



PHD 2307 – Hidrologia Aplicada

Modelo ABC6

Análise de Bacias Complexas

Prof. Dr. Kamel Zahed Filho

Eng. Cristiano de Pádua Milagres Oliveira

2009

Modelos

- ✧ São representações da realidade.
- ✧ Procuram simplificar os processos reais
- ✧ Utilizados para análises de cenários
- ✧ Modelos hidrológicos: representam total ou parcialmente o ciclo hidrológico.

Classificação dos Modelos

✧ Modelos Físicos

(ex. Modelos reduzidos de obras hidráulicas)

✧ Modelos Analógicos

(ex. Circuitos elétricos para representar um fenômeno hidráulico ou hidrológico)

✧ Modelos Matemáticos

(ex. Equações de transformação do ciclo hidrológico, modelos de operação de reservatórios, modelos de qualidade da água em rios e reservatórios).

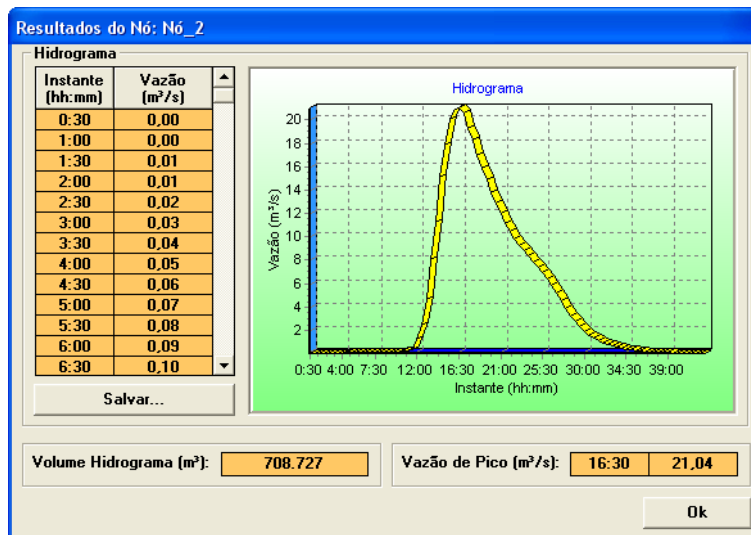
Classificação dos Modelos Matemáticos de Simulação Hidrológica

- ✦ Eventos x Contínuos
- ✦ Agregados x Distribuídos
- ✦ Empírico x Conceitual
- ✦ Determinístico x Estocástico
- ✦ Parâmetros Medidos x Parâmetros Ajustados
- ✦ Simulação x Otimização
- ✦ Quantidade x Qualidade

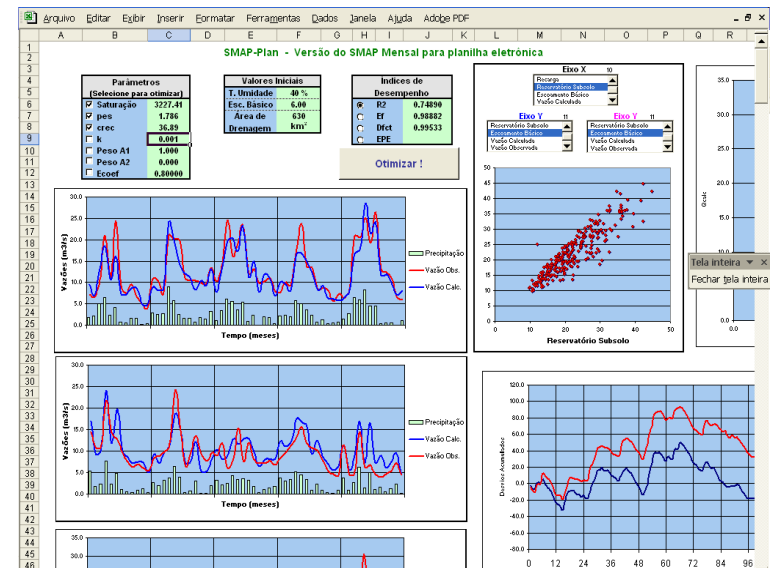
Classificação dos Modelos Matemáticos de Simulação Hidrológica

•Eventos x Contínuos

Eventos – Simulam algumas partes do ciclo hidrológico (ex. ABC6)



Contínuos - Simulam o ciclo hidrológico completo (ex. SMAP)



Classificação dos Modelos Matemáticos de Simulação Hidrológica

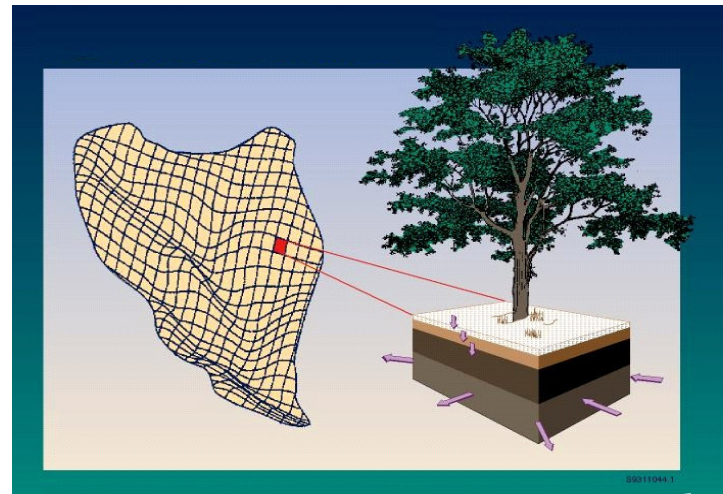
Agregados x Distribuídos

✧ Agregados

Consideram a bacia hidrográfica como um único elemento

✧ Distribuídos

A bacia hidrográfica é subdividida em elementos menores (ex. quadrículas)



Classificação dos Modelos Matemáticos de Simulação Hidrológica

✧ Empírico x Conceitual

✧ Empírico

✧ As equações de transformação de estados são empíricas.

✧ (ex. Transformação chuva-vazão pelo método do HU sintético de Snyder).

✧ Conceitual

✧ As equações de transformação de estados são conceituais.

✧ (ex. Modelos baseados em equações de hidráulica – amortecimento em canais pelo método hidrodinâmico – equações da continuidade e da quantidade de movimento)

Classificação dos Modelos Matemáticos de Simulação Hidrológica

✧ **Determinístico x Estocástico**

✧ **Determinístico**

✧ A série simulada é uma sequência de dados históricos.

✧ (ex. SMAP)

✧ **Estocástico**

✧ A série simulada pode ser gerada sinteticamente.

✧ (ex. GESS)

Classificação dos Modelos Matemáticos de Simulação Hidrológica

✧ **Parâmetros Medidos x Parâmetros Ajustados**

✧ **Parâmetros Medidos**

✧ Simulação feita com base em calibrações, a partir de dados observados.

✧ (ex. SMAP – coeficientes de depleção do hidrograma de escoamento básico)

✧ **Parâmetros Ajustados**

✧ Chamados de modelos sintéticos. Os parâmetros são obtidos em função de características físicas das bacias, com base em estudos anteriores).

✧ (ex. ABC6- coeficientes do HU do SCS)

Classificação dos Modelos Matemáticos de Simulação Hidrológica

✧ **Simulação x Otimização**

✧ **Simulação**

- ✧ A escolha dos parâmetros é feita por tentativa e erro.
- ✧ (ex. SMAP)

✧ **Otimização**

- ✧ A escolha dos parâmetros é auxiliada por um algoritmo de pesquisa operacional.
- ✧ (ex. SMAP com SOLVER – programação linear).

Classificação dos Modelos Matemáticos de Simulação Hidrológica

✧ Quantidade x Qualidade

✧ Quantidade

- ✧ A simulação resulta em análises de transformações de volume ou vazões das parcelas do ciclo hidrológico.

✧ (ex. SMAP)

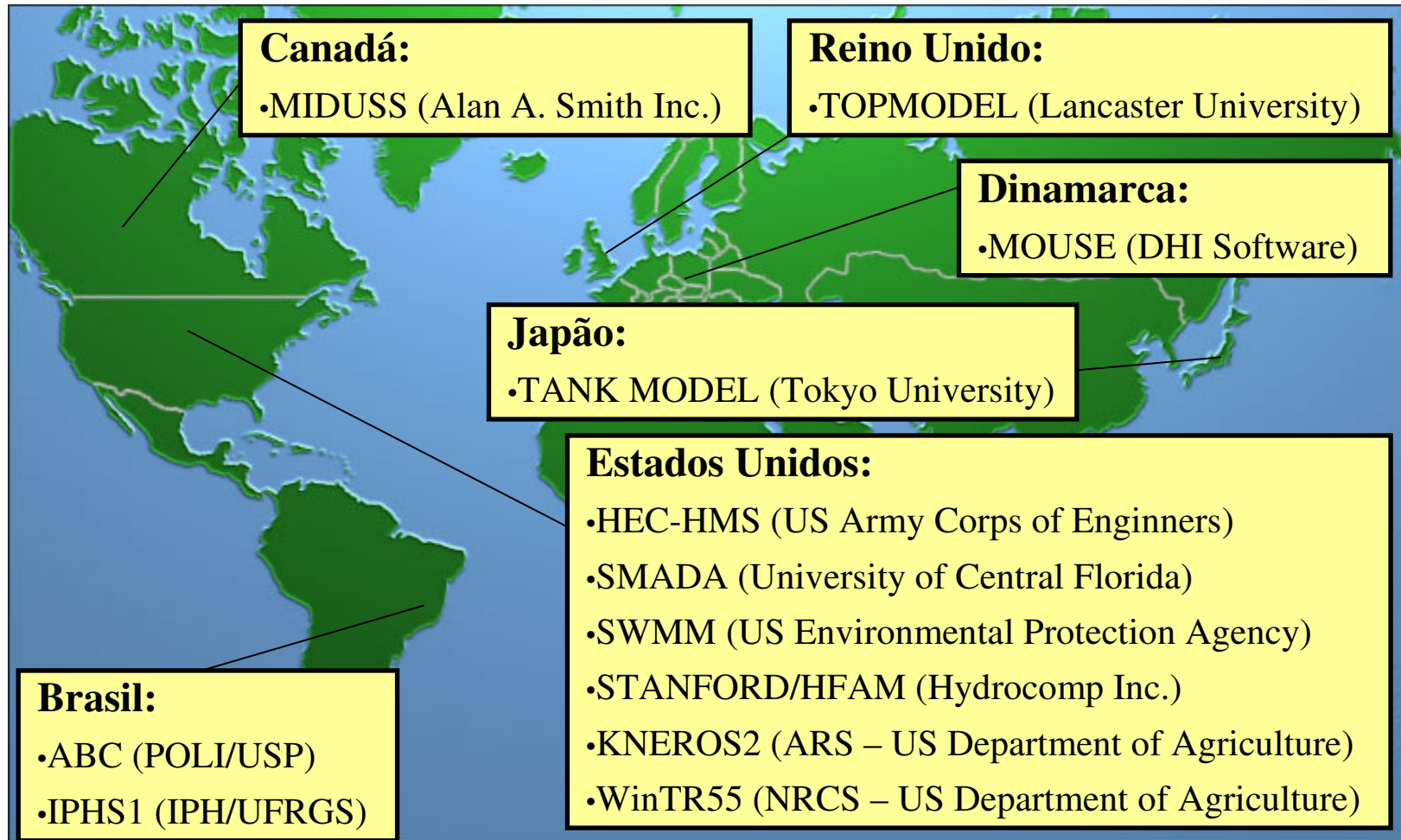
✧ Qualidade

- ✧ Analisa as variações de volumes e de qualidade da água ao longo do tempo e do espaço).

✧ (ex. QUAL2E – qualidade de água em rios).



Mapas de Alguns Modelos de Simulação Hidrológica





Finalidade do Modelo ABC6

Análise de Bacias Complexas

Modelo de Evento de Cheias

- ✦ Agregar um conjunto de modelos de transformação chuva-vazão.
- ✦ Criar um Banco de dados de equações IDF (Intensidade-Duração-Frequência).
- ✦ Auxiliar na obtenção de parâmetros não conhecidos através de equações e dicas.
- ✦ Automatizar o cálculo da simulação hidrológica, uma vez que este processo se torna muito trabalhoso com o aumento do número de bacias.
- ✦ Auxiliar no ensino da hidrologia, levando a prática de projeto aos alunos.

Histórico do Modelo ABC

✧ ABCx (1985): Versões Preliminares

✧ ABC4 (1990): Versão DOS

- Bacia única.

✧ ABC5 (1996): Versão Windows

- Bacias múltiplas.

✧ ABC6 (2000): Versão Windows ActiveX

- Bacias múltiplas.

Usuários do Modelo ABC6

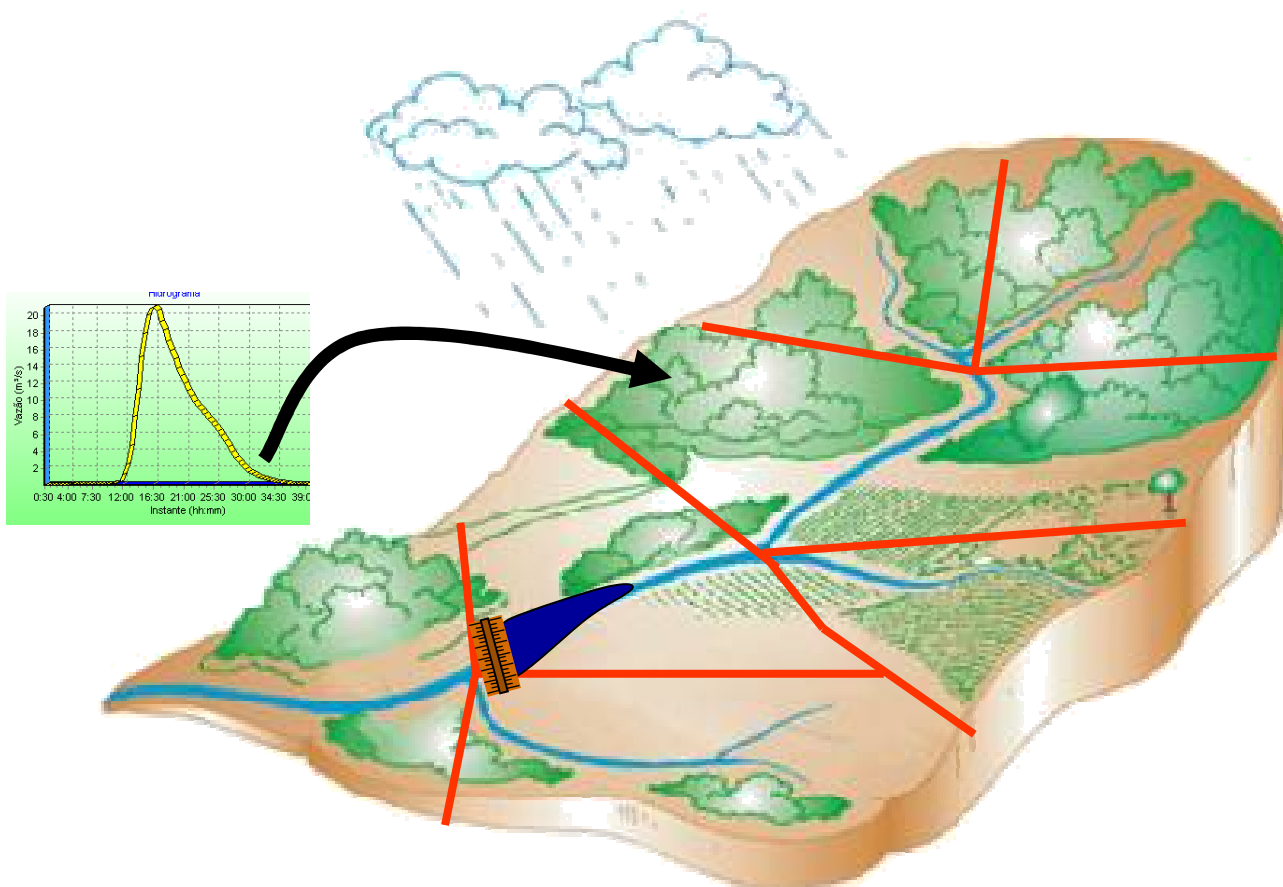
- ✦ Consultorias
- ✦ Empresas Públicas e Privadas
- ✦ Instituições de Pesquisa
- ✦ Alunos de Graduação e Pós-Graduação
- ✦ Trabalhos, Dissertações e Teses

Bacia Hidrográfica

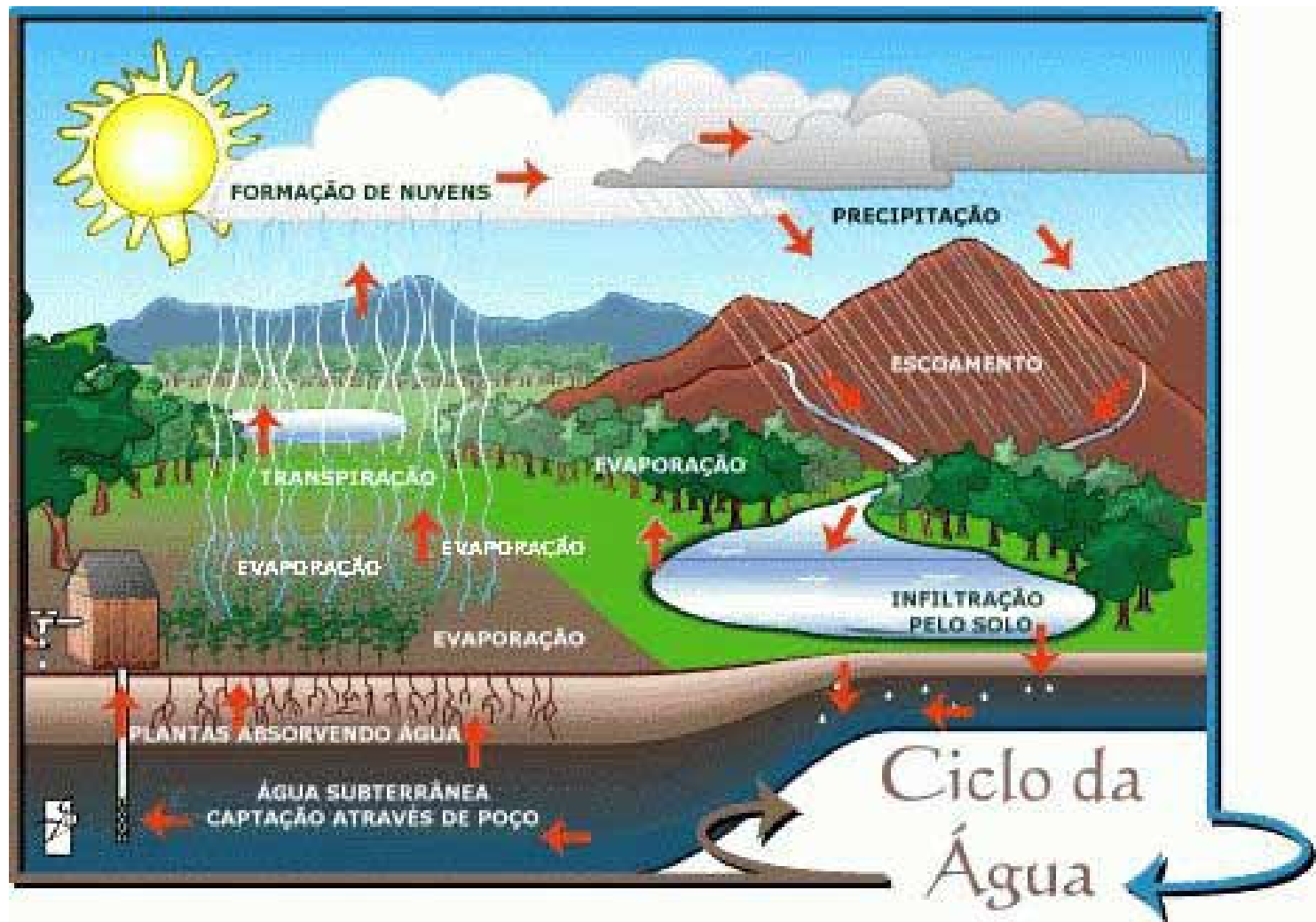


Bacias Complexas

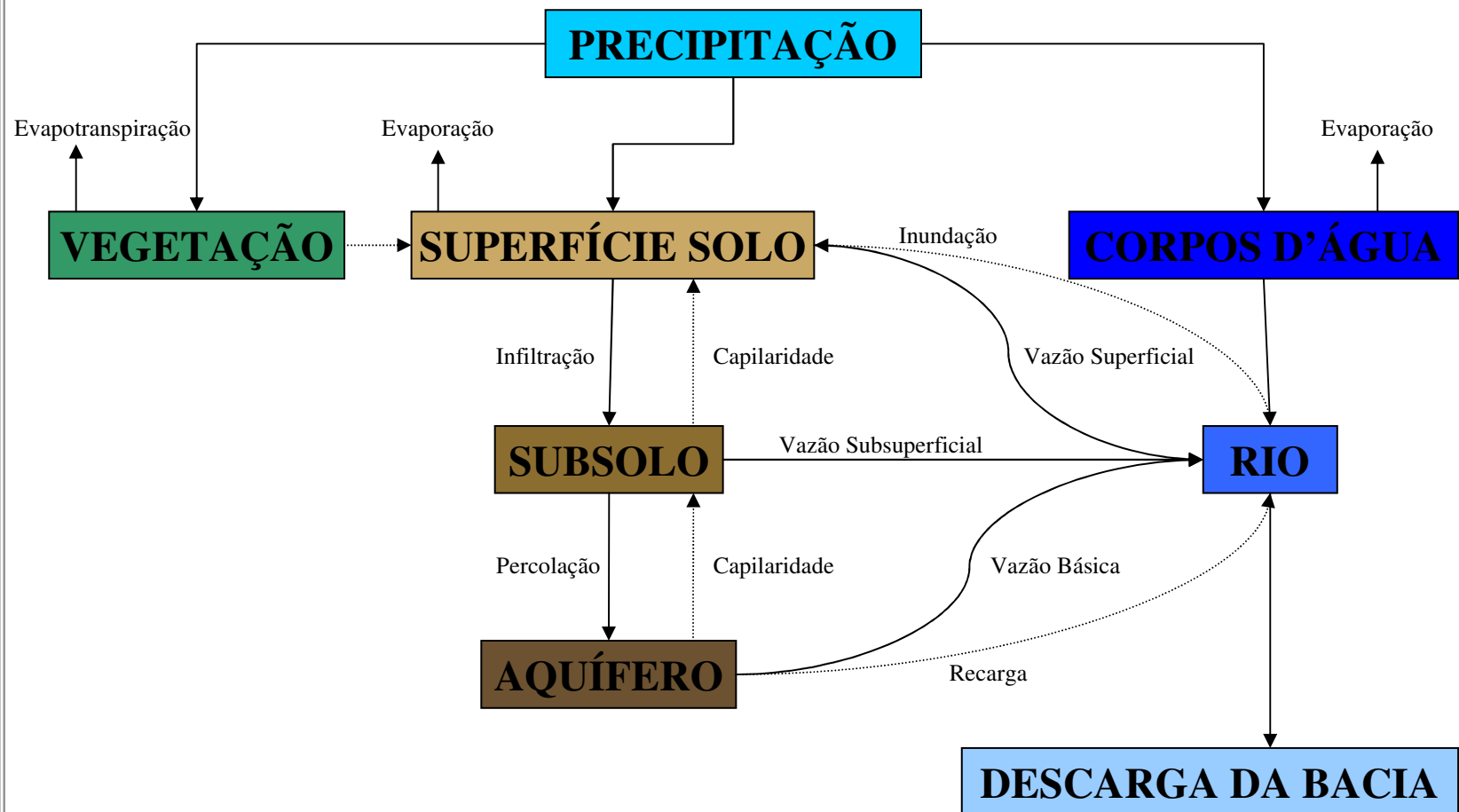
- *Presença de Barragens*
Transferências entre bacias



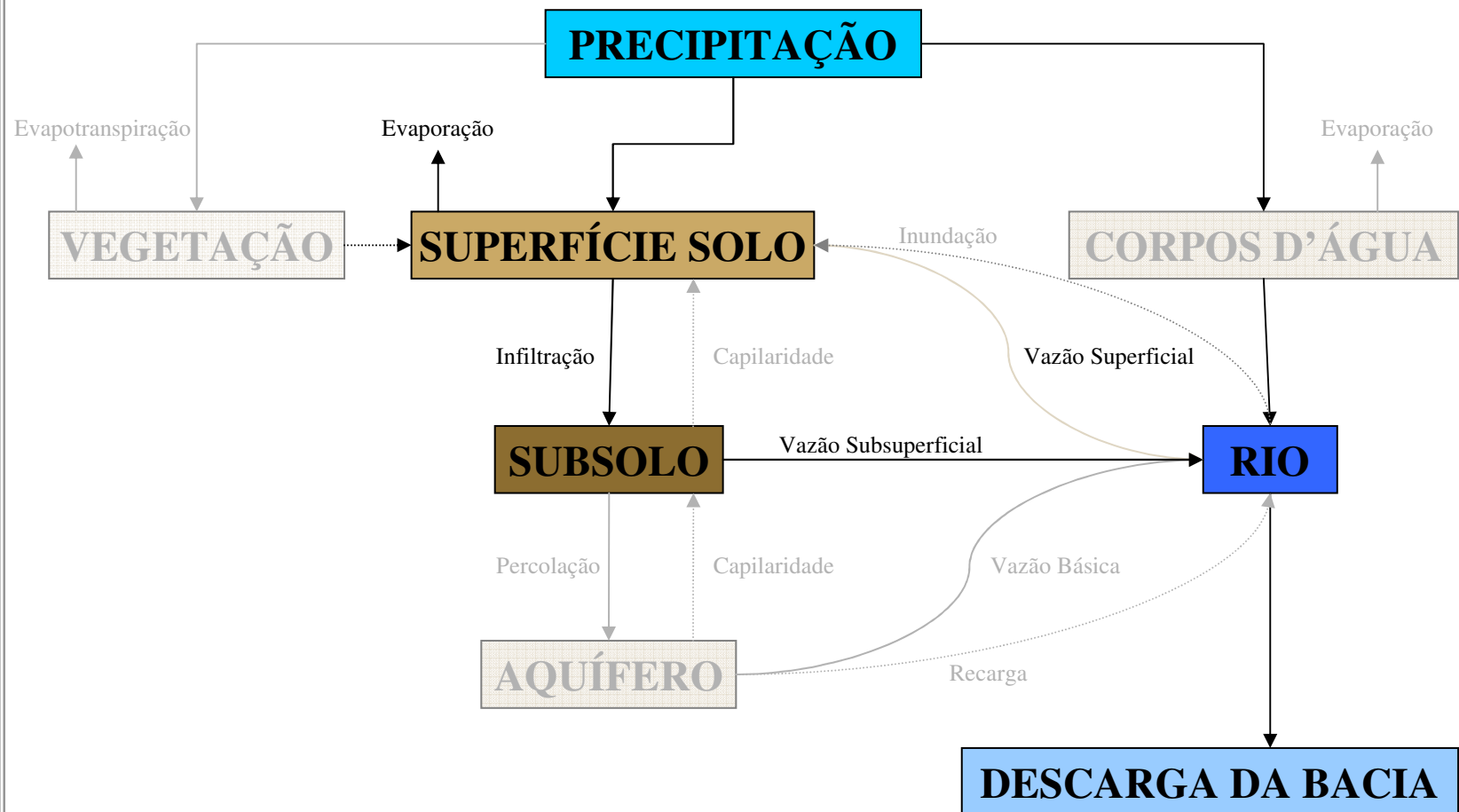
Ciclo Hidrológico



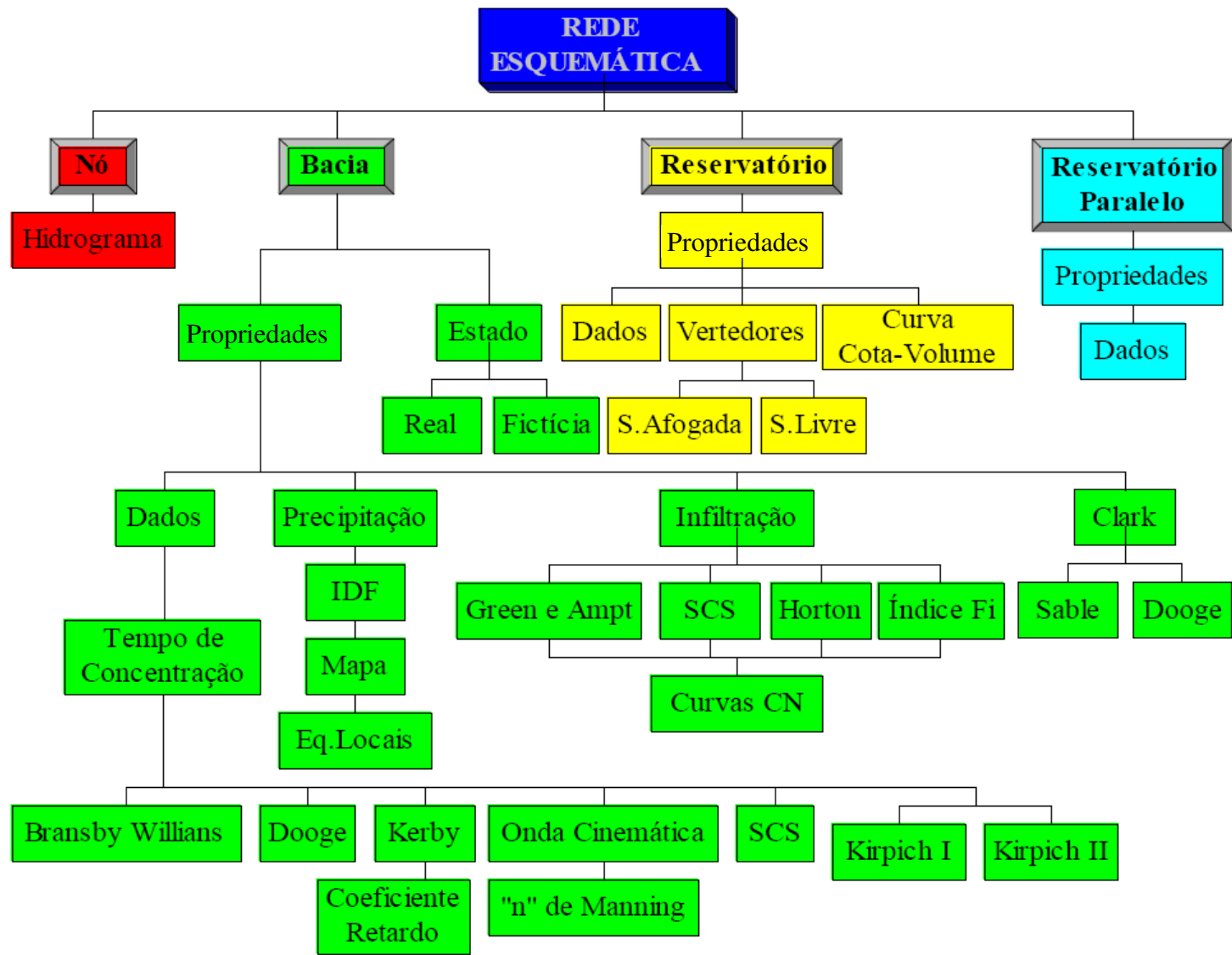
Ciclo Hidrológico Completo



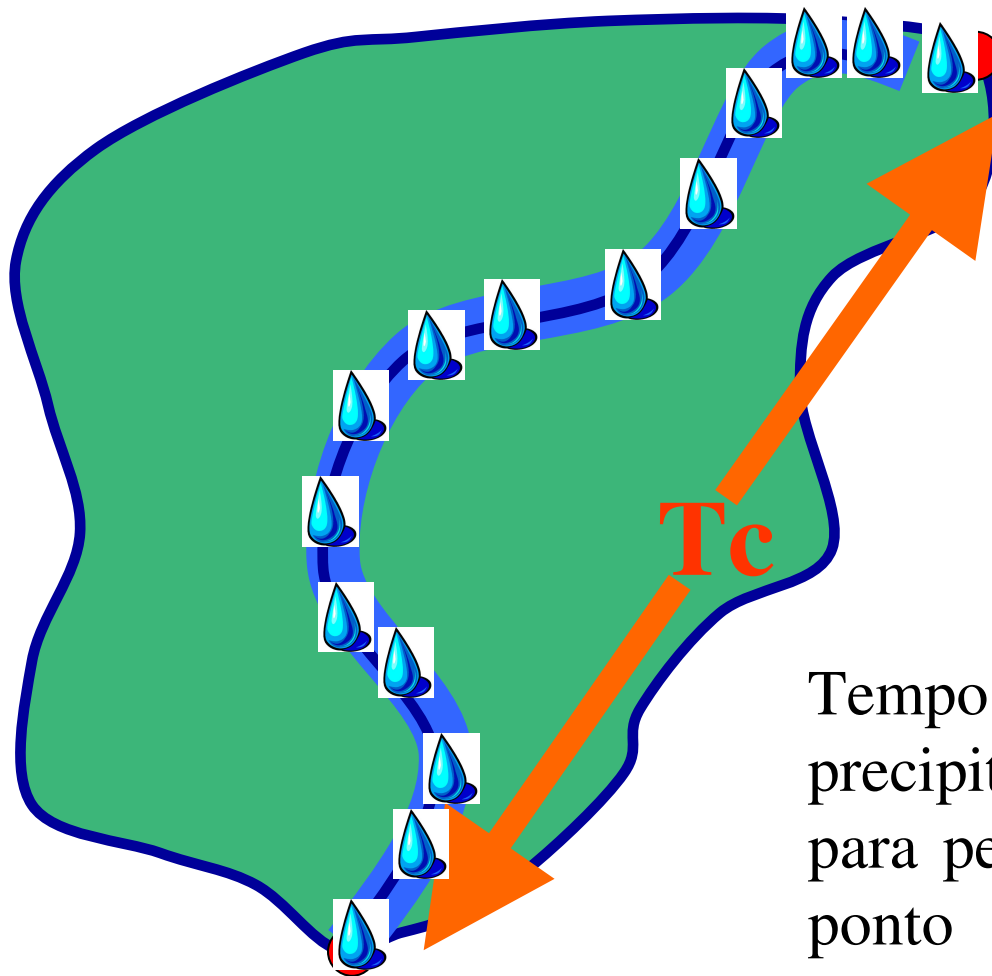
Ciclo Hidrológico Parcial



Entrada de Dados de no Modelo ABC6



Tempo de Concentração



Tempo que uma gota de precipitação excedente leva para percorrer a distância do ponto mais afastado até a saída da bacia.

Fórmulas de Tempo de Concentração do ABC6

✧ Bransby - Willians

$$t_c = 76,86 \cdot \frac{L}{5280} \cdot \left(\frac{1}{A^{0.1} \cdot S^{0.2}} \right)$$

Onde

- ✧ t_c é o tempo de concentração (min);
- ✧ L é o comprimento do talvegue principal (m);
- ✧ S é a declividade do talvegue principal (m/m).

Fórmulas de Tempo de Concentração do ABC6

✱ Dooge

$$t_c = 1,18 \cdot \left(\frac{A^{0,41}}{S^{0,17}} \right)$$

Onde

- ✱ t_c é o tempo de concentração (h);
- ✱ A é a área da bacia (km²);
- ✱ S é a declividade do talvegue principal (m/km).

Fórmulas de Tempo de Concentração do ABC6

✱ Kerby

$$t_c = 1,44 \cdot \left(\frac{L \cdot C}{S^{0,5}} \right)^{0,467}$$

Onde

- ✱ t_c é o tempo de concentração (min);
- ✱ L é o comprimento do talvegue principal (m);
- ✱ C é um coeficiente adimensional;
- ✱ S é a declividade do talvegue principal (m/m).

Fórmulas de Tempo de Concentração do ABC6

✱ Kirpich I

$$t_c = 57. \frac{L^{1,155}}{h^{0,385}}$$

Onde

- ✱ t_c é o tempo de concentração (min);
- ✱ L é o comprimento do talvegue principal (km);
- ✱ h é o desnível entre os pontos extremos do talvegue principal (m).

Fórmulas de Tempo de Concentração do ABC6

✧ Kirpich II

$$t_c = 57. \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

Onde

- ✧ t_c é o tempo de concentração (min);
- ✧ L é o comprimento do talvegue principal (km);
- ✧ S é a declividade do talvegue principal (m/km).

Fórmulas de Tempo de Concentração do ABC6

✧ Onda Cinemática

$$t_c = 6,92 \cdot \left(\frac{n^{0,6} \cdot L^{0,6}}{I^{0,4} \cdot S^{0,3}} \right)$$

Onde

- ✧ t_c é o tempo de concentração (min);
- ✧ n é o coeficiente de rugosidade de Manning;
- ✧ L é o comprimento do talvegue principal (m);
- ✧ I é a intensidade média da chuva (mm/h);
- ✧ S é a declividade do talvegue principal (m/m).

Fórmulas de Tempo de Concentração do ABC6

✧ SCS

$$t_c = 3,42 \cdot \frac{L^{0,8}}{S^{0,5}} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}$$

Onde

- ✧ t_c é o tempo de concentração (min);
- ✧ L é o comprimento do talvegue principal (km);
- ✧ S é a declividade do talvegue principal (m/m);
- ✧ CN é o número da curva de infiltração do SCS.

Tempo de Concentração

- ✦ As fórmulas existentes costumam apresentar resultados discrepantes entre si, porque foram determinadas em diferentes condições.
- ✦ É sempre preferível utilizar o método cinemático para os trechos canalizados da bacia porque as velocidades do escoamento dependem das características das obras.
- ✦ Na utilização de fórmulas, devem ser preferidas aquelas que foram especificamente determinadas para o caso em estudo e sobre as quais exista comprovada experiência.

Entrada de Dados de Precipitação no ABC6

✦ Manual

- Usuário conhece o evento de chuva.

✦ IDF (Intensidade-Duração-Frequência)

- Equações pré-determinada através de estudos das séries históricas.
- Banco de dados com equações para diversas localidades do Brasil. (154 equações).

Métodos de Cálculo de Infiltração no ABC6

✧ Horton

$$f(t) = f_c + (f_o - f_c) \cdot e^{-kt}$$

onde

- ✧ $f(t)$ é a taxa de infiltração (mm/h) no instante t ;
- ✧ f_c é a taxa de infiltração residual (mm/h);
- ✧ f_o é a taxa de infiltração inicial (mm/h) para $t=0$;
- ✧ k é o coeficiente de decaimento da curva (h^{-1});
- ✧ t o tempo em h.

Métodos de Cálculo de Infiltração no ABC6

✦ Índice Φ

Métodos de Cálculo de Infiltração no ABC6

✧ **Green - Ampt**

$$F(t) = K.t + \Psi.\Delta\theta.\ln\left[1 + \frac{F(t)}{\Psi.\Delta\theta}\right]$$

✧ Onde

✧ $F(t)$ = infiltração acumulada (mm);

✧ K = coeficiente de condutividade (mm/h);

✧ ψ = Potencial de sucção (mm);

✧ $\Delta\theta$ = diferença entre a porosidade e a capacidade de campo;

✧ t = tempo (h).

Métodos de Cálculo de Infiltração no ABC6

✧ SCS

$$Pe = \frac{(P - 0,2.S)^2}{(P + 0,8.S)} \quad \text{para } P \geq 0,2.S$$

$$S = \frac{(1000 - 10.CN) * 25,4}{CN}$$

onde

- ✧ Pe = Precipitação excedente acumulada (mm);
- ✧ P = Precipitação acumulada (mm);
- ✧ S = capacidade potencial de infiltração do solo (mm);
- ✧ CN = número de curva de infiltração do SCS.

Dados para Cálculo da Infiltração pelo Método do SCS

✧ CN (Curve Number)

- Tipo hidrológico do solo.
- Uso e ocupação do solo.
- Grau de saturação do solo.

Dados para Cálculo da Infiltração pelo Método do SCS

Tipo Hidrológico do Solo

Grupo A:

Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8,0%, não há rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,0m. O teor de húmus, muito baixo, não atingindo 1,0%.

Grupo B:

Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com maior teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas este limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir respectivamente a 1,2% e 1,5%. Não podem haver pedras e nem camadas argilosas até 1,0m mas é quase sempre presente camada mais densificada do que a camada superficial.

Grupo C:

Solos barrentos com teor total de argila de 20% a 30% mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até a profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas estes dois limites máximos podem ser 40% e 1,0m. Nota-se a cerca de 60cm de profundidade camada mais densificada que no Grupo B mas ainda longe das condições de impermeabilidade.

Grupo D:

Solos argilosos (de 30% a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50cm de profundidade ou solos arenosos como o Grupo B mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados.

Dados para Cálculo da Infiltração pelo Método do SCS

Condições de Umidade

Condição I:

Solos Secos: As chuvas nos últimos dias não ultrapassam 1mm.

Condição II:

Situação muito freqüente em épocas chuvosas, as chuvas nos últimos 5 dias totalizam entre 1mm e 40mm.

Condição III:

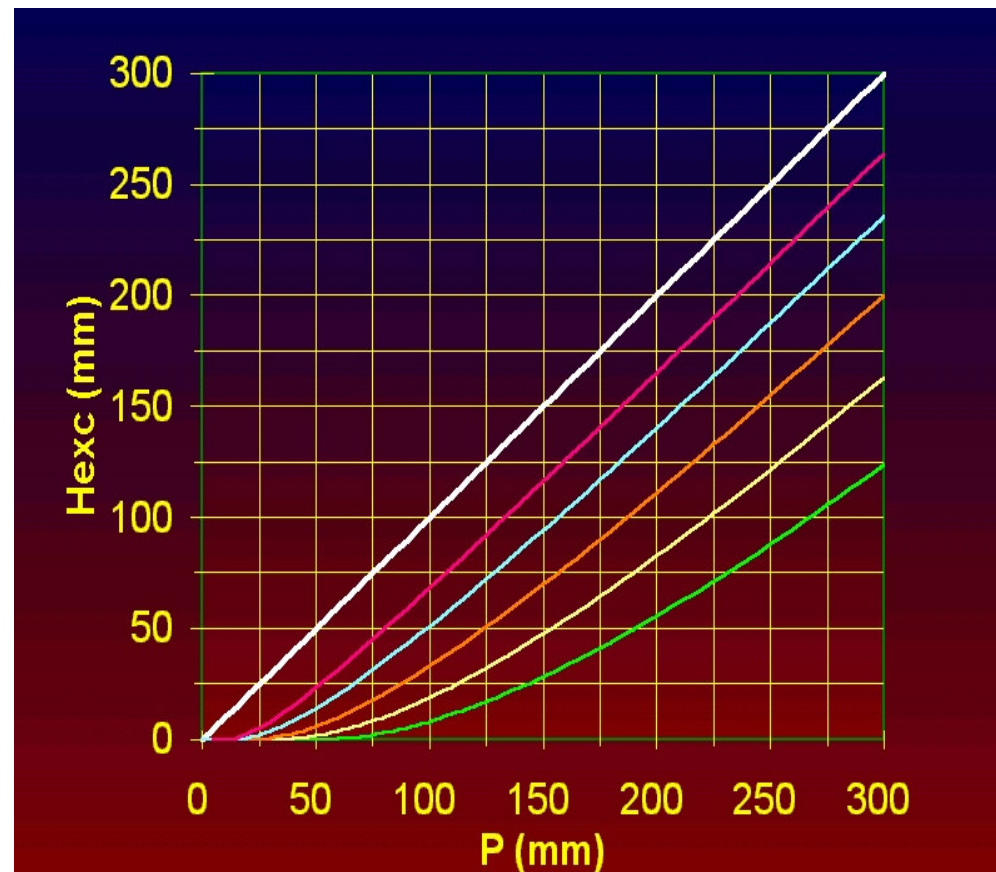
Solo Úmido (próximo da saturação): As chuvas nos últimos dias foram superiores a 40mm e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

Dados para Cálculo da Infiltração pelo Método do SCS

Numeros da Curva do SCS (Condição de Umidade II)

Bacias Urbanas		Bacias Rurais			
USO DO SOLO	SUPERFÍCIE	SOLO A	SOLO B	SOLO C	SOLO D
Ruas e Estradas	Pavimentadas, com guias e drenagens	98	98	98	98
	Com cascalho	76	85	89	91
	De terra	72	82	87	89
Áreas comerciais	85% de impermeabilização	89	92	94	95
Distritos industriais	72% de impermeabilização	81	88	91	93
Espaços abertos, parques e jardins	Boas condições, cobertura de grama	39	61	74	80

Cálculo da Infiltração pelo Método do SCS



$$Q = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{(P + 0,8 \cdot S)} \quad \text{para } P > 0,2 \cdot S$$

$$CN = \frac{1000}{10 + S/25,4}$$

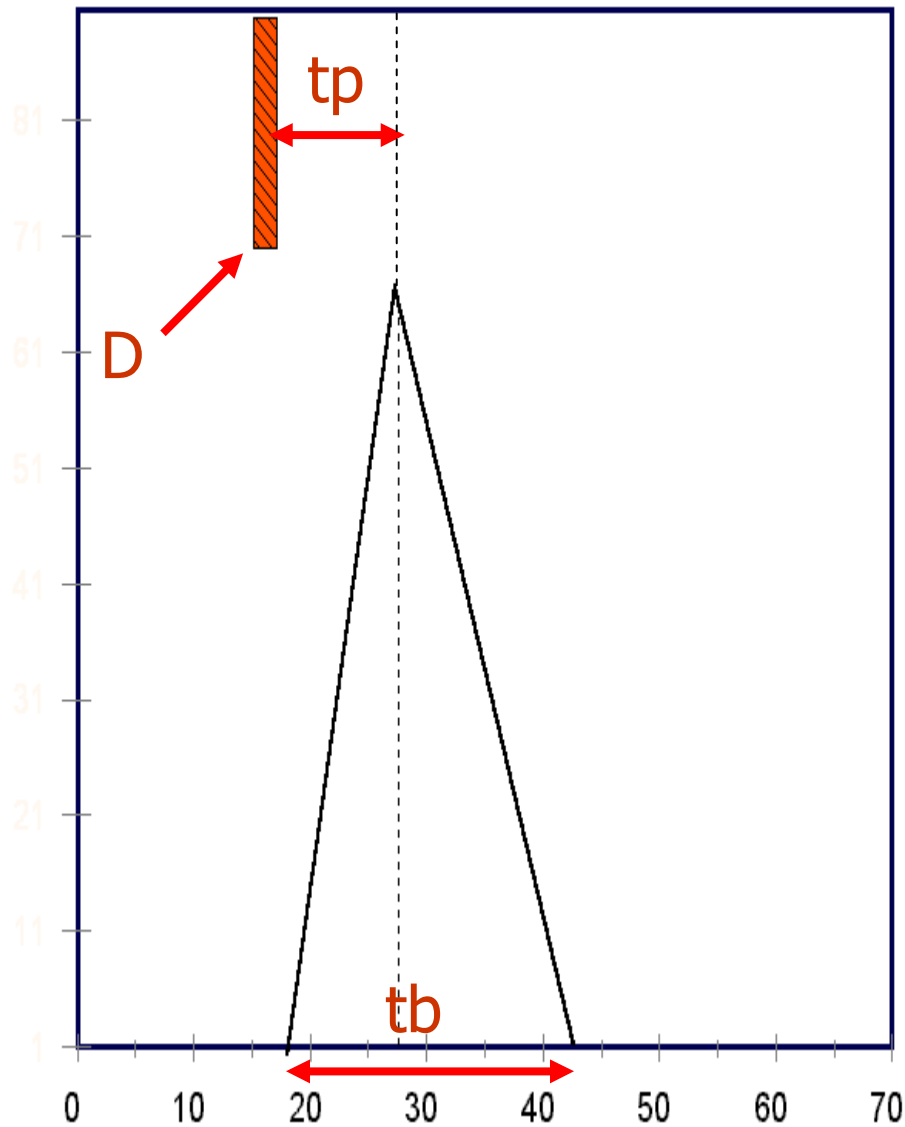
*Métodos de Cálculo de Escoamento
Superficial Direto
Hidrogramas Unitários Sintéticos*

✧ Clark

✧ Santa Barbara

✧ Triangular do SCS

Hidrograma Unitário Triangular do SCS

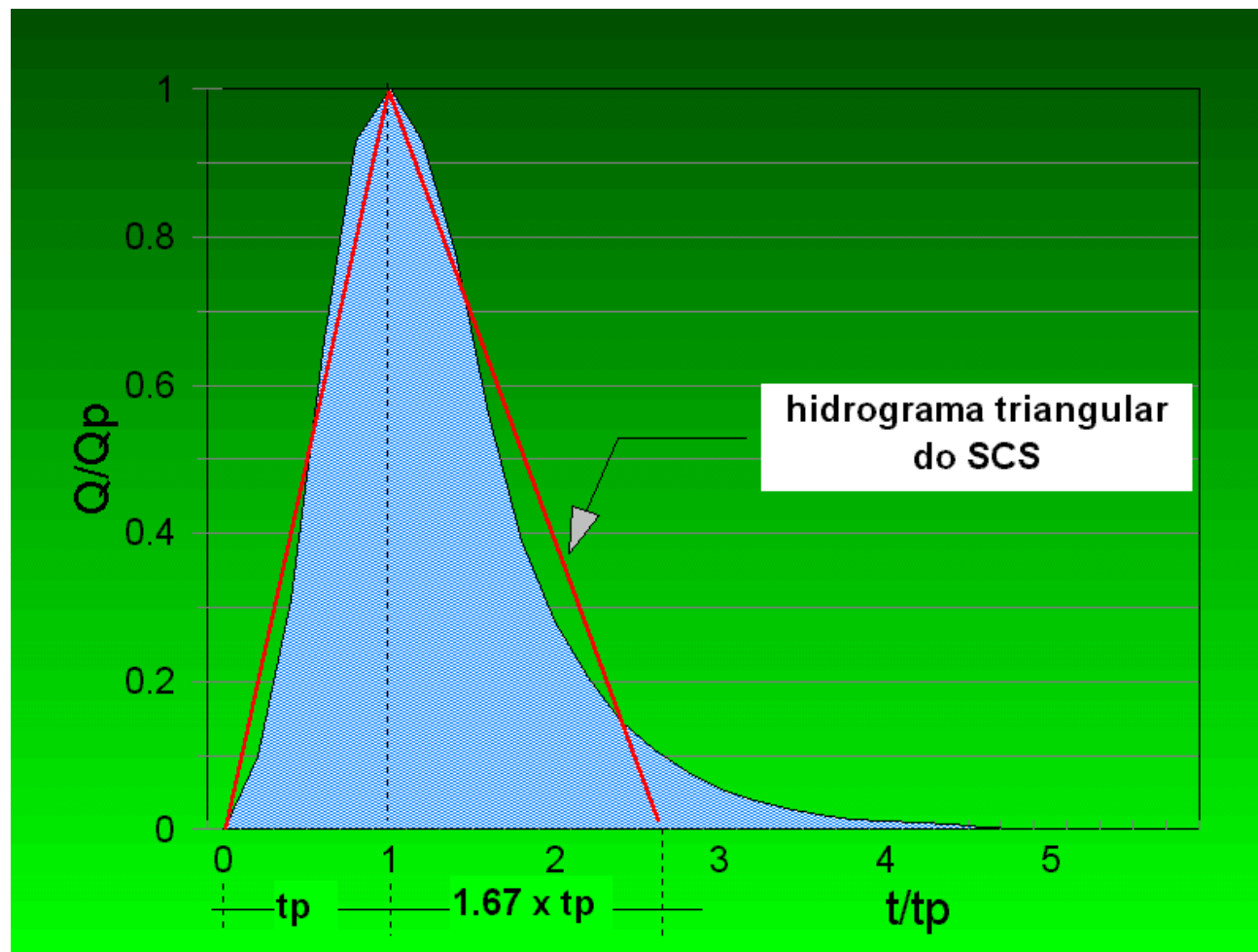


$$t_p = D/2 + 0.6 T_c$$

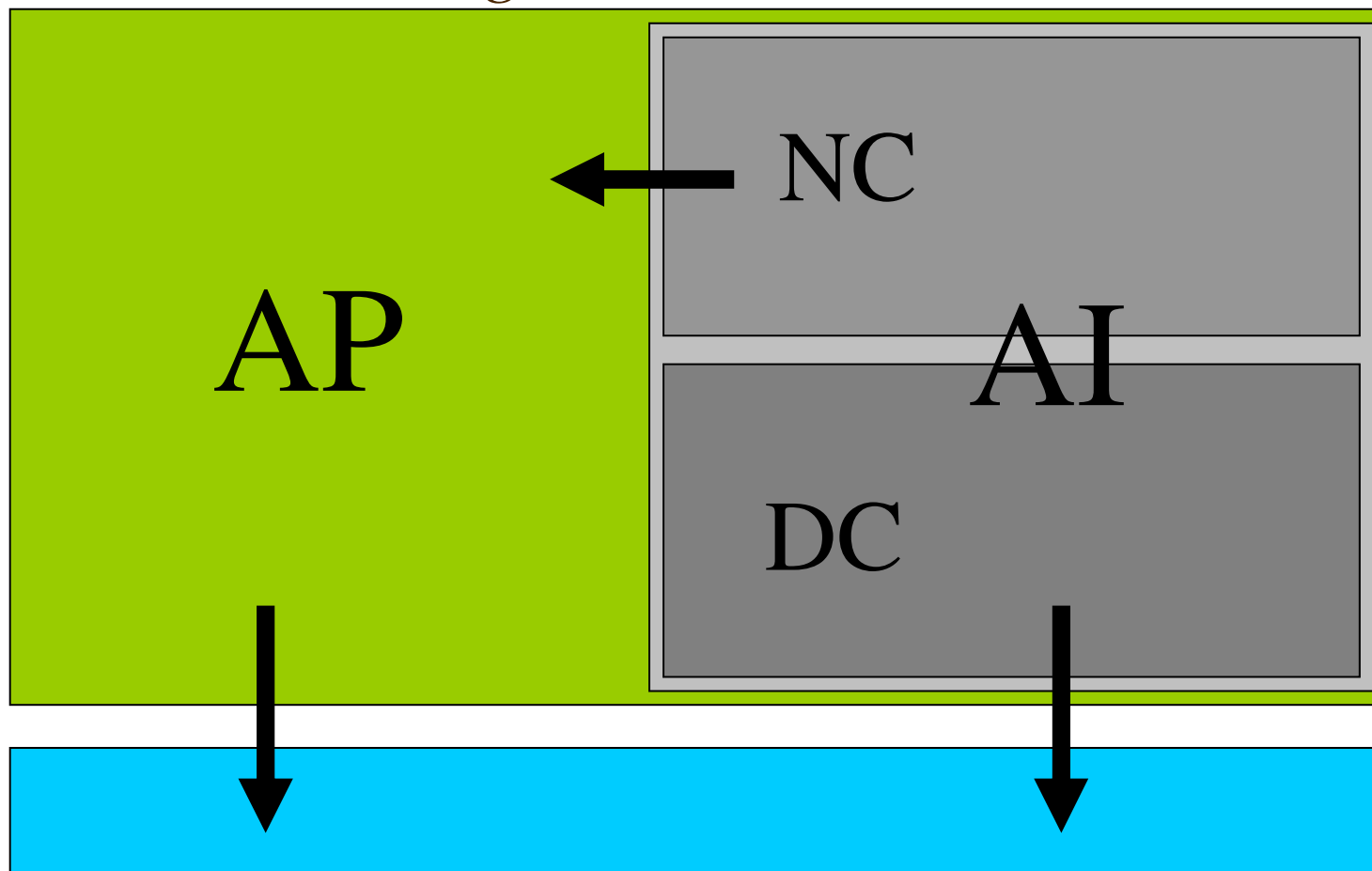
$$D = t_p/5$$

$$t_b = 2.67 t_p$$

Hidrograma Unitário do SCS



Áreas de Drenagem



AP = Área permeável da bacia

NC = Área impermeável da bacia não conectada aos rios

AI = Área impermeável da bacia

DC = Área impermeável da bacia diretamente conectada aos rios

F I M