



SEGURANÇA DE BARRAGENS E O PLANEJAMENTO HIDROLÓGICO

Maceió, 21 de novembro de 2018

INFLUÊNCIA DA HIDROLOGIA NA SEGURANÇA DE BARRAGENS E ONDE ATUAR PARA GARANTIR SUA CORRETA APLICAÇÃO

- Eng. Mário Cicareli Pinheiro -



VI SIMPÓSIO SOBRE SEGURANÇA
BARRAGENS E RISCOS ASSOCIADOS

CENÁRIO HIPOTÉTICO

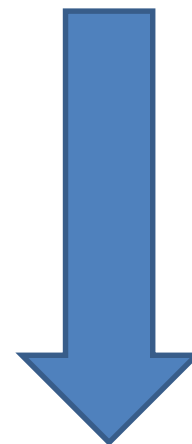
Qual seria o foco das discussões do IV SSBRA caso:

- O rompimento da Barragem do Fundão em 05.nov.2015 tivesse tido como causa um problema hidrológico;
- Os rompimentos das Barragens Euclides da Cunha e Armando Sales de Oliveira no rio Pardo (1977) tivessem ocorrido na data atual.

Possivelmente os hidrólogos estariam discutindo:

- Distribuições de probabilidades e suas limitações;
- Cálculo da PMP e suas limitações;
- Modelos hidrológicos e suas limitações;
- Monitoramento hidrométrico e suas limitações;
- Pesquisa correlata brasileira e suas limitações;

.....



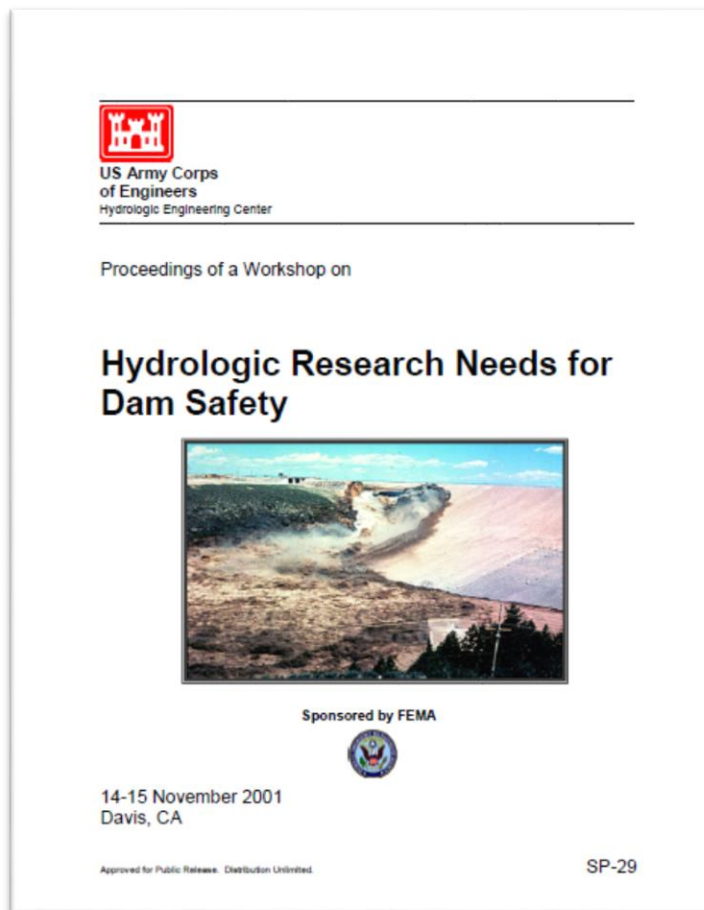
INCERTEZAS HIDROLÓGICAS

CENÁRIO REAL E ATUAL

- O rompimento da Barragem do Fundão foi causado por um “problema geotécnico”.
- O setor elétrico passou por grande evolução em termos de segurança de barragens após os acidentes de 1977.
- Os Hidrólogos ainda não resolveram todos os problemas relacionados às incertezas inerentes ao cálculo hidrológico.
- Os Painéis de Segurança de Barragens → o foco tem sido maior nos aspectos geotécnicos.
- Os investimentos que estão sendo feitos em Geotecnia.
- Como explicar as incertezas hidrológicas para os Engenheiros Geotécnicos.....e para o Ministério Público.

INFLUÊNCIA DA HIDROLOGIA NA SEGURANÇA DE BARRAGENS: O CONTEXTO DO PROBLEMA

- Por que as barragens devem representar obras seguras?
- A importância da Hidrologia na segurança das barragens.
- O panorama da evolução da Hidrologia no Brasil.
- Como lidar com as incertezas da Hidrologia.
- Onde atuar para garantir a correta aplicação dos métodos hidrológicos.
- Os engenheiros sempre aceitaram os “métodos de cálculo hidrológico” ... Mas no momento o problema está sendo judicializado e exige uma atenção especial por parte dos profissionais da Engenharia de Recursos Hídricos.

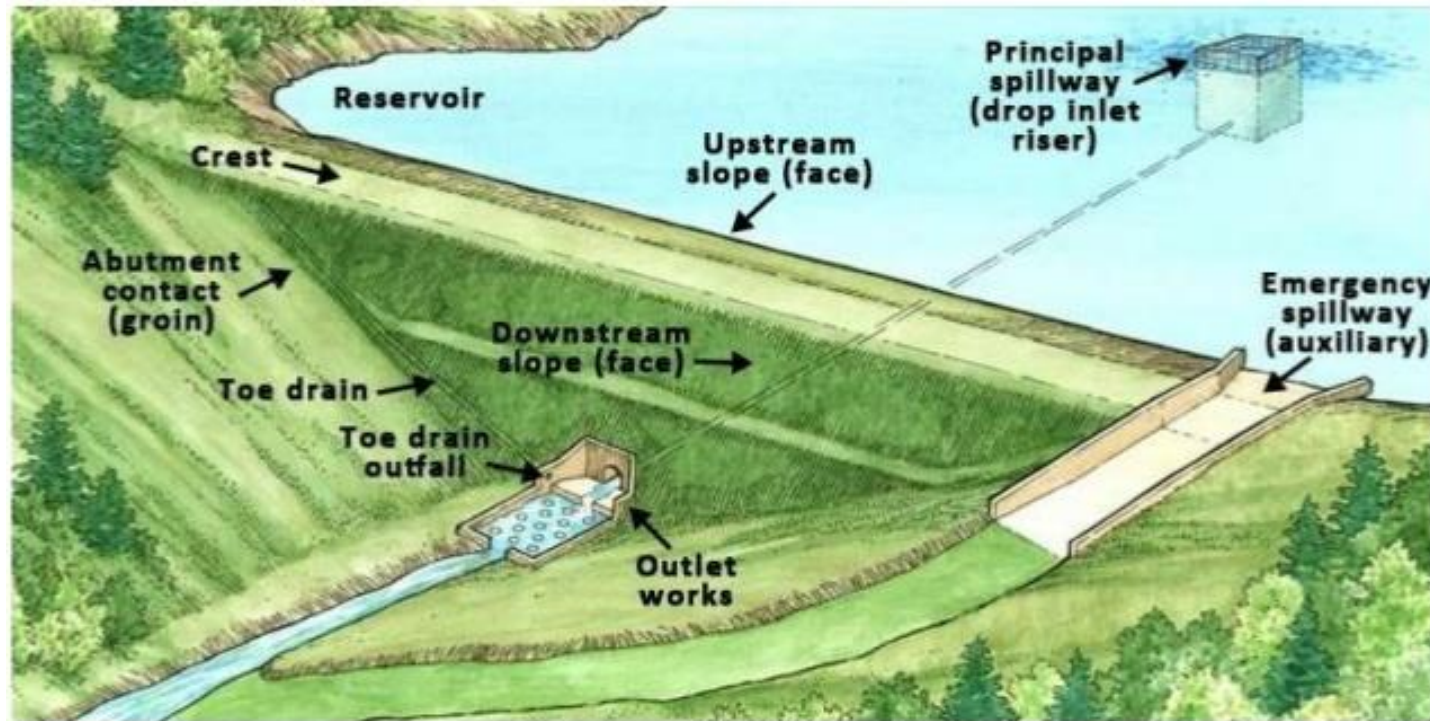


RECONHECIMENTO DA IMPORTÂNCIA DA HIDROLOGIA PARA A SEGURANÇA DE BARRAGENS

HYDROLOGIC CONSIDERATIONS

The design and evaluation of dams against hypothetical floods requires the determination of the hydrologic response (infiltration, base, flow, routing and runoff) of watersheds to intense rainfall or snowmelt, verification based on historical storm and runoff data (flood hydrograph analysis). It also requires the determination of the hypothetical storms, infiltration, base flow, channel and reservoir routing. Routing involves the investigation of the adequacy of existing structures above and below the dam under investigation to safely pass the hypothetical floods.

ARRANJO TÍPICO DE UMA BARRAGEM

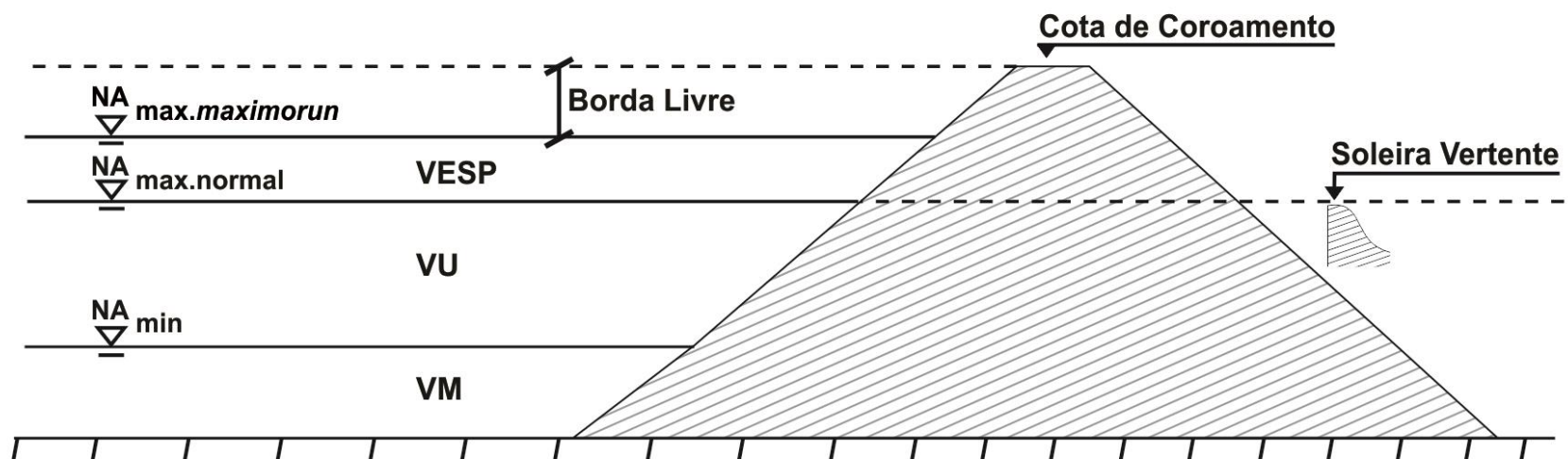


A função da Hidrologia na segurança de uma barragem → fornecer elementos para o dimensionamento de estruturas que possam extravasar vazões de cheias (vertedouros) sem que ocorra o galgamento do maciço.

COLAPSOS ASSOCIADOS A CAUSAS HIDROLÓGICAS

- GALGAMENTO DO MACIÇO: erosões do paramento de jusante, do dreno de pé, da fundação ou da crista da barragem.
- PERMANÊNCIA DE NÍVEIS DE ÁGUA ELEVADOS: percolação pelo núcleo e erosão regressiva do maciço (*piping*).
- COLAPSO DAS ESTRUTURAS DA CALHA DO VERTEDOURO OU DA BACIA DE DISSIPAÇÃO: erosão, cavitação e galgamento.

NÍVEIS OPERATIVOS NOTÁVEIS DE UMA BARRAGEM



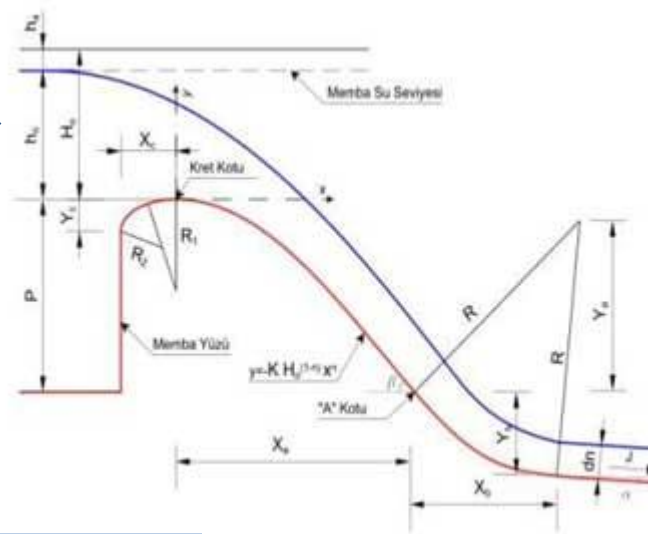
A tendência de estabelecimento dos critérios por meio de normas e regulações

ELEMENTOS DE HIDROLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO DOS VERTEDOUROS

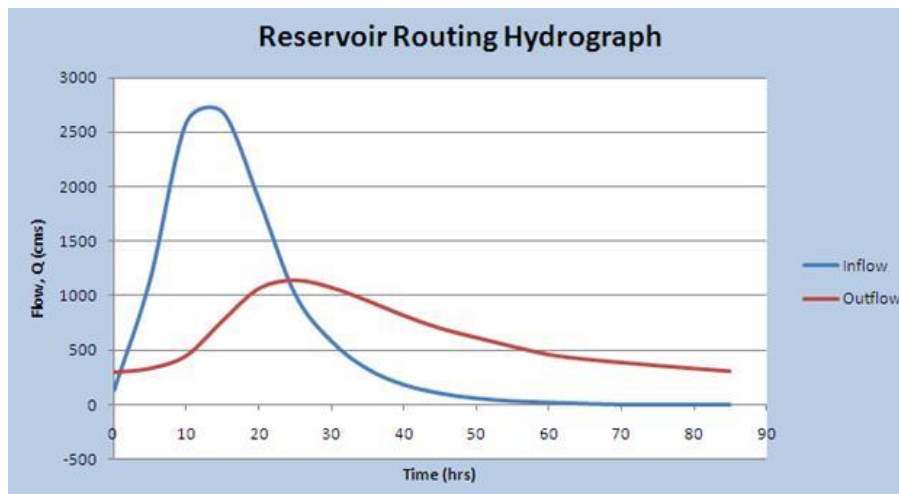
VAZÃO AFLUENTE
 $QA(t)$



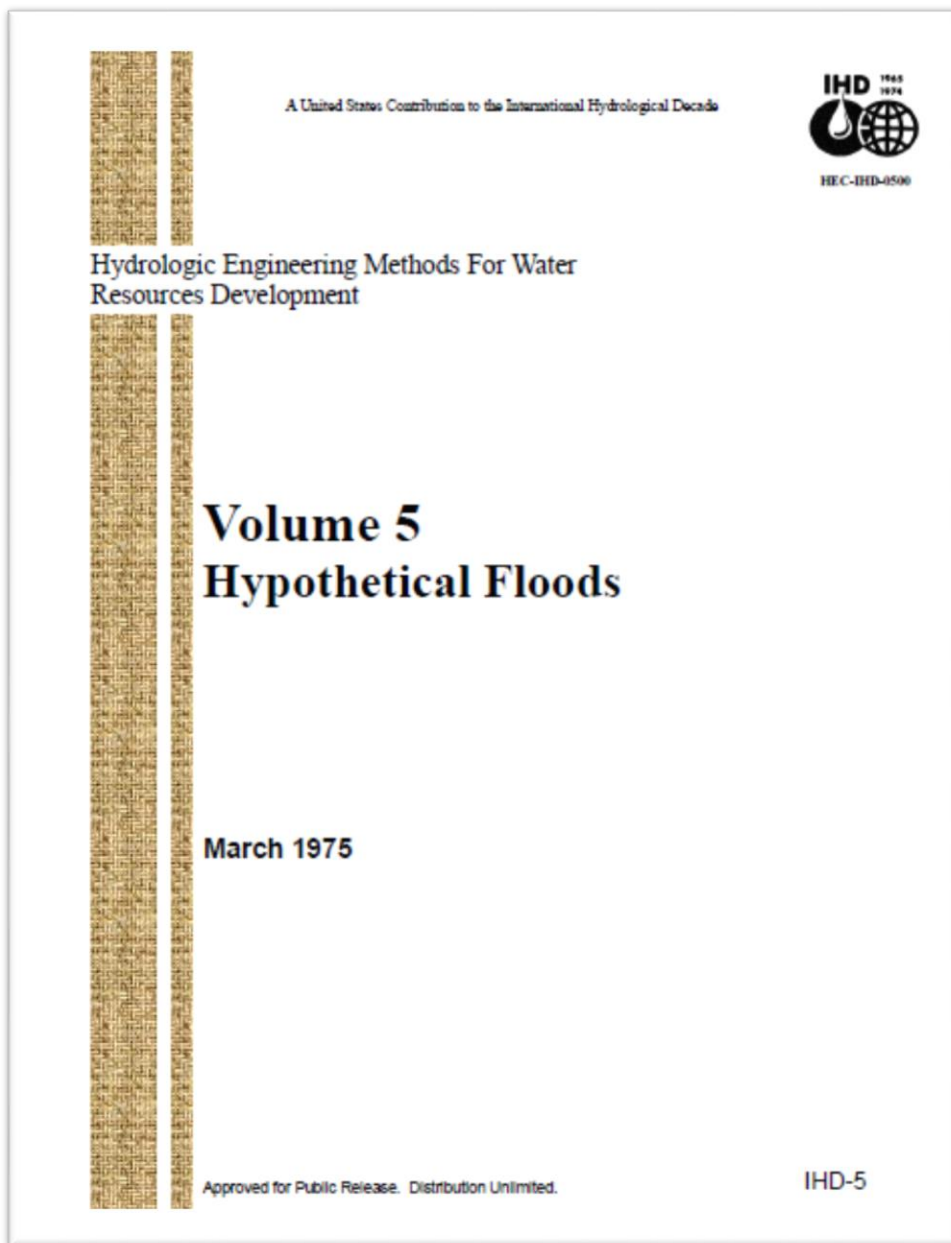
CHEIA DE PROJETO



VAZÃO VERTIDA
 $QV(t)$



$$(QA_i + QA_{i+1}) + \left(\frac{2V_i}{\Delta t} - QV_i \right) = \left(\frac{2V_{i+1}}{\Delta t} + QV_{i+1} \right)$$



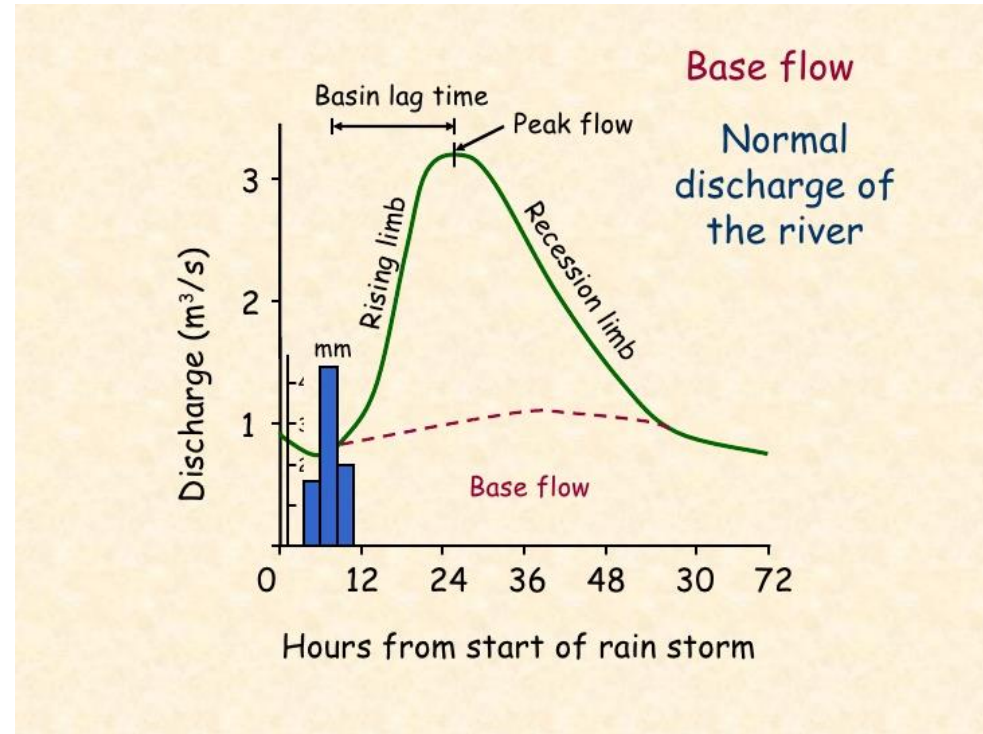
CHEIAS HIPOTÉTICAS: termo usado para designar qualquer cheia calculada com uma certa probabilidade de ocorrência ou a partir da PMP – Precipitação Máxima Provável

METODOLOGIAS PARA CÁLCULO DAS CHEIAS DE PROJETO

- MÉTODOS EMPÍRICOS: curvas envoltórias.
- MÉTODOS DIRETOS: baseados na análise estatística de frequência dos máximos anuais de vazões de cheias.
- MÉTODOS INDIRETOS: baseados em transformações **chuva** → **vazão**.



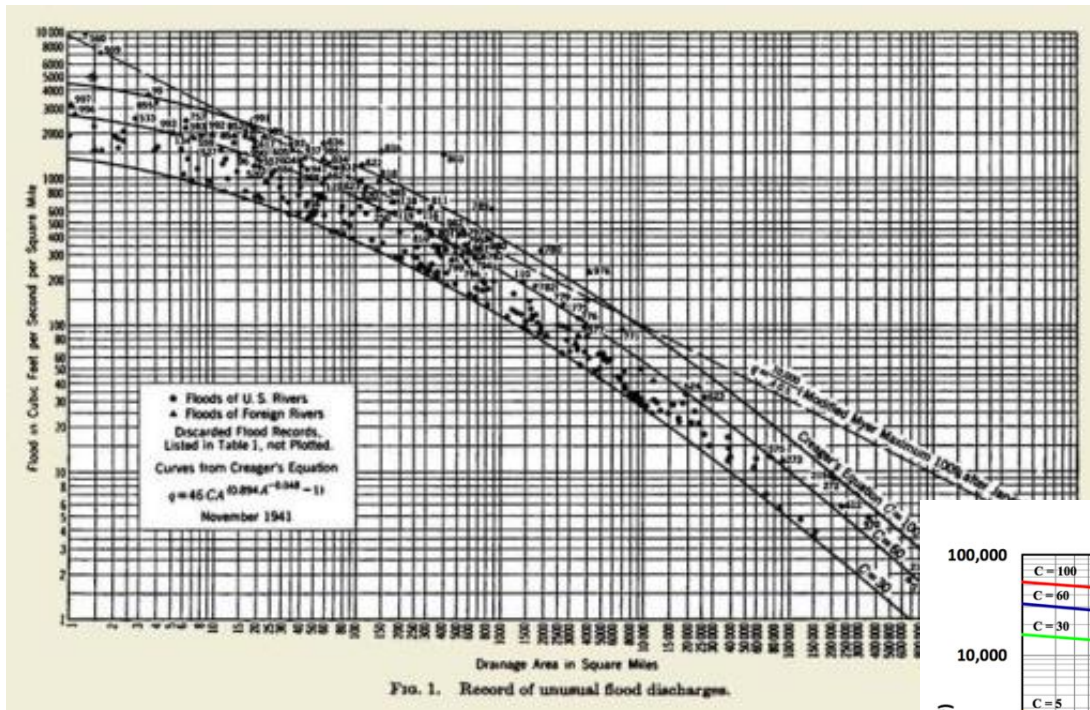
Todos os métodos apresentam incertezas.



AS INCERTEZAS DAS CHEIAS DE PROJETO

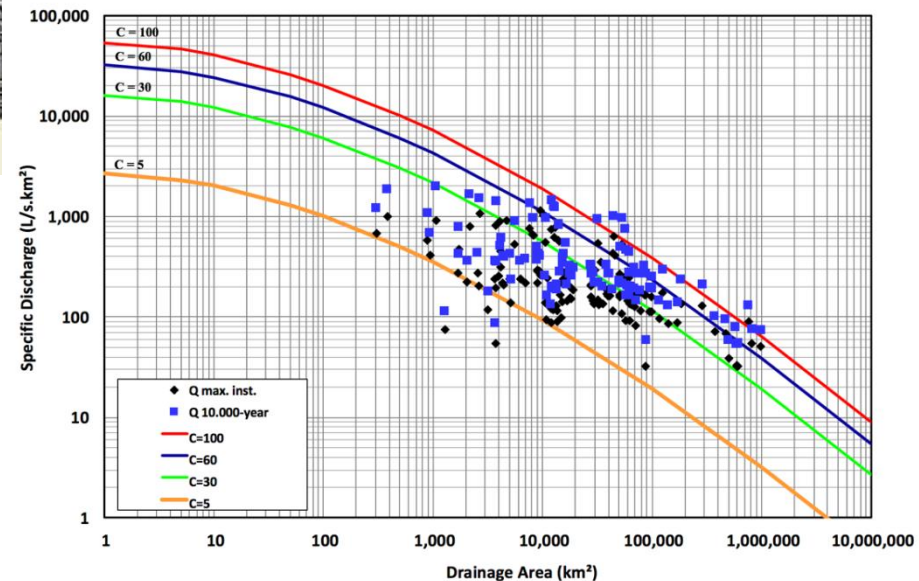
- MÉTODOS EMPÍRICOS: não representam, necessariamente, os valores máximos plausíveis.
- MÉTODO DIRETO: a extrapolação das curvas-chaves, na definição da distribuição de probabilidades mais aderente, na determinação das vazões de pico, na associação de probabilidade aos hidrogramas de cheias.
- MÉTODOS INDIRETOS: as relações Intensidade-Duração-Frequência das chuvas, a distribuição temporal das chuvas, o cálculo da PMP, o operador linear chuva → vazão, o cálculo da chuva efetiva, a estimativa do tempo de concentração.

MÉTODOS EMPÍRICOS



Curvas envoltórias adotadas nos Estados Unidos (TVA, 1961)

Curvas envoltórias de cheias de projeto no Brasil (CBDB, 2002)



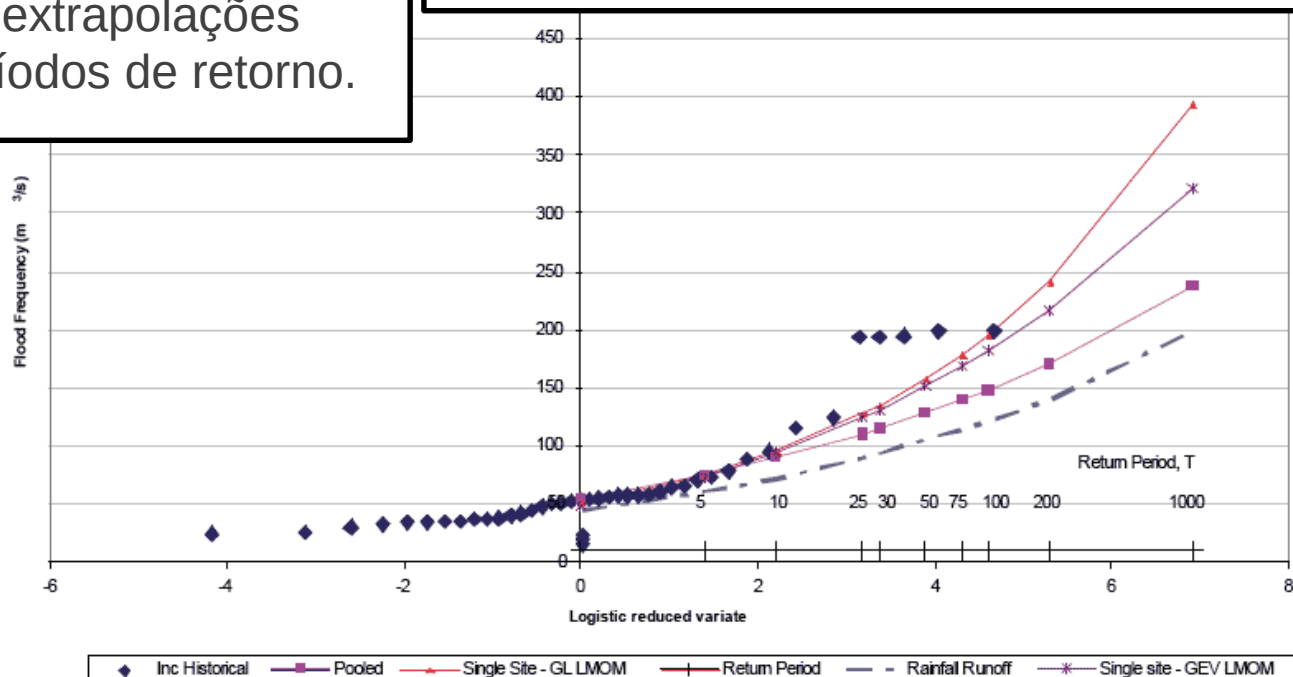
MÉTODOS DIRETOS – INCERTEZAS METODOLÓGICAS

- Amostras com períodos relativamente curtos.
- A seleção da distribuição de probabilidades com melhor aderência.
- As incertezas nas extrapolações para elevados períodos de retorno.

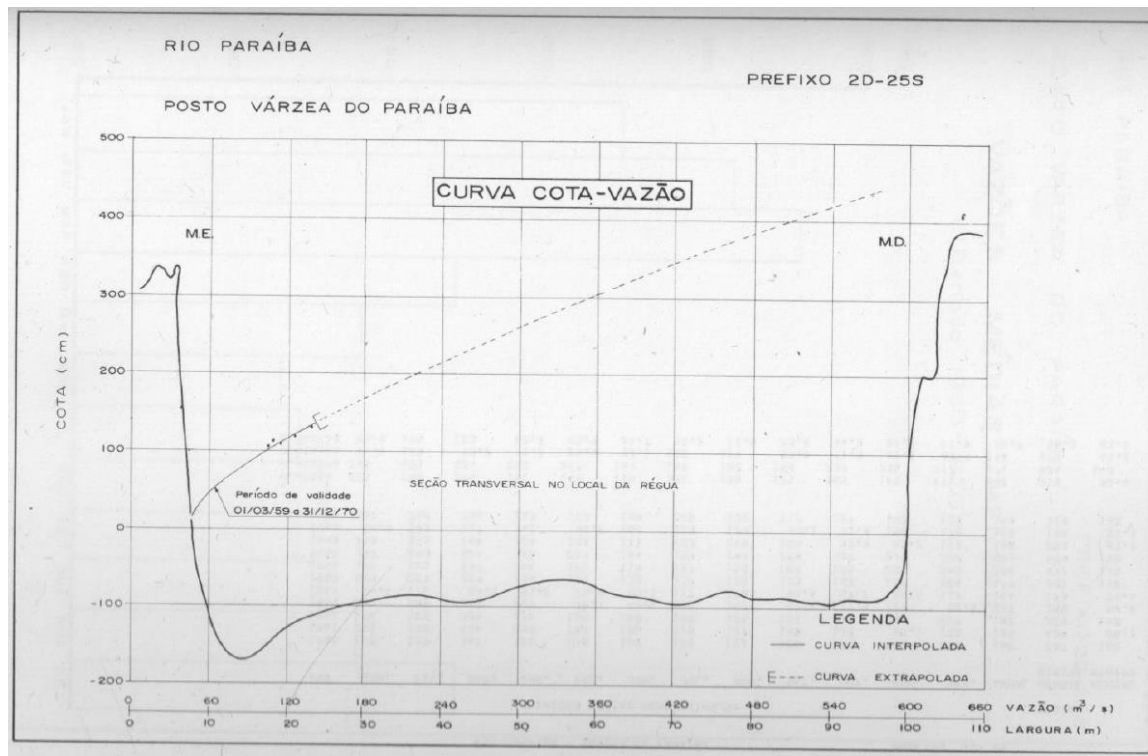
Análise da frequência de picos e volumes de cheias



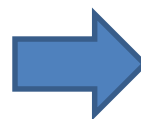
Dificuldades para correlacionar picos e volumes para a determinação do hidrograma de projeto



MÉTODOS DIRETOS – INCERTEZAS AMOSTRAIS

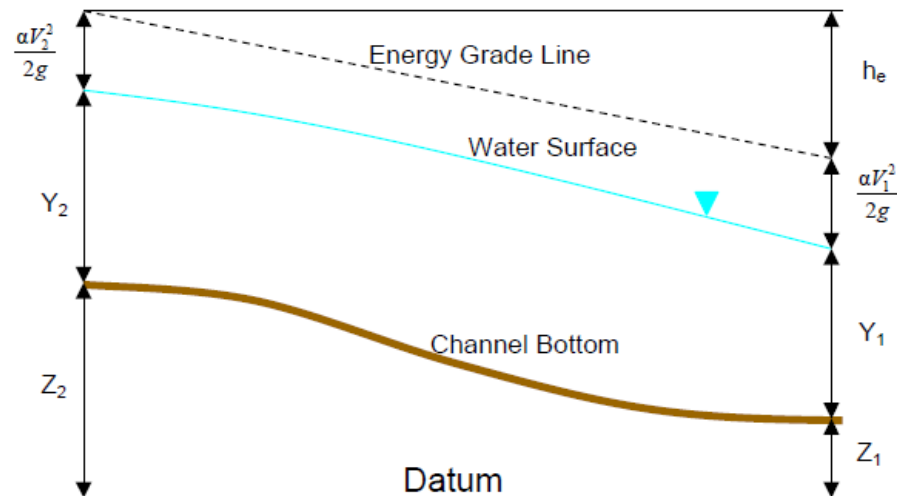
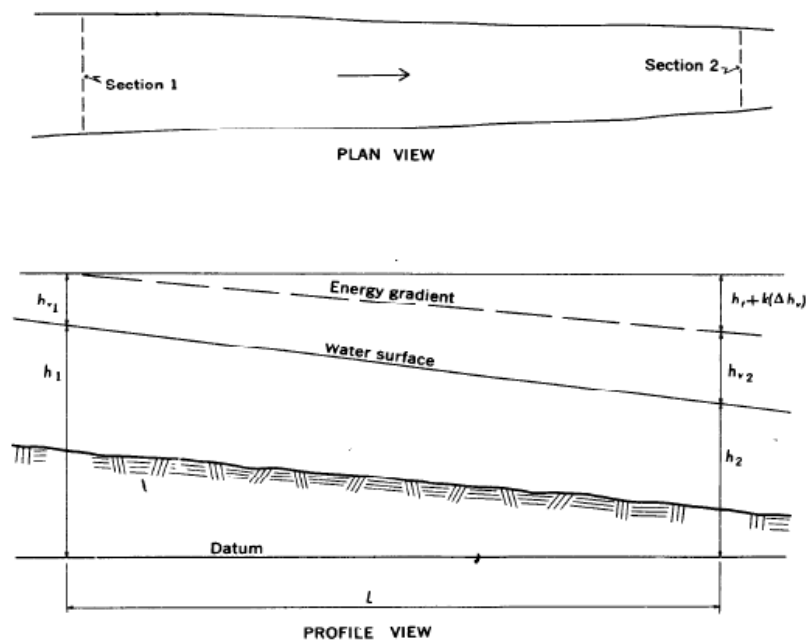


As medições de descargas líquidas cobrem uma baixa amplitude da variação dos perfis de escoamento do curso de água



Incerteza na extrapolação para cotas linimétricas elevadas

INCERTEZAS NA EXTRAPOLAÇÃO DA CURVA-CHAVE

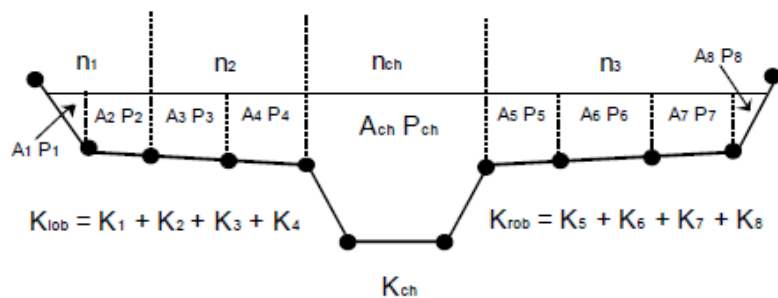


$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L \bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

$$Q = K S_f^{1/2}$$

$$K = \frac{1.486}{n} A R^{2/3}$$



MÉTODOS INDIRETOS

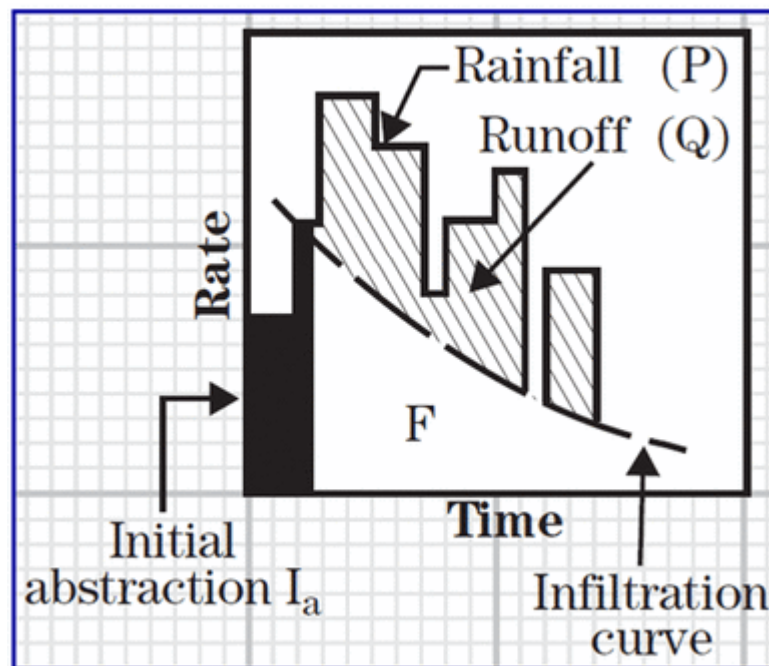
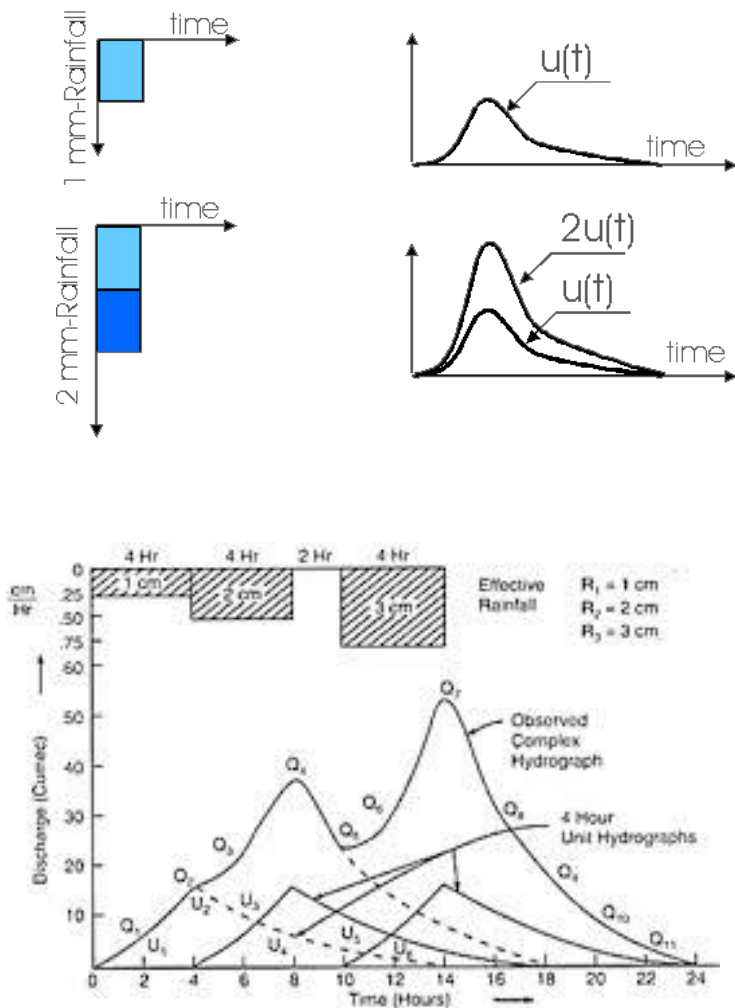
- **Método Racional:** vazão de pico (m^3/s) proporcional ao produto da intensidade da chuva de projeto (m/s) pela área de drenagem (m^2). Fornece resultado bastante preciso para a vazão de pico.

Restrição do Método Racional: aplica-se apenas para bacias com área de drenagem de pequena magnitude ($A < 1,0 \text{ km}^2$).

- **Método do Hidrograma Unitário Sintético:** operador linear que reproduz o escoamento superficial resultante de 1 mm de chuva efetiva.

Incertezas: como calcular a chuva efetiva e o fato de algumas bacias brasileiras terem as cheias geradas por escoamento subsuperficial → escoamento hortoniano ou escoamento hipodérmico.

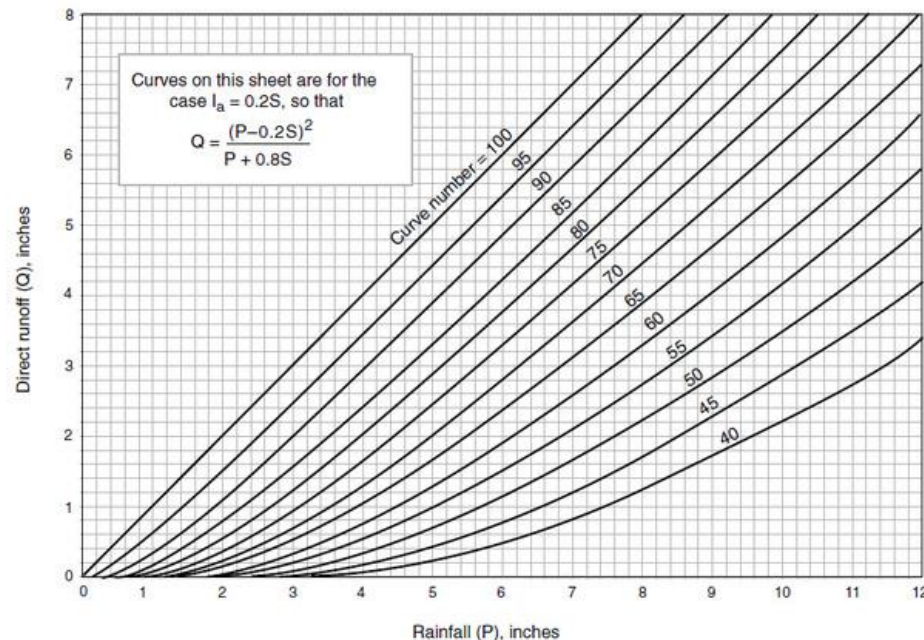
MÉTODO HU SINTÉTICO: Incertezas na Simplificação do Operador Linear



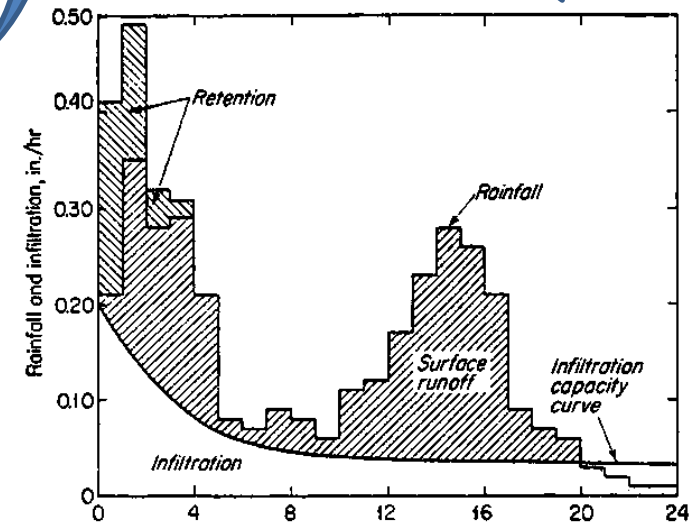
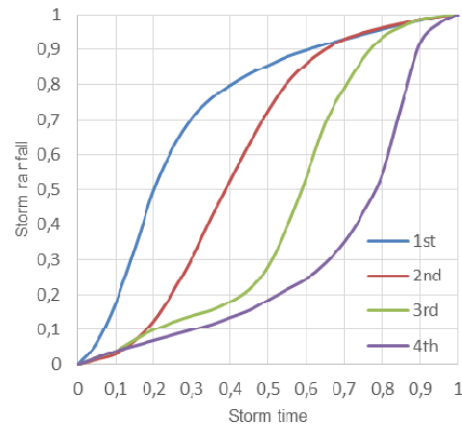
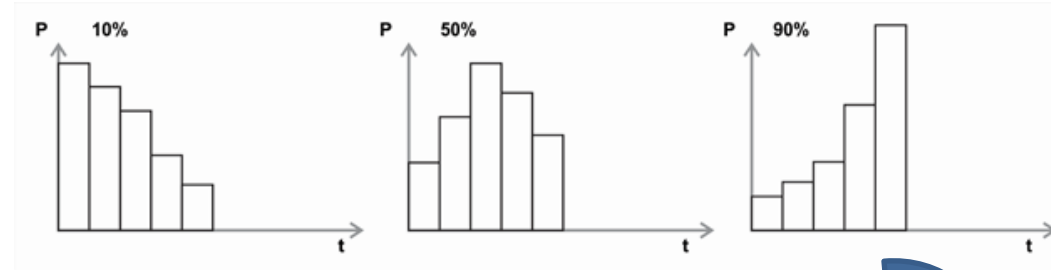
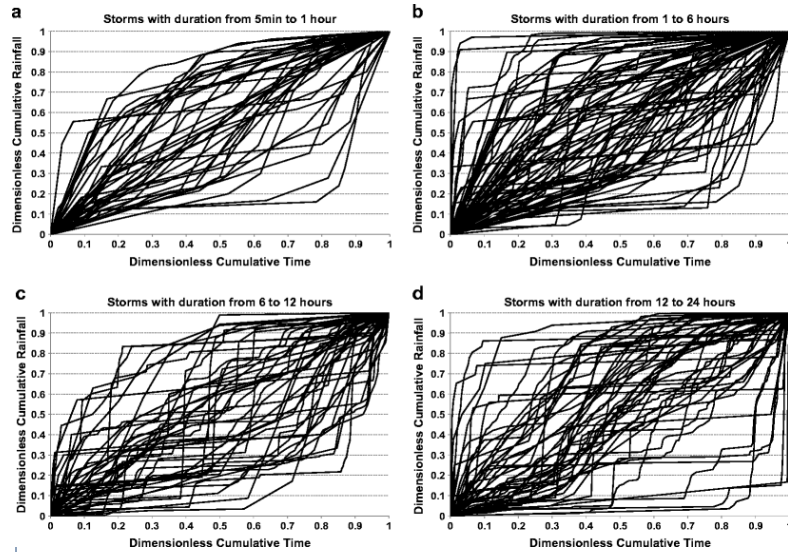
HU depende do tempo de concentração da bacia

MÉTODOS INDIRETOS: Incertezas no Cálculo da Chuva Efetiva

- Chuva efetiva depende do parâmetro CN.
- O parâmetro CN depende do tipo de solo e das condições de cobertura vegetal e de uso e ocupação.
- A escolha do valor de CN pode ser subjetiva.
- Para uma mesma tipologia de uso e ocupação do solo, o valor de CN pode variar em uma larga amplitude



DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DAS PRECIPITAÇÕES



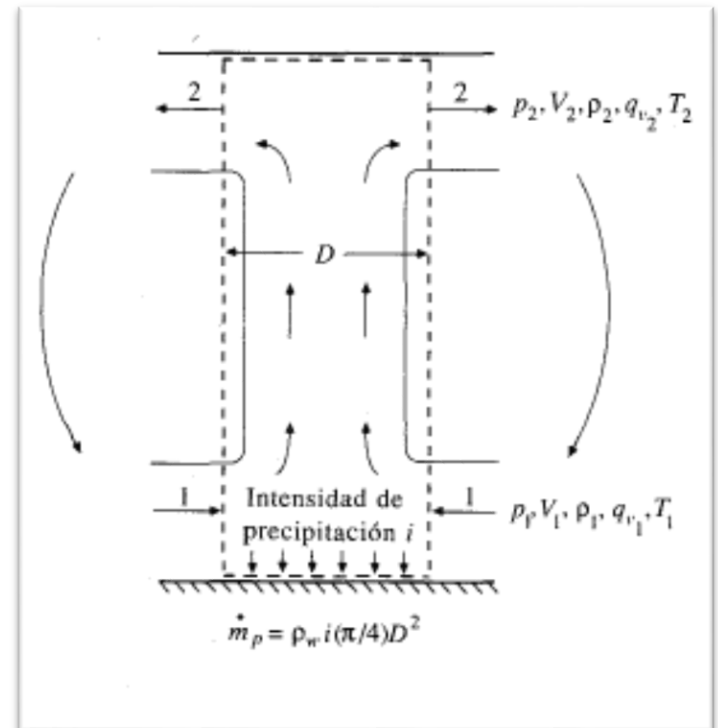
AS INCERTEZAS NO CÁLCULO DAS CHEIAS DE PROJETO

- Métodos estatísticos (chuva centenária, chuva milenar, chuva decamilenar) ou PMP – Precipitação Máxima Provável.
- Precipitação Máxima Provável: PMP Hidrometeorológica ou PMP Estatística.
- A distribuição temporal da precipitação.
- Qual modelo chuva → vazão a se adotar para chuvas de longa duração.

PROBABLE MAXIMUM PRECIPITATION (PMP)

$$PMP = \bar{P} + K\sigma$$

where $\bar{P}$ = mean of annual maximum rainfall series, σ = standard deviation of the series and K = a frequency factor



APLICAÇÕES DE PMP NO BRASIL

- Os primeiros estudos foram elaborados pelo setor elétrico na década de 1980, após o rompimento das barragens do rio Pardo. Esses estudos foram baseados no método hidrometeorológico.
- Na ocasião e segundo alguns meteorologistas brasileiros, a troposfera em nossas latitudes tropicais e equatoriais não estava sujeita a fenômenos extremos de circulação para suportar colunas elevadas de água precipitável.
- Em 1975, o vertedouro da Barragem de Rejeitos do Germano (SAMARCO) foi dimensionado por uma empresa norte-americana aplicando uma PMP de 24 horas estimada em 700 mm, baseada no método estatístico.
- Carência de estudos de PMP para a Região Amazônica.

CONCEITO DO MÉTODO ESTATÍSTICO (HERSHFIELD)

Statistical approaches are useful for estimation of PMP when adequate precipitation data are available for the target location(gauge/grid). Hershfield (1961, 1965) proposed a strategy to estimate PMP values based on frequency analysis of the series of n annual maximum precipitation values observed at the target location. The approach is based on the following general frequency equation adapted based on formulation given by Chow et al. (1988).

$$\left. \begin{aligned} k_m^{(i)} &= \frac{X_M^{(i)} - \overline{X_{n-1}^{(i)}}}{\sigma_{n-1}^{(i)}} & i = 1, \dots, N \\ k_m^{(\max)} &= \underset{i=1, \dots, N}{\text{Max}} \left[k_m^{(i)} \right] \\ PMP(i) &= \overline{X_n^{(i)}} + k_m^{(\max)} \sigma_n^{(i)} & i = 1, \dots, N \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Where $\overline{X_n^{(i)}}$, $X_M^{(i)}$, and $\sigma_n^{(i)}$ denote respectively the mean, the highest value and the standard deviation of the series of n Annual Maximum Precipitation (AMP) values; $\overline{X_{n-1}^{(i)}}$, and $\sigma_{n-1}^{(i)}$ represent respectively the mean and the standard deviation of the AMP series resulting from exclusion of $X_M^{(i)}$; $k_m^{(i)}$ represents the frequency factor corresponding to site i , and $k_m^{(\max)}$ is the highest of frequency factors of all gauges/grids in the study area.

COMENTÁRIOS DE HERSHFIELD

Hydrological Sciences—Bulletin—des Sciences Hydrologiques, 26, 2, 6/1981

The magnitude of the hydrological frequency factor in maximum rainfall estimation

DAVID M. HERSHFIELD
Hydrology Laboratory, USDA-SEA-AR, Beltsville,
Maryland 20705, USA

Samples of 24-hr rainfall
2600 stations
95.000 station-year

Standard Frequency Factor Formula:

$$x_T = \text{average}(x_i) + K \cdot s_N$$

$$x_M = \max(x_i)$$

$$x_M = \text{average}(x_i) + K_M \cdot s_N$$

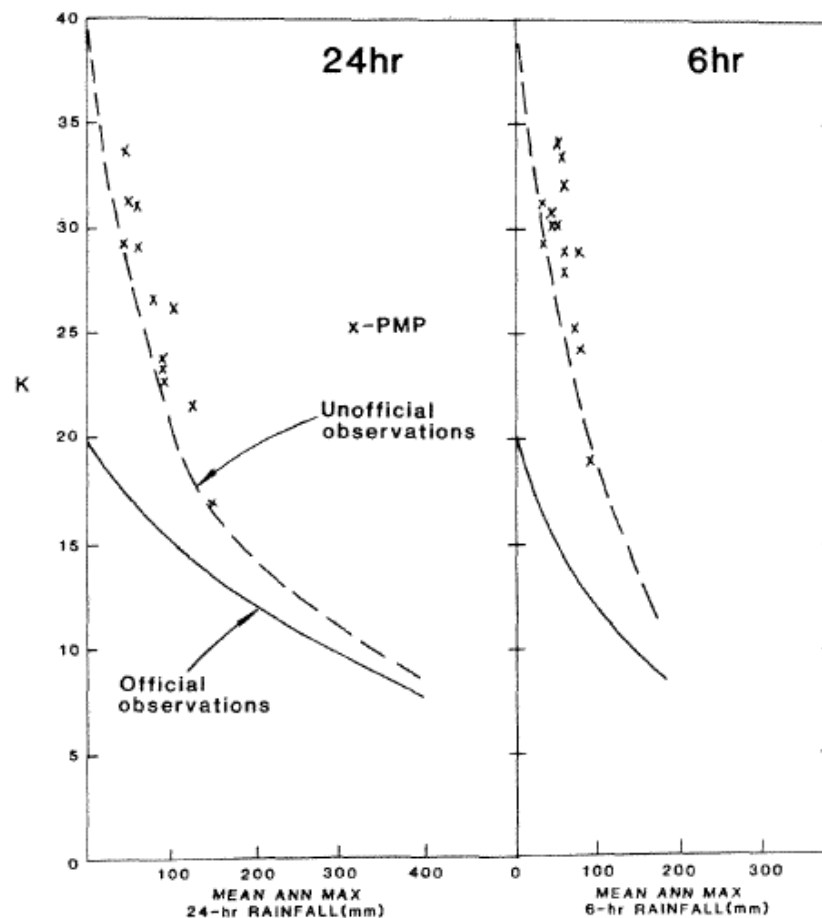


Fig. 1 Relationship between frequency factor K and the mean of the annual maximum 24-h rainfall series, official and unofficial observations and selected grid values of PMP.

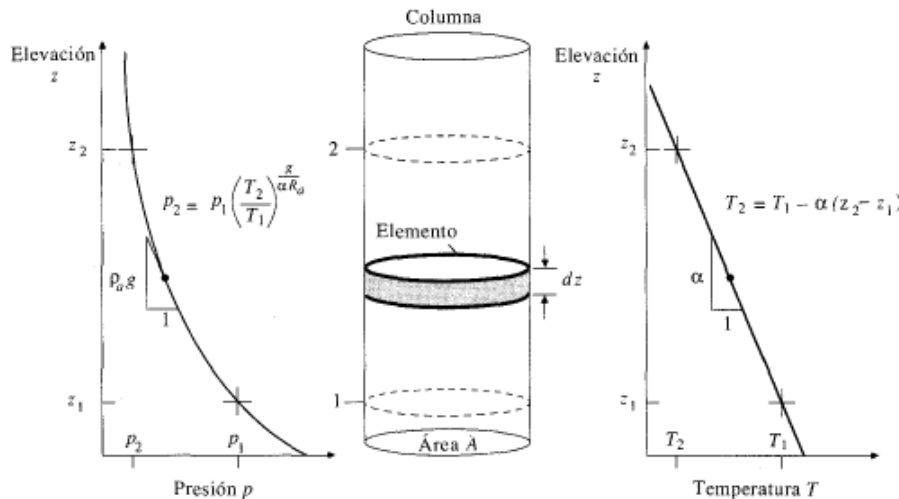
STORM MODEL APPROACH

The storm model approach involves maximizing the meteorological conditions (e.g., moisture content or precipitable water) that control the occurrence of convective precipitation. In this study, precipitable water in the air column above the target site (grid location) is maximized. Estimate of PMP is based on the following formulation.

$$PMP = \frac{W_m}{W} P \quad (1)$$

$$\ln(W) = 0.1133 - \ln(\lambda + 1) + 0.0393T_d \quad (2)$$

$$T_d = \frac{237.3 \ln(R_h) + 237.3 \left(\frac{17.27T}{237.3 + T} \right)}{17.27 - \ln(R_h) - \left(\frac{17.27T}{237.3 + T} \right)} \quad (3)$$



$$\dot{m}_v = \frac{d}{dt} \iiint_{v.c.} q_v \rho_a dV + \iint_{s.c.} q_v \rho_a \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} \quad (3.2.2)$$

SOME REMARKS ABOUT SEVERE STORMS IN AMAZON

- The rain station network is sparse, but it covers all the territory.
- There are thousands of station-year of historical observations.
- There is an apparent upper limit for maximum daily precipitation, around 180 mm.
- Some 1-day records during 2018 wet season: 176 mm in S11D Project (Southeastern Para), 239 mm in Barcarena (Eastern Para).
- This pattern is also verified in Brazil Southeastern Region, with the upper limit around 250 mm/day.

STATISTICAL APPROACH IN PORTO TROMBETAS REGION

Porto Trombetas Rain Station: N=46 years of records

$$\mu_{45} = 78,2 \text{ mm}$$

$$\sigma_{45} = 31,09 \text{ mm}$$

$$X_M = 148,2 \text{ mm}$$

$$K_M = \frac{148,2 - 78,2}{31,09} = 2,25$$

THE ANALYSIS WAS PERFORMED
WITHOUT ADJUSTMENT FOR
OUTLIER OR SAMPLE SIZE



$X_M=148,2 \text{ mm}$
 $X_{M-N}=143,2 \text{ mm}$
SAMPLE SIZE=46

Nhamundá Rain Station: N=30 years of records

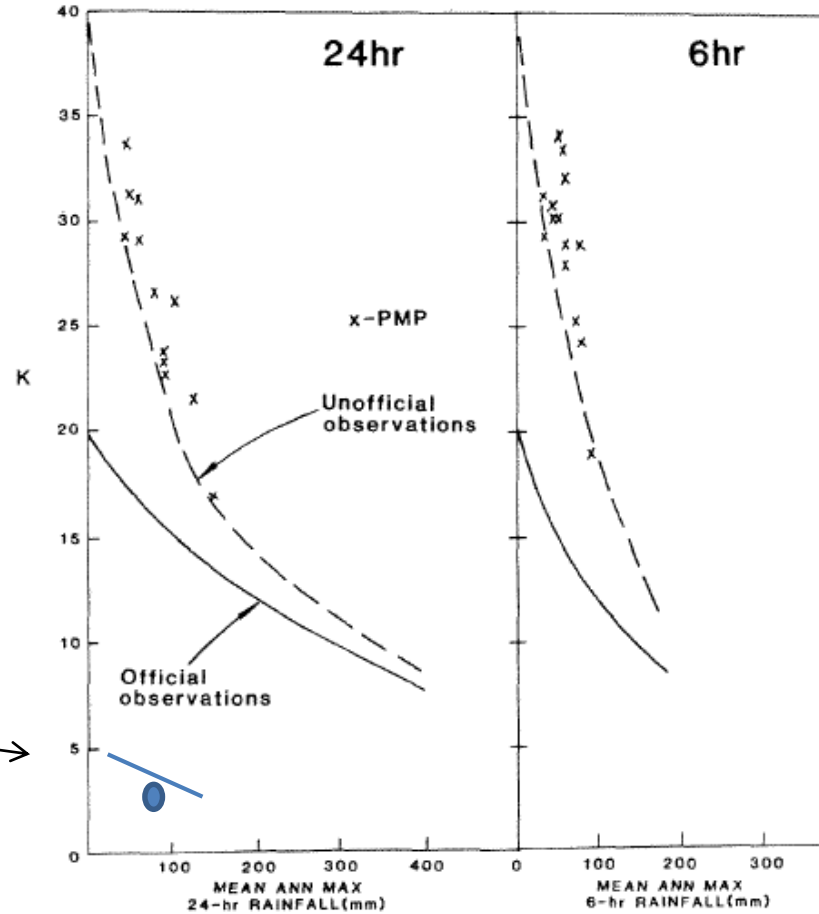
$$\mu_{29} = 93,7 \text{ mm}$$

$$\sigma_{29} = 22,68 \text{ mm}$$

$$X_M = 145,3 \text{ mm}$$

$$K_M = \frac{145,3 - 93,7}{22,68} = 2,28$$

HERSHFIELD FREQUENCY FACTOR PLOT



PLOT FOR
PORTO
TROMBETAS
REGION

Fig. 1 Relationship between frequency factor K and the mean of the annual maximum 24-h rainfall series, official and unofficial observations and selected grid values of PMP.

ESTIMATIVA DA PMP DE 24 HORAS

DETERMINAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL EM BELÉM

Andréa Malheiros Ramos e Fábio Cunha Conde

UFPA., email: andreara@model.iag.usp.br

ABSTRACT

The city of Belém, capital of the State of Pará, situated on the bank of Guajará Bay (01° 23'S and 048° 29"W). For its geographical location, according to Koppen, belongs to the "humid equatorial" climate category. This work shows a study in maximum probable precipitation in Belém, that could be considered as a kind of fictitious rain capable of producing the maximum probable (or possible) value of precipitation to any duration over a given area through the maximization of humidity of the dew point temperature. The daily data used were obtained at the meteorological station of the Federal University of Pará (UFPA) of 1983 to 1993.

Dia/Ano/Mês	C	Dia/Ano/Mês	C
18/02/92	1,15	28/01/92	1,38
17/02/91	1,25	01/08/93	1,43
21/03/89	1,31	12/08/88	1,25
16/06/88	1,31	14/01/88	1,20
01/04/92	1,31	16/05/89	1,38

Barcarena 24-hr storm (Feb 16, 2018): $P_{24}=239,2$ mm

Ratio $W/W_p=1,43$

$PMP_{24}=239,2 \times 1,43=342$ mm

THE CLIMATE IN AMAZON AND THE PMP FORMATION

and Fritsch 1987). The first two regions are subject to strong orographic influences. Surprisingly, the Amazon is nearly devoid of MCCs. Here is a region known for numerous Cbs but virtually no MCCs, and only very rare severe weather.

388

METEOROLOGICAL MONOGRAPHS

Vol. 28, No. 50

and Fritsch 1987). The first two regions are subject to strong orographic influences. Surprisingly, the Amazon is nearly devoid of MCCs. Here is a region known for numerous Cbs but virtually no MCCs, and only very rare severe weather.

There is a serious deficiency of surface observations for the Amazon, which limits our ability to detect SLS. Ecologists studying the rain forest have mentioned the existence of tree blow-down areas, but a census of these events cannot be found. One could argue that the rain forest, given its high growth rates and limited exposure to high winds, would be susceptible to damage at thresholds below severe. Conversely, there may be a crucial factor missing that affects both MCC and SLS formation. Critical factors that rarely occur over the Amazon include 1) a low-level wind maximum, 2) dry midlevel air, and 3) vorticity, either in the vertical or horizontal. High CAPE and roughly barotropic conditions are the norm for the Amazon (Williams and Renno 1993). In the middle of the wet season there exists a deeper layer of moisture that is not conducive to cooling via evaporation and subsequent rising air, downdrafts and outflows. Other locations with few MCCs and maybe rare SLS occurrence include the equatorial rain forest in Africa (Laing and Fritsch 1993a) and the west Pacific equatorial trough.

Given that MCC formation favors the warmer season in the Tropics, it would seem plausible that there are recognizable planetary-scale features that play a role in their

the best that one can do given the paucity of tropical data and the time constraints of this work.

Straight-line winds exceeding

thunderstorm days, though a more Anemometer design, maintenance above ground, and recording compact wind speed estimates. The sustained or peak/gust winds escape around most long-running, tion sites has undergone considerable sites just a few kilometers apart and peak estimates.

1) EXTRATROPICAL WAVES

The robust gradients of extratropical systems have the best chance for survival when they can rapidly move into the Tropics from continental regions. The Caribbean and northeastern India-Bangladesh are two regions that are affected.

Alfonso (1988) has examined the frequency of severe weather in Cuba and notes that such events occur yearround. In the spring (March-May), extratropical systems (shortwave troughs and cold fronts) are responsible for the majority of the severe weather. In the summer and early fall (July-September), tropical cyclones, upper-level troughs, and mesoscale forcing

age at thresholds below severe. Conversely, there may be a crucial factor missing that affects both MCC and SLS formation. Critical factors that rarely occur over the Amazon include 1) a low-level wind maximum, 2) dry midlevel air, and 3) vorticity, either in the vertical or horizontal. High CAPE and roughly barotropic conditions are the norm for the Amazon (Williams and Renno 1993). In the middle of the wet season there

Severe Convective Storms

Charles A. Doswell III, Editor



MCC – Mesoscale Convective Complex
SLS – Severe Local Storm

SLS IN THE TROPICS

Chapter 10

Severe Local Storms in the Tropics

GARY BARNES

Depar. a. The trades

REVIEW PANEL: E. S. Zip

has different minimum
nimbus (Cb) forming
conditional instability
SLS. In the Tropics,
evenly through a de
Though the magnitude
the updrafts rarely ach
ation to form SLS. She
promote the genesis of
essarily SLS.

The trade wind region (see Fig. 10.2) covers the largest portion of the Tropics and the mean conditions found there do not readily support deep convection (Riehl 1954, 1979; Malkus 1956; Malkus and Riehl 1964; Augstein et al. 1973; Albrecht 1984). The trade regions are dominated by a lower-tropospheric inversion, low-level divergence, and midtropospheric subsidence; soundings from this region are conditionally unstable for only a shallow layer below the trade wind inversion, and are dry neutral to absolutely stable through much of the mid- and upper troposphere (e.g., Malkus 1956; Riehl 1979; Kloesel and Albrecht 1989).

PMP ESTIMATES IN A MONSOONAL WEATHER PATTERN

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/303910137>

Investigation of Probable Maximum Precipitation for Disaster Risk Reduction in Sri Lanka

Conference Paper · January 2011

Table 4: PMP results

Station	PMP - hydro (mm)	PMP - stat (mm)	PMP-hydro to max. daily rainfall
Anuradhapura	591	593	2.7
Colombo	923	960	1.9
Galle	800	798	2.8
Hambantota	614	572	2.1
Kurunegala	585*	690	2.3
Puttalam	707	717	3.0
Ratnapura	917*	1031	2.3

* Inadequate wind records

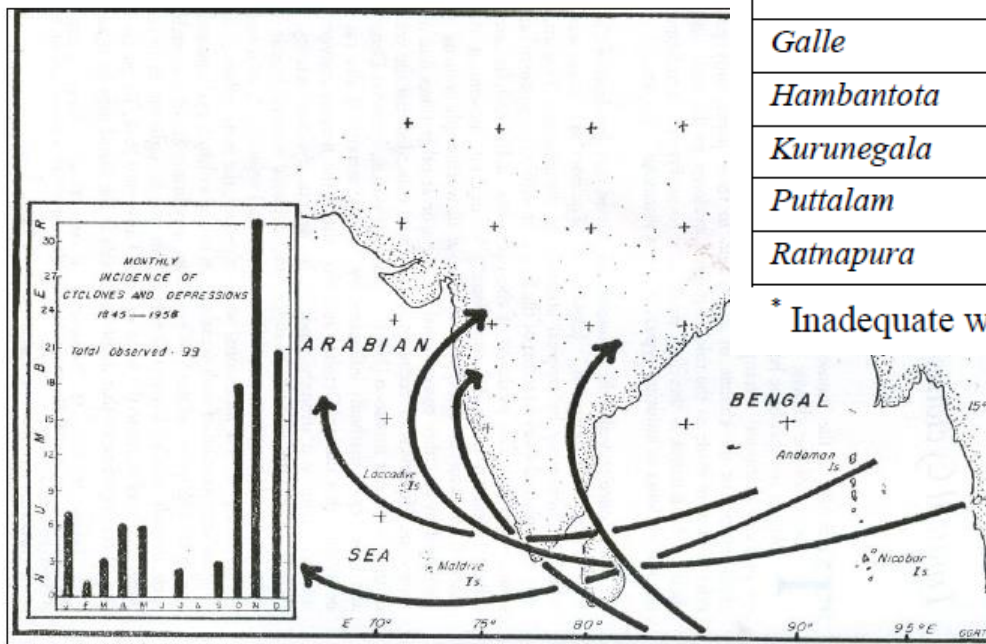


Figure 3: Cyclonic trajectories during 1845 – 1958 (Thambyahpillay, 1959)

PMP ESTIMATES IN A MONSOONAL WEATHER PATTERN

INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER RESOURCES, COASTAL AND OCEAN ENGINEERING (ICWRCOE 2015)

Probable maximum precipitation estimation for catchments in Mahanadi river basin

Sagar Rohidas Chavan^{a*}, V. V. Srinivas^a

^aDepartment of Civil Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore-560 012, India

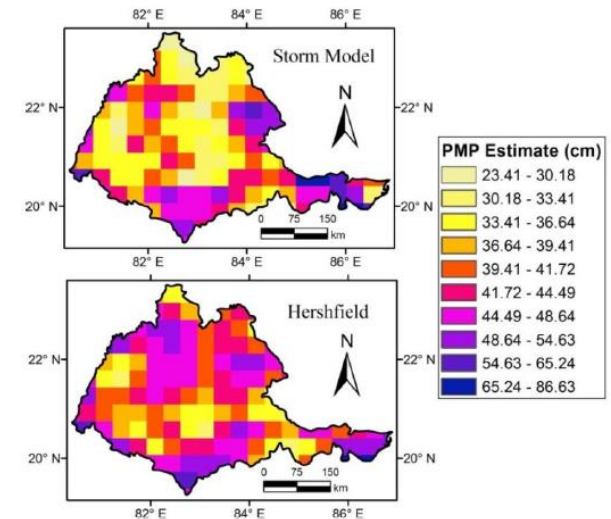
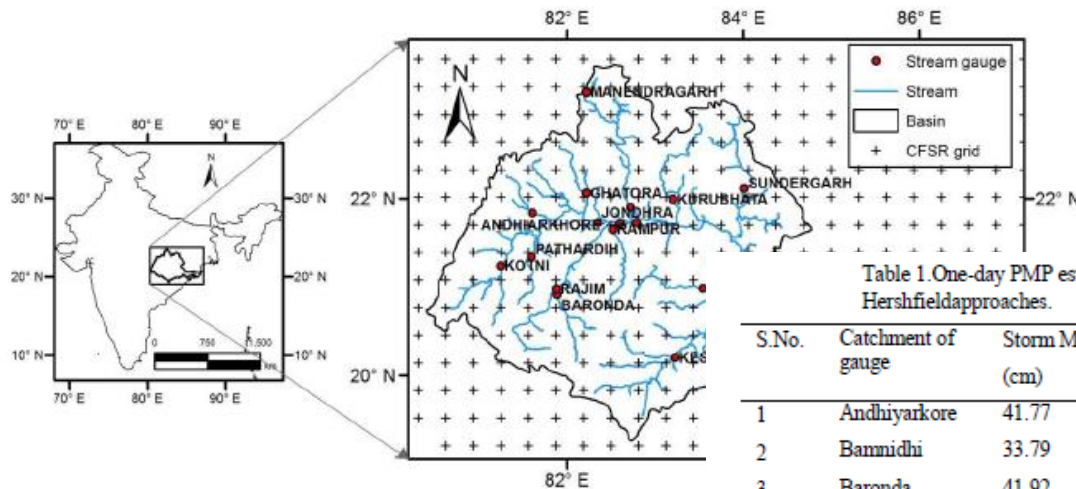
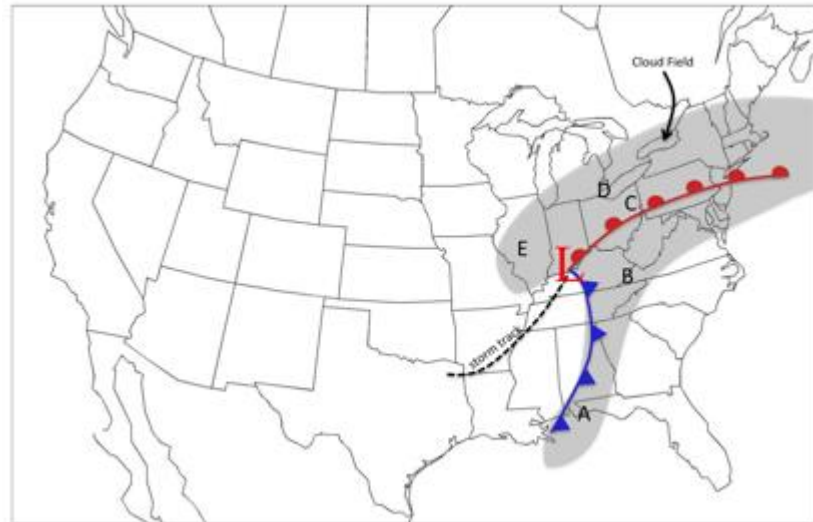
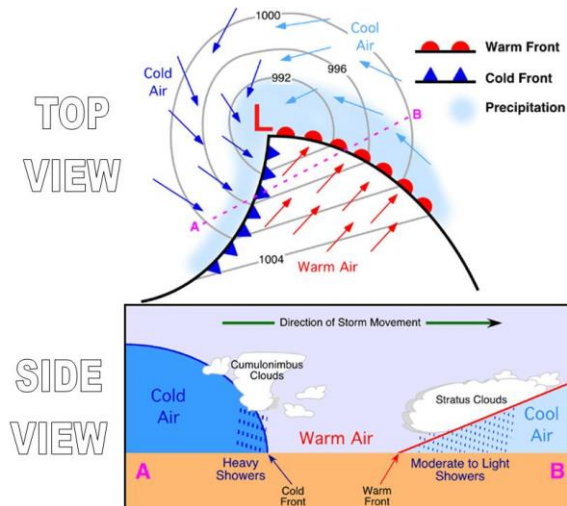


Table 1. One-day PMP estimates for catchments in Mahanadi river basin obtained using Storm model and Hershfield approaches.

S.No.	Catchment of gauge	Storm Model (cm)	Hershfield (cm)	S.No.	Catchment of gauge	Storm Model (cm)	Hershfield (cm)
1	Andhiyarkore	41.77	45.90	10	Kurbhata	32.68	41.43
2	Bammidhi	33.79	43.89	11	Manendragarh	28.35	36.89
3	Baronda	41.92	39.92	12	Patherdih	34.81	39.22
4	Basantpur	38.08	42.94	13	Rajim	39.33	40.89
5	Ghatora	41.32	48.54	14	Rampur	38.70	41.33
6	Jondhra	39.12	42.91	15	Salebhata	34.99	37.93
7	Kantamal	42.77	45.73	16	Seorinarayana	39.01	42.67
8	Kesinga	44.98	47.19	17	Sundergarh	35.03	41.10
9	Kotni	40.35	44.68	18	Tikarapara	38.88	42.92

WEATHER PATTERN IN NORTH AMERICA FOR EXTREME STORMS



Dam Owners Perspective

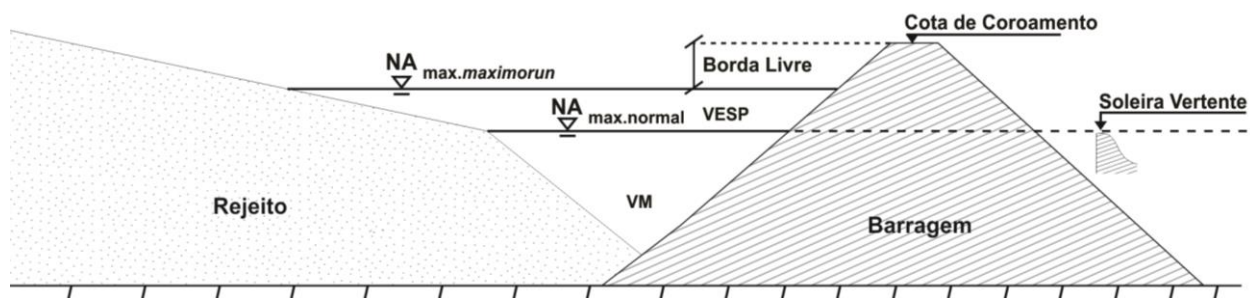
- For the northeast region of the United States, the controlling historical storm event is the 1942 Smethport, Pennsylvania storm
- During this storm, it was estimated that a world record 30.8 inches of rain fell in a 4.5 hour period
- All of the other hundreds of historical storms used to develop PMP estimates for the East Coast pale in comparison to the rainfall from the Smethport storm
- Therefore, this storm alone drives the new design standard for a large portion of the northeastern U.S.



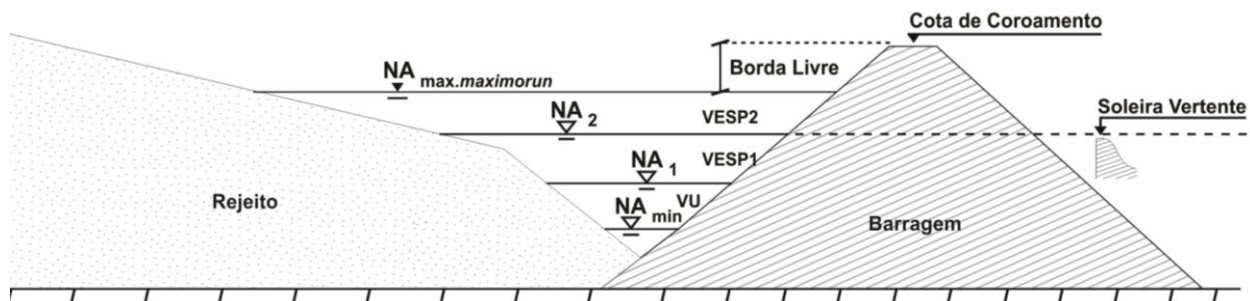
P=782 mm
i=174 mm/hr

NÍVEIS OPERATIVOS NOTÁVEIS DE BARRAGEM DE REJEITOS

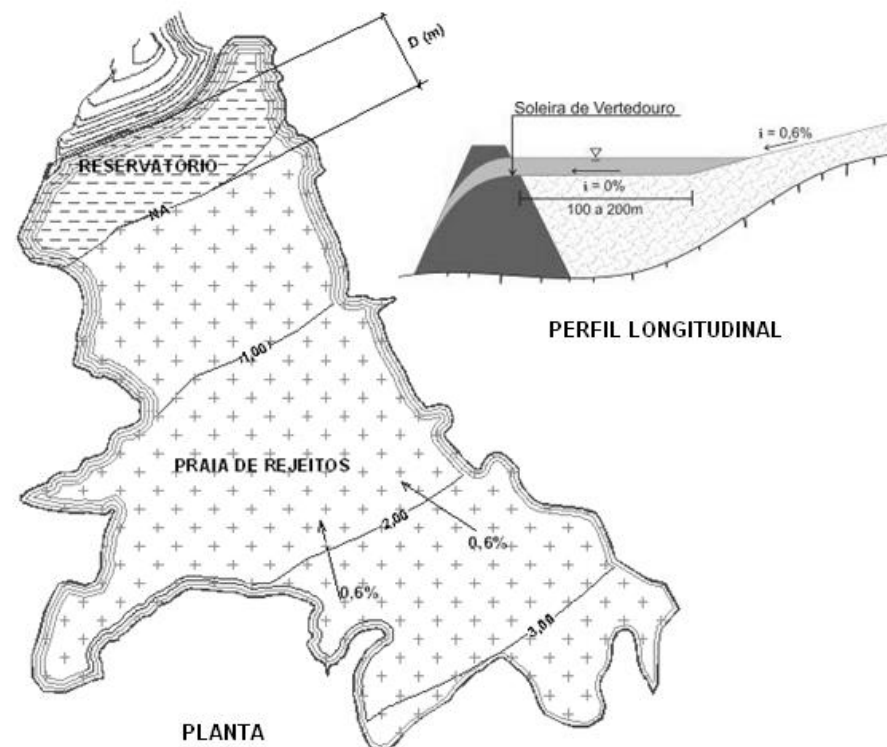
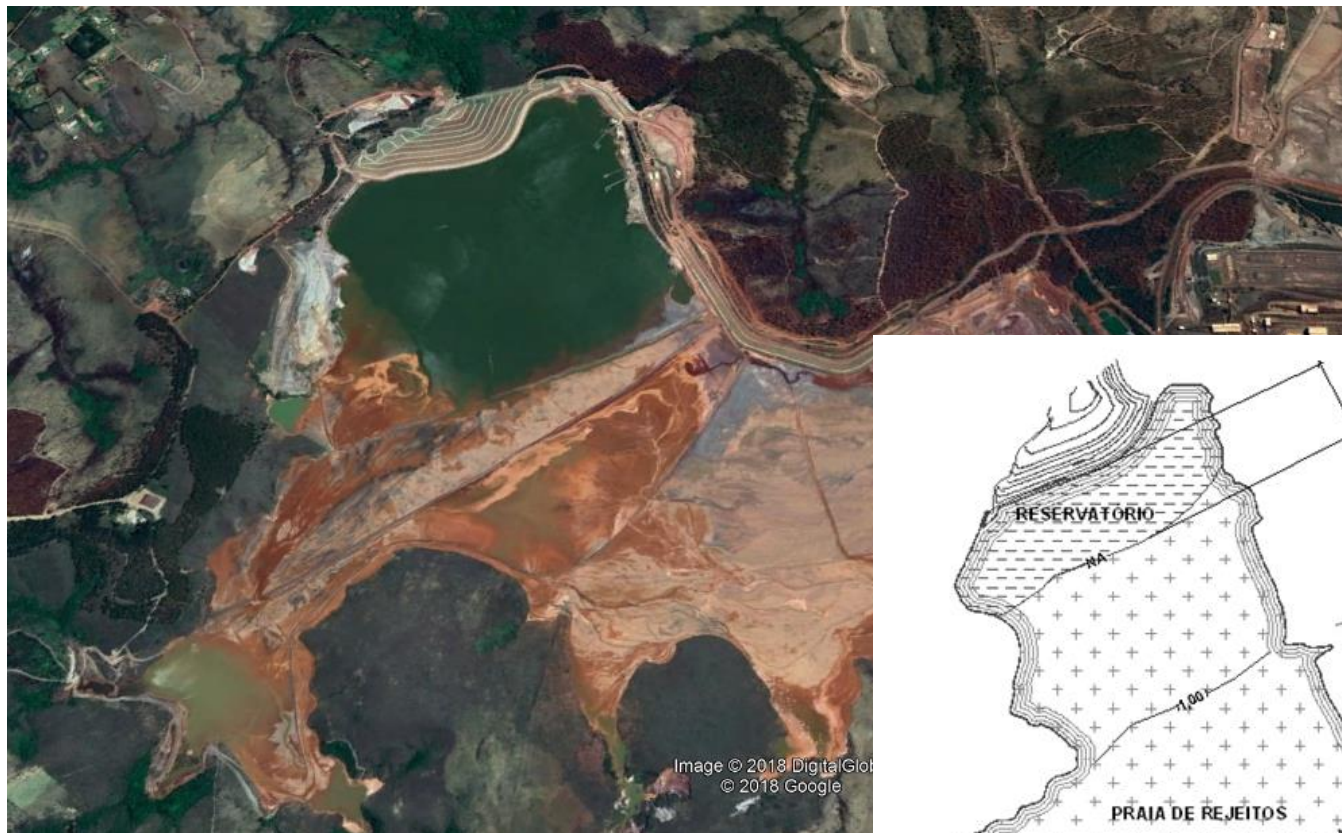
OPERAÇÃO EM CIRCUITO ABERTO



OPERAÇÃO EM CIRCUITO FECHADO



BACIA ALTERADA EM PROJETO DE MINERAÇÃO



EVOLUÇÕES METODOLÓGICAS PARA AS BARRAGENS DE REJEITOS

- Incorporação da inércia volumétrica dos reservatórios.
- Pesquisa da duração crítica para a resposta do sistema hidráulico-hidrológico.
- Dimensionamento de sistemas de extravasamento com duração crítica inferior a 30 dias.
- Considerar e desenvolver indicadores de segurança para incorporar a morfologia dos depósitos de rejeitos nos reservatórios.
- Desenvolvimento de critérios específicos para a fase de fechamento das barragens.

CONCLUSÕES

- O processo de judicialização da segurança das barragens exige precauções e retomada do protagonismo da Engenharia.
- Os métodos empíricos continuam sendo uma ferramenta importante para indicar a ordem de grandeza das cheias de projeto.
- A incessante pesquisa pela distribuição de probabilidades do espaço amostral das vazões de cheias.
- As dificuldades de correlacionar picos e volumes de cheias com uma determinada frequência.
- Existe uma carência de programas efetivos de medições de descargas elevadas e de reconstituição de vazões de cheias por meio de métodos indiretos.

CONCLUSÕES

- Em algumas bacias brasileiras não ocorre o escoamento hortoniano, sendo gerados hidrogramas de cheias a partir de outros tipos de escoamento (hipodérmico ou de superfícies saturadas).
- Não existe um critério específico para definir um “ietograma de projeto”.
- As instituições de pesquisa no Brasil → alinhamento com a atualização sem passar pelo desenvolvimento de estudos de base.
- O público “leigo” tem dificuldade em entender as incertezas hidrológicas.

ONDE ATUAR (RECOMENDAÇÕES GERAIS)

- Aprimorar as redes de monitoramento, implantando bacias representativas → foco especial nas bacias pequenas com grandes barragens (caso clássico das barragens de contenção de rejeitos).
- Estabelecer regras para acompanhamento em tempo real para as barragens de alto risco associado.
- Pesquisar métodos de cálculo de cheias de projeto aderentes às condições brasileiras.
- Acompanhar a evolução das eventuais mudanças climáticas.
- Estabelecer uma base metodológica que possa ser referendada junto ao Ministério Público.

ONDE ATUAR (RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISA)

- Elaborar estudos de cálculo PMP a partir dos últimos eventos extremos de precipitação.
- Desenvolver modelos de fluxo não-hortoniano, com dados consistentes para calibração.
- Avaliar o impacto na segurança das barragens em função da distribuição temporal das precipitações.
- Aprimorar métodos simplificados para cálculo de chuva efetiva.



OBRIGADO PELA ATENÇÃO

mario.cicareli@potamos.com.br

www.potamos.com.br

POTAMOS

ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E GEOTECNIA