXTENDED KEYBOARD



EXAMPLES



UPLOAD



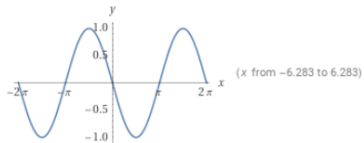
RANDOM

Derivative

Step-by-step solution

$$\frac{d}{dx}(\cos(x)) = -\sin(x)$$

Plots



# Programação “normal”: números (Python)

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import math
```

```
x = np.arange(0, math.pi*2, 0.5)
y = np.sin(x)
plt.plot(x,y)
```

```
x
```

```
array([0. , 0.5, 1. , 1.5, 2. , 2.5, 3. , 3.5, 4. , 4.5, 5. , 5.5, 6. ])
```

