Aplicação de redes neuronais computacionais à modelação de escoamentos mensais

João Filipe Santos
(joaof.santos@estig.ipbeja.pt)

Maria Manuela Portela
(msp@civil.ist.utl.pt)

1 – Introdução e objectivo

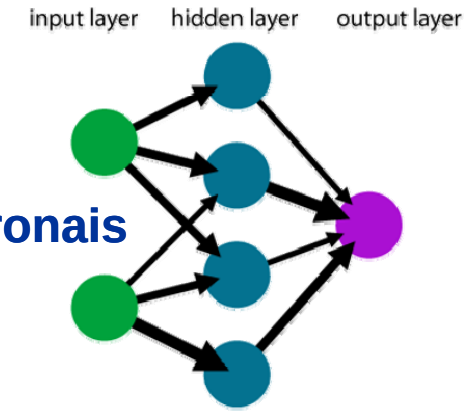
Modelação de recursos hídricos

⇓

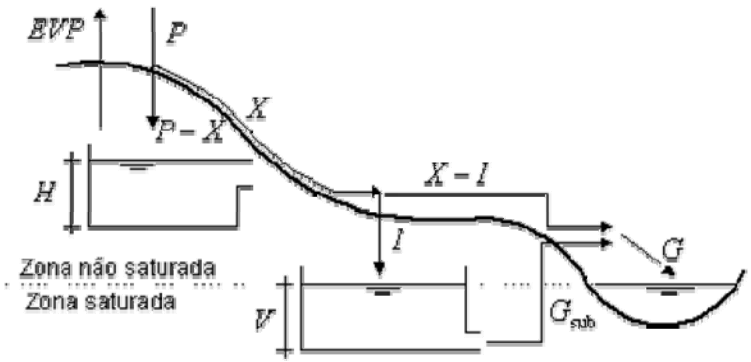
Modelo conceptual Vs Modelo teórico

... verificar a **aplicabilidade** das **redes neuronais computacionais** à modelação de escoamentos à escala mensal ... **comparação** dos escoamentos gerados com os decorrentes de um modelo de base conceptual, designadamente, do **modelo de Temez.**

Redes neuronais

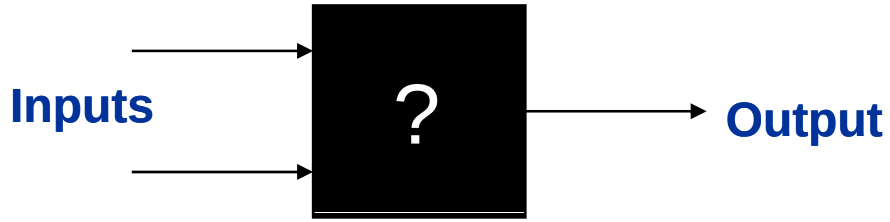


Modelo Temez



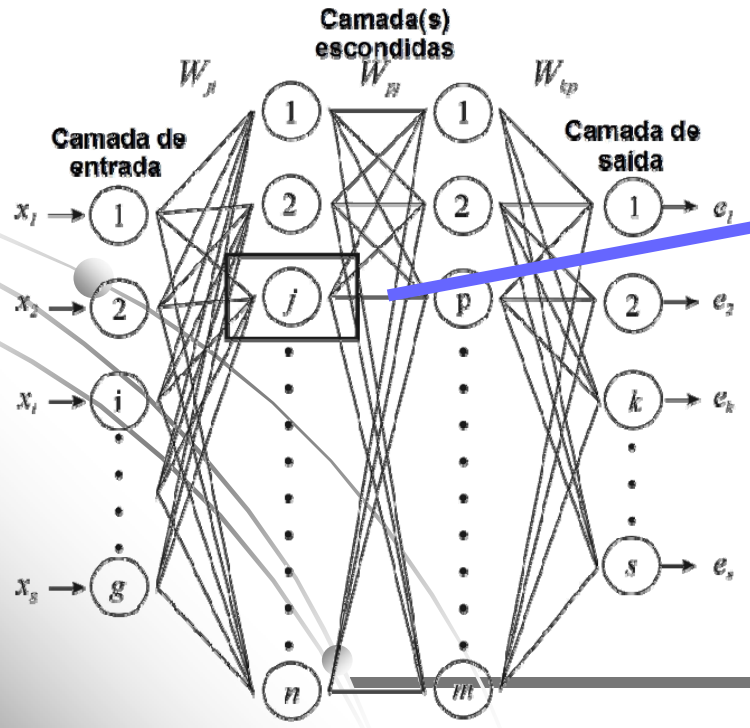
2 – Redes neuronais computacionais

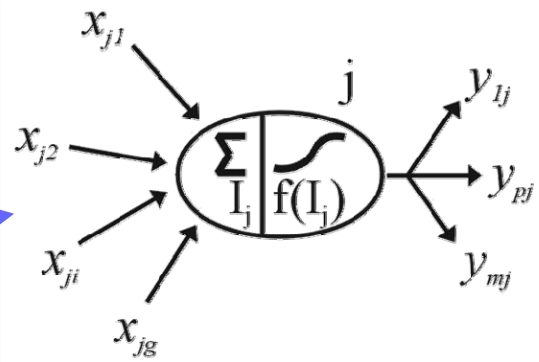
As **redes neuronais computacionais**, RNCs, são modelos do tipo "caixa negra" ... redes formadas por diferentes camadas ligadas entre si, a que se dá o nome de **MLP (multilayer perceptron)** ... permitem o reconhecimento de padrões de ligação entre as variáveis intervenientes num dado sistema a modelar, identificando os "**mapeamentos**" óptimos entre as "**entradas**" e as "**saídas**" desse sistema.



... mais utilizadas e reconhecidas são as designadas **multilayer feed forward networks** ... redes neuronais que são unicamente "**alimentadas para a frente**", ou seja, as funções implementadas conduzem a "saídas" que dependam exclusivamente das "entradas", **não existindo estado interno.**

Nó ou Perceptrão





... ***multilayer feed forward networks...*** Informação que apenas se transfere de camadas **antecedentes** para camadas **subsequentes.**

... Nos nós entre camadas...

Sinal de entrada efectivo (I_j)

$$I_j = \sum_{i=1}^{g} x_i W_{ji}$$

X_i – Sinal de entrada
W_{ji} – Peso relativo

... Nos nós das camadas escondidas ...

Função de activação , $f(I_j)$

$$y_i = f(I_j) = \frac{e^{I_j} - e^{I_j}}{e^{I_j} + e^{-I_j}}$$

Y_i – Sinal de saída

... Nas camadas de entrada e de saída não se considerou qualquer transformação às variáveis (função linear) ...

Para a estimativa do conjunto de pesos (W_{ij}) é levado a cabo um processo correctivo-repetitivo... fase de aprendizagem ou de treino da rede neuronal... dando forma às interconexões entre os diferentes perceptrões.

Algoritmo de optimização Levenberg-Marquardt

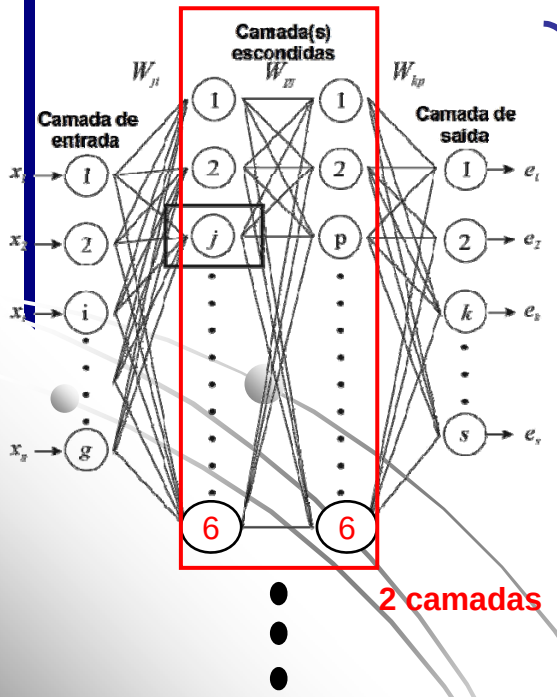
$$\Delta w = -\left(Z^T Z + \lambda I\right)^{-1} Z^T \varepsilon$$

Minimiza a soma dos desvios quadráticos

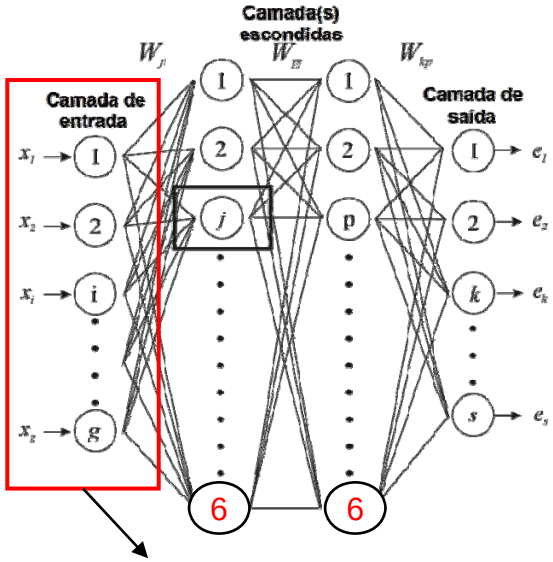
... através do método do gradiente de descida e de um modelo linear

... técnica de convergência do erro de modo a que se produzam outputs tão próximos quanto possível dos valores esperados para esses outputs.

Aprendizagem decorreu considerando que os pesos eram actualizados (ou não) ... no final de cada corrida, designada por **epoch**. Nas aplicações efectuadas consideraram-se **200 epochs** para apuramento dos pesos em cada uma das redes.



30 redes



??

... tentativa e erro ...
RNC's com **2 camadas** escondidas, cada uma constituída por **6 nós.**

3 – Escolha de variáveis a utilizar

Identificação das variáveis hidrológicas a considerar na constituição das redes ... variáveis relativamente às quais os escoamentos mensais exibem **dependência temporal** com algum **significado.**

Casos de estudo	Períodos	Correlação, r					
		Esc - Ev0			Esc - Prec		
		Incremento 0	Incremento 1	Incremento 2	Incremento 0	Incremento 1	Incremento 2
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	-0.439	-0.518	[illegible]	0.833	0.610	[illegible]
[illegible]	[illegible]	-0.553	-0.590	[illegible]	0.872	0.624	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.649	[illegible]

Precipitação mensal, Prec → Método de Thiessen ↔ Mês e meses antecedentes

Evapotranspiração potencial, Ev0 → Penman-Montheith ↔ Mês e meses antecedentes

Escoamento mensal, Esc ↔ Meses antecedentes

Casos de estudo	Períodos	Autocorrelação, r			
		Incremento 1	Incremento 2	Incremento 3	Incremento 4
Vinhais-Quinta da Ranca (03P/01) - Caso 1 -	1956/57 a 1982/83 (27 anos)	**0.542**	0.337	0.085	-0.159
Vale Giestoso (03K/01) - Caso 2 -	1957/58 a 1983/84 (27 anos)	**0.518**	0.330	0.080	-0.111
Cunhas (04J/04) - Caso 3 -	1949/50 a 1985/86 (37 anos)	**0.531**	0.293	0.047	-0.170
Castro Daire (08J/04) - Caso 4 -	1945/46 a 1983/84 (39 anos)	**0.526**	0.274	0.065	-0.145

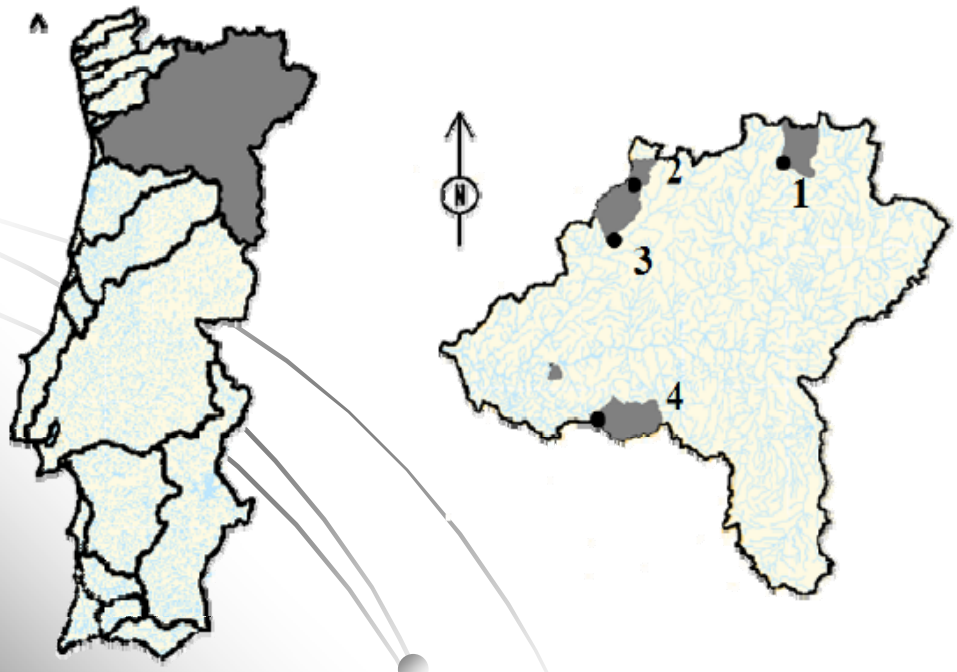
≅ 0.5

Incorporação

... 6 Variáveis de entrada na rede

4. Casos de estudo

... **4 casos de estudo** referentes às estações hidrométricas de **Vinhais-Quinta da Ranca** (03P/01) ou Caso 1, de **Vale Giestoso** (03K/01) ou Caso 2, de **Cunhas** (04J/04) ou Caso 3 e de **Castro Daire** (08J/04) ou Caso 4.



... **Seleccionados** por disporem de períodos de registos com alguma dimensão e por terem sido objecto de estudo (SANTOS J. F., 2008)

...**Escoamentos mensais estimados pelo modelo de Temez**

Os períodos de calibração e de validação, quer do modelo de Temez, quer das RNCs ...

1º calibrar os parâmetros/estimar os pesos do modelo ... (2/3 dos dados mensais disponíveis)

2º para validar o modelo com os parâmetros/pesos anteriormente calibrados.

Ex. Cunhas - Caso 3 -

Cunhas - Caso 3					
Modelo	Período	Escoamento mensal médio simulado (mm)	Medidas de ajustamento r (-)	RMSE (mm)	MAE (mm)
Modelo de Temez: C= 0.034 Hmax= 222 mm Imax= 420 mm a = 0.017	Período: 1949/50 a 2003/04	88.61	0.93	42.54	27.52
	Período: 1949/50 a 1985/86 (calibração)	91.32	0.94	38.74	25.99
	Período: 1986/87 a 2003/04 (validação)	83.05	0.92	49.45	30.67
Rede Neuronal: MLP 5:5-6-6-1:1	Período: 1949/50 a 2003/04	71.22	0.97	14.18	13.88
	Período: 1949/50 a 1985/86 (calibração)	74.92	0.98	16.66	10.67
	Período: 1986/87 a 2003/04 (validação)	63.61	0.95	28.28	13.03

... medidas de ajustamento ou de erro ... coeficiente de correlação, r, entre escoamentos observados e estimados a raiz quadrada do desvio quadrático médio, RMSE (square root of mean square error), e o erro absoluto médio, MAE (mean absolute error)

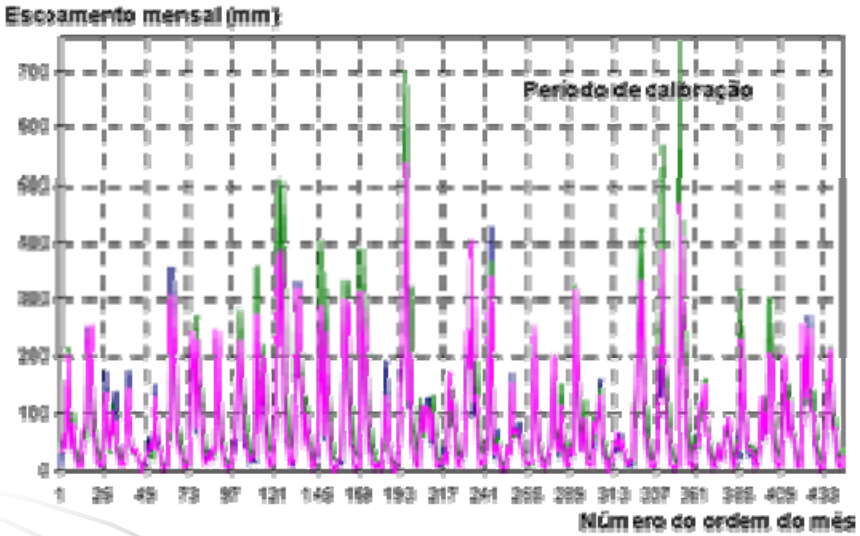
$$r = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2}}$$

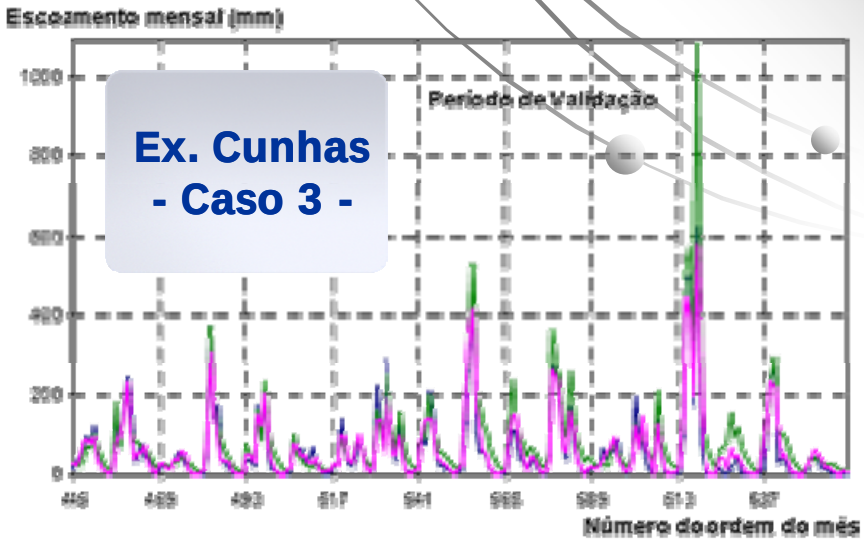
$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{N} \left| Q_t - \hat{Q}_t \right|}{N}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} \left(Q_t - \hat{Q}_t \right)^2}{N}}$$

5. Resultados

Séries de escoamentos mensais observados e simulados ...

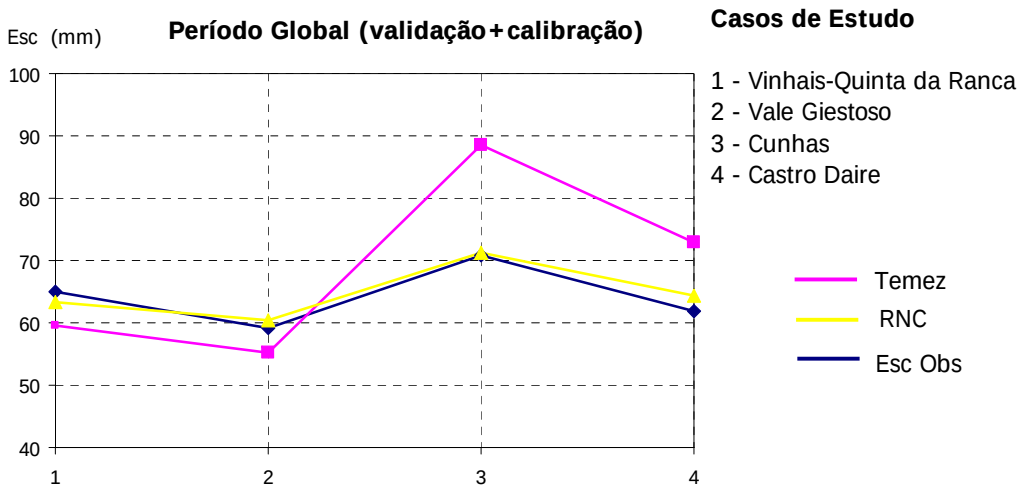




Ex. Cunhas - Caso 3 -

Escoamento simulado Temez
Escoamento observado
Escoamento simulado ANN

Valores médios mensais dos escoamentos (Esc)...



6. Conclusões

- **Bons ajustamentos** para a generalidade dos casos de estudo entre escoamentos observados e simulados pelos dois modelos aplicados.
- Reconhece-se o melhor ajustamento das RNCs, especialmente na **fase de calibração**, como decorre dos **mais elevados** valores do coeficiente de correlação e dos mais **baixos valores** de RMSE e de MAE.

Futuros desenvolvimentos ...

- Confirmada a capacidade de as RNCs **modelarem** o escoamento mensal, pretende-se dar início a uma fase subsequente de estudo, relativa à aplicação dessas redes à **previsão** de escoamentos mensais ou de escoamentos em menores intervalos de tempo.

Aplicação de redes neuronais computacionais à modelação de escoamentos mensais

João Filipe Santos
(joaof.santos@estig.ipbeja.pt)

Maria Manuela Portela
(msp@civil.ist.utl.pt)