

A importância da monitorização e a modelação

Maria Manuela Portela
IST, Lisboa



A importância da monitorização de variáveis hidrológicas e a modelação hidrológica

Maria Manuela Portela
IST, Lisboa



**O Homem é a medida de todas as coisas ... (não existe
verdade mas aquilo que cada um considera ser verdade)**

Protágoras (480-410 AC)

ou



***To measure is to know ... if you cannot measure it, you
cannot improve it*** (Lord Kelvin, físico matemático do século 19)



**Monitorização de uma dada variável hidrológica: conjunto de
procedimentos de recolha, manipulação, processamento,
simulação e disponibilização harmonizada de informação.**

Monitorização de uma dada variável hidrológica: conjunto de procedimentos de recolha, manipulação, processamento, simulação e disponibilização harmonizada de informação.

Objectivo: caracterização fiável dessa variável em termos dos seus valores e da sua variabilidade temporal e espacial (precipitação e escoamento)

- ✓ conhecimento e caracterização dos fenómenos em si (tempo-espço);

Monitorização de uma dada variável hidrológica: conjunto de procedimentos de recolha, manipulação, processamento, simulação e disponibilização harmonizada de informação.

Objectivo: caracterização fiável dessa variável em termos dos seus valores e da sua variabilidade temporal e espacial (precipitação e escoamento)

- ✓ conhecimento e caracterização dos fenómenos em si (tempo-espço);
- ✓ avaliação, planeamento e gestão dos recursos hídricos, incluindo a gestão de origens de água;

Monitorização de uma dada variável hidrológica: conjunto de procedimentos de recolha, manipulação, processamento, simulação e disponibilização harmonizada de informação.

Objectivo: caracterização fiável dessa variável em termos dos seus valores e da sua variabilidade temporal e espacial (precipitação e escoamento)

- ✓ conhecimento e caracterização dos fenómenos em si (tempo-espço);
- ✓ avaliação, planeamento e gestão dos recursos hídricos, incluindo a gestão de origens de água;
- ✓ priorização/hierarquização de usos e consumos;

Monitorização de uma dada variável hidrológica: conjunto de procedimentos de recolha, manipulação, processamento, simulação e disponibilização harmonizada de informação.

Objectivo: caracterização fiável dessa variável em termos dos seus valores e da sua variabilidade temporal e espacial (precipitação e escoamento)

- ✓ conhecimento e caracterização dos fenómenos em si (tempo-espço);
- ✓ avaliação, planeamento e gestão dos recursos hídricos, incluindo a gestão de origens de água;
- ✓ priorização/hierarquização de usos e consumos;
- ✓ dimensionamento de infra-estruturas hidráulicas;

Monitorização de uma dada variável hidrológica: conjunto de procedimentos de recolha, manipulação, processamento, simulação e disponibilização harmonizada de informação.

Objectivo: caracterização fiável dessa variável em termos dos seus valores e da sua variabilidade temporal e espacial (precipitação e escoamento)

- ✓ conhecimento e caracterização dos fenómenos em si (tempo-espço);
- ✓ avaliação, planeamento e gestão dos recursos hídricos, incluindo a gestão de origens de água;
- ✓ priorização/hierarquização de usos e consumos;
- ✓ dimensionamento de infra-estruturas hidráulicas;
- ✓ defesa do ambiente e dos ecossistemas;

Monitorização de uma dada variável hidrológica: conjunto de procedimentos de recolha, manipulação, processamento, simulação e disponibilização harmonizada de informação.

Objectivo: caracterização fiável dessa variável em termos dos seus valores e da sua variabilidade temporal e espacial (precipitação e escoamento)

- ✓ conhecimento e caracterização dos fenómenos em si (tempo-espço);
- ✓ avaliação, planeamento e gestão dos recursos hídricos, incluindo a gestão de origens de água;
- ✓ priorização/hierarquização de usos e consumos;
- ✓ dimensionamento de infra-estruturas hidráulicas;
- ✓ defesa do ambiente e dos ecossistemas;
- ✓ caracterização de fenómenos hidrológicos extremos;

Monitorização de uma dada variável hidrológica: conjunto de procedimentos de recolha, manipulação, processamento, simulação e disponibilização harmonizada de informação.

Objectivo: caracterização fiável dessa variável em termos dos seus valores e da sua variabilidade temporal e espacial (precipitação e escoamento)

- ✓ conhecimento e caracterização dos fenómenos em si (tempo-espço);
- ✓ avaliação, planeamento e gestão dos recursos hídricos, incluindo a gestão de origens de água;
- ✓ priorização/hierarquização de usos e consumos;
- ✓ dimensionamento de infra-estruturas hidráulicas;
- ✓ defesa do ambiente e dos ecossistemas;
- ✓ caracterização de fenómenos hidrológicos extremos;
- ✓ concepção de sistemas de vigilância, aviso e alerta relacionados com os recursos hídricos;

Monitorização de uma dada variável hidrológica: conjunto de procedimentos de recolha, manipulação, processamento, simulação e disponibilização harmonizada de informação.

Objectivo: caracterização fiável dessa variável em termos dos seus valores e da sua variabilidade temporal e espacial (precipitação e escoamento)

- ✓ conhecimento e caracterização dos fenómenos em si (tempo-espço);
- ✓ avaliação, planeamento e gestão dos recursos hídricos, incluindo a gestão de origens de água;
- ✓ priorização/hierarquização de usos e consumos;
- ✓ dimensionamento de infra-estruturas hidráulicas;
- ✓ defesa do ambiente e dos ecossistemas;
- ✓ caracterização de fenómenos hidrológicos extremos;
- ✓ concepção de sistemas de vigilância, aviso e alerta relacionados com os recursos hídricos;
- ✓ detecção de comportamentos não estacionários em séries hidrológicas, incluindo tendências (mudanças climáticas);

Monitorização de uma dada variável hidrológica: conjunto de procedimentos de recolha, manipulação, processamento, simulação e disponibilização harmonizada de informação.

Objectivo: caracterização fiável dessa variável em termos dos seus valores e da sua variabilidade temporal e espacial (precipitação e escoamento)

- ✓ conhecimento e caracterização dos fenómenos em si (tempo-espço);
- ✓ avaliação, planeamento e gestão dos recursos hídricos, incluindo a gestão de origens de água;
- ✓ priorização/hierarquização de usos e consumos;
- ✓ dimensionamento de infra-estruturas hidráulicas;
- ✓ defesa do ambiente e dos ecossistemas;
- ✓ caracterização de fenómenos hidrológicos extremos;
- ✓ concepção de sistemas de vigilância, aviso e alerta relacionados com os recursos hídricos;
- ✓ detecção de comportamentos não estacionários em séries hidrológicas, incluindo tendências (mudanças climáticas);

Monitorização de uma dada variável hidrológica: conjunto de procedimentos de recolha, manipulação, processamento, simulação e disponibilização harmonizada de informação.

Objectivo: caracterização fiável dessa variável em termos dos seus valores e da sua variabilidade temporal e espacial (precipitação e escoamento)

- ✓ conhecimento e caracterização dos fenómenos em si (tempo-espço);
- ✓ avaliação, planeamento e gestão dos recursos hídricos, incluindo a gestão de origens de água;
- ✓ priorização/hierarquização de usos e consumos;
- ✓ dimensionamento de infra-estruturas hidráulicas;
- ✓ defesa do ambiente e dos ecossistemas;
- ✓ caracterização de fenómenos hidrológicos extremos;
- ✓ concepção de sistemas de vigilância, aviso e alerta relacionados com os recursos hídricos;
- ✓ detecção de comportamentos não estacionários em séries hidrológicas, incluindo tendências (mudanças climáticas);
- ✓ estabelecimento de novos critérios de projecto.....

Monitorização de uma dada variável hidrológica: conjunto de procedimentos de recolha, manipulação, processamento, simulação e disponibilização harmonizada de informação.

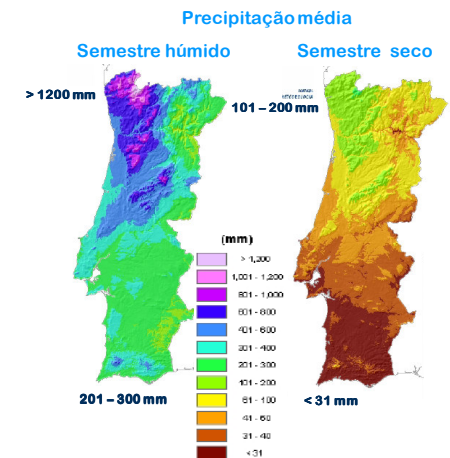
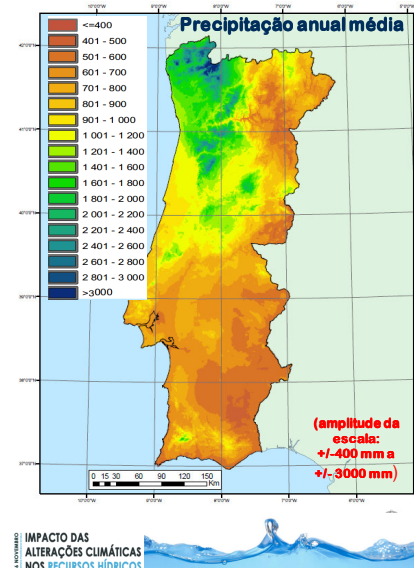
Objectivo: caracterização fiável dessa variável em termos dos seus valores e da sua variabilidade temporal e espacial (precipitação e escoamento)

- ✓ conhecimento e caracterização dos fenómenos em si (tempo-espço);
- ✓ avaliação, planeamento e gestão dos recursos hídricos, incluindo a gestão de origens de água;
- ✓ priorização/hierarquização de usos e consumos;
- ✓ dimensionamento de infra-estruturas hidráulicas;
- ✓ defesa do ambiente e dos ecossistemas;
- ✓ caracterização de fenómenos hidrológicos extremos;
- ✓ concepção de sistemas de vigilância, aviso e alerta relacionados com os recursos hídricos;
- ✓ detecção de comportamentos não estacionários em séries hidrológicas, incluindo tendências (mudanças climáticas);
- ✓ estabelecimento de novos critérios de projecto.....

Precipitação, escoamento superficial, águas subterrâneas, temperatura, humidade do ar, velocidade do vento, evaporação, radiação solar, sedimentos,, quantidade, qualidade

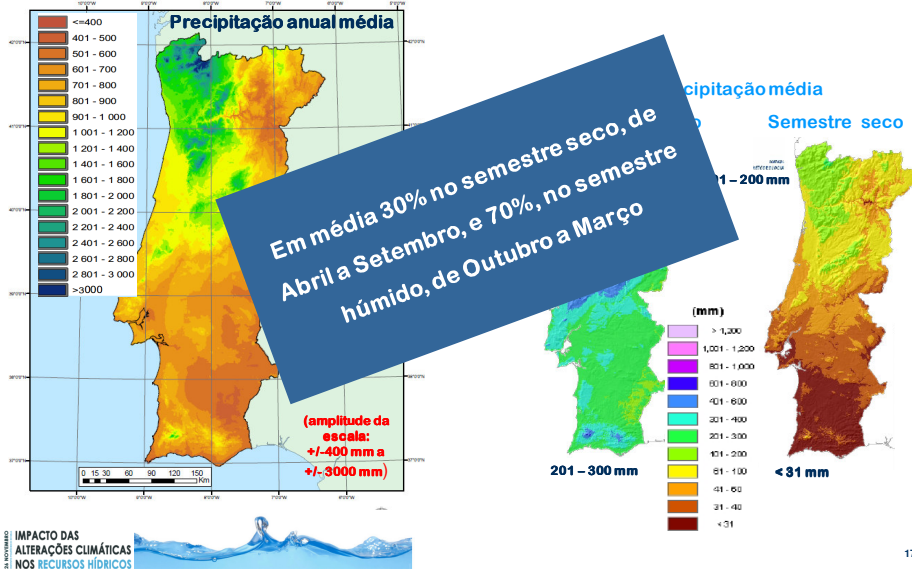
Porquê medir/monitorizar?

Variabilidade intrínseca no espaço e no tempo do regime da precipitação



Porquê medir/monitorizar?

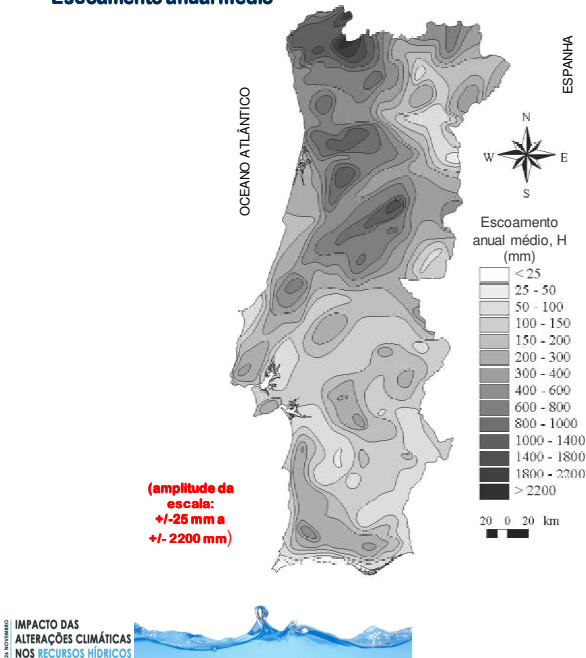
Variabilidade intrínseca no espaço e no tempo do regime da precipitação



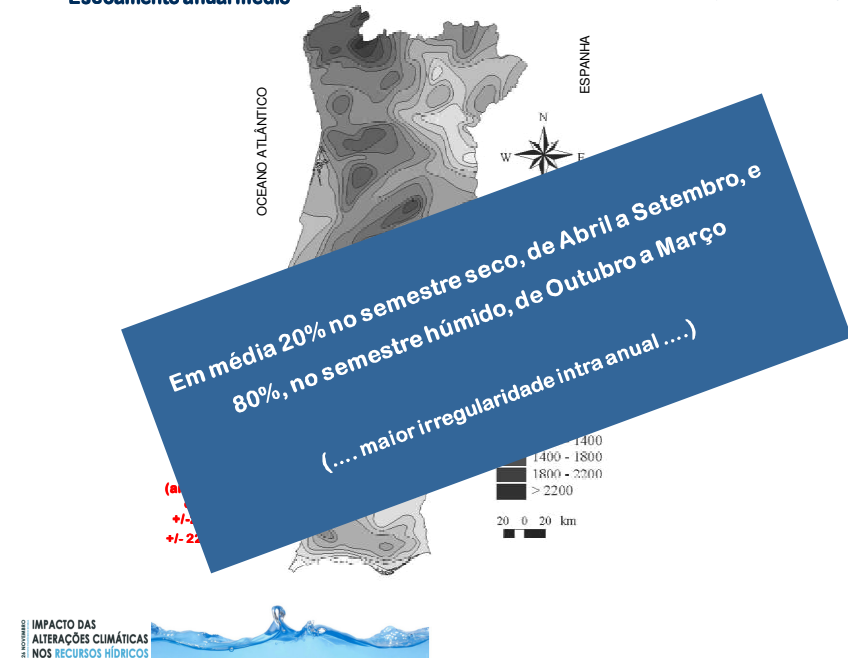
Precipitação



Escoamento anual médio



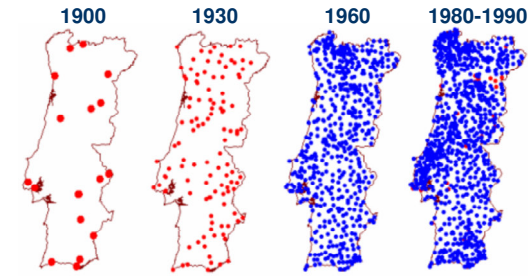
Escoamento anual médio



A irregularidade do regime hidrológico ... longa tradição na monitorização de variáveis hidrológicas (... “transportada” para outros países ...)

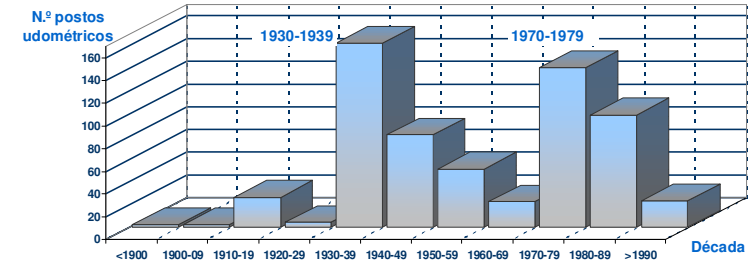
“Em Portugal, as **actividades de monitorização climática têm mais de um século. A hidrometria é também centenária**, ainda que no início não tivesse uma representatividade espacial nacional. A principal expansão da monitorização de recursos hídricos foi estimulada pela **expansão da utilização da água como recurso e é mais sensível nas décadas de 30/40** (... do século XX ...) no apoio ao planeamento hidroeléctrico e de rega, fundamentando, então, o lançamento de inúmeros projectos de grandes obras públicas”

(INAG, DSRH,1998)

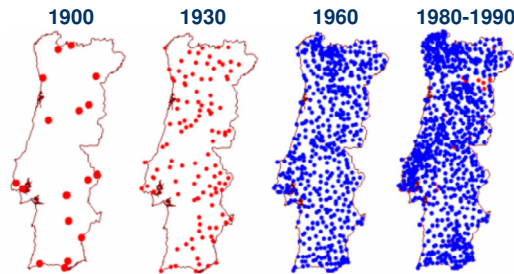


Precipitação

Evolução da rede de postos udométricos

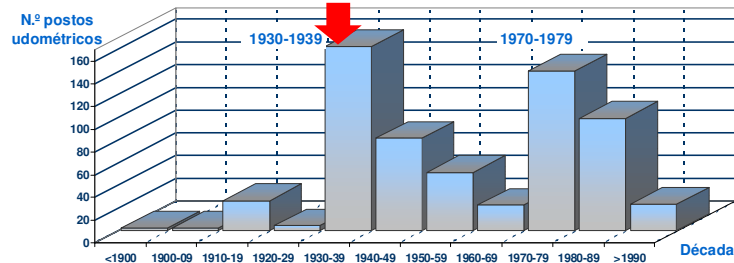


(fonte: Plano Nacional da Água, 2002)



Precipitação

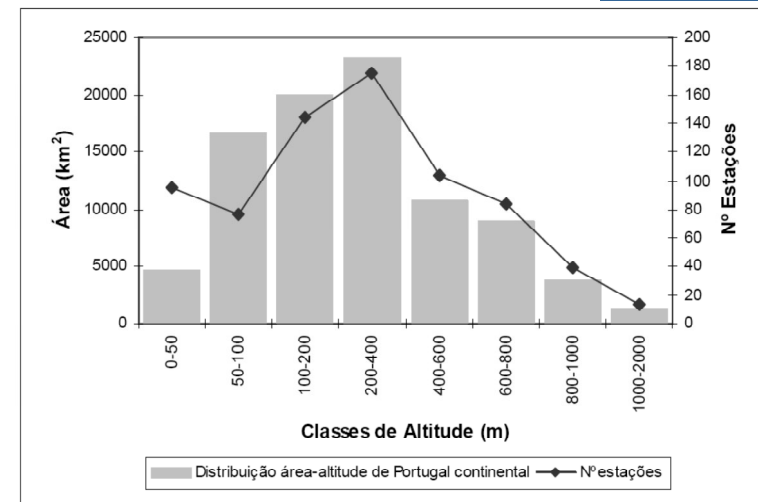
Evolução da rede de postos udométricos



(fonte: Plano Nacional da Água, 2002)



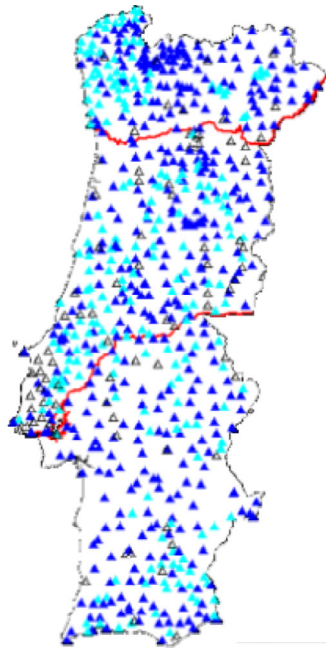
Precipitação



Distribuição dos postos udométricos por classes de altitude e comparação com a distribuição área/altitude de Portugal Continental

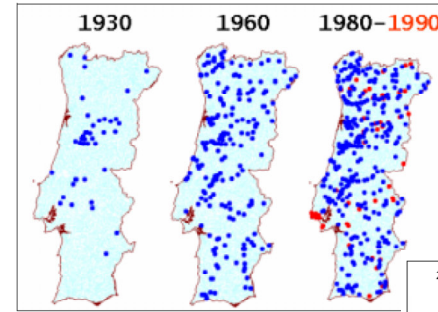
(fonte: Plano Nacional da Água, 2002)





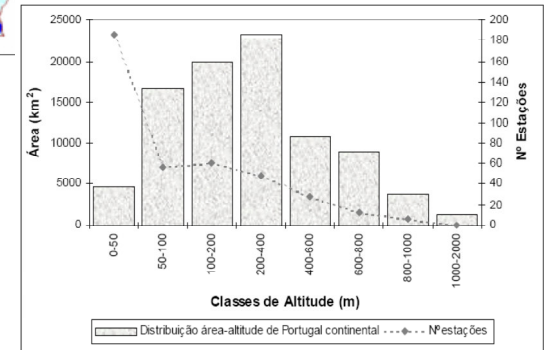
- < 15 anos
- 15-30 anos
- > = 30 anos

Número de anos completos com registos (... a maior parte dos postos dispõe de mais de 30 anos de registos)



Evolução da rede de estações hidrométricas

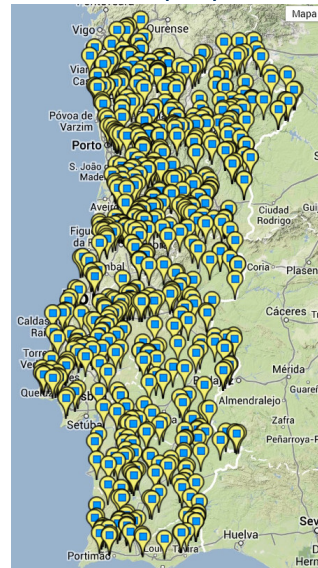
Distribuição das estações hidrométricas por classes de altitude e comparação com a distribuição área/altitude de Portugal Continental



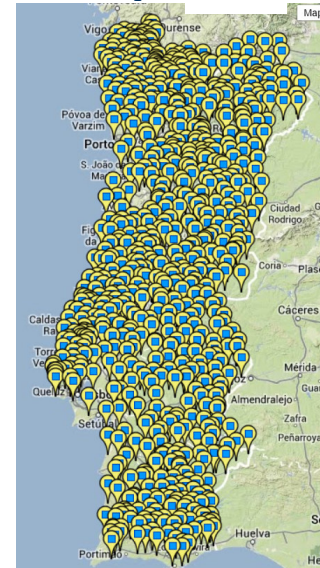
Rede meteorológica (792)



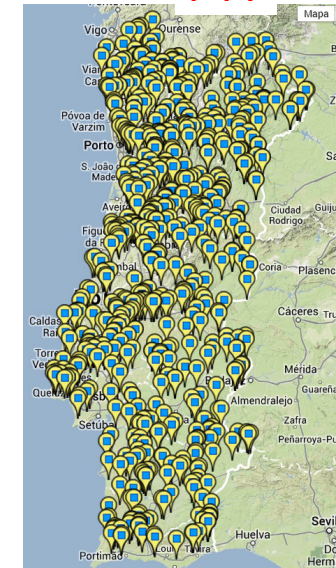
Rede hidrométrica (717)



Rede meteorológica | 792



Rede hidrométrica | 717



Rede meteorológica | 792

Rede hidrométrica | 717

apro. 115 km²/posto

apro. 130 km²/estação

Densidade de postos e de estações muito superior à sugerida pela *World Meteorological Organization, WMO, 2008*, mesmo para regiões montanhosas

Rede meteorológica | 792

Rede hidrométrica | 717

A Infelizmente, este serviço esteve obrigado a suspender, temporariamente, a publicação dos dados meteorológicos a partir do ano hidrológico 2012/13. Esta suspensão relaciona-se com a qualidade dos dados que ficou comprometida, com a ausência da manutenção das estações de monitorização hidro-meteorológicas. Logo que haja condições financeiras e técnicas, será iniciada a publicação. Por fim, informa-se que a reposição deste serviço passa pelo reinício da manutenção das estações de monitorização de recursos hídricos, que está dependente da aprovação de uma candidatura aos fundos do QREN, PO7-EXO III - Riscos.

B A manutenção das estações de monitorização automáticas está suspensa desde meados de Março de 2010, pelo que poderão ocorrer falhas na disponibilização de dados ao público. Face a este convencionalismo, os dados não são totalmente fiáveis.

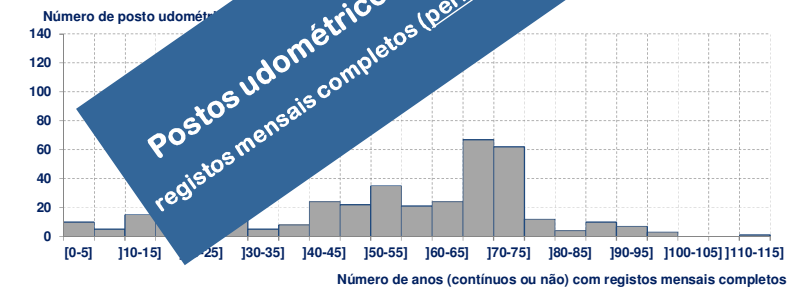
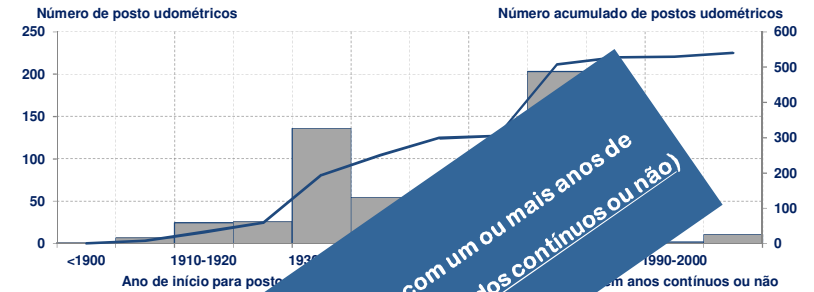
Rede meteorológica | 792

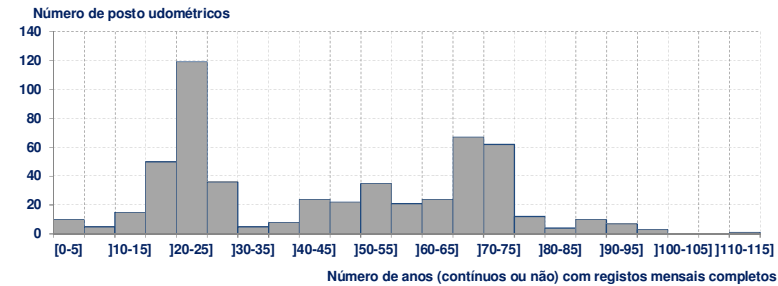
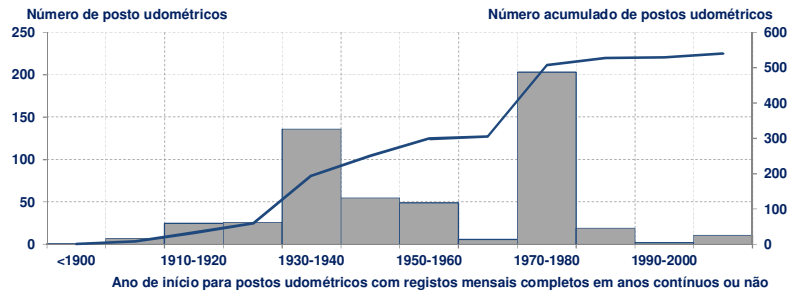
Rede hidrométrica | 717

... suspender, temporariamente, a publicação dos dados a partir do ano hidrológico de 2012/2013 ...

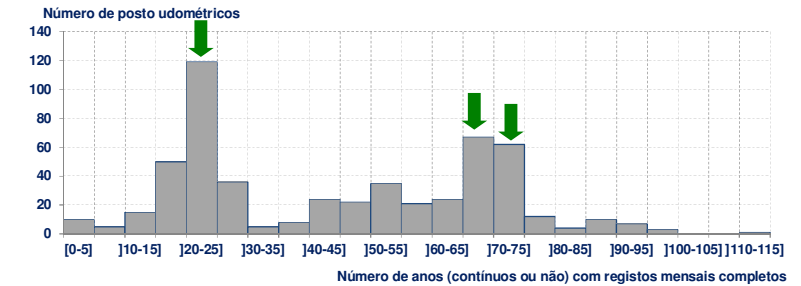
A manutenção das estações está suspensa desde meados de Março de 2010 ...

IV JORNADAS DOS RECURSOS HÍDRICOS

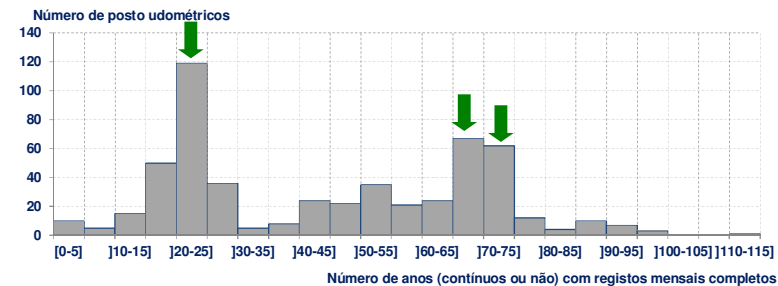




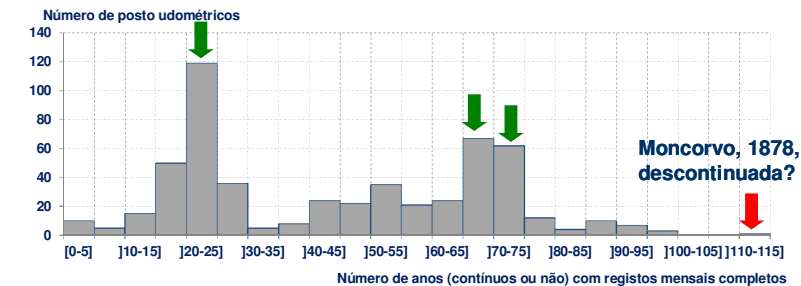
A informação udométrica afigura-se razoável sendo fundamental assegurar a manutenção da rede de monitorização (... nível diário... procedimentos de preenchimento de falhas permitindo eventualmente recuperar algumas séries mensais e diárias e mesmo estendê-las... pressuposto de estacionaridade)



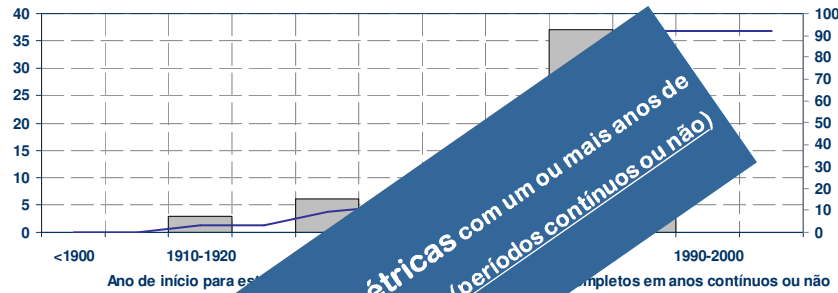
A informação udométrica afigura-se razoável sendo fundamental assegurar a manutenção da rede de monitorização (... nível diário... procedimentos de preenchimento de falhas permitindo eventualmente recuperar algumas séries mensais e diárias e mesmo estendê-las... pressuposto de estacionaridade)



A informação udométrica afigura-se razoável sendo fundamental assegurar a manutenção da rede de monitorização (... nível diário... procedimentos de preenchimento de falhas permitindo eventualmente recuperar algumas séries mensais e diárias e mesmo estendê-las... pressuposto de estacionaridade)

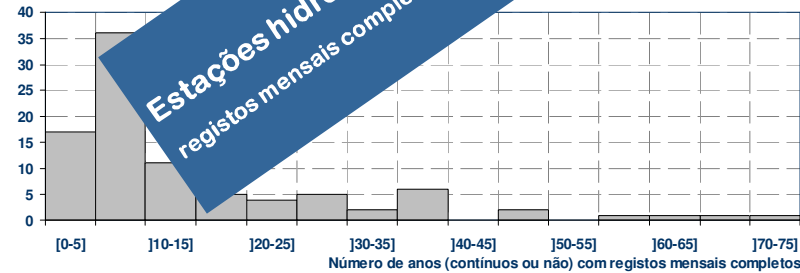


Número de estações hidrométricas



Ano de início para estações hidrométricas com registos mensais completos em anos contínuos ou não

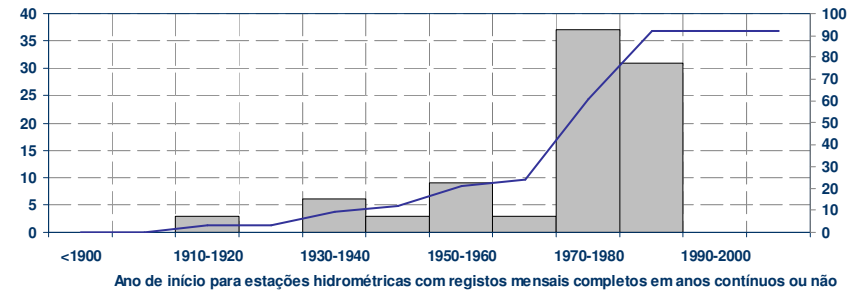
Número de estações hidrométricas



Número de anos (contínuos ou não) com registos mensais completos

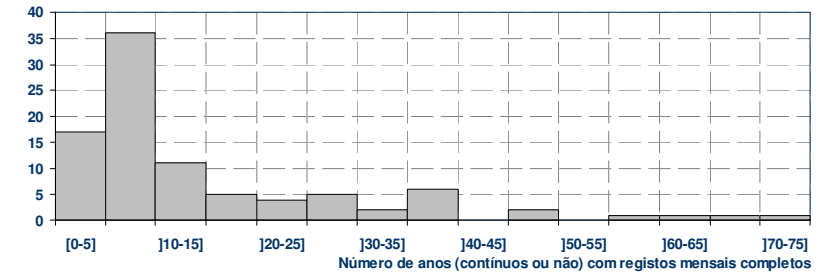


Número de estações hidrométricas



Ano de início para estações hidrométricas com registos mensais completos em anos contínuos ou não

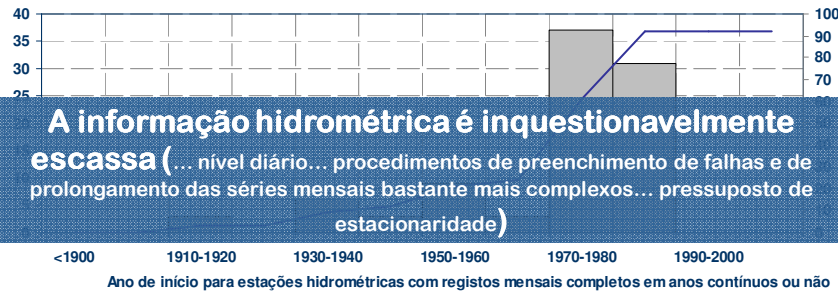
Número de estações hidrométricas



Número de anos (contínuos ou não) com registos mensais completos

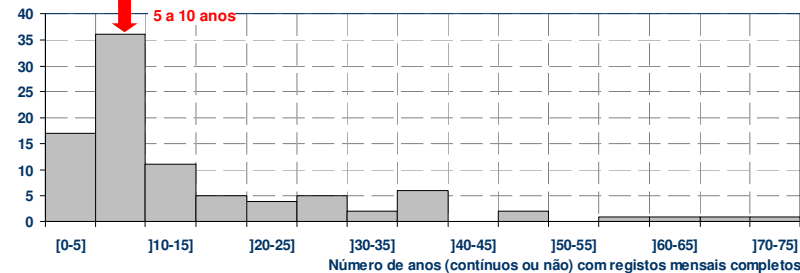


Número de estações hidrométricas



Ano de início para estações hidrométricas com registos mensais completos em anos contínuos ou não

Número de estações hidrométricas



Número de anos (contínuos ou não) com registos mensais completos



Será que tem vindo a ser difundida a “ideia” de que é possível “conhecer” sem medir, pelo menos na concepção tradicional?



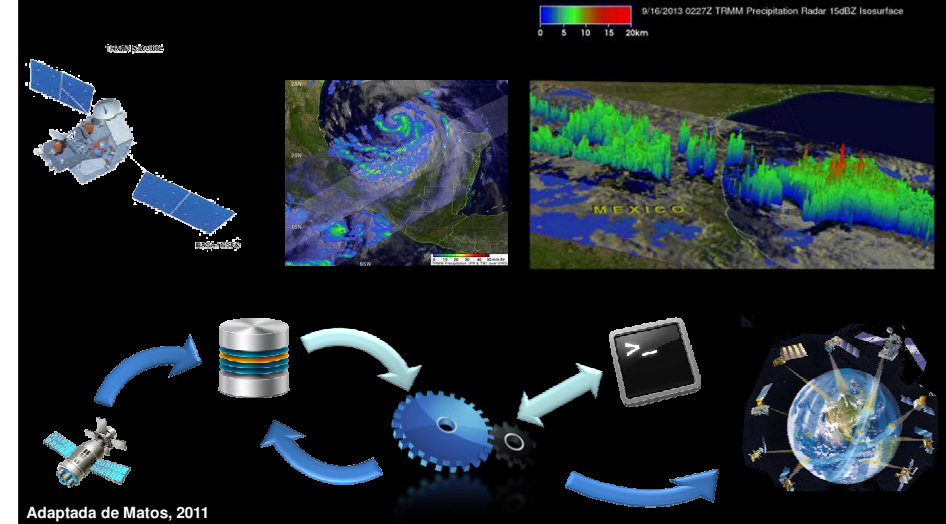
Será que tem vindo a ser difundida a “ideia” de que é possível “conhecer” sem medir, pelo menos na concepção tradicional?

... paradigma...

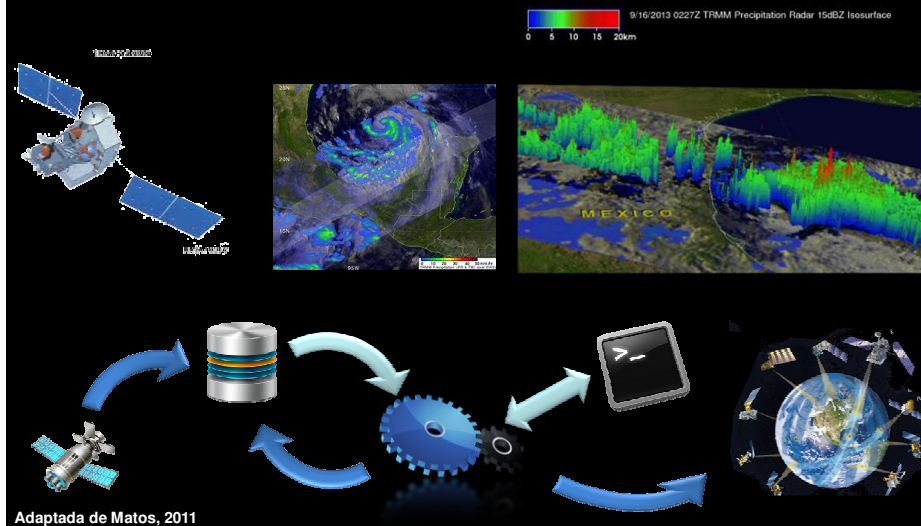
A comunidade científica, mas também a comunidade técnico-profissional dispõem cada vez de mais capacidade de cálculo que permite o desenvolvimento e utilização de modelos progressivamente mais complexos.

- Mas recorrer a registos convencionais de superfície ainda tem sentido?
- E os dados de satélite (radar)?
- Os modelos devem continuar a ser condicionados pelos registos de superfície disponíveis?
- E o “espectro” das mudanças climáticas que desvirtuam o conteúdo informativos desses registos uma vez que estão para além dos mesmos?

Será que tem vindo a ser difundida a “ideia” de que é possível “conhecer” sem medir, pelo menos na concepção tradicional?

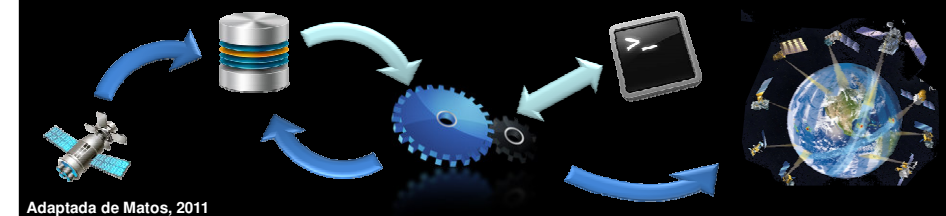


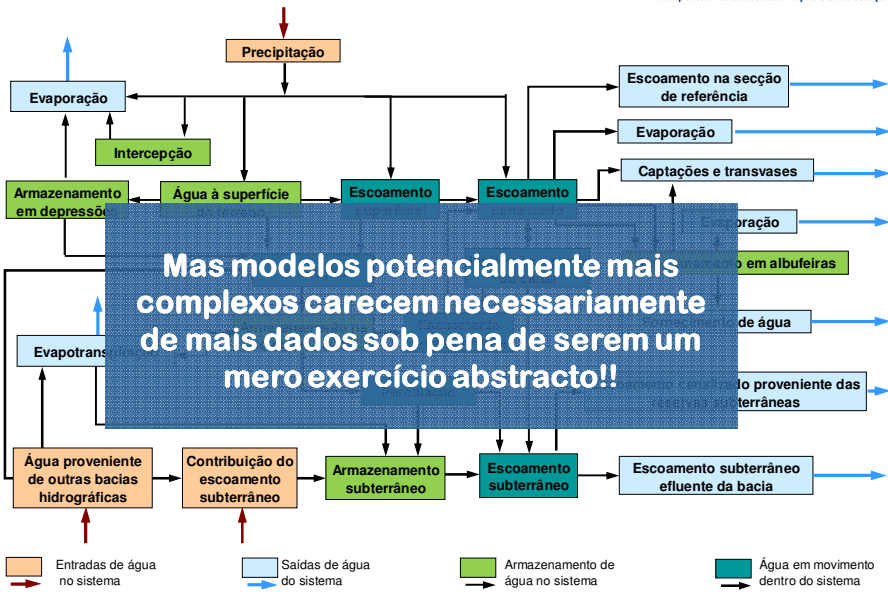
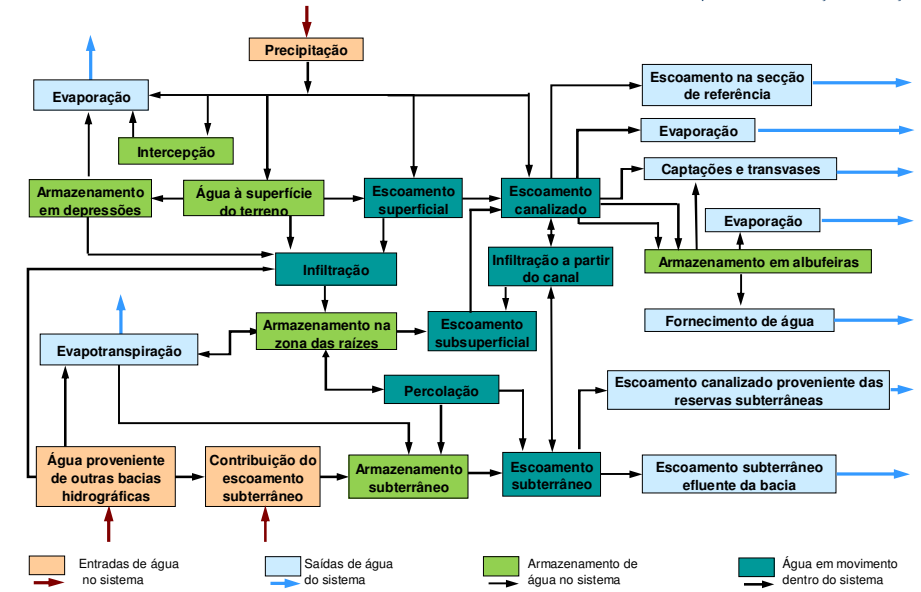
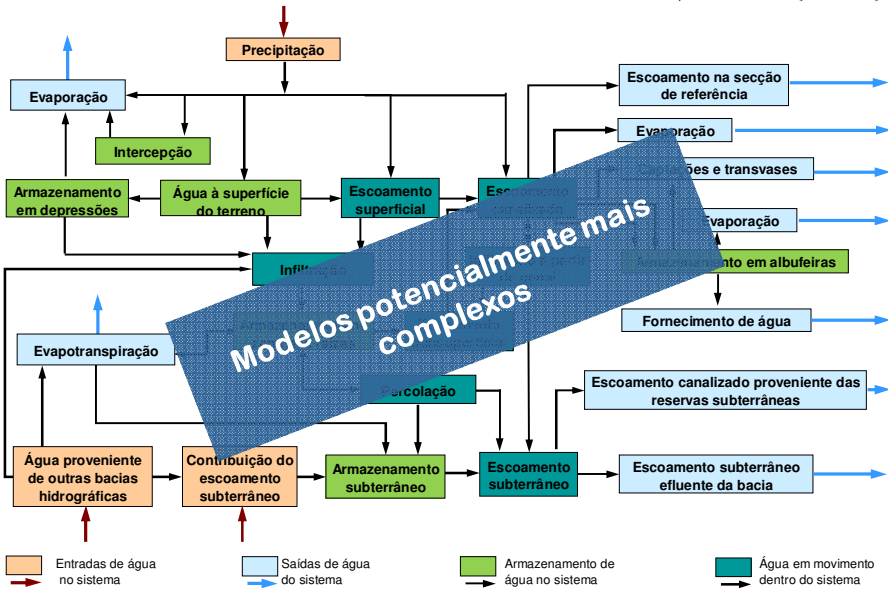
Será que tem vindo a ser difundida a “ideia” de que é possível “conhecer” sem medir, pelo menos na concepção tradicional?
(...conhecimento algo “segregativo”...)



Será que tem vindo a ser difundida a “ideia” de que é possível “conhecer” sem medir, pelo menos na concepção tradicional?
(...conhecimento algo “segregativo”...)

“The spatial coverage of remote-sensing measurements ... makes them highly complementary, but not a substitute for traditional ground-based observations. They do have the potential to fill data gaps, but calibration with in situ data is essential in order to ensure homogeneity with historical data ...” (Plummer et al., WMO, 2003)





Princípios aplicáveis ao desenvolvimento de um modelo

- ✓ **Parcimónia:** Um modelo não deve ser mais complexo do que o necessário e deve incluir o menor número de parâmetros possível com valores a obter a partir de dados.
- ✓ **Modéstia:** Um modelo não deve pretender fazer demais; não existe tal coisa como O modelo.
- ✓ **Precisão:** Um modelo não deve descrever o fenómeno com uma precisão superior à capacidade de o medir.
- ✓ **“Verificabilidade”:** Um modelo tem de ser verificável e é necessário saber se é válido ou não e quais são os limites da sua validade.

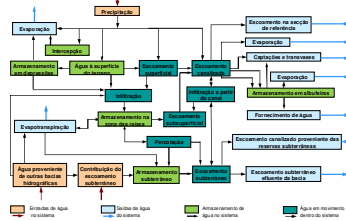
modéstia
"verificabilidade"
parcimónia

modéstia
precisão
"verificabilidade"

precisão

modéstia

parcimónia



parcimónia

modéstia

"verificabilidade"



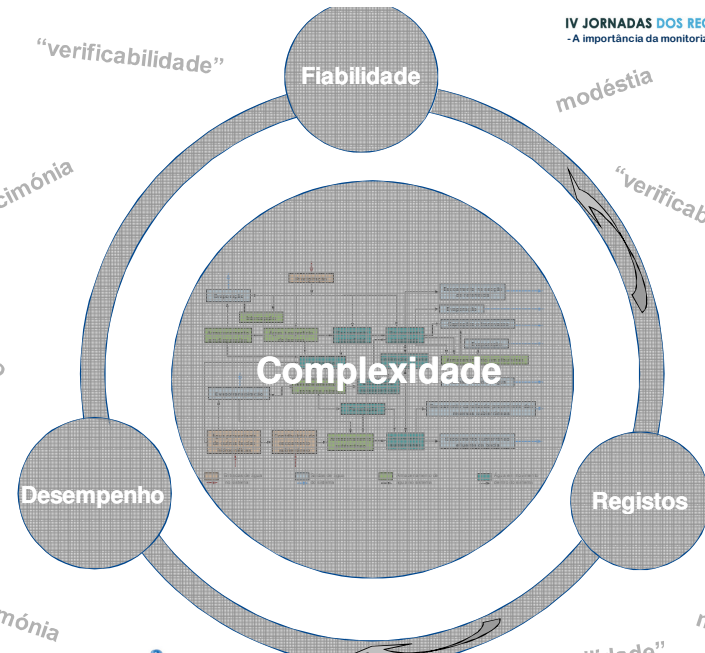
modéstia
"verificabilidade"
parcimónia

modéstia
precisão
"verificabilidade"

precisão

modéstia

parcimónia



parcimónia

modéstia

"verificabilidade"



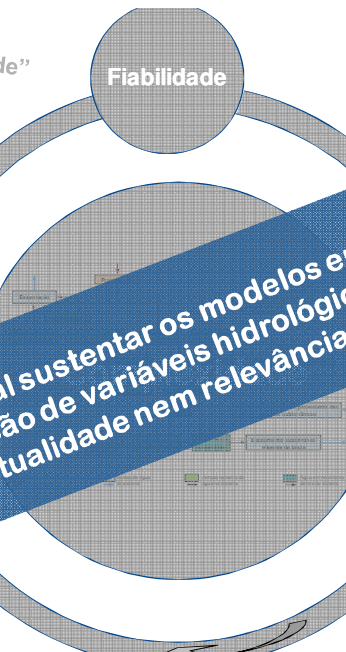
modéstia
"verificabilidade"
parcimónia

modéstia
precisão
"verificabilidade"

precisão

modéstia

parcimónia



parcimónia

modéstia

"verificabilidade"



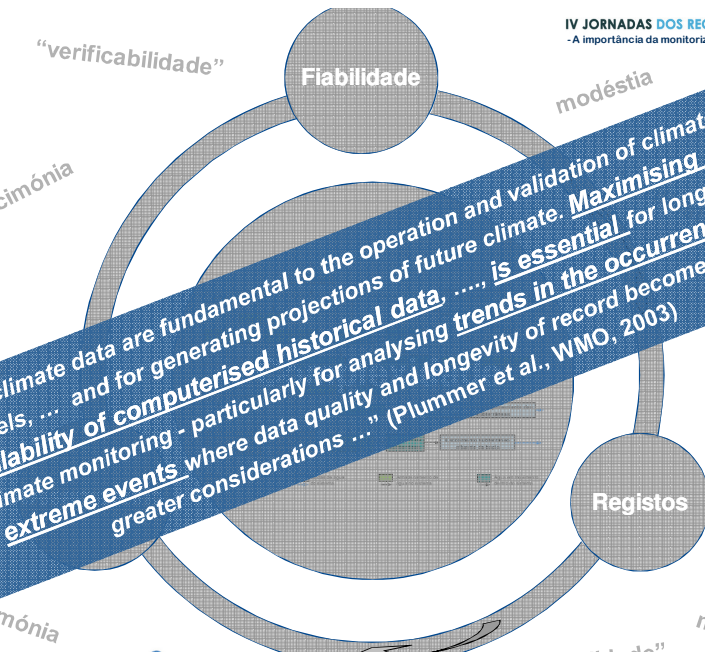
modéstia
"verificabilidade"
parcimónia

modéstia
precisão
"verificabilidade"

precisão

modéstia

parcimónia



parcimónia

modéstia

"verificabilidade"



... o paradigma das mudanças climáticas ...

- ✓ In a warmer future climate, there will be an increased risk of more intense, more frequent and longer-lasting heat waves...
- ✓ In a warmer future climate, most Atmosphere-Ocean General Circulation Models project increased summer dryness and winter wetness in most parts of the northern middle and high latitudes....
- ✓ Another aspect of these projected changes is that **wet extremes** are projected to become **more severe** in many areas where mean precipitation is expected to increase, and **dry extremes** are projected to become **more severe** in areas where mean precipitation is projected to decrease....
- ✓ ... There would be an **increase in extreme rainfall intensity**....
- ✓ The **increased risk of floods** in a number of major river basins in a future warmer climate has been related to an increase in river discharge with an increased risk of future intense storm-related precipitation events and flooding. **Some of these changes would be extensions of trends already underway.**

... mas e o paradigma das mudanças climáticas ...

will be an increase in more intense, more frequent and longer-lasting heat waves...

Atmosphere-Ocean General Circulation Models project increased summer dryness and winter wetness in most parts of the northern middle and high latitudes....

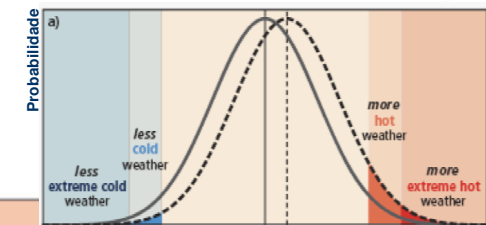
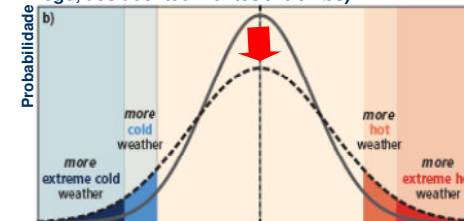
EU blames climate change for floods, increased risk of more intense storm-related precipitation events and flooding.

Some of these changes would be extensions of trends already underway.

- ✓ Actualmente refere-se (... com maior frequência e de modo mais certo ...) que a “Terra” está a sofrer os efeitos da **mudança climática**: já não se trata simplesmente de cenários futuros, mas antes de **ocorrências climáticas anormais frequentes**.
- ✓ Mas ... se as mudanças já estão a ocorrer então devem estar “**presentes**” em algumas das **séries temporais hidrológicas**, em particular das séries mais directamente relacionadas com o clima, como sejam as séries de **precipitação** e de **temperatura**.
- ✓ Espera-se, assim, que as séries de registos, se suficientemente longas, exibam **comportamentos de algum modo relacionáveis com as mudanças climáticas**, nomeadamente referentes a **tendências** e **quebras de homogeneidade**, ambas estatisticamente significativas.

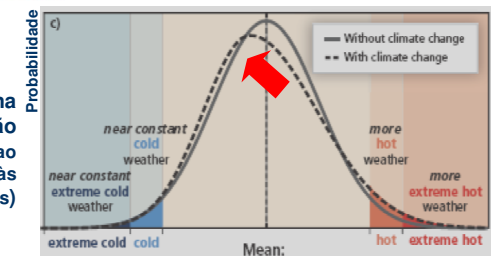
Exemplo baseado na temperatura (IPCC, 2012)

Quebra de homogeneidade na variância (aumento da variabilidade e, logo, dos acontecimentos extremos)



Quebra de homogeneidade na média (aumento da temperatura)

Alteração assimetria, ou seja, na própria função de distribuição (assimetria positiva conducente ao aumento da probabilidade associada às mais altas temperaturas)



- ✓ A **detecção de alterações de comportamento em séries de registos climáticos** assume especial importância nos estudos inerentes a um vastíssimo número de intervenções e realizações da engenharia (ex.: caracterização e controlo de cheias ou de secas; protecção dos ecossistemas; dimensionamento de infra-estruturas hidráulicas das mais diversas naturezas; concepção de modelos de gestão dos recursos hídricos).



- ✓ A **detecção de alterações de comportamento em séries de registos climáticos** assume especial importância nos estudos inerentes a um vastíssimo número de intervenções e realizações da engenharia (ex.: caracterização e controlo de cheias ou de secas; protecção dos ecossistemas; dimensionamento de infra-estruturas hidráulicas das mais diversas naturezas; concepção de modelos de gestão dos recursos hídricos).
- ✓ Com efeito, tais intervenções e realizações utilizam, por regra, a **informação patente em séries históricas** daqueles registos no pressuposto de que tais séries são **homogéneas**, ou seja, de que são caracterizadas por parâmetros que permanecem inalterados ao longo do tempo.



- ✓ A **detecção de alterações de comportamento em séries de registos climáticos** assume especial importância nos estudos inerentes a um vastíssimo número de intervenções e realizações da engenharia (ex.: caracterização e controlo de cheias ou de secas; protecção dos ecossistemas; dimensionamento de infra-estruturas hidráulicas das mais diversas naturezas; concepção de modelos de gestão dos recursos hídricos).
- ✓ Com efeito, tais intervenções e realizações utilizam, por regra, a **informação patente em séries históricas** daqueles registos no pressuposto de que tais séries são **homogéneas**, ou seja, de que são caracterizadas por parâmetros que permanecem inalterados ao longo do tempo.
- ✓ Está, assim, implícito que o **futuro será estatisticamente igual ao passado** pelo que basta interpretar tal passado para conceber as intervenções e obras futuras ou para ditar os comportamentos futuros, o que deixará de se verificar uma vez que se entre em consideração com os efeitos atribuíveis a mudanças, climáticas e outras.



- ✓ A **detecção de alterações de comportamento em séries de registos climáticos** assume especial importância nos estudos inerentes a um vastíssimo número de intervenções e realizações da engenharia (ex.: caracterização e controlo de cheias ou de secas; protecção dos ecossistemas; dimensionamento de infra-estruturas hidráulicas das mais diversas naturezas; concepção de modelos de gestão dos recursos hídricos).
- ✓ Com efeito, tais intervenções e realizações utilizam, por regra, a **informação patente em séries históricas** daqueles registos no pressuposto de que tais séries são **homogéneas**, ou seja, de que são caracterizadas por parâmetros que permanecem inalterados ao longo do tempo.
- ✓ Está, assim, implícito que o **futuro será estatisticamente igual ao passado** pelo que basta interpretar tal passado para conceber as intervenções e obras futuras ou para ditar os comportamentos futuros, o que deixará de se verificar uma vez que se entre em consideração com os efeitos atribuíveis a mudanças, climáticas e outras.
- ✓ E urge pensar numa maneira de, a muito breve prazo e de uma forma amplamente divulgada e sustentada, incutir na comunidade científico-técnica, multidisciplinar e multisectorial ligada à água o alerta que se admite advir da necessidade de **detectar e incorporar mudanças de comportamento em variáveis climáticas**.



✓ É preciso “olhar para os registos” e tentar identificar as mudanças de comportamento que exibem e interpretá-las (quer resultem de acções directas sobre as bacias hidrográficas, quer advenham das mudanças climáticas) de modo a capacitar os modelos para previsões e valores de projecto mais conformes com a realidade e com cenários de evolução dessa realidade.

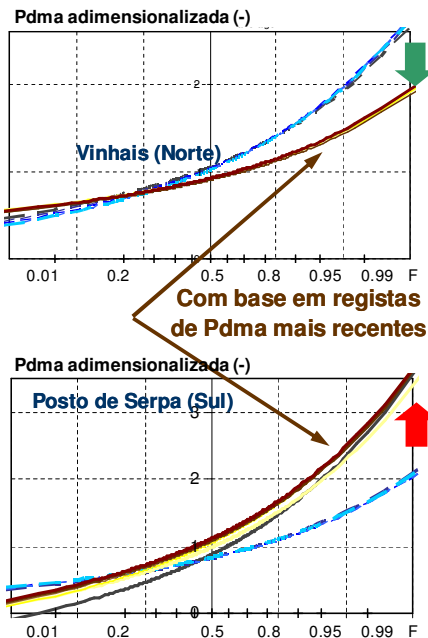
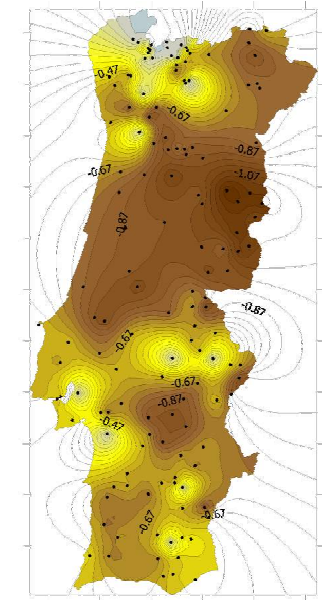
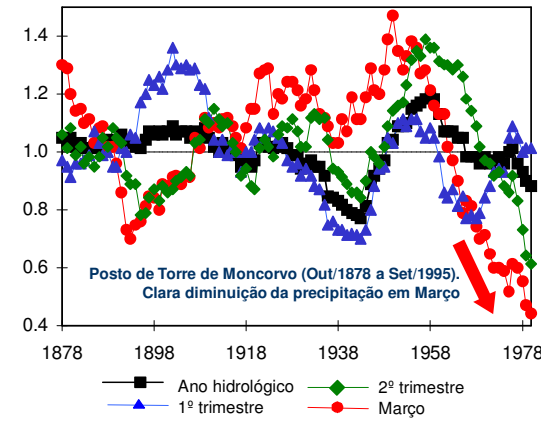
(investigação e prática profissional)

- ✓ ... identificar **tendências** e outras **quebras de homogeneidade**
- ✓ ... averiguar a adequação dos modelos a diferentes **períodos de registos**

(investigação)

- ✓ ... procurar formulações alternativas **não estacionárias**
- ✓ ... introduzir **predictores de larga escala** (SST – sea surface temperature) e **padrões de circulação atmosférica** (NAO – North Atlantic Oscillation).

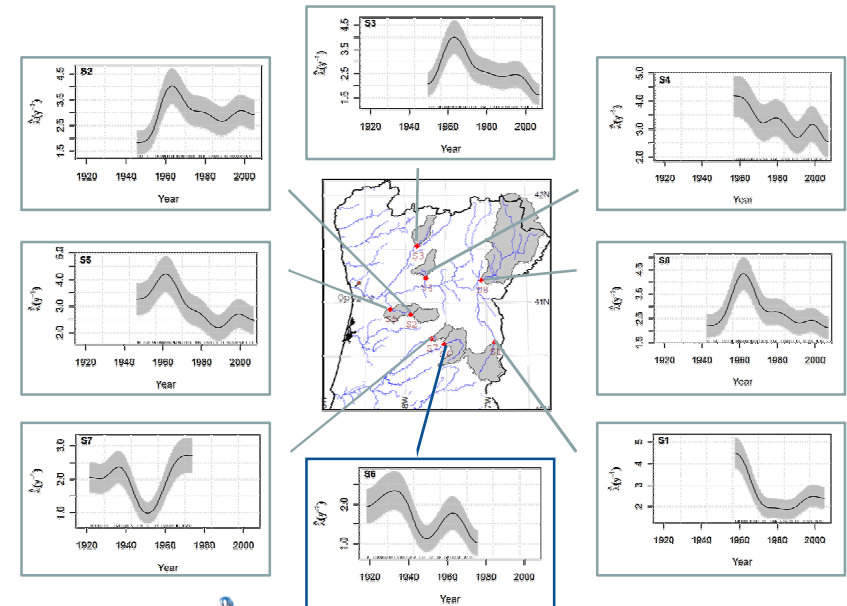
Média móvel de 15 anos (-)

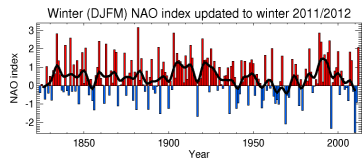


Critério de projecto para estimação de precipitações máximas anuais (análise de cheias)

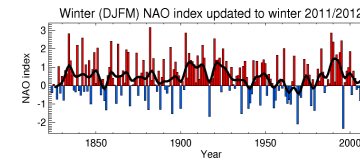
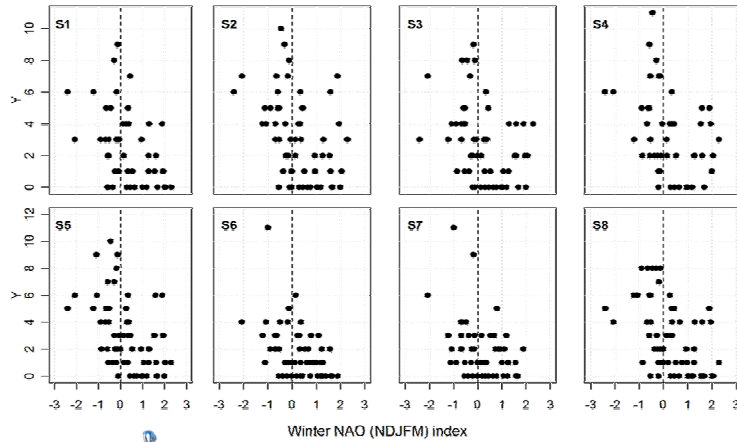
Aplicação dos procedimentos de análise estatística a diferentes sub períodos, de modo a concluir se os registos mais recentes indiciam ou não condições mais adversas (precipitações de projecto mais elevadas)

Análise da frequência de ocorrência de cheias

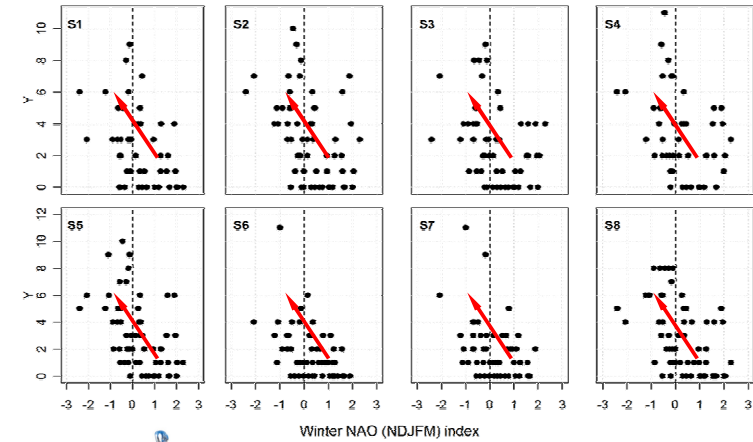




Relação entre a Oscilação do Atlântico Norte (NAO) e a frequência de cheias



Relação entre a Oscilação do Atlântico Norte (NAO) e a frequência de cheias (a frequência de cheias é superior em anos com valores da NAO de Inverno negativos)



- IPCC, 2007. *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2012. *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- Juízo, D., Liechti, T.C., Matos, J.P., 2011. Hydraulic-hydrologic modeling of the Zambezi River basin. Limitations and potential of remote sensing towards forecasting discharges within the basin. *Apresentação oral*. EPFL/IST.
- Hillel, D., 1987. Modeling in soil physics: A critical review, in Boersma, L.I. (ed.) *Future developments in soil science research. 1936-1986 Golden Anniversary contributions*, Soil Science Society of America, Madison, Wis., 35-42.
- INAG, DSRH, 1998. *Proposta de reestruturação das redes de monitorização de recursos hídricos. Águas superficiais. Bacias hidrográficas a Sul do rio Tejo*. Instituto da Água. Direcção de Serviços de Recursos Hídricos. Lisboa, Portugal.
- Matos, J.P., 2011. Hydraulic-hydrologic modeling of the Zambezi River using satellite data and machine learning techniques. Looking ahead. *Apresentação oral*. EPFL/IST.
- Portela, M.M., Santos, J.F., Quintela, A.C., Vaz, C., 2009, Trends in hydrologic time series, *Fifth International Conference on River Basin Management, RBM09 (Malta)*, Wessex Institute, WITPress, ISBN 978-1-84564-199-3, pp. 415-427, Southampton.
- Plummer, N., Allsopp, T., Lopez, A, 2003. *Guidelines on Climate Observation Networks and Systems*, WMO/TD No. 1185, World Meteorological Organization.
- Santos, J. F., Portela, M. M., 2008. Quantificação de tendências em séries de precipitação mensal e anual em Portugal Continental, *VIII Seminário Ibero-Americano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano*, SEREA 2008, IST, Lisboa, Portugal.
- Silva, A.T., Portela, M.M., Naghettini, M., 2012. Nonstationarities in the occurrence rates of flood events in Portuguese watersheds, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 241-254, doi:10.5194/hess-16-241-2012
- WMO, 2007. *Guide to climatological practices*, 3rd Edition, World Meteorological Organization.
- WMO, 2008. *Guide to Hydrological Practices. Volume I. Hydrology – From Measurement to Hydrological Information*, WMO-No. 168, World Meteorological Organization.