Desenvolvimentos na previsão hidrológica de cheias por conjunto no Brasil e aplicações potenciais em sistemas operacionais de alerta

Javier Tomasella
Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais

Contribuição de: Aline Falck , Anderson Sene, Anne Negrão, Daniel Rodriguez , Fabio Diniz, Gustavo Sueiro, Maria Cecília Prado, Rochane Caram

Previsão probabilística de vazões

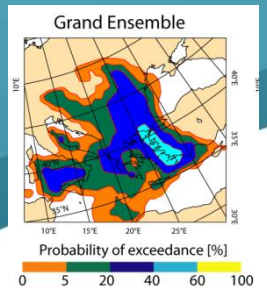
- A previsão hidrológica de cheias extremas é objeto de constante estudos visto que esses eventos estão associados à maioria dos desastres naturais.

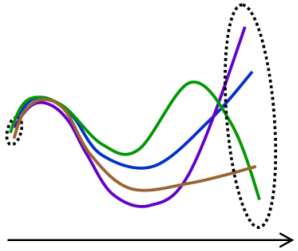
- Visando uma maior antecedência e alcance da previsão hidrológica, campos de precipitação gerados por modelos numéricos de previsão de tempo tem sido utilizados como dado de entrada de modelos hidrológicos.

Previsão probabilística de vazões

- A previsão numérica de tempo apresenta diversas incertezas, sendo uma das principais incertezas associadas ao caráter não linear da atmosfera.
- Uma forma de quantificar essas incertezas é através da previsão meteorológica por conjuntos.
- Os membros da previsão meteorológica por conjunto, quando fornecidos ao modelo hidrológico, geram um conjunto de previsões hidrológicas estatisticamente prováveis, cuja dispersão reflete as incertezas associadas à previsão de chuva.

Emissão de Alertas Hidrológicos: desenho conceitual

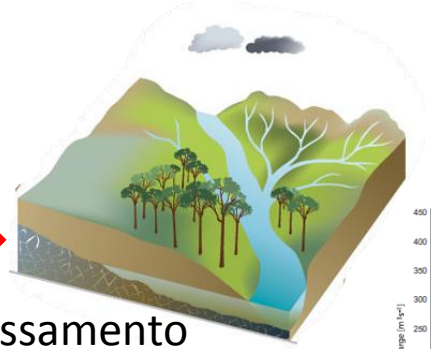


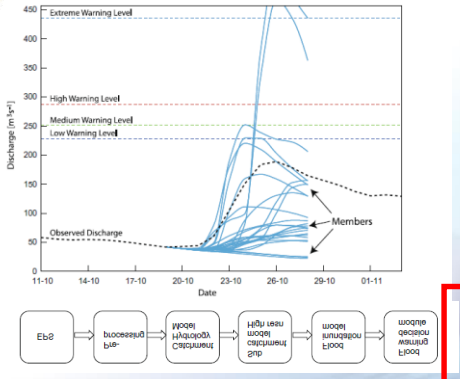


Sistema de Previsão por conjunto

Pré-Processamento

Modelo Hidrológico





Pós-Processamento

Alertas

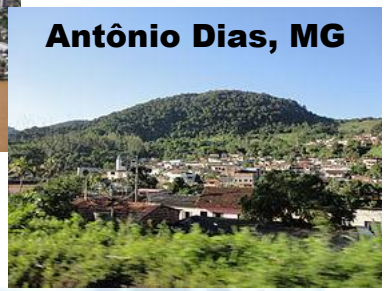
Adaptado de Cloke and Pappenberger (2009)

Bacia do Rio Doce

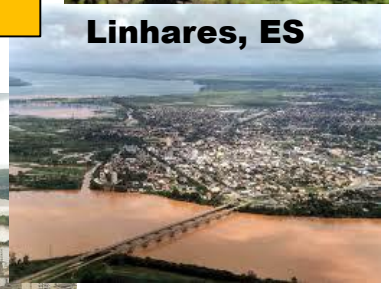
3,2 milhões de habitantes = **70% urbana**

93% municípios com menos de 20 mil habitantes

83.400 km²



Vale do Aço
adensamento populacional



Uso intenso do solo
Urbanização inadequada

Fonte C Linhares

CEMADEN
Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
GOVERNO FEDERAL BRASIL PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Eventos de inundações

Influência da ZCAS
Precipitação média: 900 a 1500 mm
Sobrecarga hídrica e processos de erosão

Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Doce
CPRM + ANA + IGAM
12 municípios em MG e 3 municípios no ES.

Cheia de 1979

47.776 desabrigados
74 vítimas fatais
4.424 residências atingidas

Cheia de 2003

Caratinga:
2.800 desabrigados
120 deslizamentos
6 pontes destruídas
4 vítimas fatais.
Ubaporanga: 350 desabrigados
Dom Cavati: 1.300 desabrigados

Cheia de 2008

Rio Piranga subiu 8 metros

Cheia de 1997

57.705 desabrigados
2 vítimas fatais
7.225 residências atingidas

Cheia de 2004

Manhuaçu:
983 desabrigados
Caratinga:
Prejuízo de R$ 72 milhões

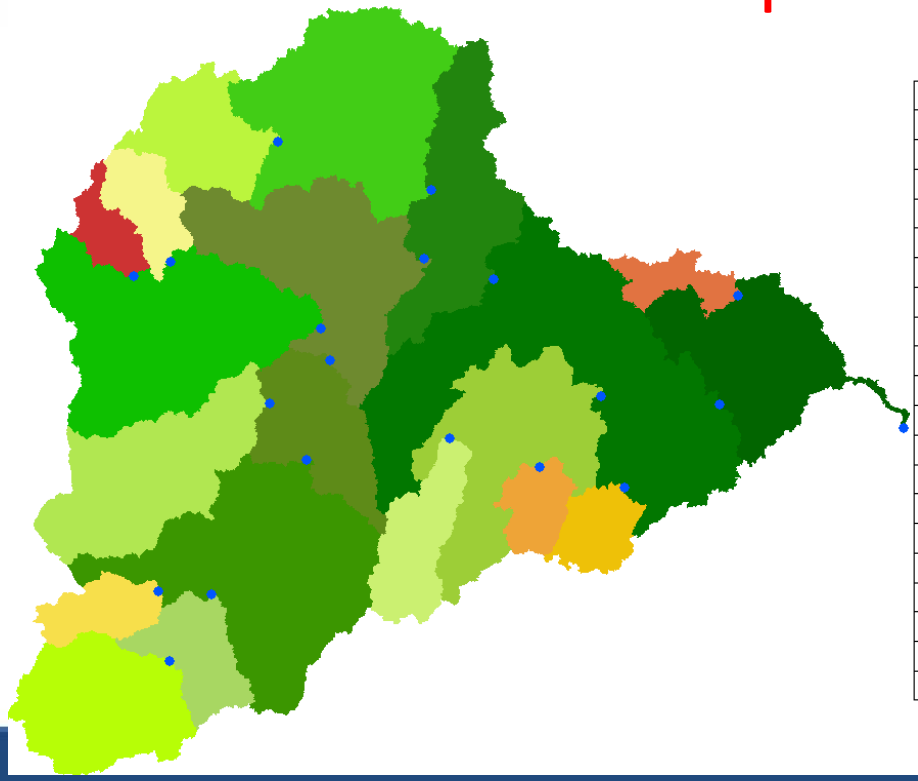
Cheia de 2013

Espírito Santo:
4.669 desabrigados e
41.520 desalojados
Minas Gerais: 3920 afetados

Fonte C Linhares

Calibração do Modelo Hidrológico

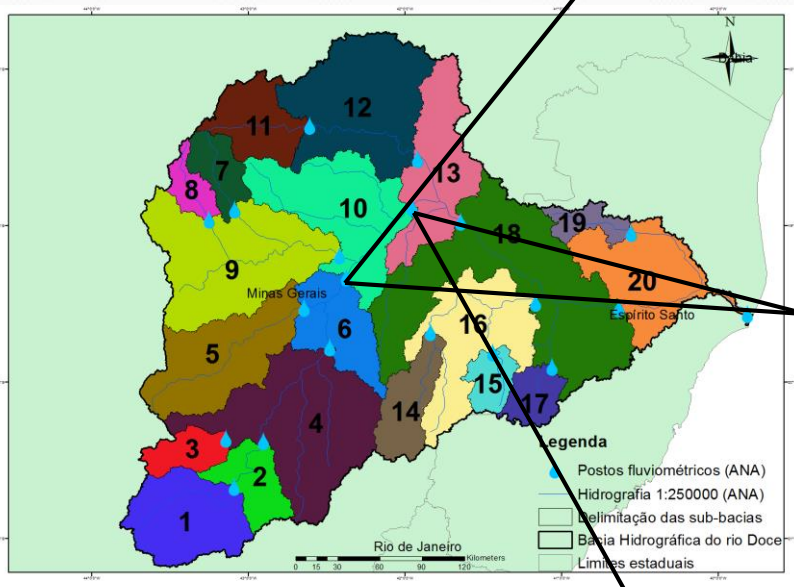
- A bacia do Rio Doce foi subdividida em 20 sub-bacias e discretizada em células de 5 km
- O modelo hidrológico MHD-INPE foi calibrado em 19 sub-bacias no período 2000-2013

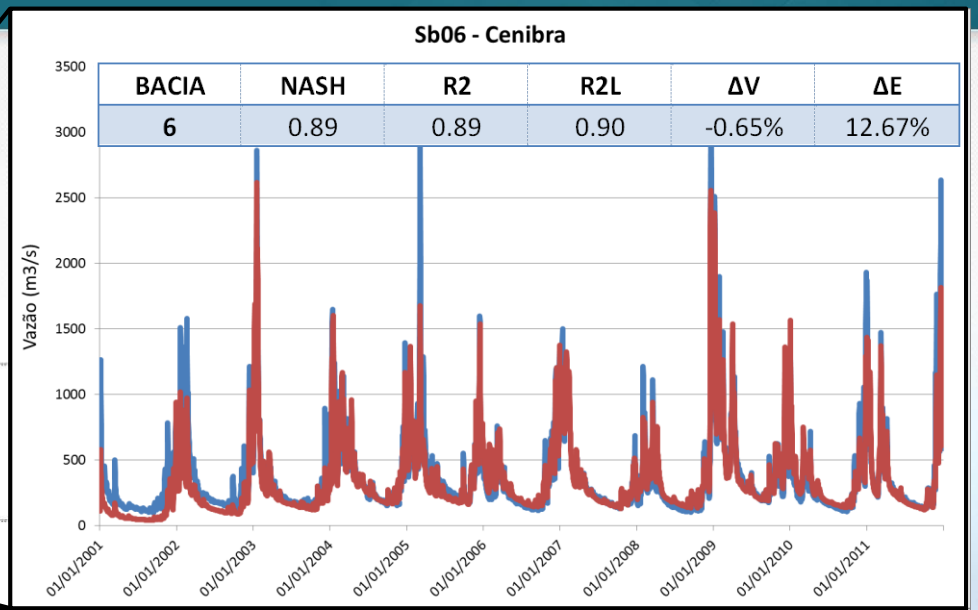


Código	Nome	Rio	Latitude	Longitude	Área (km²)
56335001	Acaiaca Jusante	Do Carmo	-20.36	-43.14	1370.00
56997000	Barra de São Gabriel	São José	-19.04	-40.53	1070.00
56539000	Cachoeira dos Óculos Montante	Doce	-19.78	-42.48	15900.00
56719998	Cenibra	Doce	-19.33	-42.37	24200.00
56994500	Colatina	Doce	-19.53	-40.63	76400.00
56765000	Dom Joaquim	Do Peixe	-18.96	-43.24	976.00
56850000	Governador Valadares	Doce	-18.88	-41.95	40500.00
56991500	Laranja da Terra	Guandu	-19.90	-41.06	1330.00
56998200	Linhares Cais do Porto	Doce	-19.42	-40.08	82100
56696000	Mario de Carvalho	Piracicaba	-19.52	-42.64	5270.00
56989001	Mutum	São Manoel	-19.81	-41.44	1180.00
56825000	Naque Velho	Santo Antônio	-19.19	-42.42	10200.00
56110005	Ponte Nova Jusante	Piranga	-20.38	-42.90	6230.00
56075000	Porto Firme	Piranga	-20.67	-43.09	4260.00
56978000	Santo Antônio do Manhuaçu	Manhaçu	-19.68	-41.84	2350.00
56860000	São Pedro do Suaçuí	Suaçui Grande	-18.36	-42.61	2570.00
56990000	São Sebastião da Encruzilhada	Manhuaçu	-19.49	-41.16	8720.00
56800000	Senhora do Porto	Guanhaes	-18.89	-43.08	1520.00
56920000	Tumiritinga	Doce	-18.97	-41.64	55100.00
56891900	Vila Matias Montante	Suaçui Grande	-18.57	-41.92	9770.00

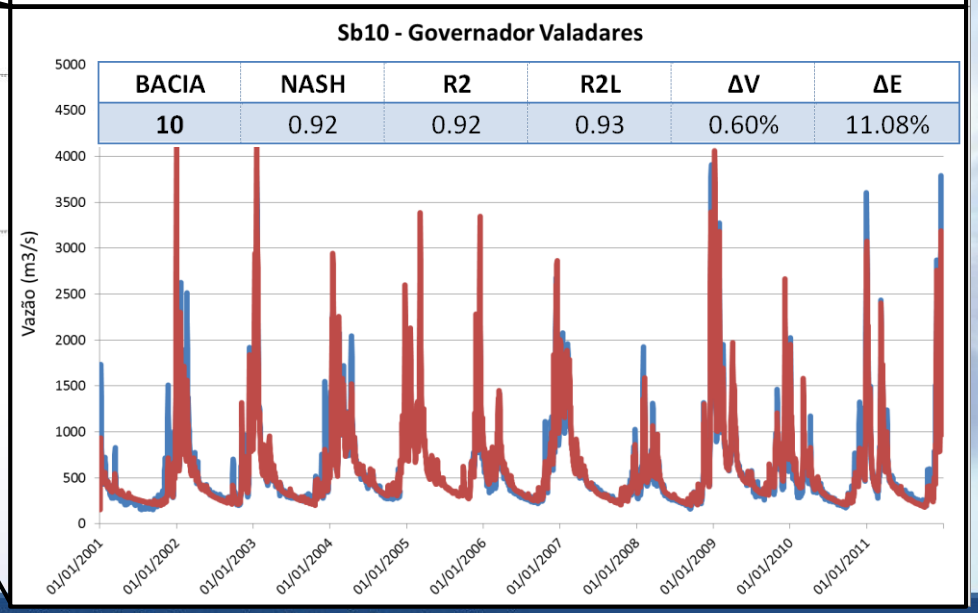
Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA)

Calibração MHD-INPE





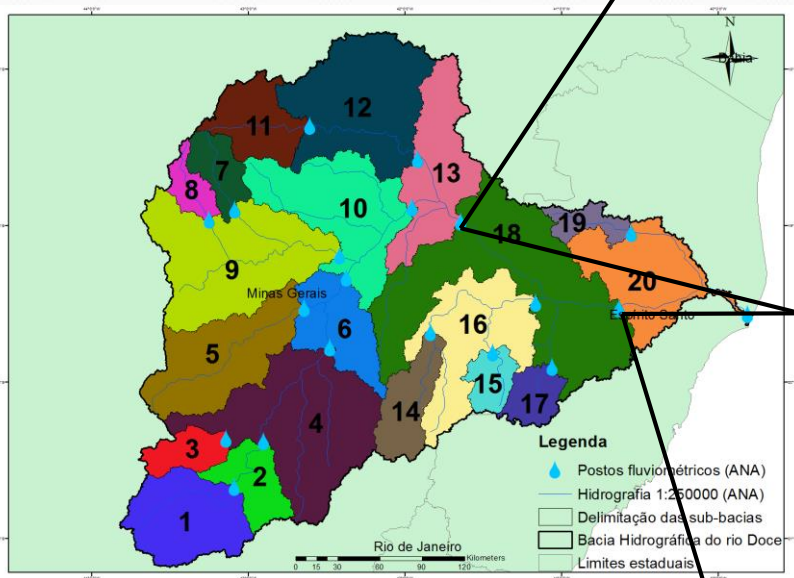
BACIA	NASH	R2	R2L	ΔV	ΔE
6	0.89	0.89	0.90	-0.65%	12.67%

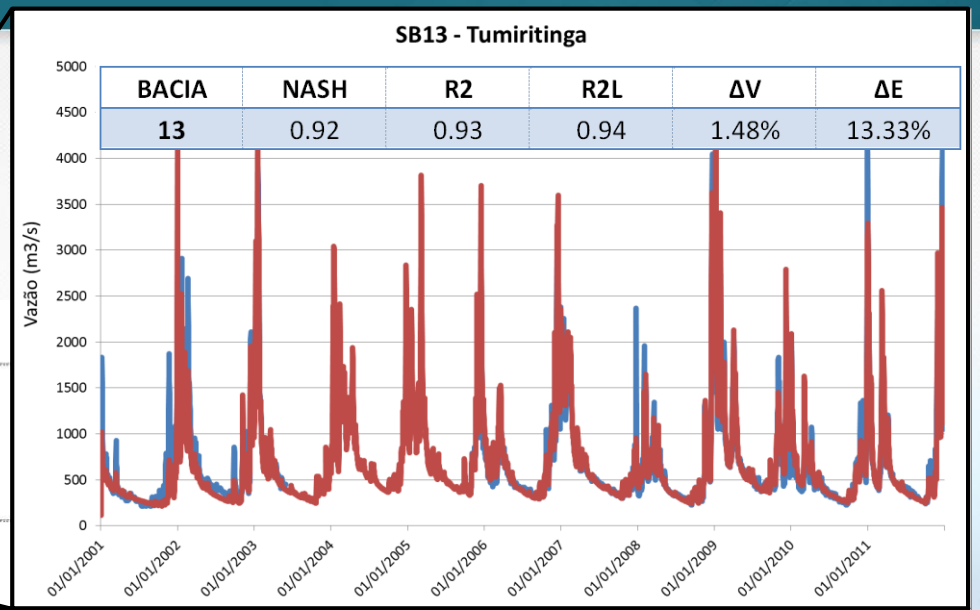


BACIA	NASH	R2	R2L	ΔV	ΔE
10	0.92	0.92	0.93	0.60%	11.08%

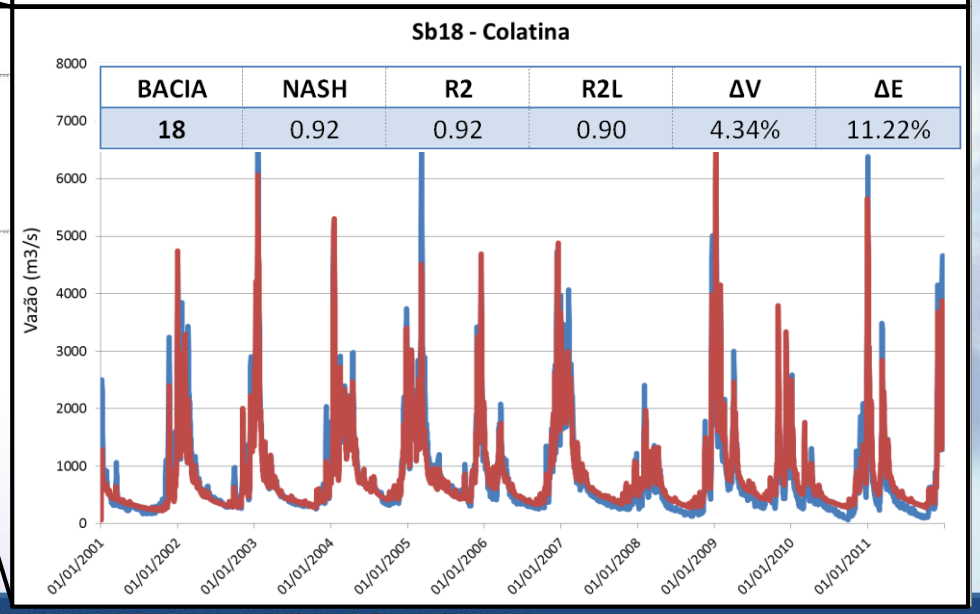
Observada MHD-INPE

Calibração MHD-INPE





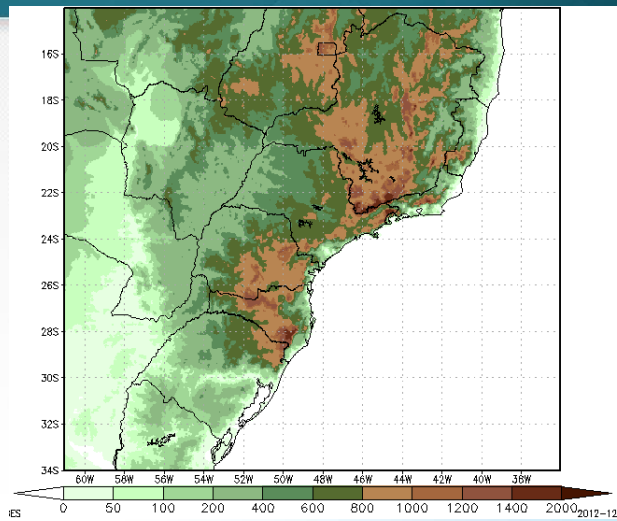
BACIA	NASH	R2	R2L	ΔV	ΔE
13	0.92	0.93	0.94	1.48%	13.33%



BACIA	NASH	R2	R2L	ΔV	ΔE
18	0.92	0.92	0.90	4.34%	11.22%

Observada MHD-INPE

Modelo Atmosférico Eta Região Sudeste



Modelo: Modelo Eta (Mesinger et al. 2012)

Resolução: 5 km/50 níveis (não hidrostático).

Prazo de previsão: 120 horas - saídas com frequencia horária

Condições Iniciais: análises GFS T213L28.

Condições de Contorno Lateral: Eta 40km ou GFS (atualizado a cada 6 horas).

Número de Membros: 4, sendo 1 controle e 3 membros com microfísica

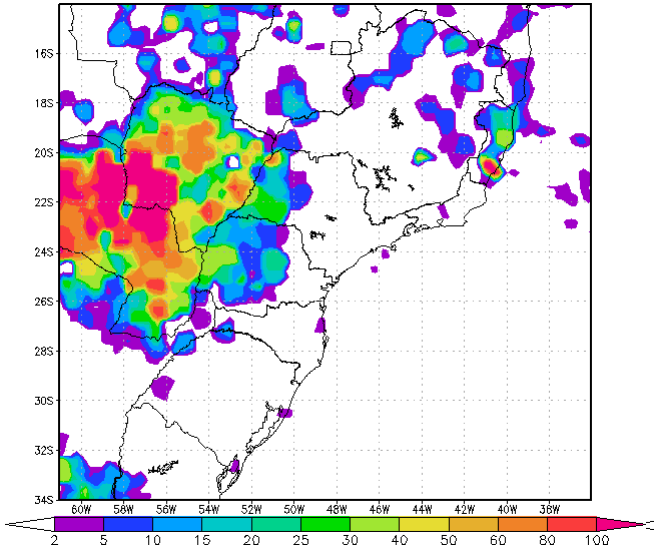
Esquemas de Convecção: Betts-Miller-Janjic (**BMJ**) (Janjic, 1994); Kain-Fritsch modificado (**KF**) (Gomes, 2009); Kain-Fritsch Fluxo de Momentum (**KFFM**) (Bastos, 2005)

Esquemas de Microfísica: Ferrier e Zhao

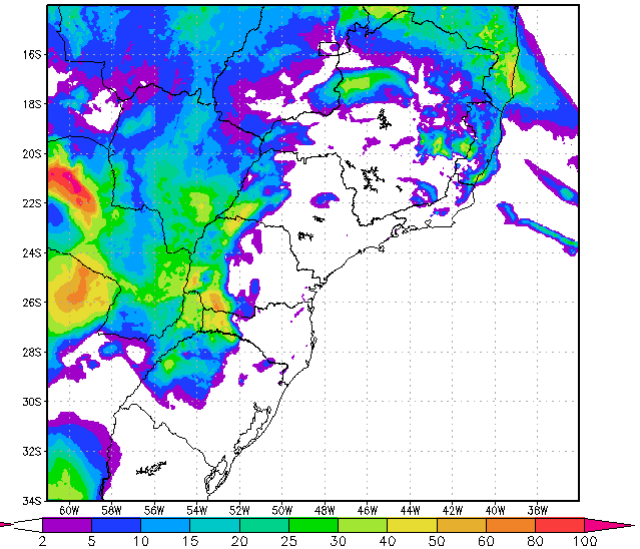
Domínio: Regiões Sul e Sudeste do Brasil

Previsão Precipitação Acumulada em 24 horas – EtaSSE 5km – Fct+24h
Válida para 30/11/2012 12UTC

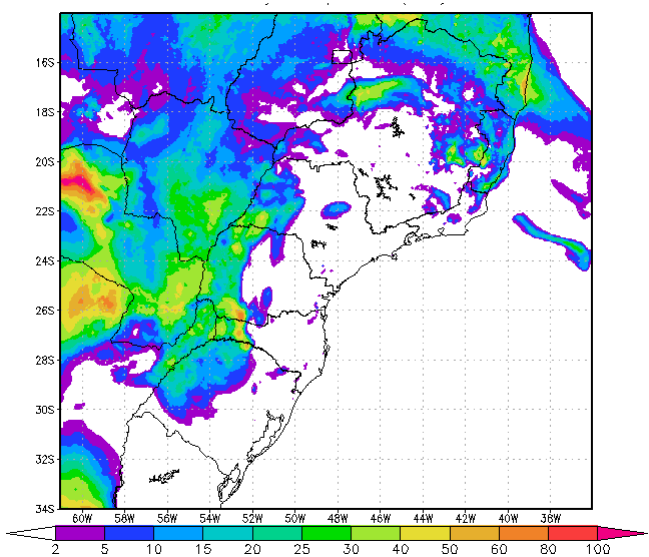
Observação



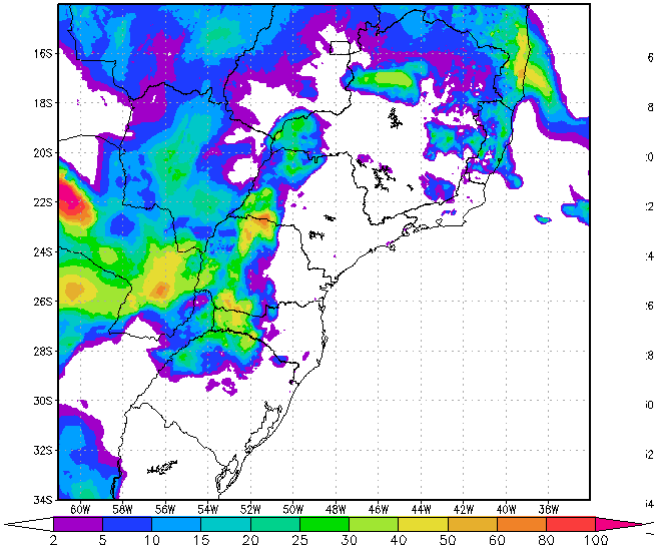
BMJ_Ferrier



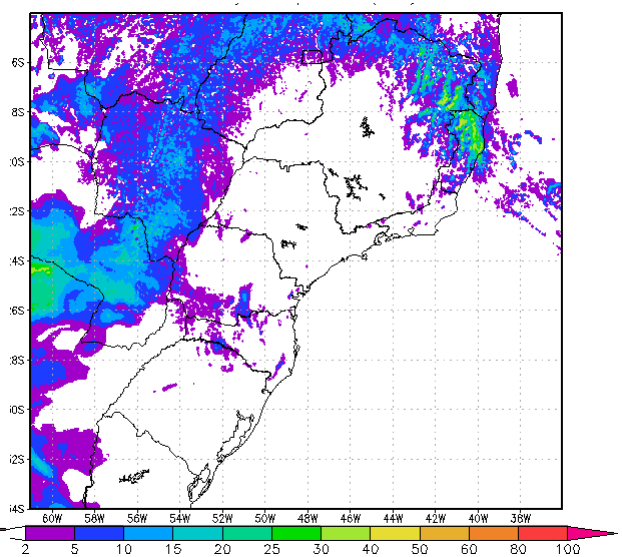
BMJ_Zhao



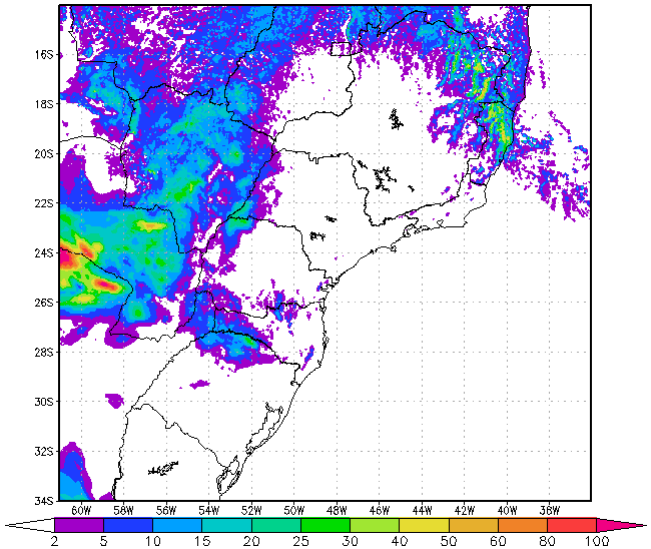
BMJ_Ferrier_GFS



KF_Ferrier



KFFM_Ferrier



Desenho experimental

Com base nas séries históricas de vazão, foram estabelecidos limiares de vazão para frequência experimentais de 0,95; 0,98; 0,99 e 0,995 para cada uma das 19 sub-bacias

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19
0.9	129.27	179	50.52	445.4	152.99	666	34.72	34.149	312.66	1121.45	45.17	131.3	1257.78	93.74	28.07	183	32.96	1822	28.65
0.95	183.5	247	70.48	606.396	208.32	927.5	50.302	49.63	470.7	1531.75	68.92	189.6	1774.4	132.61	44.75	268.05	49.24	2544	42.25
0.98	255.8	361.8	106.05	797.15	324.9	1336.8	76.62	74.12	786.6	2115.58	98.41	283.2	2413	177.15	70.55	373.6	82.86	3569.5	64.12
0.99	311	461.15	137.7	959.7	424.82	1640.75	100.282	105.4	1100.47	2664.291	121.25	378.5	3025.5	225.8	91.2	490	114	4368.37	91.224
0.995	366.8	543.4	177.95	1191.18	531.02	2040.5	118.96	135.57	1409	3194.195	155.45	511.5	3589.7	283.62	121.8	623	145.7	5010.92	120.4

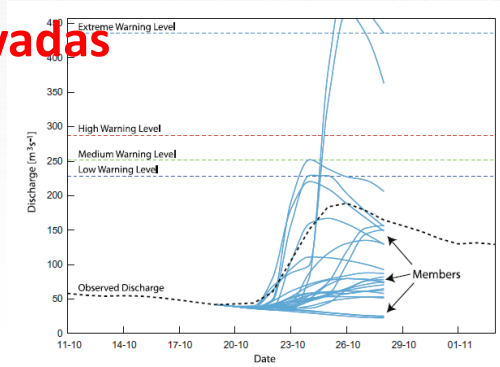
Foram feitas simulações com o modelo atmosférico nas cheias do período de 2000-2013, de maneira a completar aproximadamente 10 eventos em cada sub-bacia

Cada simulação foi usada para alimentar o modelo hidrológico e gera estatísticas de desempenho, de caráter numérico e categórico/dicotómico

Algumas Estatísticas

Foram testados vários estatísticos categóricos e numéricos

1) Coeficiente de correlação entre vazões previstas e observadas



$$R^2 = \frac{cov(x,y)}{Var(x)Var(y)}$$

2) Tabelas de contingência

Taxa de acerto – Hit Rate

$$HR = \frac{a}{a+c}$$

Taxa de falso Alarme – False Alarm Rate

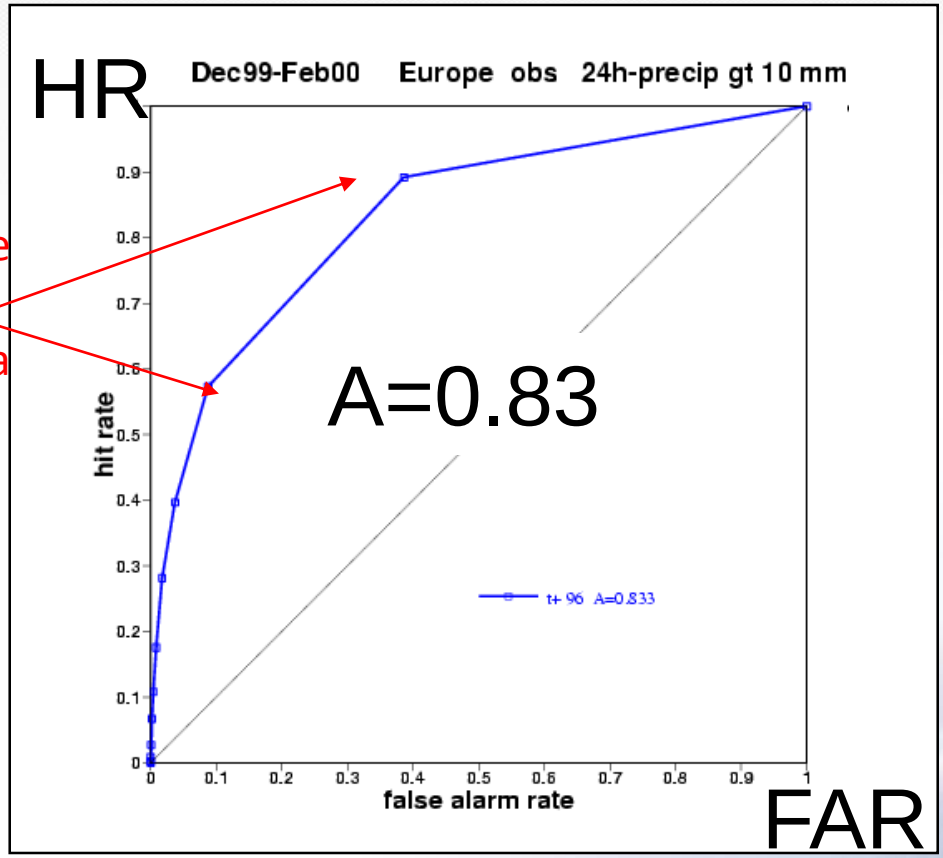
$$FAR = \frac{b}{b+d}$$

		Evento observado		
		Sim	*Não*	total
Evento previsto	*Sim*	a	b	a+b
	Não	c	d	c+d
	total	a+c	b+d	a+b+c+d=n

Algumas Estatísticas

Tabelas de contingência permitem criar **diagramas ROC** (Relative operation characteristics)

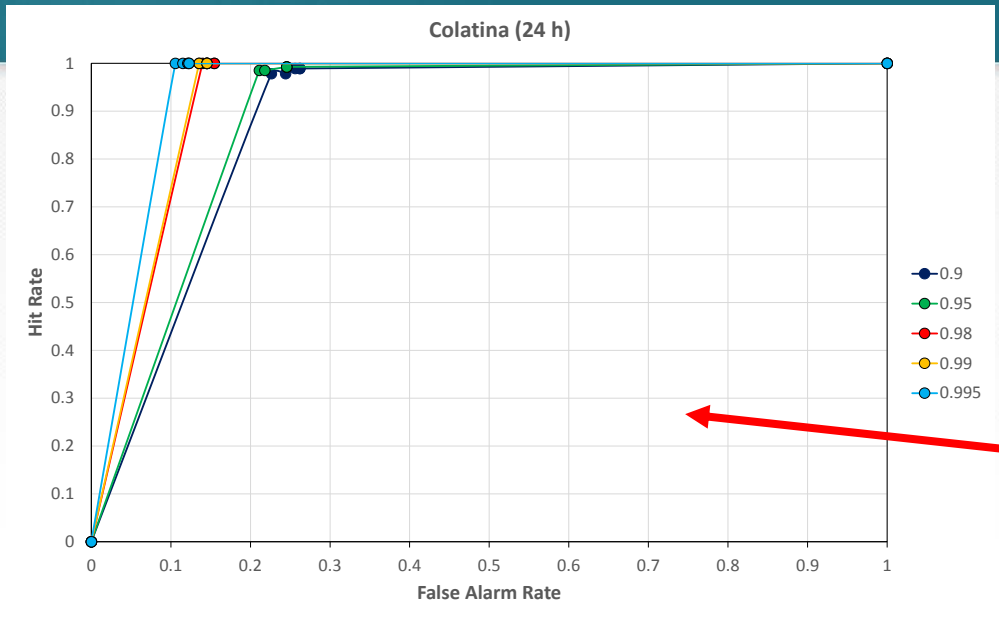
Níveis de probabilidade associados a cada previsão

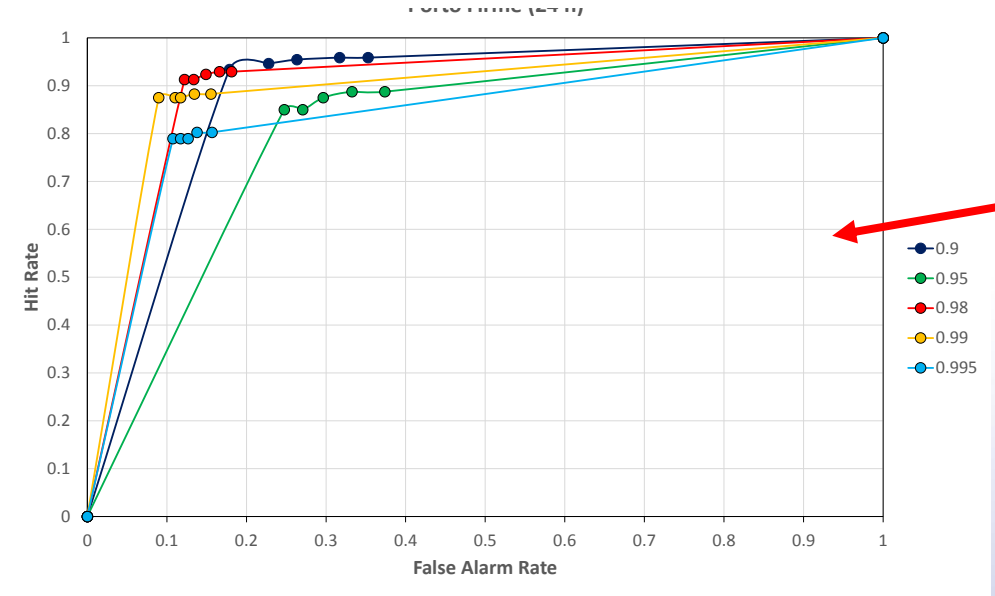


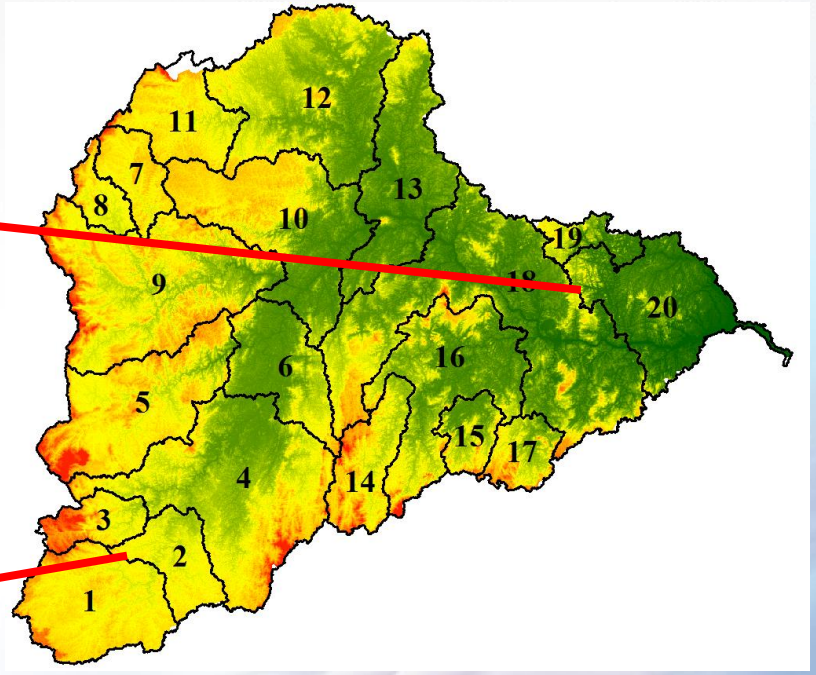
- Área abaixo da curva ROC é uma medida da destreza (Skill) da previsão

A=0.5 (sem destreza), A=1 (previsão determinística perfeita)

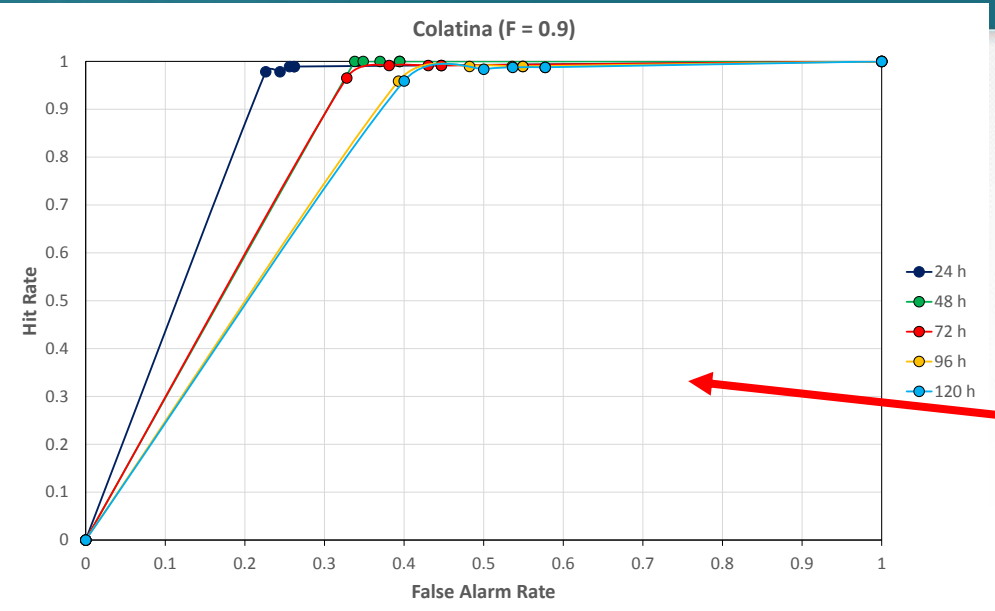
Diagramas ROC

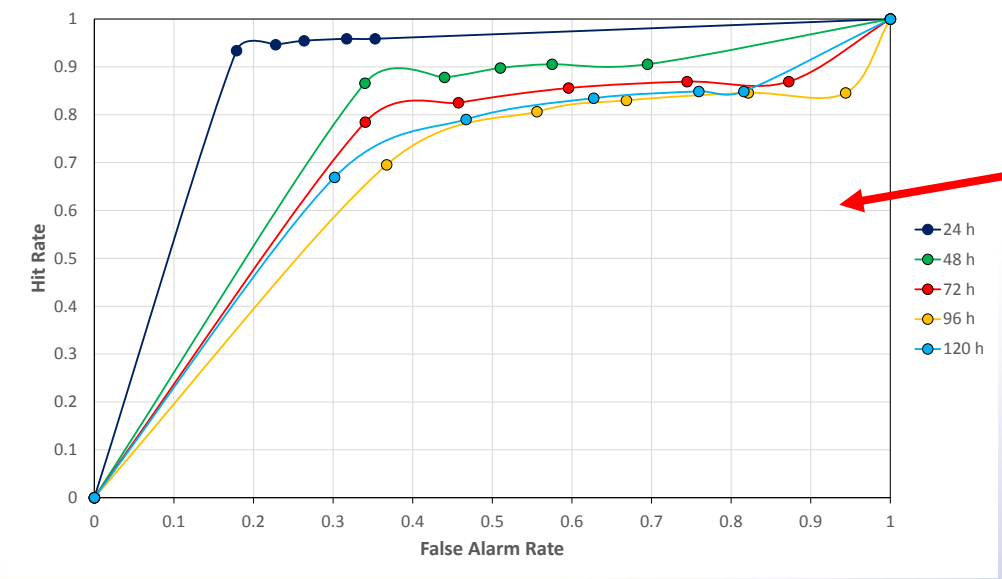


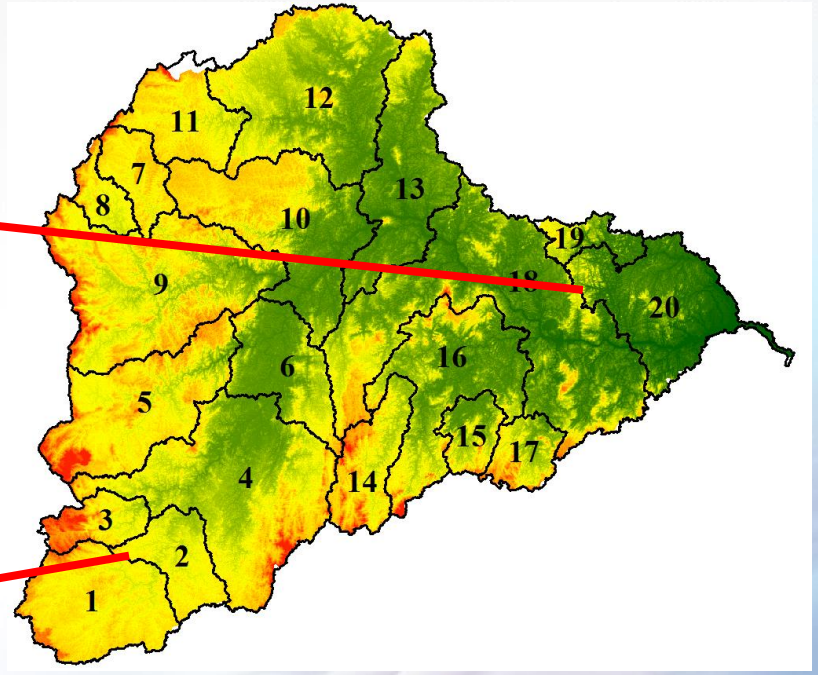




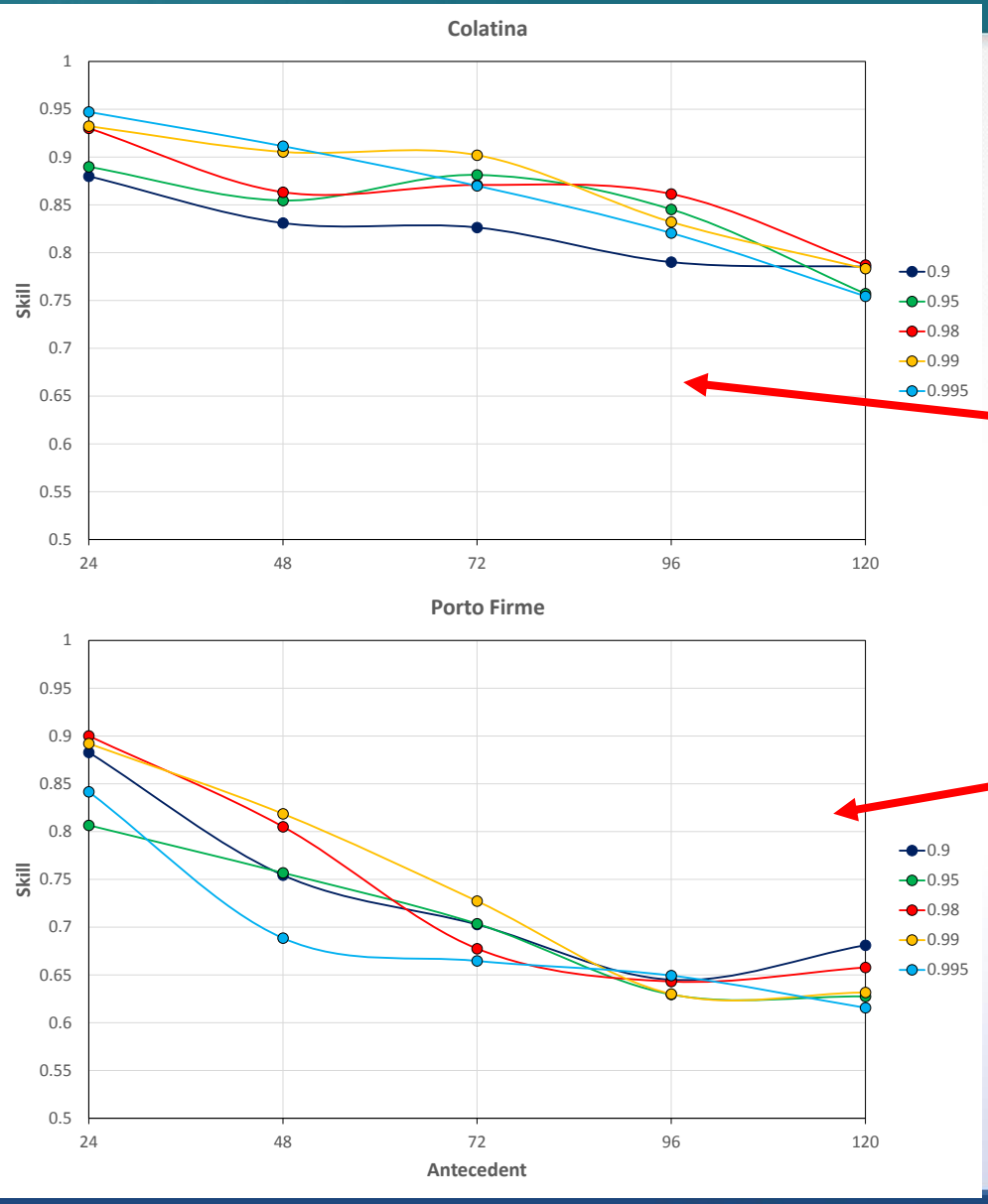
Diagramas ROC

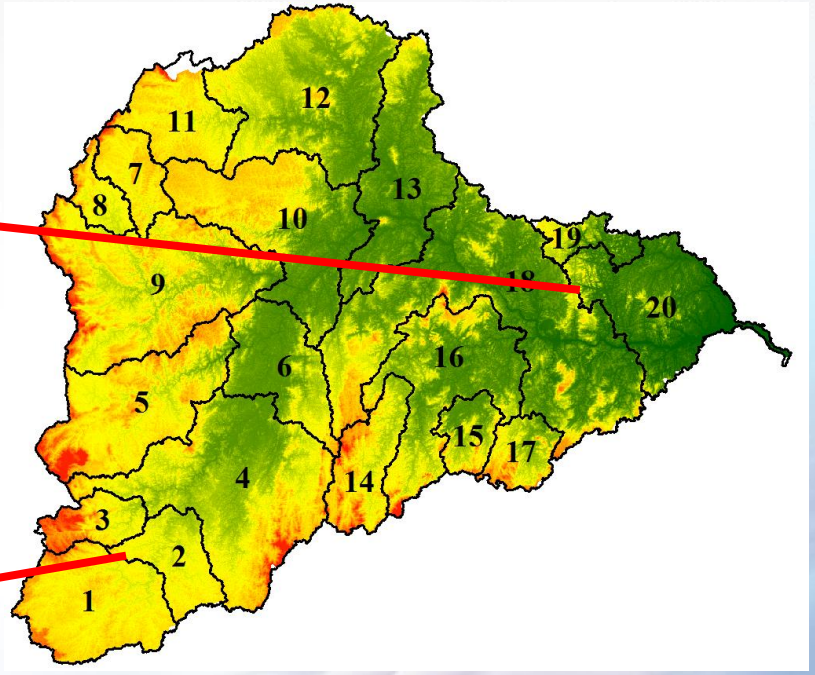




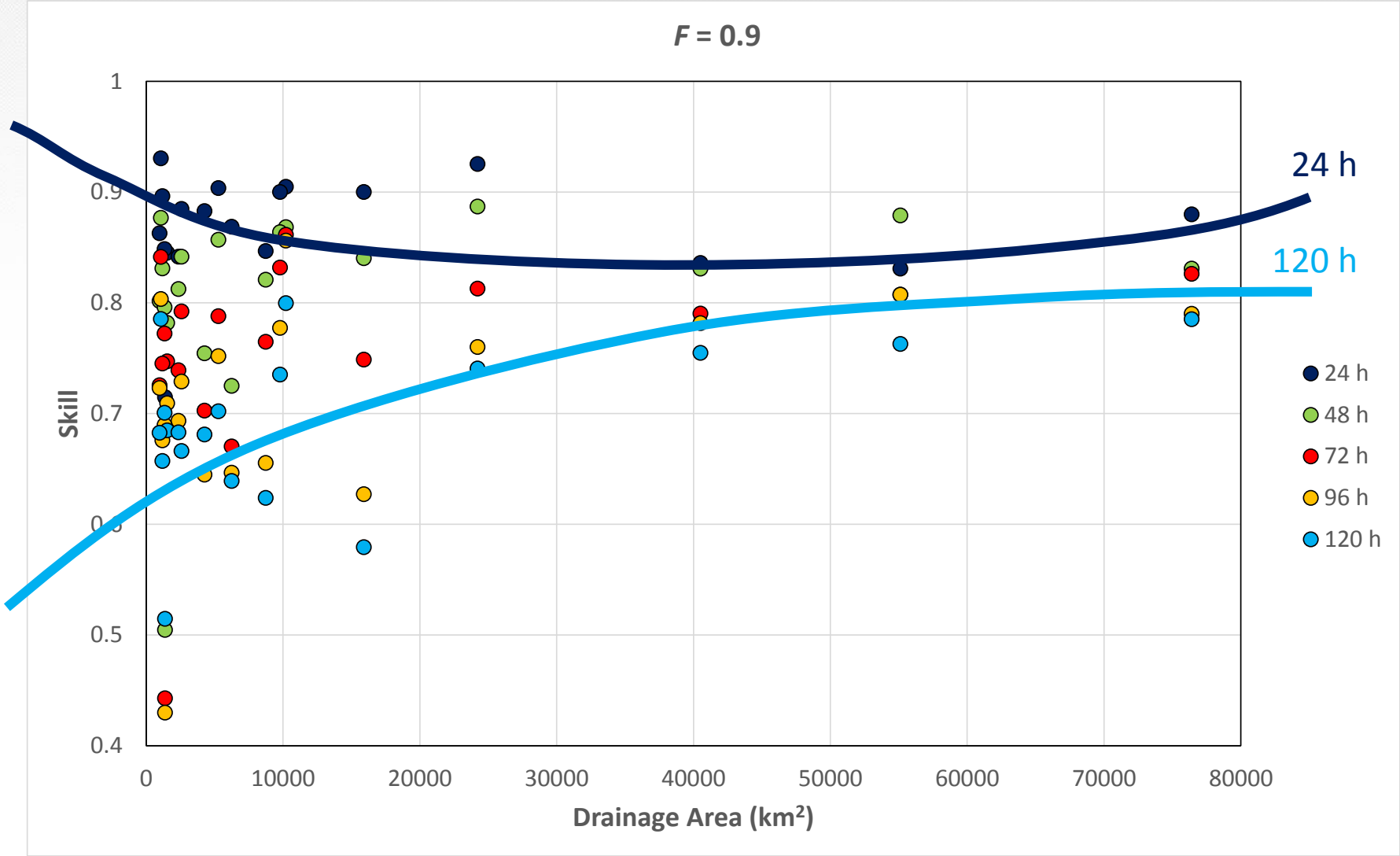


Diagramas ROC

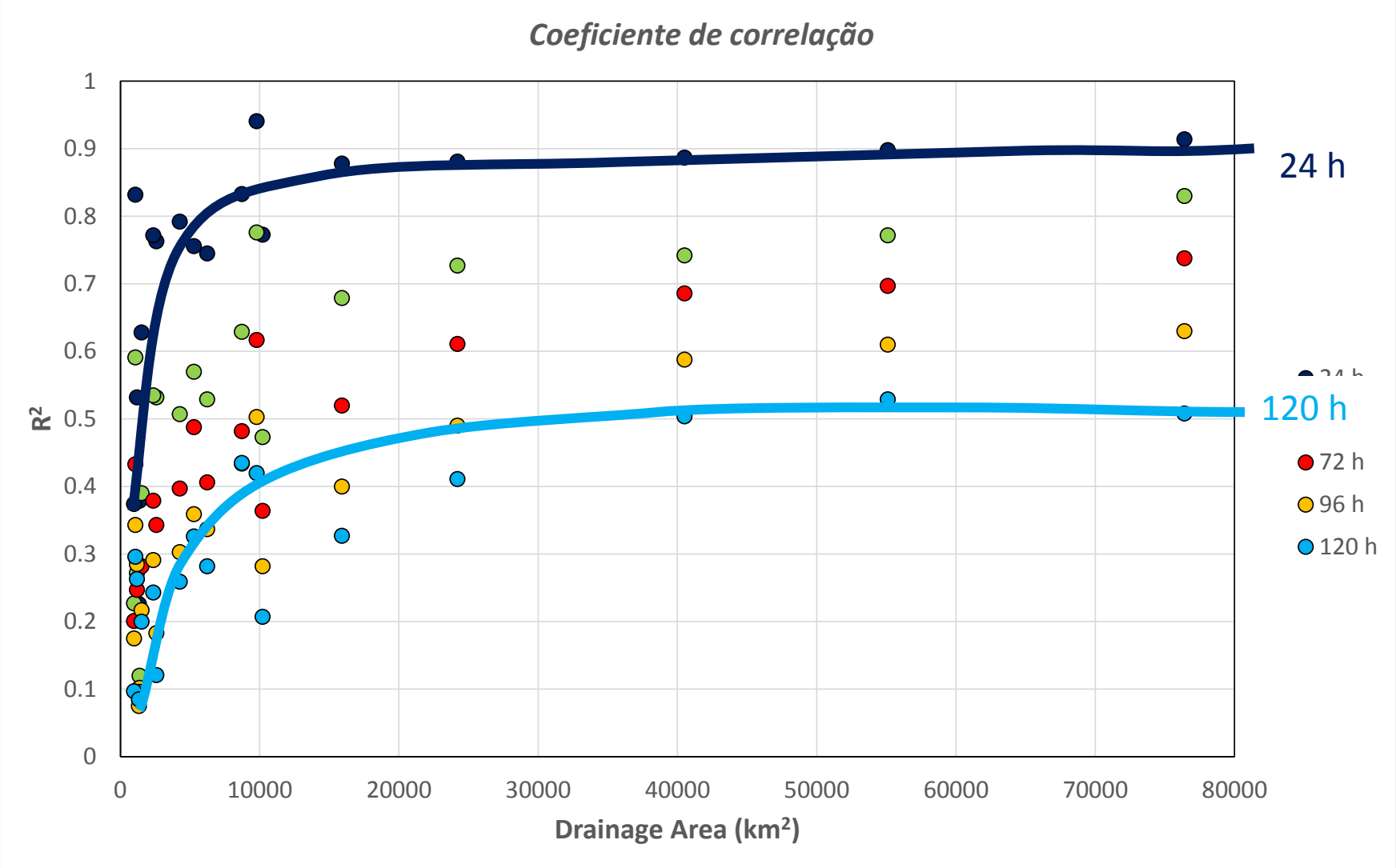




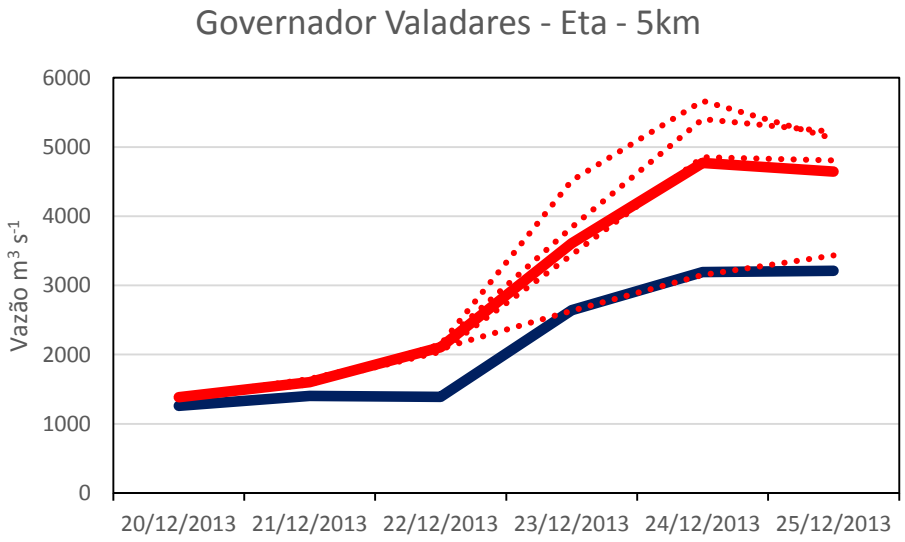
Diagramas ROC

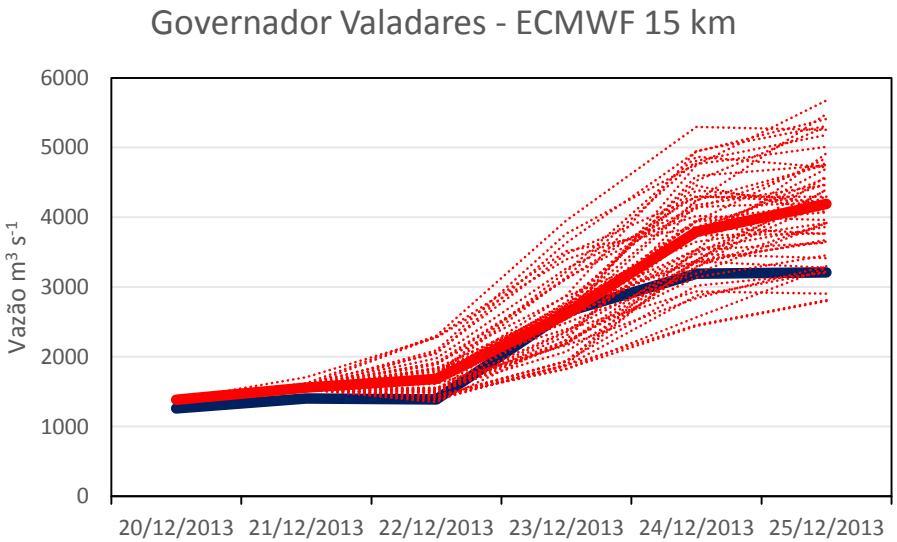


Coeficiente de correlação

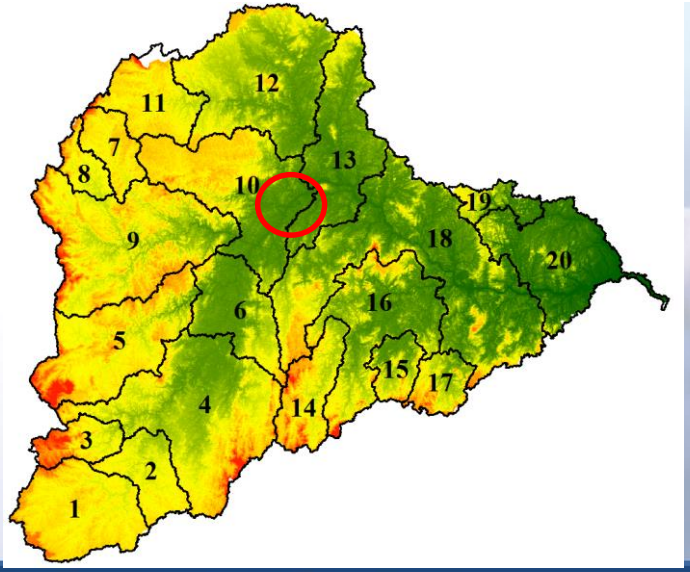


Inundação de 2013

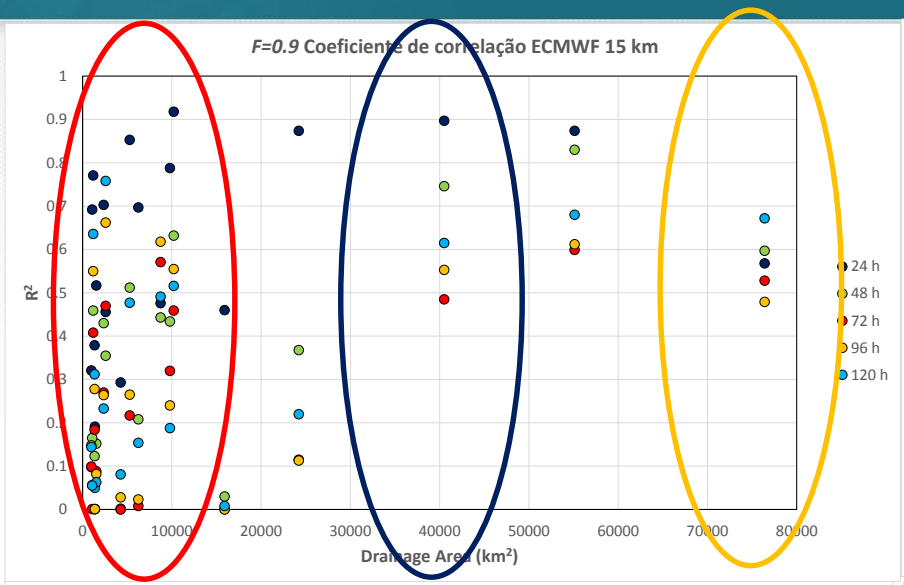


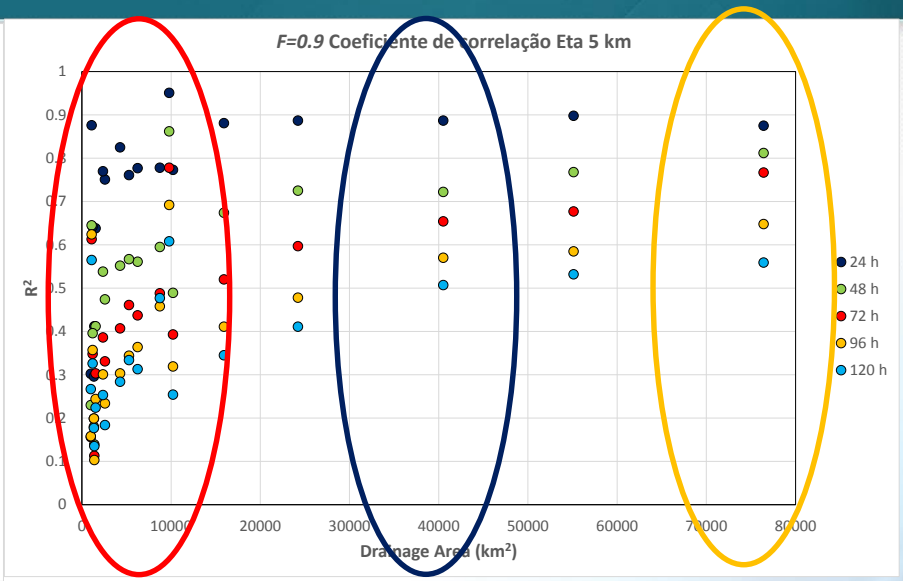


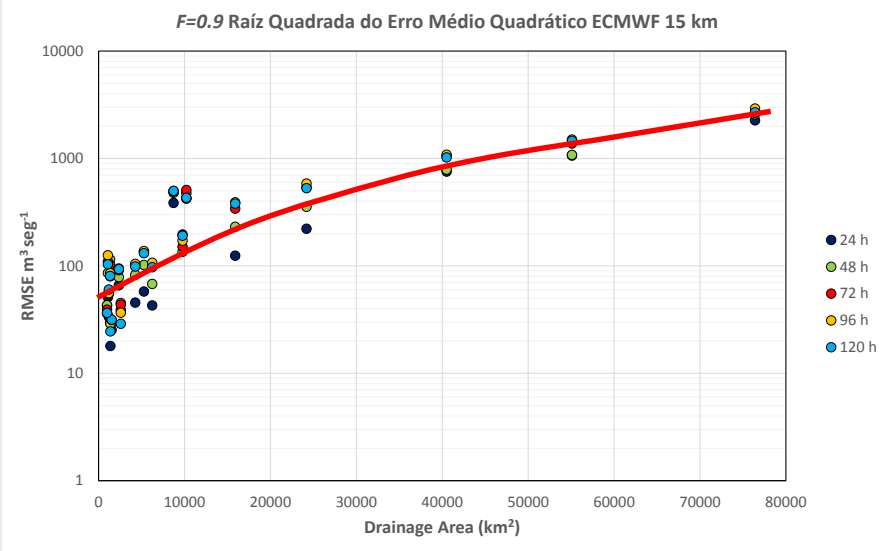
Simulações no período 15/12/2013 a 31/12/2013

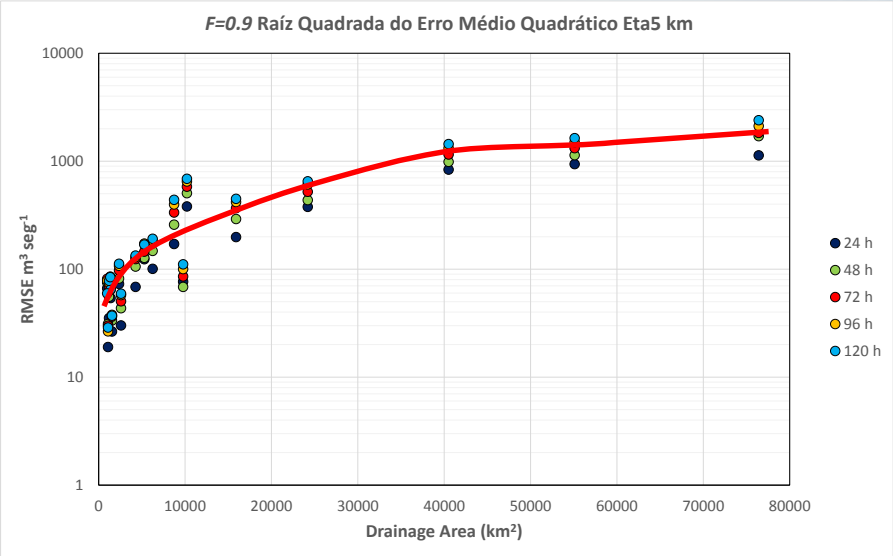


Inundação de 2013

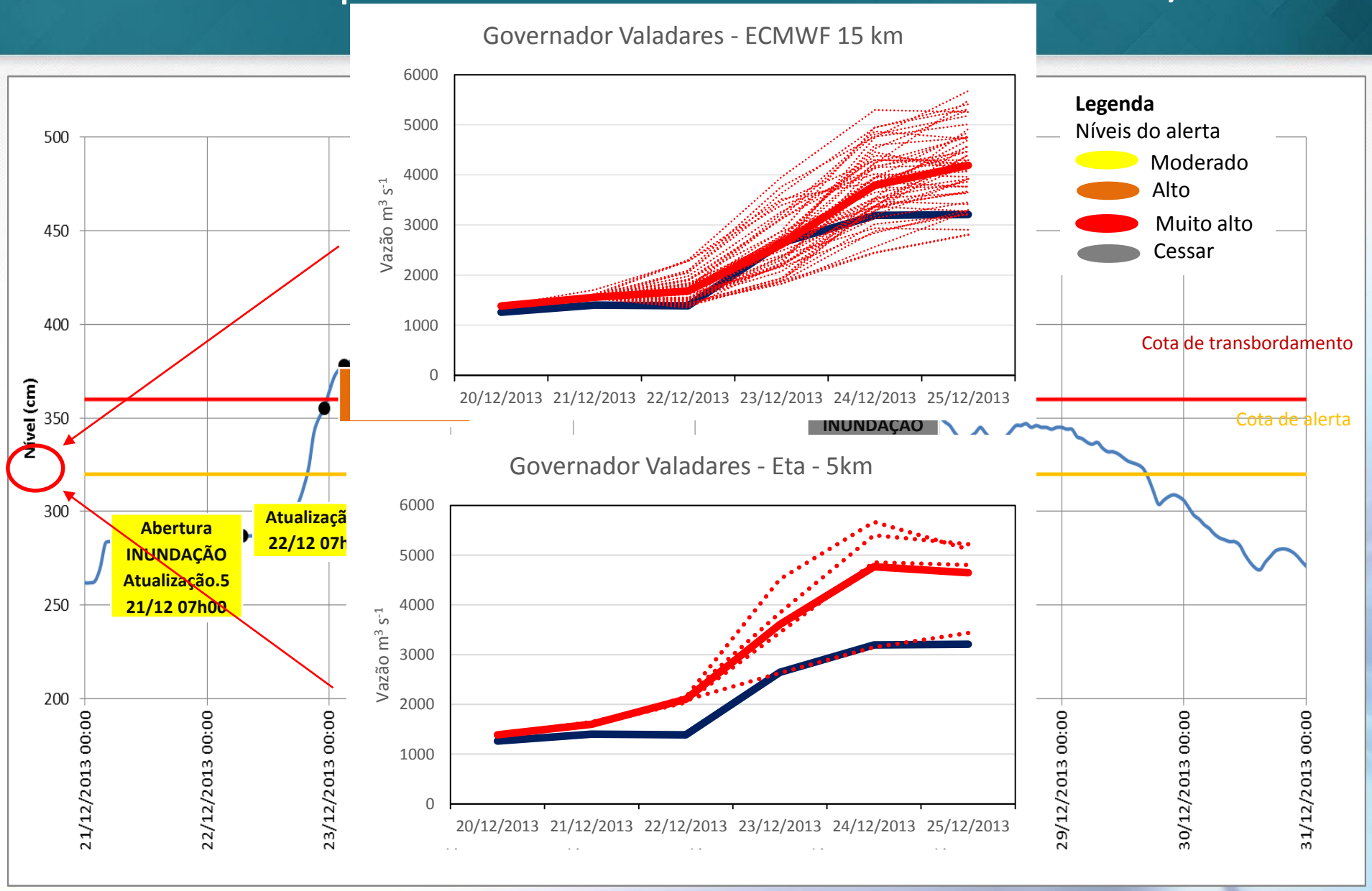








Linha do Tempo Alerta 836 - Governador Valadares/MG



Conclusão

- Há potencial para melhorar a antecedência das previsões
- Precisa ser melhor estudado o custo/benefício de aumento de resolução e aumento de número de membros do conjunto (Custo computacional)
- As redes hidrológicas precisam ser automatizadas
- Necessidade de transmitir informação probabilística aos tomadores de decisão

Agradecimentos

CNPq
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

FAPESP

Muchas Gracias!

javier.tomasella@cemaden.gov.br

javier.tomasella@inpe.br