



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E SEUS IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS

RECARGA DE AQUÍFEROS
CASO DE ESTUDO: ILHA
TERCEIRA (Açores)

NOVO, LOBO FERREIRA



APRH

Água: desafios de hoje, exigências de amanhã

Centro de Congressos de Cascais,
2 a 4 de Abril 2008

© LNEC 2006

Análise dos efeitos das alterações climáticas nos sistemas hídricos de superfície e subterrâneos



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



UNIVERSIDADE DOS AÇORES
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ANGRA DO HEROÍSMO

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E SEUS IMPACTOS NOS
RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS EM ILHAS DE
PEQUENA DIMENSÃO
(CASO DE ESTUDO: AÇORES – ILHA TERCEIRA)

MARIA EMÍLIA DE JESUS SILVA NOVO

Angra do Heroísmo
2006

ÍNDICE DE TEXTO

1. INTRODUÇÃO	1
2. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS: O QUE SÃO, SUAS CAUSAS POSSÍVEIS E SEUS POSSÍVEIS IMPACTOS	8
3. ESTADO DOS CONHECIMENTOS SOBRE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E HIDROGEOLOGIA DOS AÇORES	33
4. IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS: ALTERAÇÕES NOS PADRÕES DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO DEVIDO AO AQUECIMENTO ATMOSFÉRICO GLOBAL	60
5. IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS: MUDANÇAS NOS REGIMES DE PRECIPITAÇÃO E SEUS IMPACTOS SOBRE A RECARGA DE AQUÍFEROS	83
6. ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DOS VÁRIOS SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS INSULARES E SUA RESPOSTA ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	133
7. RESPOSTA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	162
8. IMPACTO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NOS RECURSOS DISPONÍVEIS E NOS CONSUMOS HUMANOS	172
9. ANÁLISE DA INCERTEZA ASSOCIADA AOS CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS	194
10. VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	201
11. CONCLUSÕES FINAIS	235
12. BIBLIOGRAFIA	252

ANEXOS

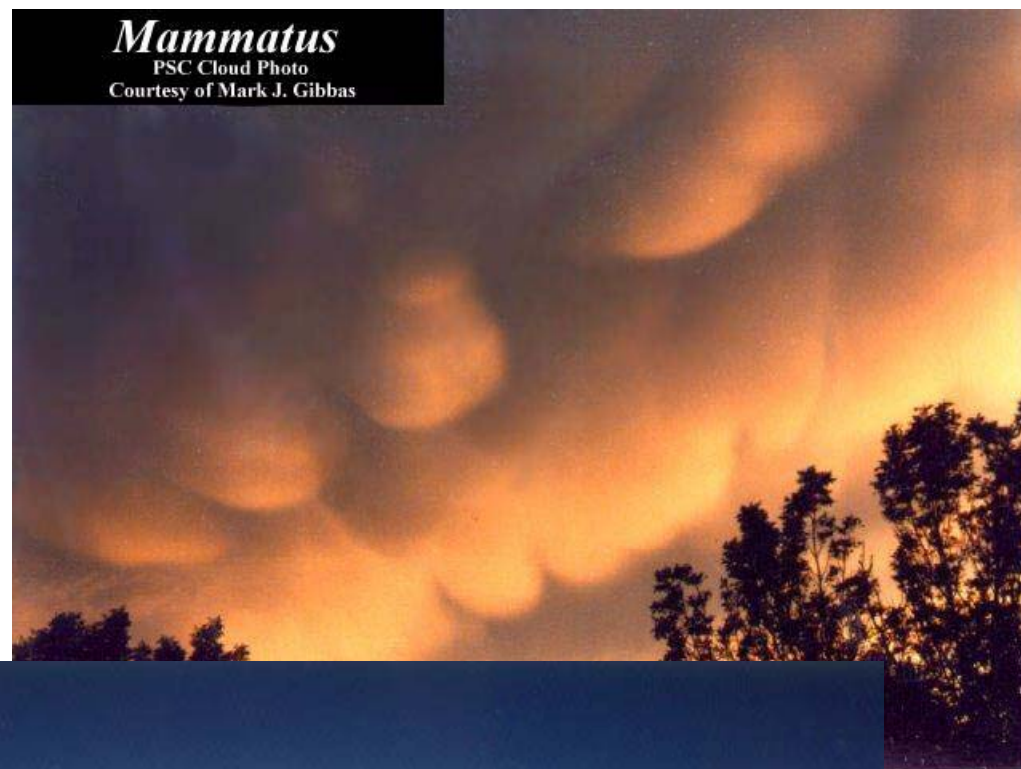
Orientador:

Prof. Eduardo Brito de Azevedo (Universidade dos Açores)

Co-Orientadores:

Prof. Francisco Cota Rodrigues (Universidade dos Açores)

Dr. Eng. João Paulo de Cárcomo Lobo Ferreira (LNEC)



Cumulonimbus
PSC Cloud Photo
Courtesy of Bill Schmitz



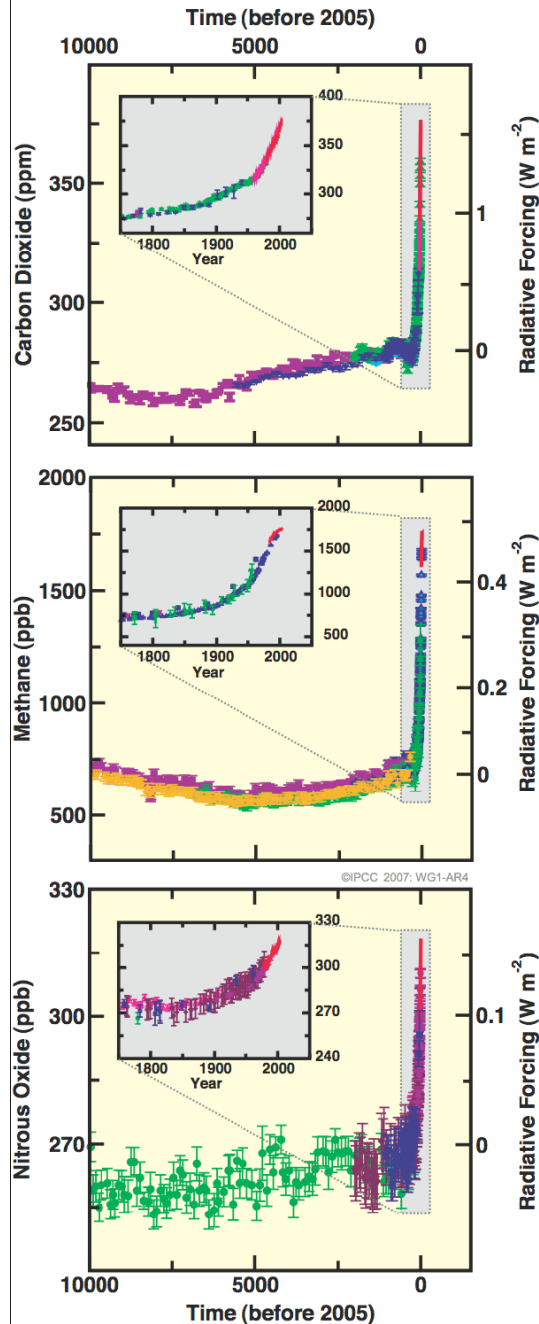
Changes in Greenhouse Gases from ice-Core and Modern Data

Alterações climáticas – recarga

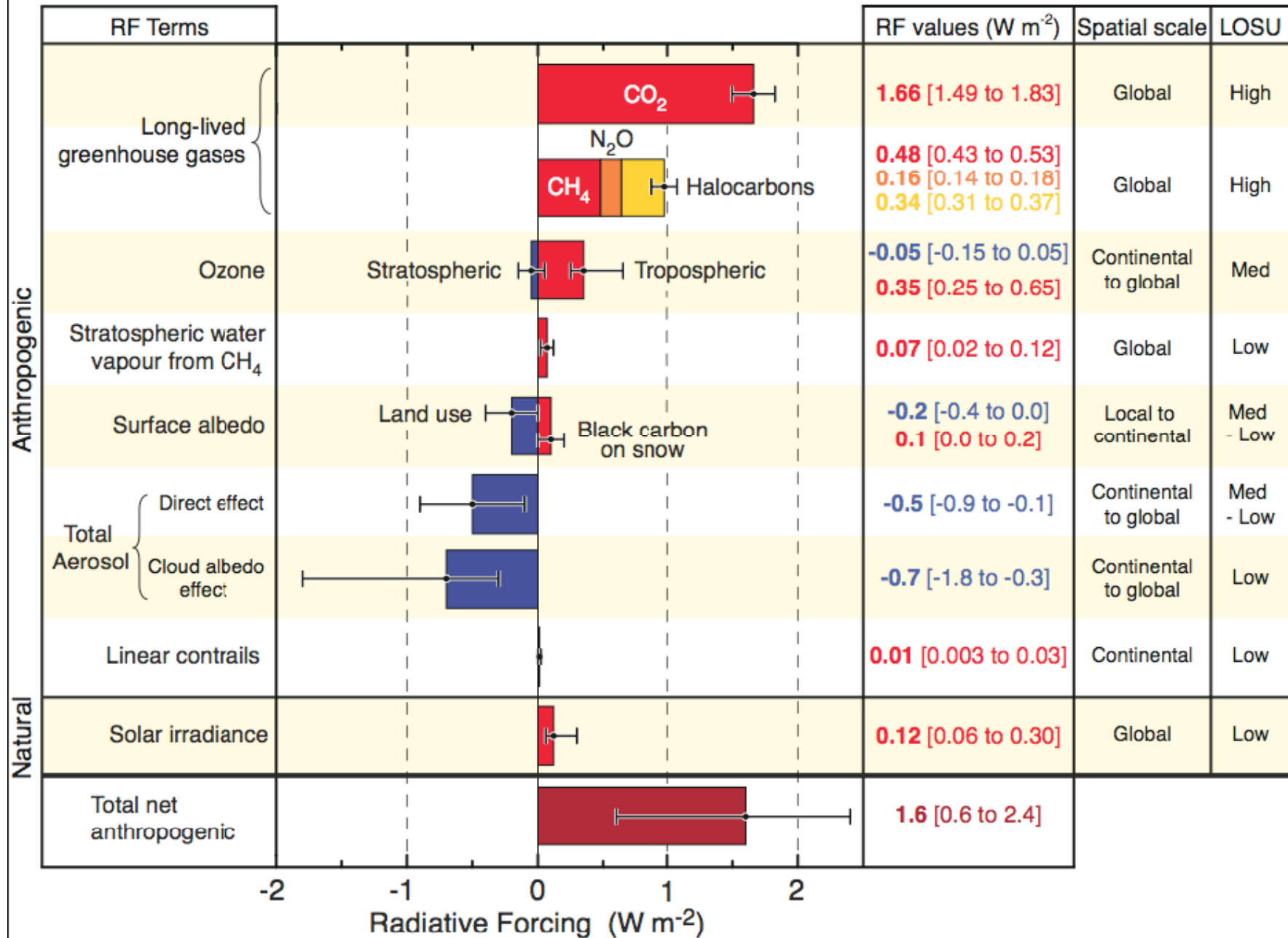
As Alterações climáticas são uma modificação **estatisticamente significativa da média e/ou variabilidade das variáveis definidoras do clima, que ocorre durante um período alargado de tempo.**

> Devem-se a:

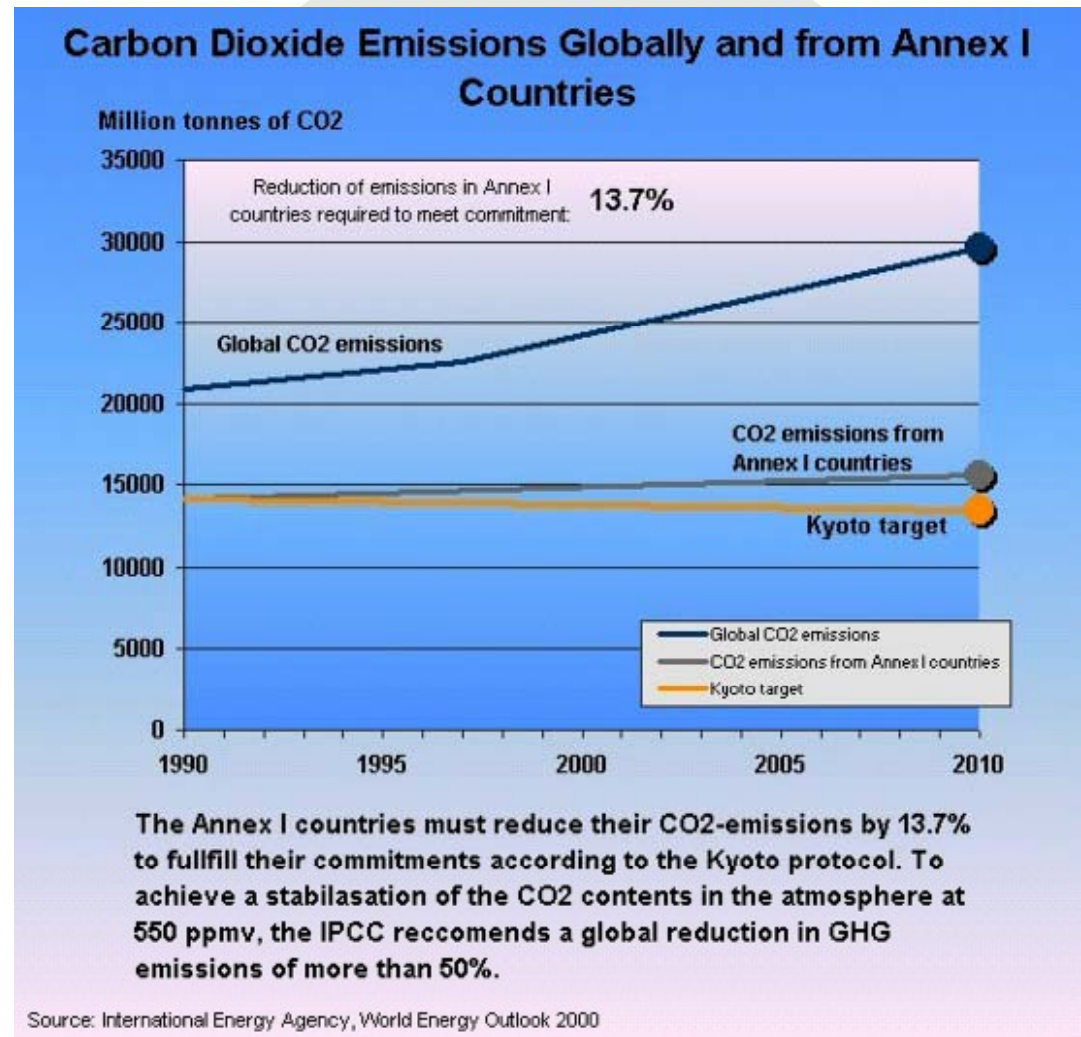
- Modificação da composição da atmosfera, quanto a concentração dos gases de efeito de estufa e aerossóis,
- e/ou fenómenos astronómicos



Radiative Forcing Components



- Têm impactos sobre os recursos hídricos subterrâneos em termos de:
 - Quantidade
 - Qualidade
- Dos aquíferos mais susceptíveis aos efeitos das alterações climáticas:
 - Aquíferos em zonas semi-desérticas
 - Aquíferos costeiros
 - Aquíferos insulares



> Razões:

- **Nos aquíferos costeiros** – são afectados e muito condicionados pelas alterações do nível do mar
- **Nos aquíferos insulares:**
 - *Os recursos hídricos estão em dependência total dos regimes de precipitação*
 - *Pequena dimensão dos aquíferos e das áreas de abastecimento (devido à área insular reduzida → limita volume de recarga)*
 - *Impossibilidade dos aquíferos (ou reservatórios superficiais) serem abastecidos a partir de outras regiões*
 - *Características hidrodinâmicas de materiais vulcânicos que favorecem uma rápida circulação e curtos tempos de permanência das águas nos aquíferos*
 - *Relevo vigoroso – pouco favorável à retenção de água à superfície (excepto para as zonas de caldeira)*
- **Nos aquíferos de zonas semi-desérticas** – estão em zonas com regimes pluviais irregulares e escassos e as projecções dos modelos climáticos indiciam para que estes regimes se tornem ainda mais escassos e irregulares, reduzindo a já pequena recarga destes aquíferos

Alterações climáticas – recarga

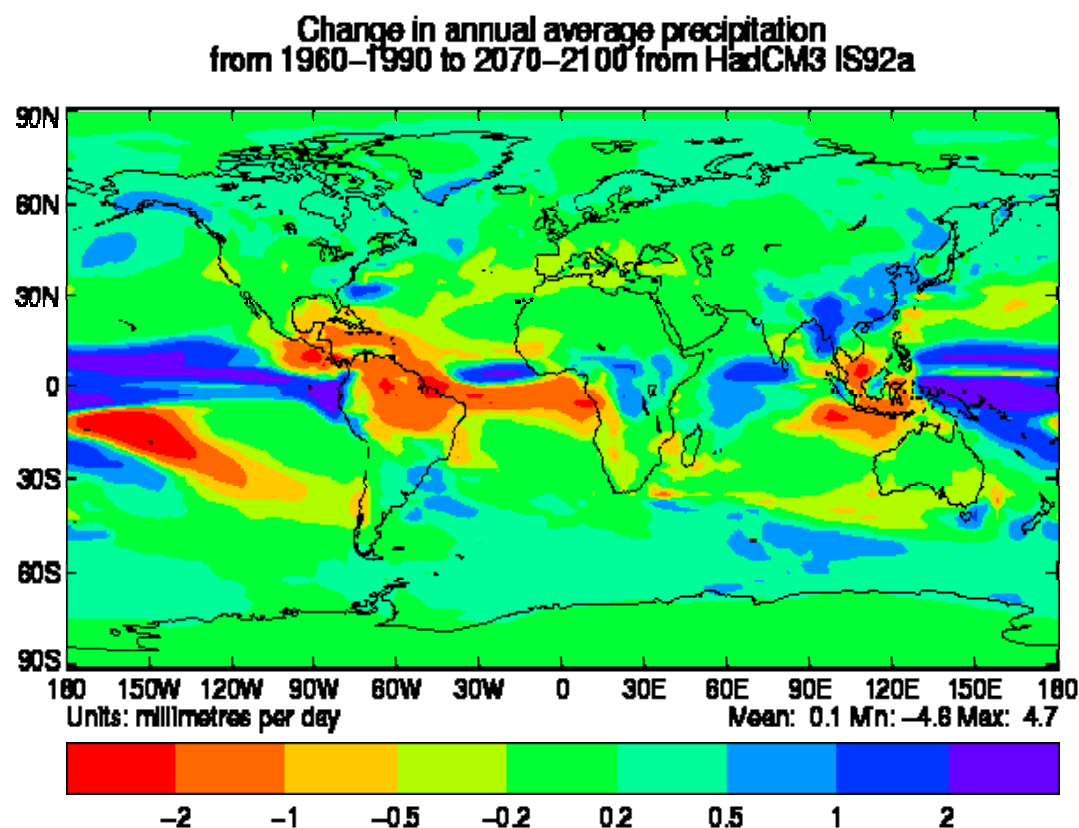


LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

> Caso de estudo Açores:

• Precipitação:

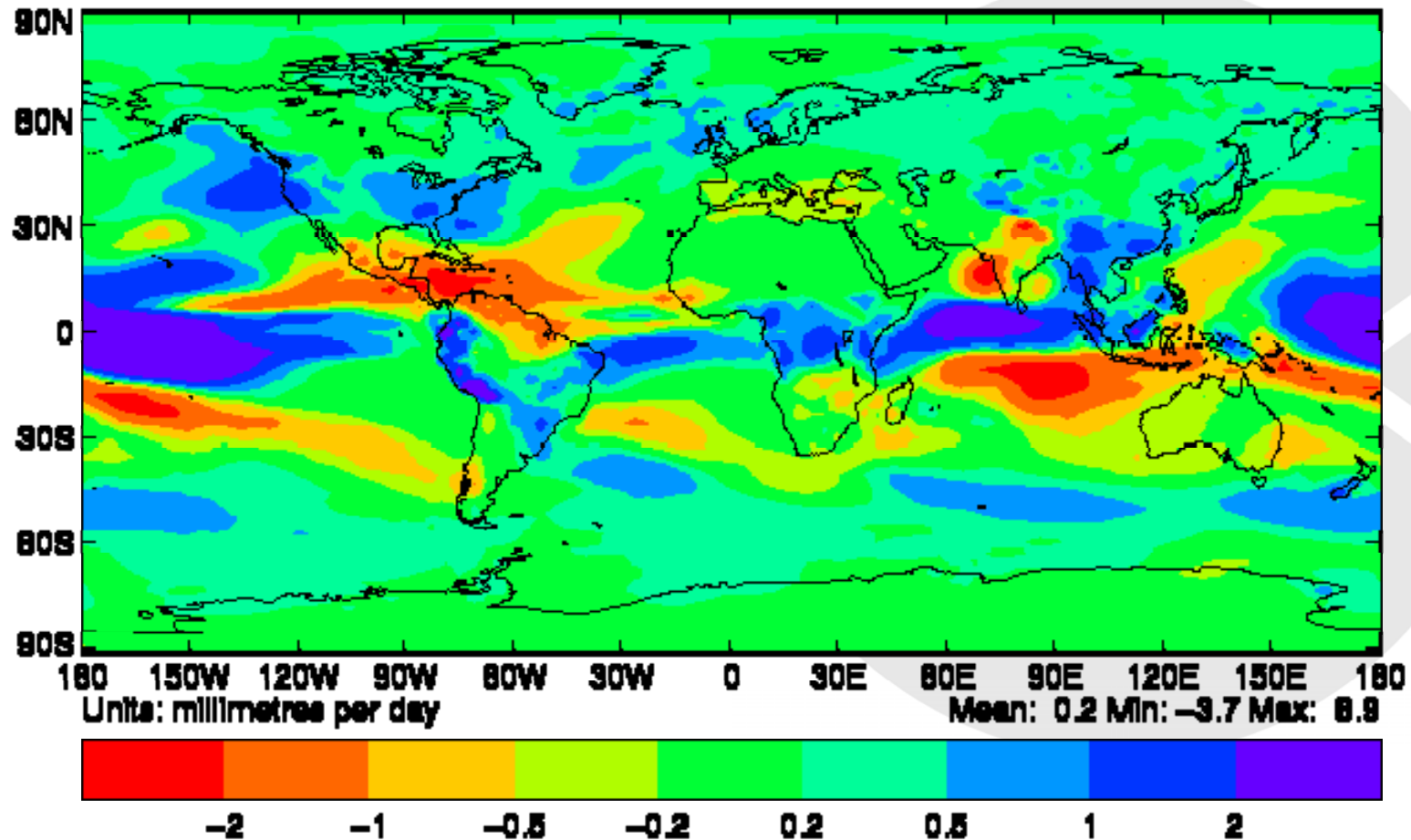
1. Situadas em zona que pelos modelos Hadley Center é de transição entre tendências de subida e de descida de precipitação
2. Esta situação de transição também ocorre no estudo SIAM, dependendo a tendência de subida ou descida de precipitação do cenário de evolução de emissões considerado.



Hadley Centre for Climate Prediction and Research, The Met Office

Alterações climáticas – recarga

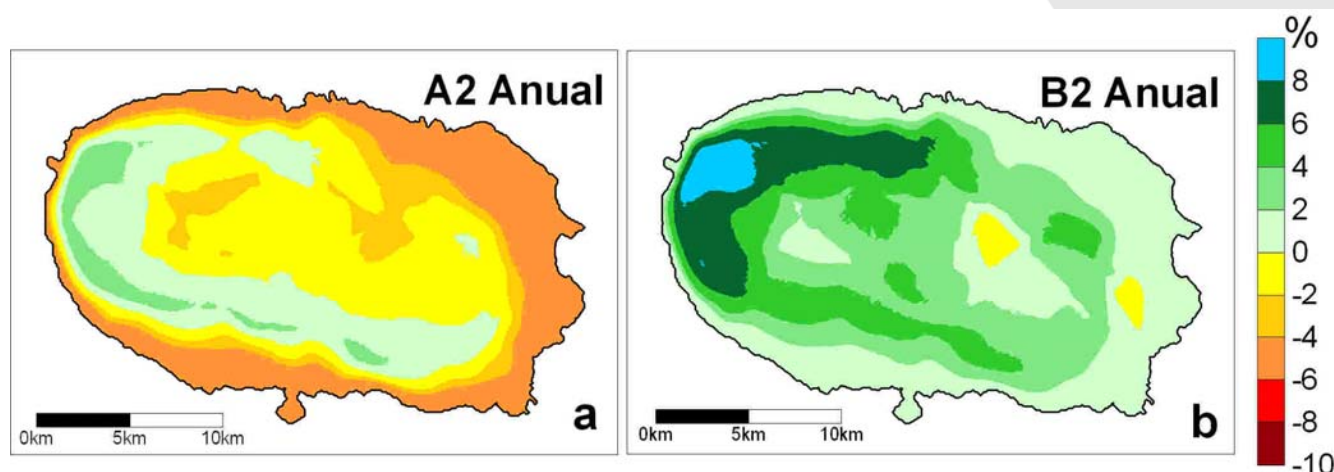
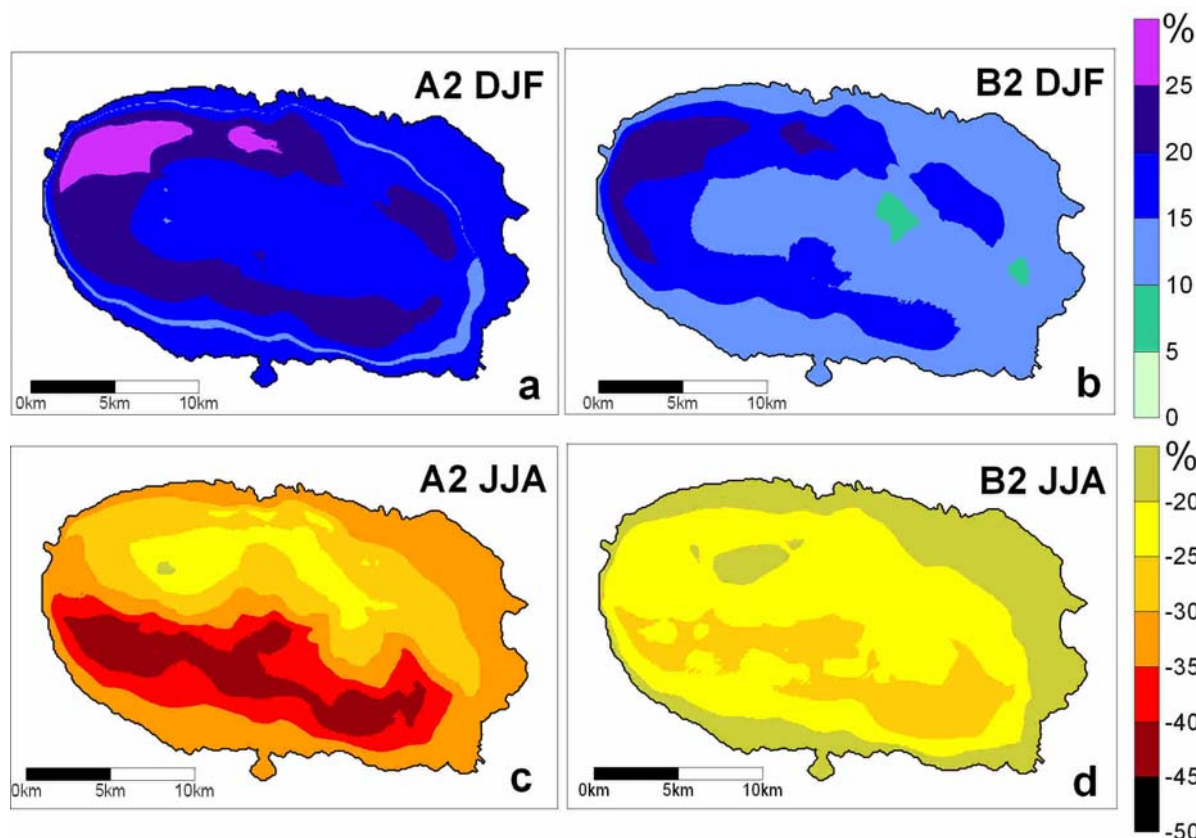
**Change in annual average precipitation
from 1980–1990 to 2070–2100 from HadCM2 IS92a**





LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Evolução da precipitação sazonal na Terceira (SRES – Controlo) para o ano 2100: (a) Inverno (cenário A2); (b) Inverno (cenário B2); (c) Verão (A2); (d) Verão (B2) (SIAM, 2005; Miranda *et al.*, 2005)



Evolução da precipitação anual na Terceira para o ano 2100: (a) cenário A2; (b) cenário B2 (SIAM, 2005; Miranda *et al.*, 2005)

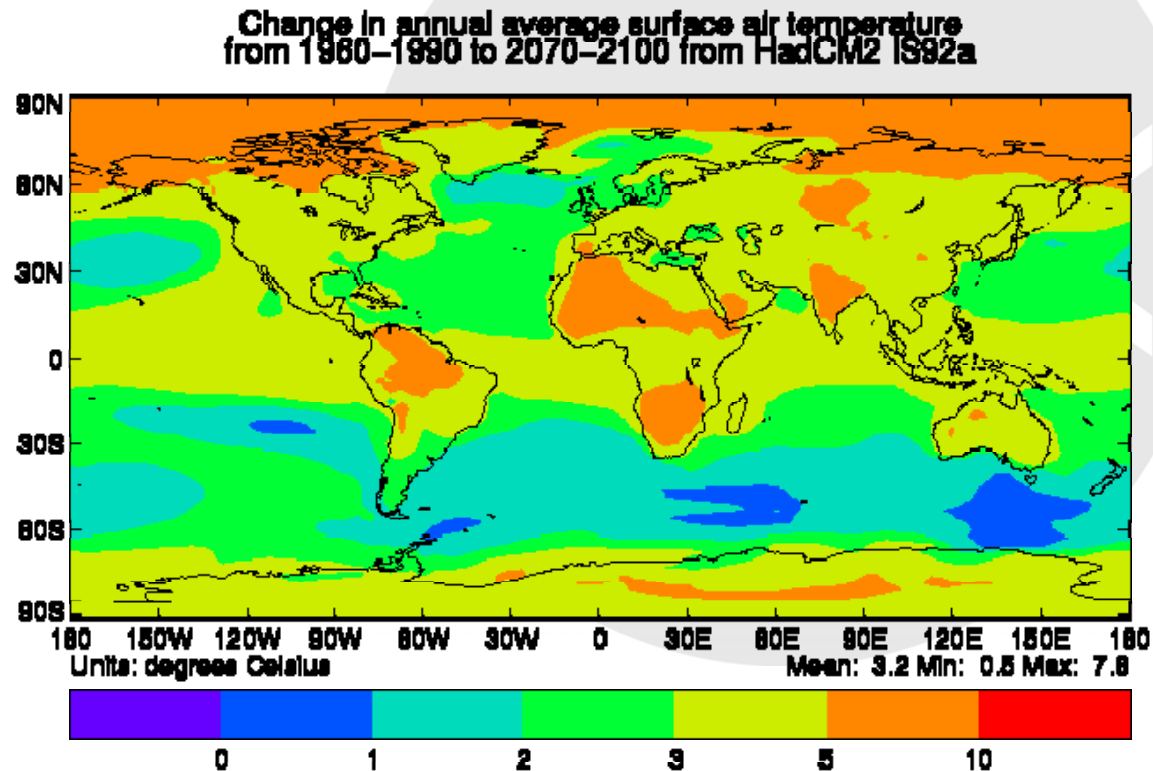
Alterações climáticas – recarga



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- > Caso de estudo Açores:
 - Nas temperaturas

1. Os modelos Hadley Centre indiciam uma subida das temperaturas entre 1 a 3 graus, dependendo dos modelos usados.
2. O estudo SIAM, que usa os modelos Hadley Center regionalizados via modelo CIELO indicam também uma subida de temperaturas



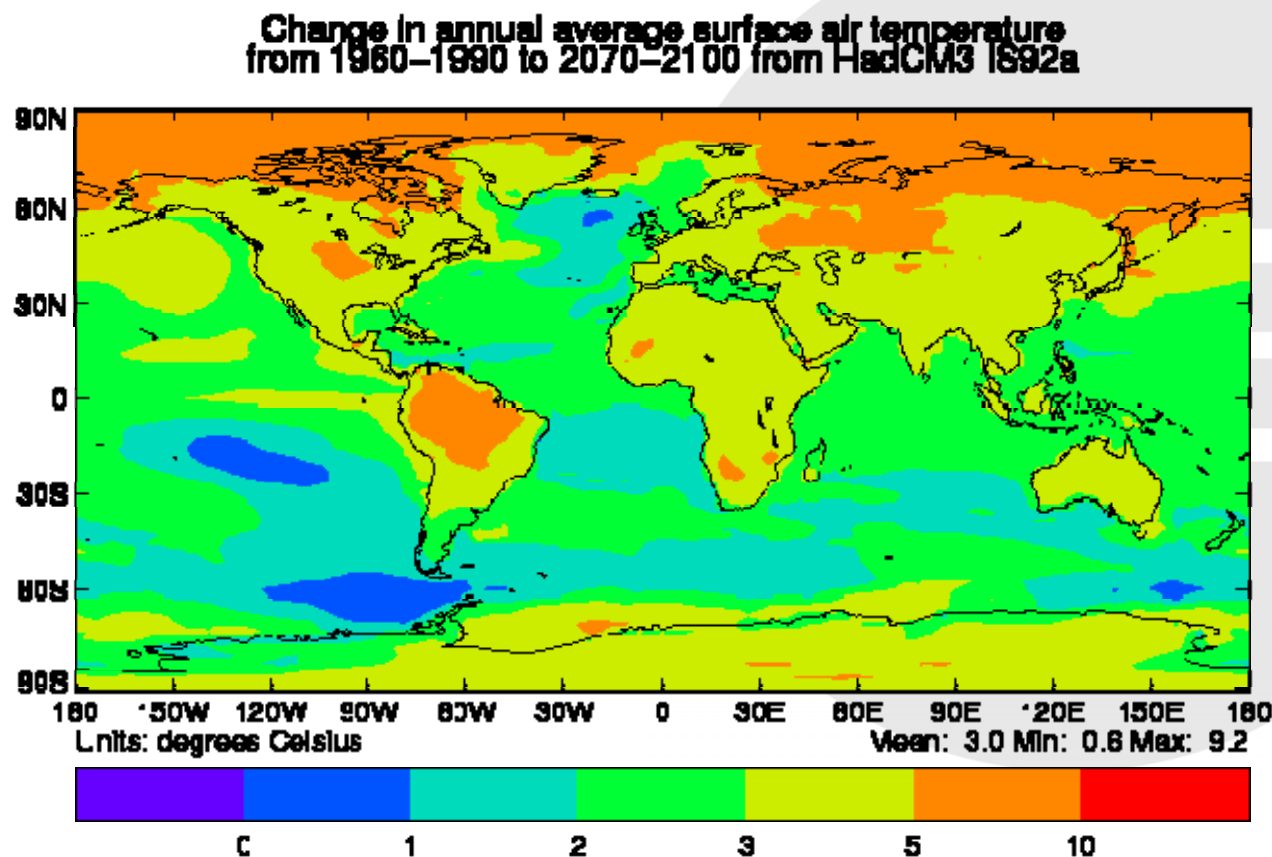
Hadley Centre for Climate Prediction and Research, The Met. Office

Alterações climáticas – recarga



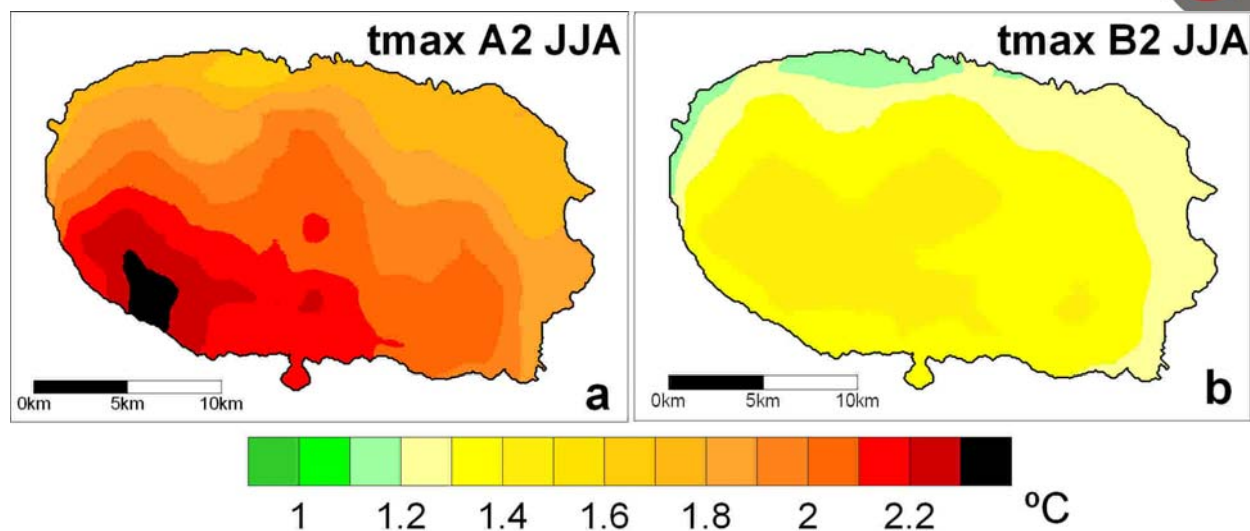
LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

3. As tendências observadas durante o século XX nos Açores durante o período de 1946-1975, indiciam uma descida de temperatura.

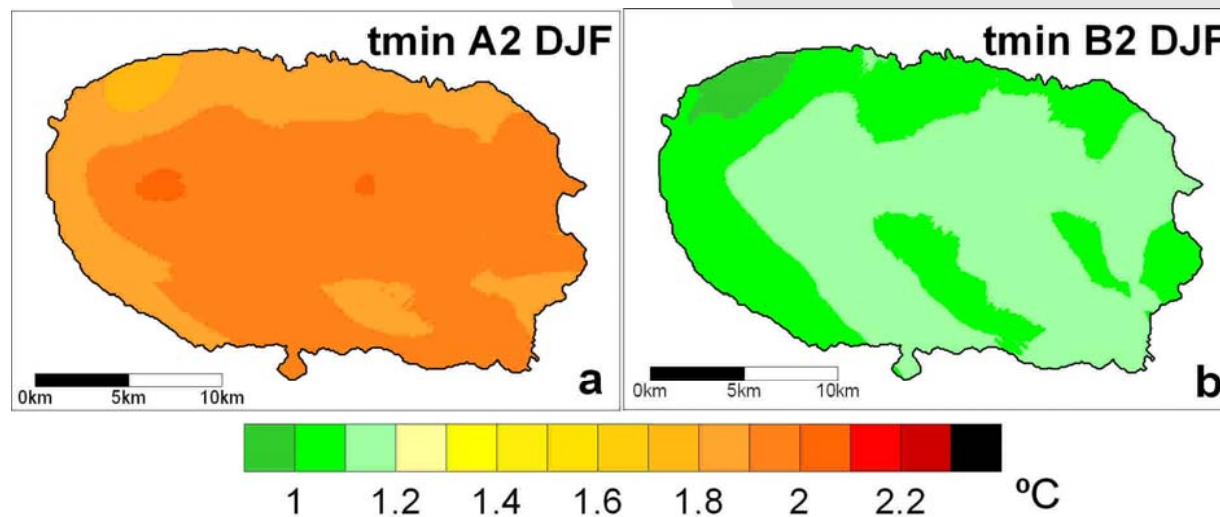


Metley Centre for Climate Prediction and Research, The Met. Office

Evolução da temperatura máxima no Verão (Terceira) para o ano 2100: (a) cenário A2; (b) cenário B2 (SIAM, 2005; Miranda *et al.*, 2005)



Evolução da temperatura mínima no Inverno (Terceira) para o ano 2100: (a) cenário A2; (b) cenário B2 (SIAM, 2005; Miranda *et al.*, 2005)



> Para a análise das tendências de alteração das recargas de aquíferos usou-se o modelo BALSEQ considerando-se:

- Diferentes cobertos vegetais
- Diferentes solos (ou mais exactamente NC)
- Diferentes cenários de precipitação:
 - *Descida - baseiam-se nas previsões dos cenários:*
 - A2 e B2-Verão SRES,
 - A2 e B2 usados nos modelos HdmCM3/CIELO,
 - Hadley Center SRES cenário A2 (SIAM, 2005).
 - *Subida - baseiam-se nas previsões dos cenários:*
 - B2 e A2-Inverno SRES (SIAM, 2005)
 - A2 e B2 usados nos modelos HdmCM3/CIELO.

- Diferentes cenários de temperatura:

- *Descida – baseiam-se em valores teóricos dados por:*

- tendência de redução das temperaturas nos Açores durante o período de 1946-1975

- *Subida - valores teóricos determinados por:*

- tendência de subida das temperaturas dos modelos HadRM3 cenários A2 e B2 SRES,
 - tendência de subida das temperaturas dos modelos HadCM3/CIELO para os cenários A2 e B2 SRES (SIAM, 2005).

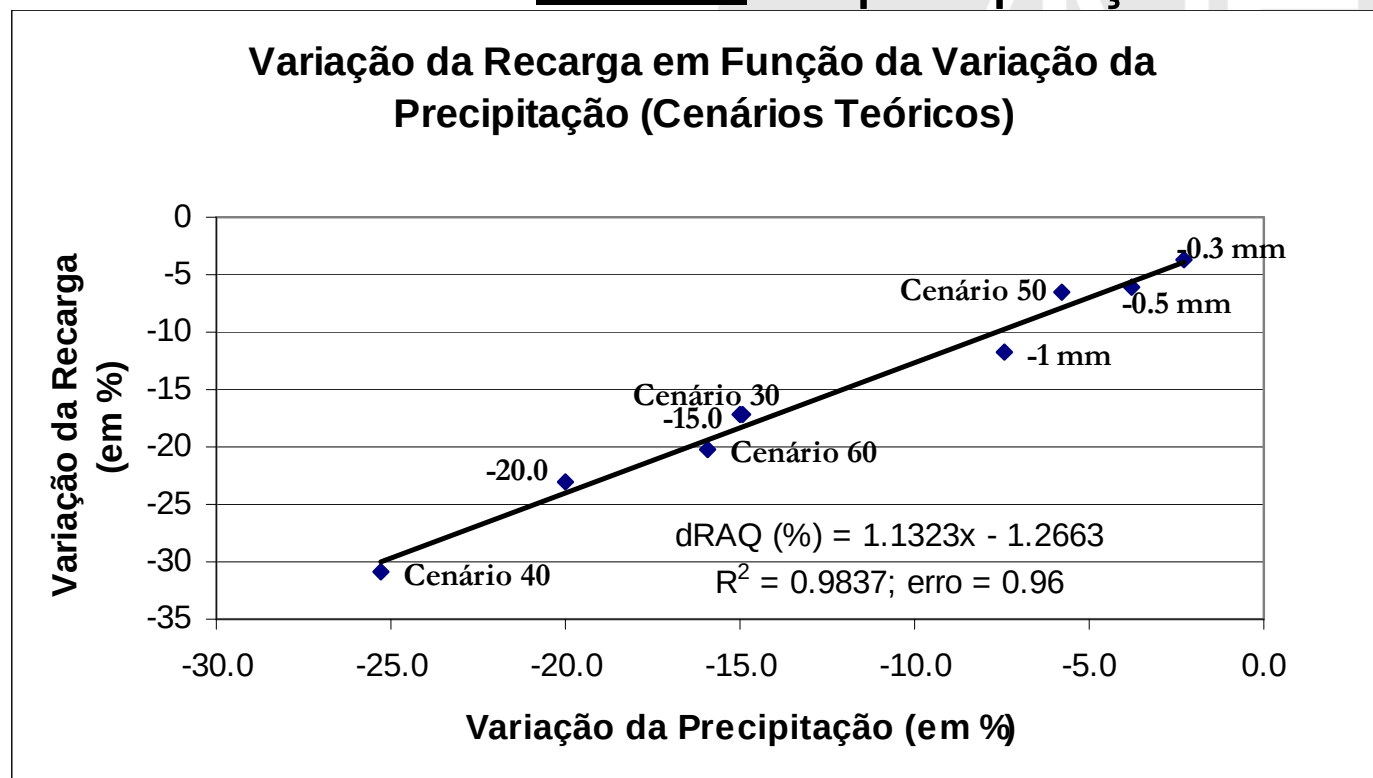
- Evapotranspiração:

- *Determinada a partir dos cenários de evolução das temperaturas, calculando-se as evapotranspirações pela fórmula de Thorntwaite. Tem-se assim:*

- Cenários de subida
 - Cenários de descida

	Cenários de Variação da Precipitação					
	- 15% anual	- 20% anual	Cenário 30 (-14,9%)	Cenário 20 (-25,3%)	Cenário 50 (-5,8%)	Cenário 60 (-15,9%)
AGUT/NC	Factor de multiplicação entre o valor de descida da precipitação e o de descida da recarga					
186/91	1.17	1.20	1.17	1.32	1.38	1.48
182/75	1.21	1.23	1.17	1.27	1.19	1.33
105/56	1.25	1.25	1.20	1.27	1.09	1.26
105/1	1.33	1.33	1.32	1.34	1.22	1.32
99/83	1.07	1.08	1.03	1.16	1.07	1.23
97/61	1.21	1.22	1.17	1.25	1.05	1.25
56/38	1.26	1.26	1.64	1.27	1.10	1.25
18/90	1.17	0.85	0.82	0.95	0.88	1.04

Cenários de descida da precipitação:



Alterações climáticas – recarga, factor precipitação

> Conclusões – cenários de descida de precipitação:

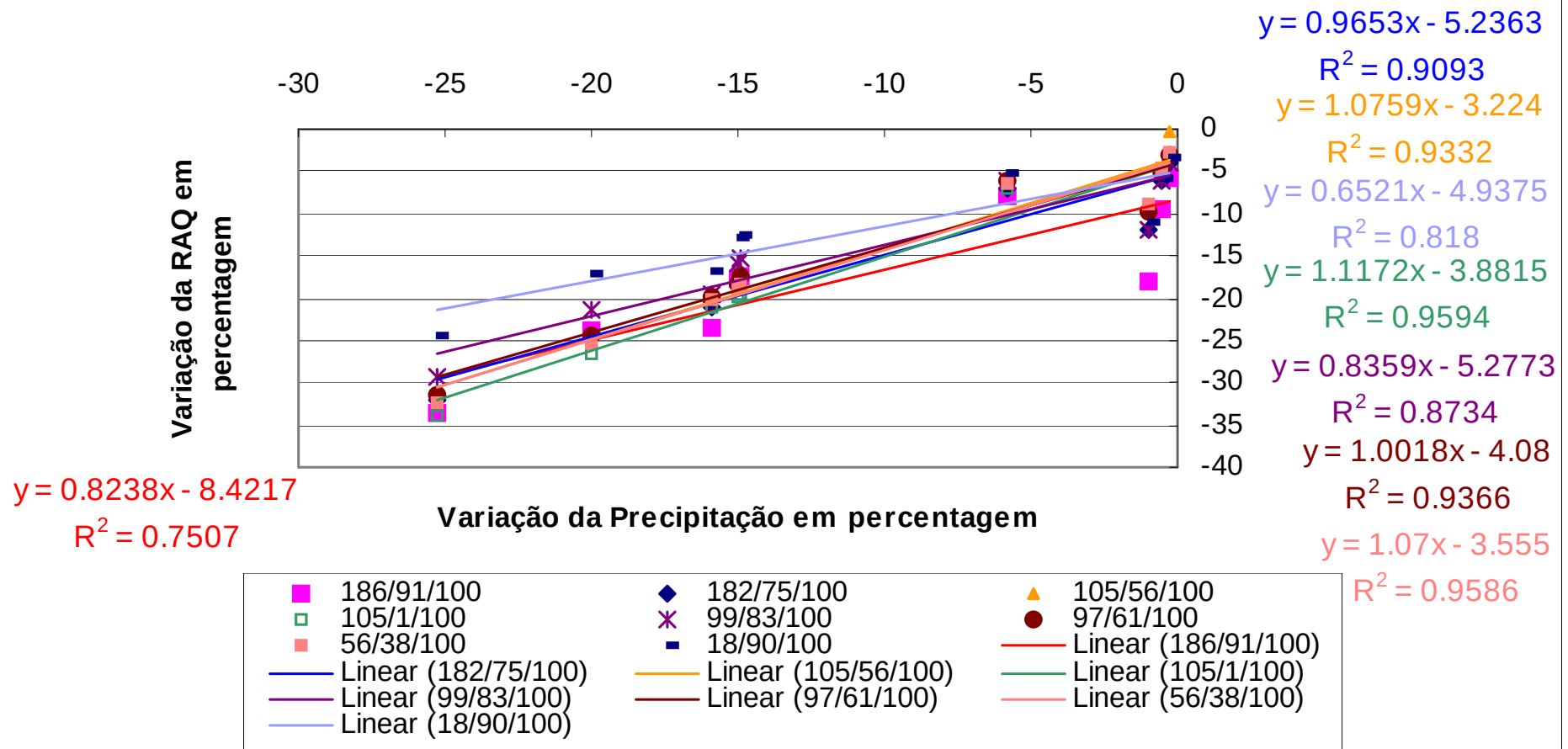
- Nos solos muito permeáveis e vegetação arbórea a variação da recarga com a precipitação tende a ser a mais elevada (quando o modelo é percentual), indiciando grandes perdas de recarga; as maiores perdas surgem nos cenários com maior redução da precipitação no Outono (importância das variações sazonais diferenciais); em termos absolutos é a zona de recarga mais elevada.
- As menores perdas de recarga são para os pares gramíneas/solos pouco permeáveis (em termos absolutos é onde ocorrem também as menores recargas).
- Para vegetação arbórea/solos pouco permeáveis as perdas de recarga são elevadas, podendo ultrapassar o par 105/1 em condições de redução de precipitação acentuada no Outono e elevada no Inverno
- As situações intermédias apresentam comportamento algo similar para coberto arbóreo e para coberto de gramíneas (excepção: cenário 30 – par 56/38/100)

Alterações climáticas – recarga, factor precipitação



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

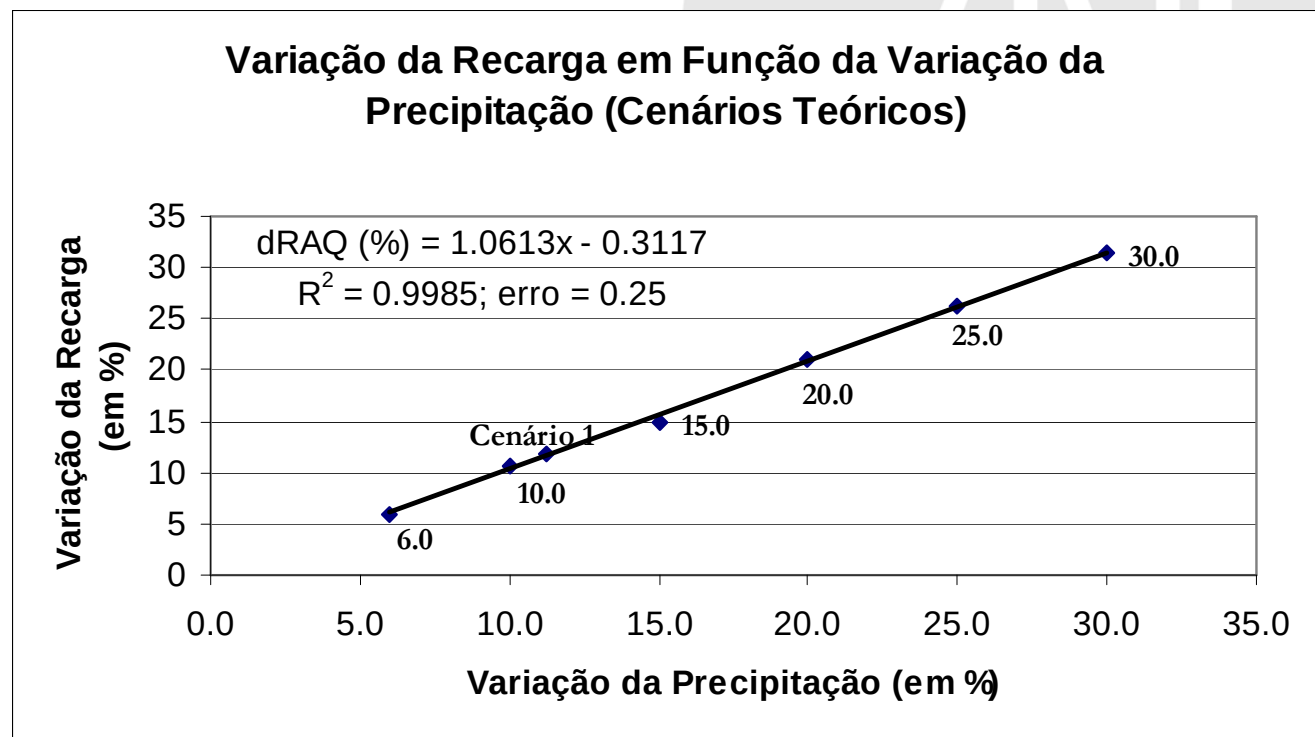
Variação da RAQ para descida da Precipitação



	Cenários de Variação da Precipitação						
	+ 6%	+ 10%	+ 15%	+ 20%	+ 25%	+ 30%	Cenário 1 (+7,5%)
AGUT/NC	Factor de multiplicação entre o valor de subida da precipitação e o de subida da recarga						
186/91	0.90	1.01	0.92	0.98	0.98	0.98	1.47
182/75	1.08	1.18	1.06	1.13	1.12	1.12	1.65
105/56	1.15	1.24	1.11	1.19	1.19	1.19	1.81
105/1	1.27	1.37	1.23	1.33	1.33	1.33	2.00
99/83	0.92	0.99	0.89	0.95	0.94	0.94	1.48
97/61	1.12	1.20	1.08	1.16	1.15	1.15	1.76
56/38	1.17	1.26	1.32	1.23	1.22	1.23	1.85
18/90	0.57	0.68	0.63	0.69	0.68	0.69	1.03

(1) precipitação a +15% na estação húmida e sem tendência de alteração no Verão

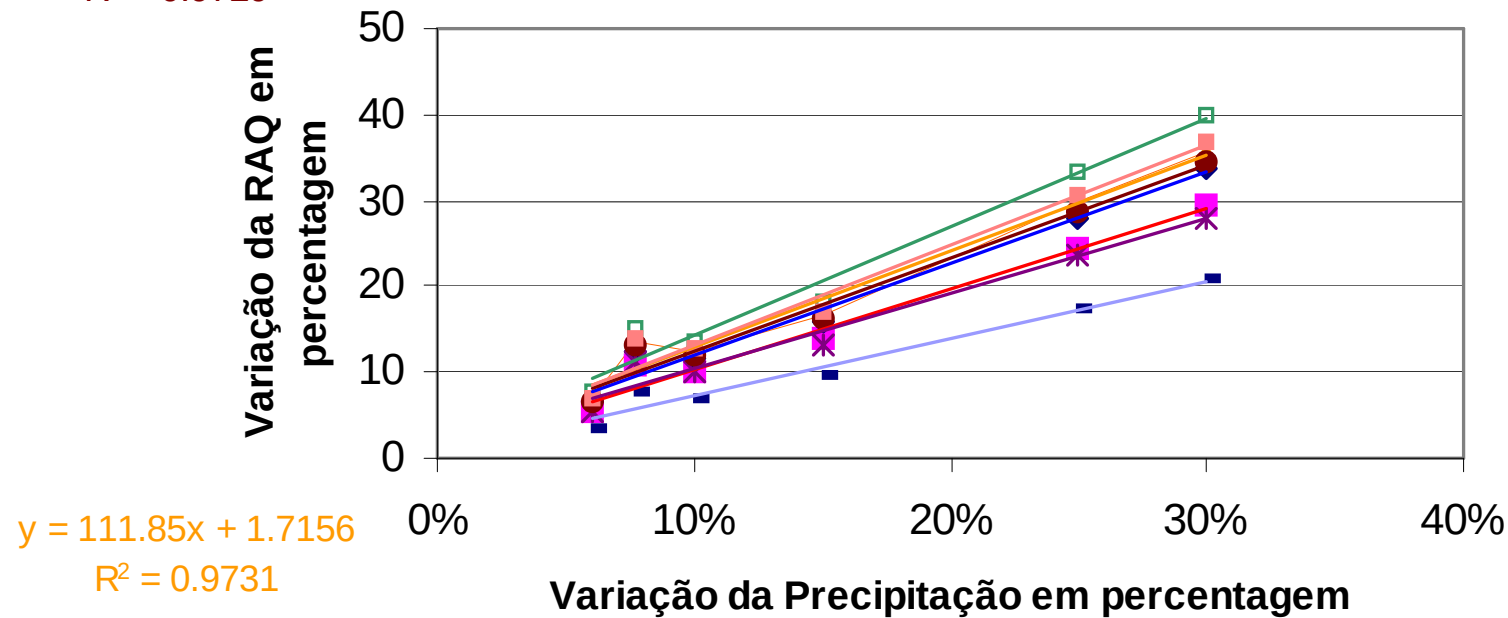
Cenários de subida da precipitação:



Alterações climáticas – recarga, factor precipitação

Variação da RAQ para subida Precipitação

$$y = 107.91x + 1.7145$$
$$R^2 = 0.9729$$



$$y = 111.85x + 1.7156$$
$$R^2 = 0.9731$$

$$y = 105.85x + 1.5201$$
$$R^2 = 0.9786$$

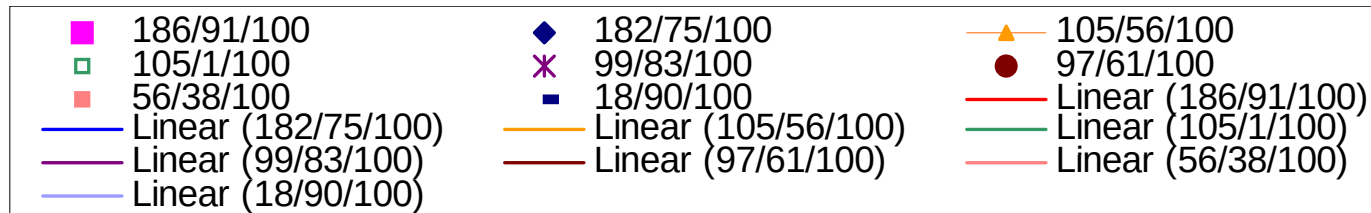
$$y = 92.752x + 1.1986$$
$$R^2 = 0.9744$$

$$y = 125.88x + 1.6592$$
$$R^2 = 0.9731$$

$$y = 66.896x + 0.6031$$
$$R^2 = 0.9683$$

$$y = 87.158x + 1.6222$$
$$R^2 = 0.9689$$

$$y = 116.42x + 1.5854$$
$$R^2 = 0.9722$$



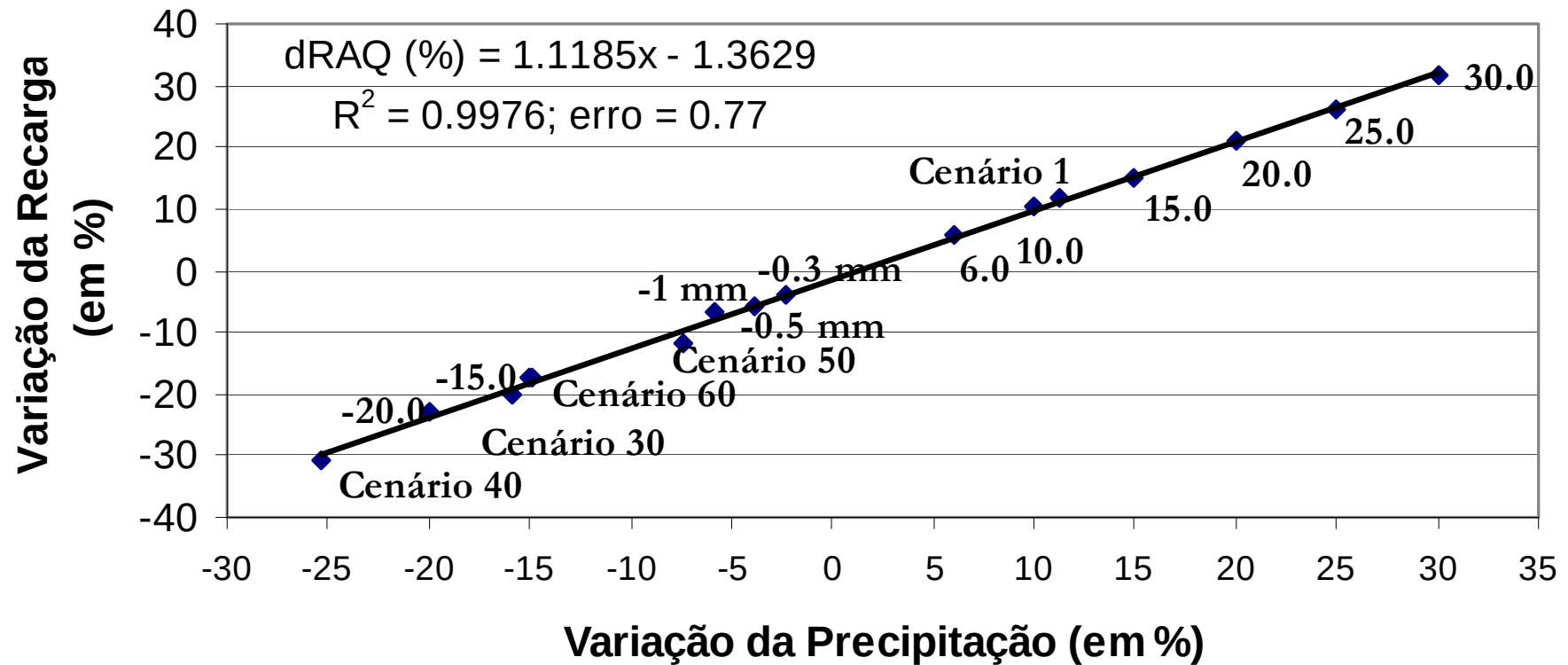
Alterações climáticas – recarga, factor precipitação

> Conclusões – cenários de subida de precipitação:

- Nos solos muito permeáveis com vegetação arbórea a taxa de recarga é a mais elevada, podendo ser 2x superior à da subida da precipitação
- Nos solos pouco permeáveis a taxa de subida da recarga é quase sempre inferior à da subida de precipitação; a subida da recarga é a menor para um coberto de gramíneas
- Nos solos de comportamento intermédio a variação da recarga é similar para coberto arbóreo e de gramíneas
- A proporção entre a subida de recarga (em percentagem) e a variação de precipitação é sempre maior, qualquer que seja o coberto vegetal, quando esta aumenta no Inverno e não há decréscimo nas restantes estações (só usei um cenário); **em termos absolutos os cenários +30 %, +25 %, +15 % têm as maiores recargas**

Alterações climáticas – recarga, factor precipitação

Variação da Recarga em Função da Variação da Precipitação (Cenários Teóricos)



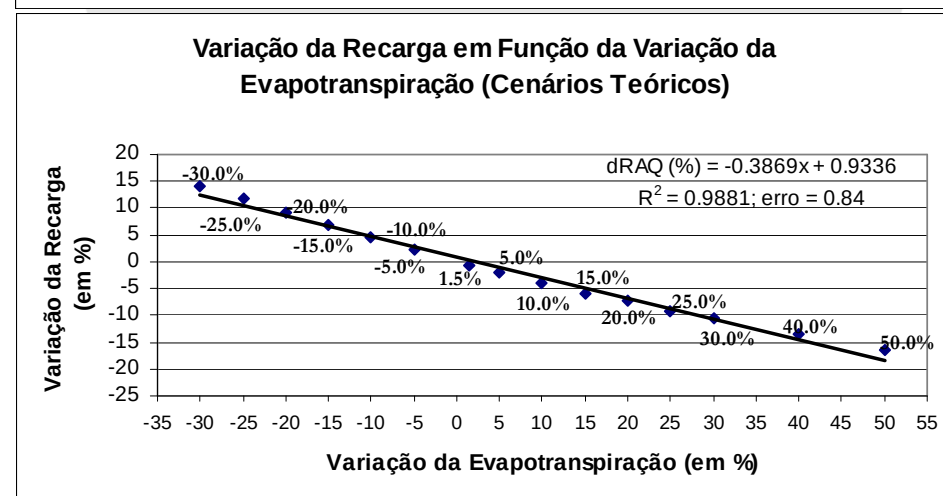
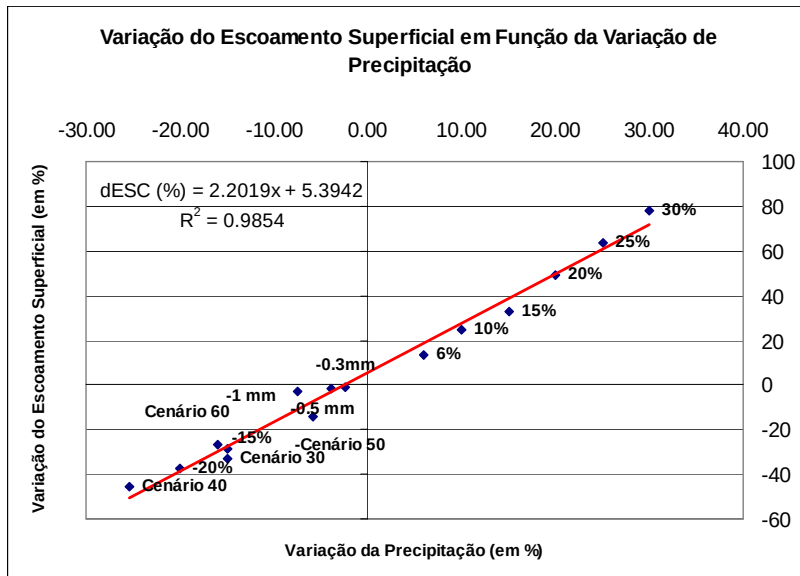
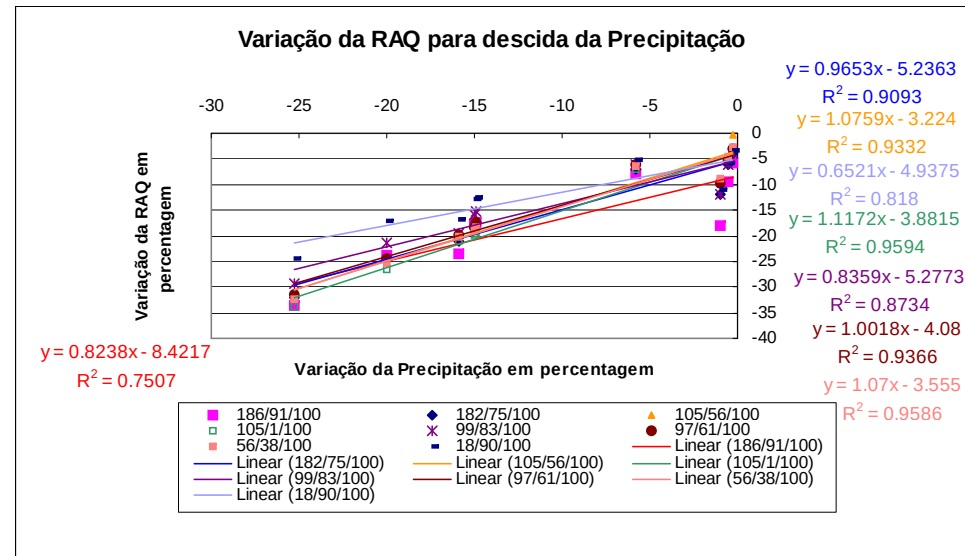
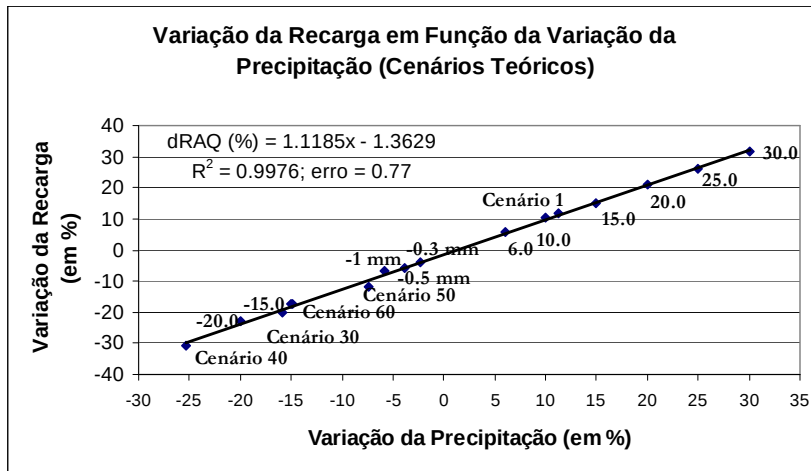
Alterações climáticas – recarga, factor precipitação

> Conclusões referentes a ambos os tipos de cenários:

- Par AGUT/NC = 105/1: em média é o que apresenta os maiores incrementos ou os menores decréscimos de RAQ com a variação de precipitação
- Par AGUT/NC = 18/90: em média é o que apresenta as menores reduções e menores subidas de RAQ com a variação da precipitação
- Globalmente, em média, a variação entre RAQ e precipitação é directamente proporcional, aproximadamente linear
- Uma modificação linear da precipitação aplicada a todo o ano leva a uma variação da RAQ muito próxima da variação da precipitação média anual
- Quando a modificação da PP varia de estação para estação do ano a variação da RAQ afasta-se do valor da variação da precipitação média anual
- A redução da RAQ tende a ser maior para coberto vegetal com grande extensão radicular
- Em regra as áreas menos propícias à infiltração sofrem das maiores reduções de recarga (sempre superiores às da redução da precipitação) e em cenários de aumento de precipitação tendem a registar as menores subidas.

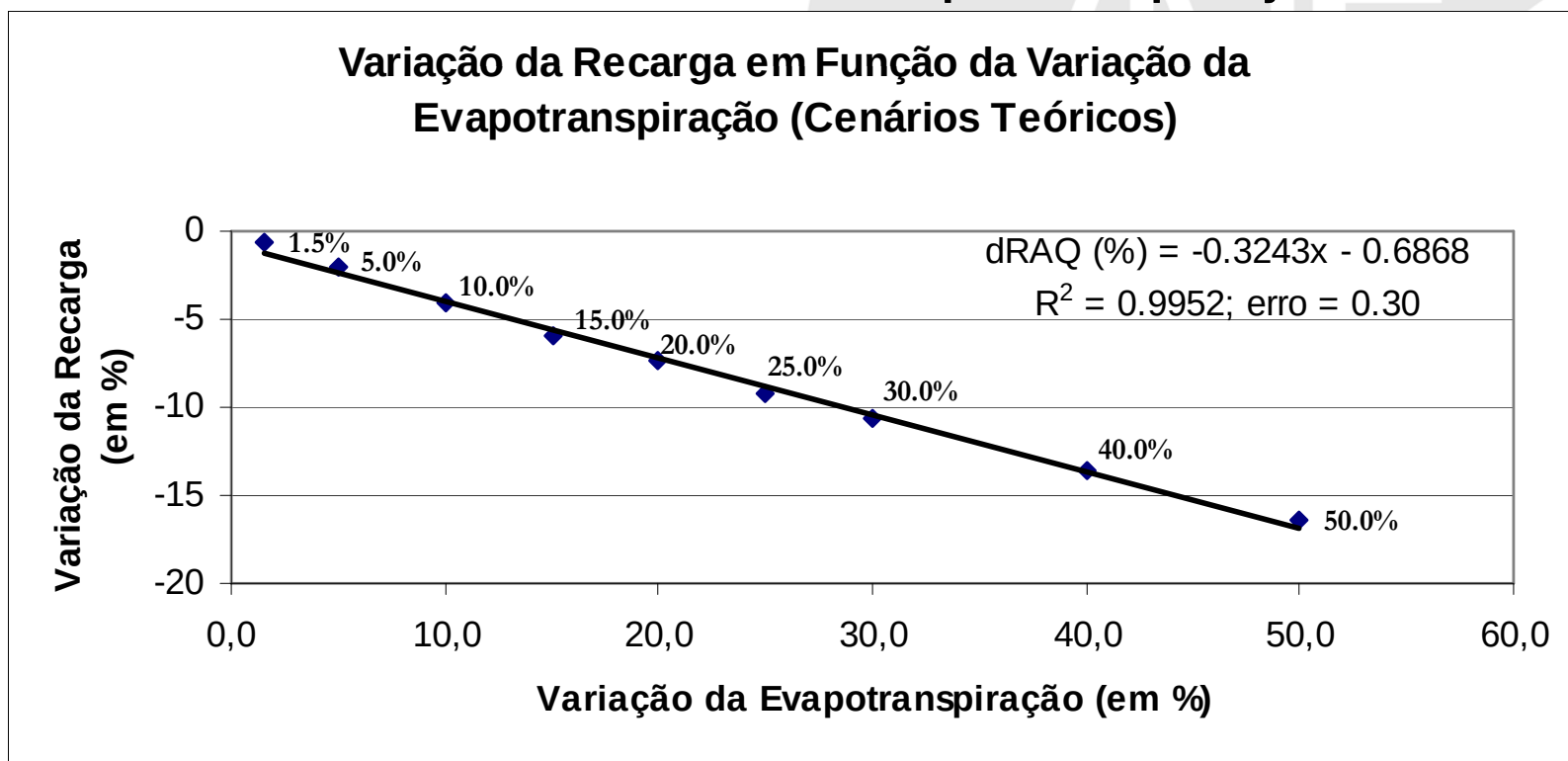
RESULTADOS OBTIDOS

> Variação dos diferentes processos em função da variação da precipitação



	Cenários de Variação da Evapotranspiração								
	+1,5%	+5%	+10%	+15%	+20%	+25%	+30%	40%	+50%
AGUT/NC	Factor de multiplicação entre o valor de subida da evapotranspiração e o de descida da recarga								
186/91	-0.80	-0.78	-0.78	-0.76	-0.73	-0.68	-0.64	-0.59	-0.55
182/75	-0.53	-0.46	-0.44	-0.42	-0.41	-0.40	-0.40	-0.39	-0.37
105/56	-0.33	-0.32	-0.31	-0.30	-0.30	-0.29	-0.29	-0.27	-0.26
105/1	-0.33	-0.30	-0.29	-0.28	-0.28	-0.27	-0.27	-0.26	-0.25
99/83	-0.47	-0.42	-0.40	-0.39	-0.29	-0.36	-0.35	-0.34	-0.33
97/61	-0.33	-0.32	-0.31	-0.30	-0.30	-0.29	-0.28	-0.27	-0.26
56/38	-0.27	-0.24	-0.23	-0.23	-0.23	-0.22	-0.22	-0.21	-0.21
18/90	-0.33	-0.32	-0.31	-0.31	-0.30	-0.30	-0.30	-0.29	-0.29

Cenários de subida da evapotranspiração:



Alterações climáticas – recarga, factor evapotranspiração

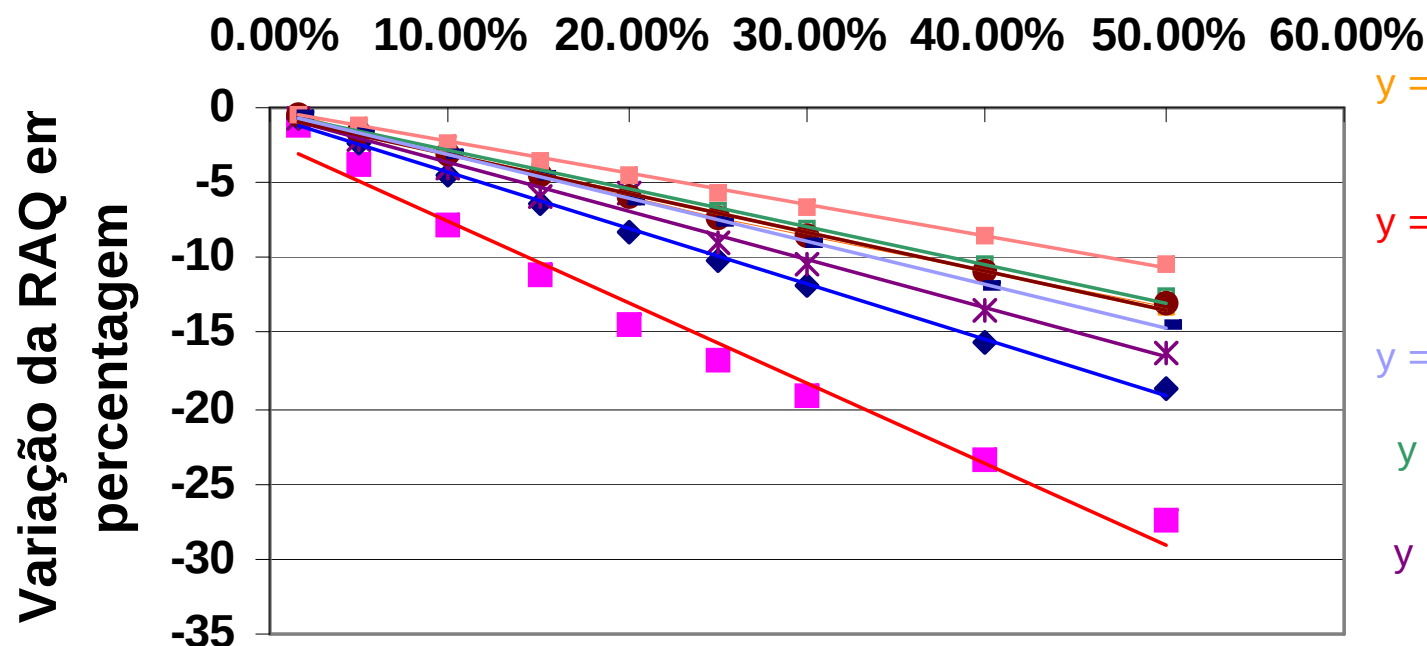


LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Varição da RAQ para subida da Evapotranspiração

$$y = -20.821x - 0.2763$$

$$R^2 = 0.9984$$



$$y = -36.872x - 0.6274$$

$$R^2 = 0.998$$

$$y = -26.249x - 0.4467$$

$$R^2 = 0.9965$$

$$y = -53.876x - 2.1703$$

$$R^2 = 0.9803$$

$$y = -29.065x - 0.2097$$

$$R^2 = 0.9992$$

$$y = -25.06x - 0.3619$$

$$R^2 = 0.998$$

$$y = -32.04x - 0.4825$$

$$R^2 = 0.99$$

$$y = -25.988x - 0.4704$$

$$R^2 = 0.9962$$

■ 186/91/100	◆ 182/75/100	▲ 105/56/100	□ 105/1/100
✱ 99/83/100	● 97/61/100	■ 56/38/100	■ 18/90/100
— Linear (186/91/100)	— Linear (182/75/100)	— Linear (105/56/100)	— Linear (105/1/100)
— Linear (99/83/100)	— Linear (97/61/100)	— Linear (56/38/100)	— Linear (18/90/100)

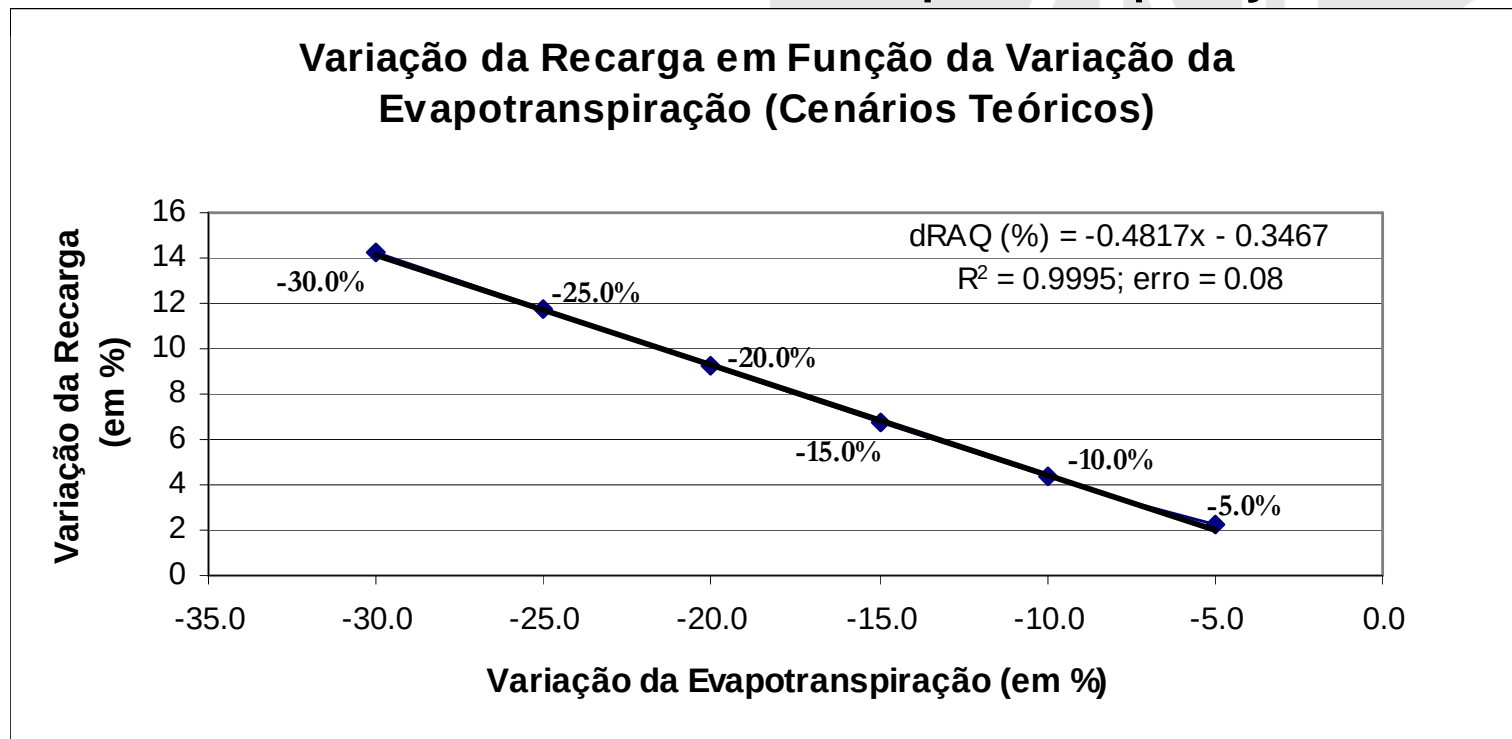
Alterações climáticas – recarga, factor evapotranspiração

> Conclusões – cenários de subida de evapotranspiração:

- A recarga desce com a subida da evapotranspiração
- As reduções de RAQ são máximas nos solos de baixa permeabilidade, com coberto vegetal arbóreo
- As reduções de RAQ são mínimas em solos de média-alta permeabilidade com vegetação de gramíneas
- Em cobertos de gramíneas o comportamento dos solos mais impermeáveis diverge dos de permeabilidade moderada, sendo que nos primeiros a RAQ sofre uma maior redução
- Solos de alta permeabilidade ou de permeabilidade média com um coberto vegetal arbóreo/arbustivo gera reduções similares de RAQ

	Cenários de Variação da Evapotranspiração (descida)					
	- 5%	- 10%	- 15%	- 20%	- 25%	- 30%
AGUT/NC	Factor de multiplicação entre o valor de descida da evapotranspiração e o de subida da recarga					
186/91	-0.82	-0.86	-0.91	-0.95	-0.97	-0.98
182/75	-0.54	-0.54	-0.53	-0.54	-0.97	-0.54
105/56	-0.32	-0.33	-0.33	-0.33	-0.97	-0.34
105/1	-0.30	-0.31	-0.31	-0.31	-0.97	-0.32
99/83	-0.44	-0.43	-0.43	-0.44	-0.97	-0.46
97/61	-0.34	-0.34	-0.33	-0.34	-0.97	-0.34
56/38	-0.24	-0.25	-0.25	-0.26	-0.97	-0.27
18/90	-0.32	-0.32	-0.32	-0.33	-0.97	-0.34

Cenários de descida da evapotranspiração:



Alterações climáticas – recarga, factor evapotranspiração



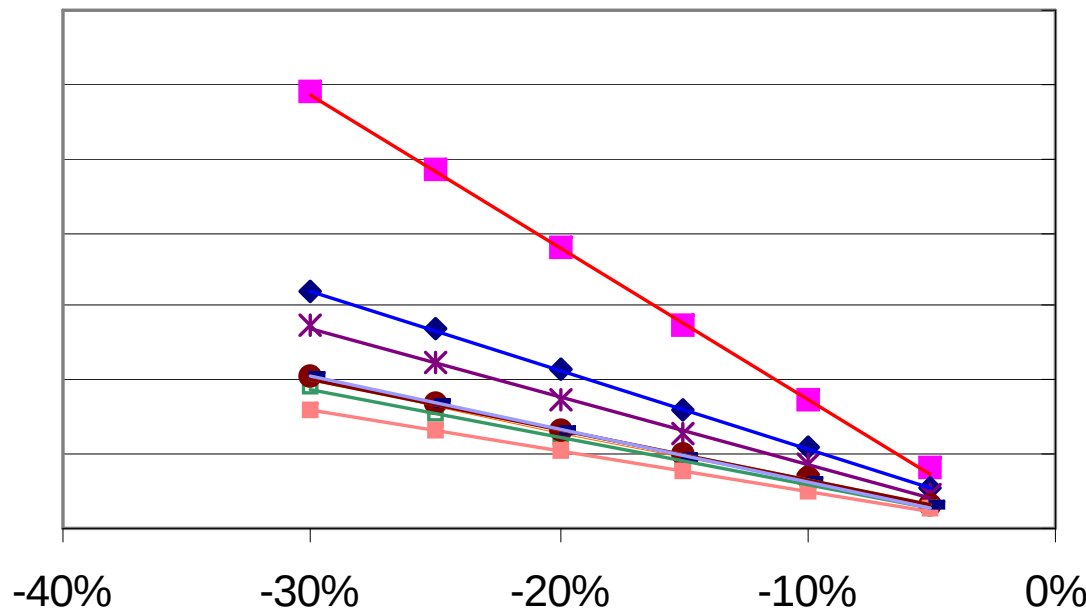
LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Variação da RAQ para descida da Evapotranspiração

$$y = -53,543x + 0,0133$$

$$R^2 = 1$$

Variação da RAQ em
percentagem



$$y = -102x - 1,3667$$

$$R^2 = 0,9994$$

$$y = -33,886x - 0,1467$$

$$R^2 = 0,9986$$

$$y = -35,257x - 0,2867$$

$$R^2 = 0,9992$$

$$y = -31,886x - 0,1467$$

$$R^2 = 0,9984$$

$$y = -46x - 0,2667$$

$$R^2 = 0,999$$

$$y = -27,257x - 0,1867$$

$$R^2 = 0,9986$$

$$y = -33,829x - 0,02$$

$$R^2 = 0,9997$$

Variação da Evapotranspiração em percentagem

■ 186/91/100	◆ 182/75/100	▲ 105/56/100	□ 105/1/100
✱ 99/83/100	● 97/61/100	■ 56/38/100	■ 18/90/100
— Linear (186/91/100)	— Linear (182/75/100)	— Linear (105/56/100)	— Linear (105/1/100)
— Linear (99/83/100)	— Linear (97/61/100)	— Linear (56/38/100)	— Linear (18/90/100)

> Conclusões – cenários de descida de evapotranspiração:

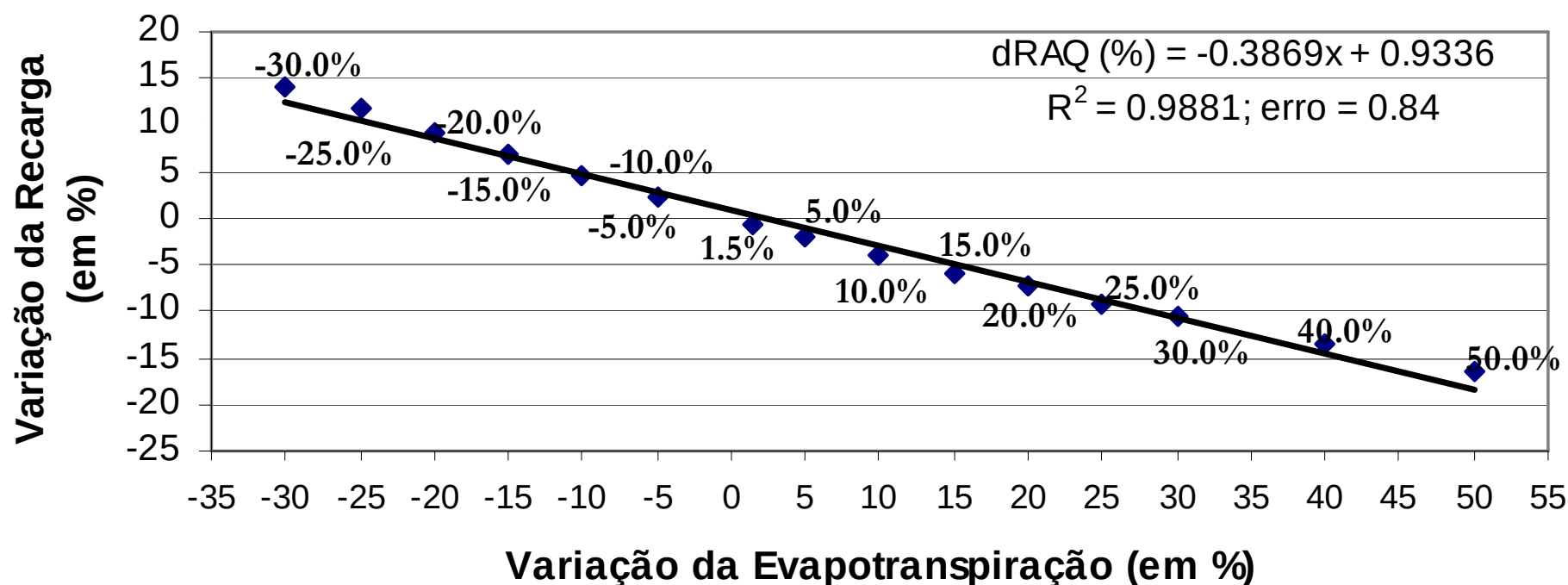
- A recarga sobe para a descida da evapotranspiração
- A menor subida de RAQ ocorre para vegetação herbácea e solo de média-alta permeabilidade
- A maior subida de RAQ ocorre para solo pouco permeável e vegetação arbórea
- Em cobertos de gramíneas o comportamento dos solos mais impermeáveis diverge dos de permeabilidade moderada, sendo que nos primeiros a RAQ sofre uma maior subida
- Solos de alta permeabilidade ou de permeabilidade média e vegetação arbustivo/arbórea têm subidas similares de RAQ

Alterações climáticas – recarga, factor evapotranspiração



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Variação da Recarga em Função da Variação da Evapotranspiração (Cenários Teóricos)



Alterações climáticas – recarga, factor evapotranspiração

> Conclusões referentes a ambos os tipos de cenários:

- Correlação inversa, linear, da evolução da evapotranspiração versus a da RAQ
- Par AGUT/NC = 186/91: tem a maior variação de RAQ (quer em cenários de descida quer de subida de evapotranspiração) com a variação da evapotranspiração
- Par AGUT/NC = 56/38: tem a menor variação de RAQ (quer em cenários de descida quer de subida de evapotranspiração) com a variação da evapotranspiração
- Aponta para o controlo da RAQ pela vegetação e solo

Alterações climáticas – resposta das nascentes à alteração da recarga (Cabrito)



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- > A partir dos resultados das simulações do modelo BALSEQ para a recarga do aquífero do Cabrito (ilha Terceira) procurou-se quantificar como as alterações da recarga afectam o regime das nascentes deste aquífero. As condições actuais do aquífero são:
 - volume anual de recarga, cerca de 2,2 hm³/ano;
 - até 18% da recarga (2,5 hm³/ano) podem ser armazenados no aquífero;
 - 20% recarga é conduzida para a drenância;
 - a descarga total nascentes é de 7,7, hm³/ano, isto é, 63% do total anual de recarga;
 - o caudal de estiagem das nascentes é de 58% da recarga de estiagem.
- > As condições de cálculo para avaliar as alterações dos caudais das nascentes deste aquífero foram as seguintes:
 - usou-se o valor de recarga determinado para cada cenário de alteração de precipitação e de evapotranspiração;
 - as condições (volume) de armazenamento dentro do aquífero são similares à situação actual;
 - as perdas para outros aquíferos são similares à situação actual.

Alterações climáticas – resposta das nascentes à alteração da recarga (Cabrito)



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

	Cenários de Variação da Precipitação								
	- 0,3 mm/d	- 0,5 mm/d	- 1 mm/d	- 15% anual	- 20% anual	Cenário 30 (1)	Cenário 20 (2)	Cenário 50 (3)	Cenário 60 (4)
Variação Média da Recarga (%)	-3,7	-6,0	-11,7	-17,2	-23,1	-17,2	-30,8	-6,5	-20,2
Nova Recarga (hm³/ano)	11,75	11,47	10,77	10,10	9,38	10,10	8,44	11,41	9,74
Armazenamento+Drenância	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Novos Caudais (hm³/ano)	7,25	6,97	6,27	5,60	4,88	5,60	3,94	6,91	5,24
Razão Caudais/Recarga (%)	61,70	60,76	58,23	55,45	52,03	55,45	46,70	60,55	53,78
Incremento de Caudais (%)	-5,86	-9,51	-18,54	-27,25	-36,60	-27,25	-48,80	-10,30	-32,01
	Cenários de Variação da Precipitação								
	+ 6%	+ 10%	+ 15%	+ 20%	+ 25%	+ 30%	Cenário 1 (5)		
Variação Média da Recarga (%)	+5,9	+10,9	+14,9	+21,1	+26,3	+31,5	+11,9		
Nova Recarga (hm³/ano)	12,92	13,53	14,02	14,77	15,41	16,04	13,65		
Armazenamento+Drenância	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50		
Novos Caudais (hm³/ano)	8,42	9,03	9,52	10,27	10,91	11,54	9,15		
Razão Caudais/Recarga (%)	12,92	13,53	14,02	14,77	15,41	16,04	13,65		
Incremento de Caudais (%)	9,35	17,27	23,61	33,43	41,67	49,91	18,85		

Nota: -15% anual e -20% anual significa que se afectou a série de uma redução de cerca de 15 e 20% respectivamente por dia, o que deu 15 e 20% respectivamente menos precipitação anual

(1) precipitação a -30% Primavera, -15% no Verão, -35% no Outono, +20% no Inverno = -14,9% anual

(2) precipitação a -30% Primavera, -15% no Verão, -60% no Outono, +20% no Inverno = -25,3% anual

(3) precipitação a -30% Primavera, -15% no Verão, -35% no Outono, +50% no Inverno = - 5,8% anual

(4) precipitação a -30% Primavera, -15% no Verão, -60% no Outono, +50% no Inverno = - 15,9% anual

(5) precipitação a +15% na estação húmida e sem tendência de alteração no Verão

	Cenários de Variação da Evapotranspiração								
	+1,5%	+ 5%	+ 10%	+ 15%	+ 20%	+ 25%	+ 30%	+ 40%	+ 50%
Variação Média da Recarga (%)	-0,6	-2,1	-4,0	-5,9	-7,4	-9,2	-10,7	-13,6	-16,4
Nova Recarga (hm³/ano)	12,13	11,94	11,71	11,48	11,30	11,08	10,89	10,54	10,20
Armazenamento+Drenância	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Novos Caudais (hm³/ano)	7,63	7,44	7,21	6,98	6,80	6,58	6,39	6,04	5,70
Razão Caudais/Recarga (%)	62,89	62,32	61,58	60,80	60,17	59,38	58,70	57,31	55,88
Incremento de Caudais (%)	-0,95	-3,33	-6,34	-9,35	-11,72	-14,58	-16,95	-21,55	-25,98
	Cenários de Variação da Evapotranspiração								
	- 5%	- 10%	- 15%	- 20%	- 25%	- 30%			
Variação Média da Recarga (%)	+2,2	+4,4	+6,8	+9,2	+11,7	+14,2			
Nova Recarga (hm³/ano)	12,47	12,74	13,03	13,32	13,63	13,93			
Armazenamento+Drenância	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50			
Novos Caudais (hm³/ano)	7,97	8,24	8,53	8,82	9,13	9,43			
Razão Caudais/Recarga (%)	63,91	64,67	65,46	66,22	66,98	67,70			
Incremento de Caudais (%)	3,49	6,97	10,77	14,58	18,54	22,50			

	Cenários de Variação da Evapotranspiração e Precipitação	
	Cenário 1	
Variação Média da Recarga (%)	5,3	
Nova Recarga (hm³/ano)	12,85	
Armazenamento+Drenância	4,50	
Novos Caudais (hm³/ano)	8,35	
Razão Caudais/Recarga (%)	64,97	
Incremento de Caudais (%)	8,40	

Cenário 1 – Precipitação sobe cerca de 6%; evapotranspiração sobe 1,5%; valores obtidos segundo inferência de DROTRH e IA (2001).

Alterações climáticas – resposta das nascentes à alteração da recarga (Cabrito)



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Conclusões sobre as alterações aos caudais de nascentes por variação da recarga:

1. Alterações na evapotranspiração geram menores variações, de sentido oposto, nos caudais das nascentes
2. Alterações na precipitação geram variações maiores, do mesmo sentido, nos caudais das nascentes
3. As maiores reduções de caudais ocorrem para as maiores reduções da precipitação Outonal, mesmo com subidas de precipitação no Inverno
4. A maior redução de caudais pode atingir 49%

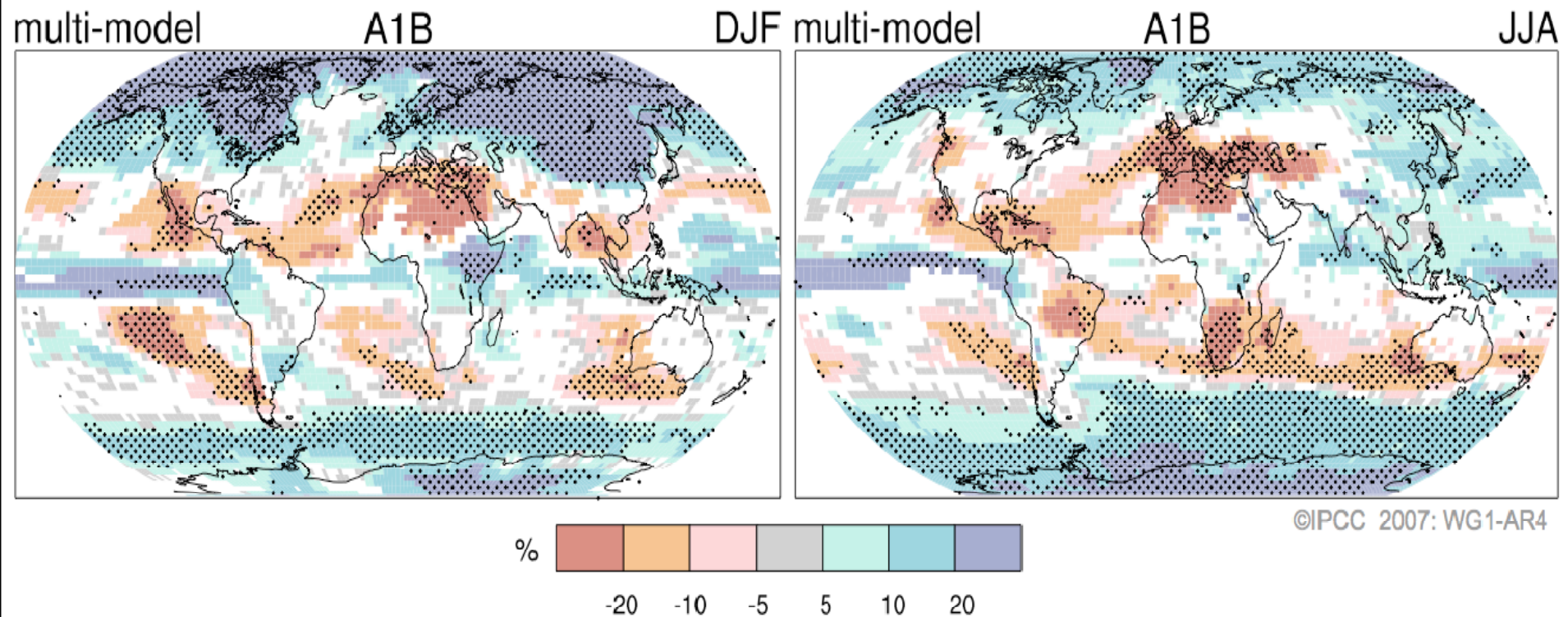
Alterações climáticas – recarga, conclusões

> Variação da recarga para o conjunto de cenários de variação da precipitação:

- a variação da recarga é directamente proporcional à variação de precipitação;
- se for aplicada à precipitação uma modificação linear constante ao longo do ano, a recarga tende a seguir esta variação linear da precipitação;
- se a variação da recarga for diferente para cada estação do ano, a variação da recarga afasta-se da variação para o valor médio anual de precipitação;
- para quaisquer dos tipos de solo e coberto vegetal considerados, a subida de recarga é sempre maior que a subida de precipitação se ocorrer subida no Inverno e não houver descida em nenhuma das outras estações;
- as rectas de regressão podem usar-se para os respectivos pares NC/AGUT para previsões aproximadas de variação de recarga em função da variação da precipitação.

Alterações climáticas – recarga, conclusões

Projected Patterns of Precipitation Changes



Alterações climáticas – recarga, conclusões

> Variação da recarga para os cenários de variação da evapotranspiração:

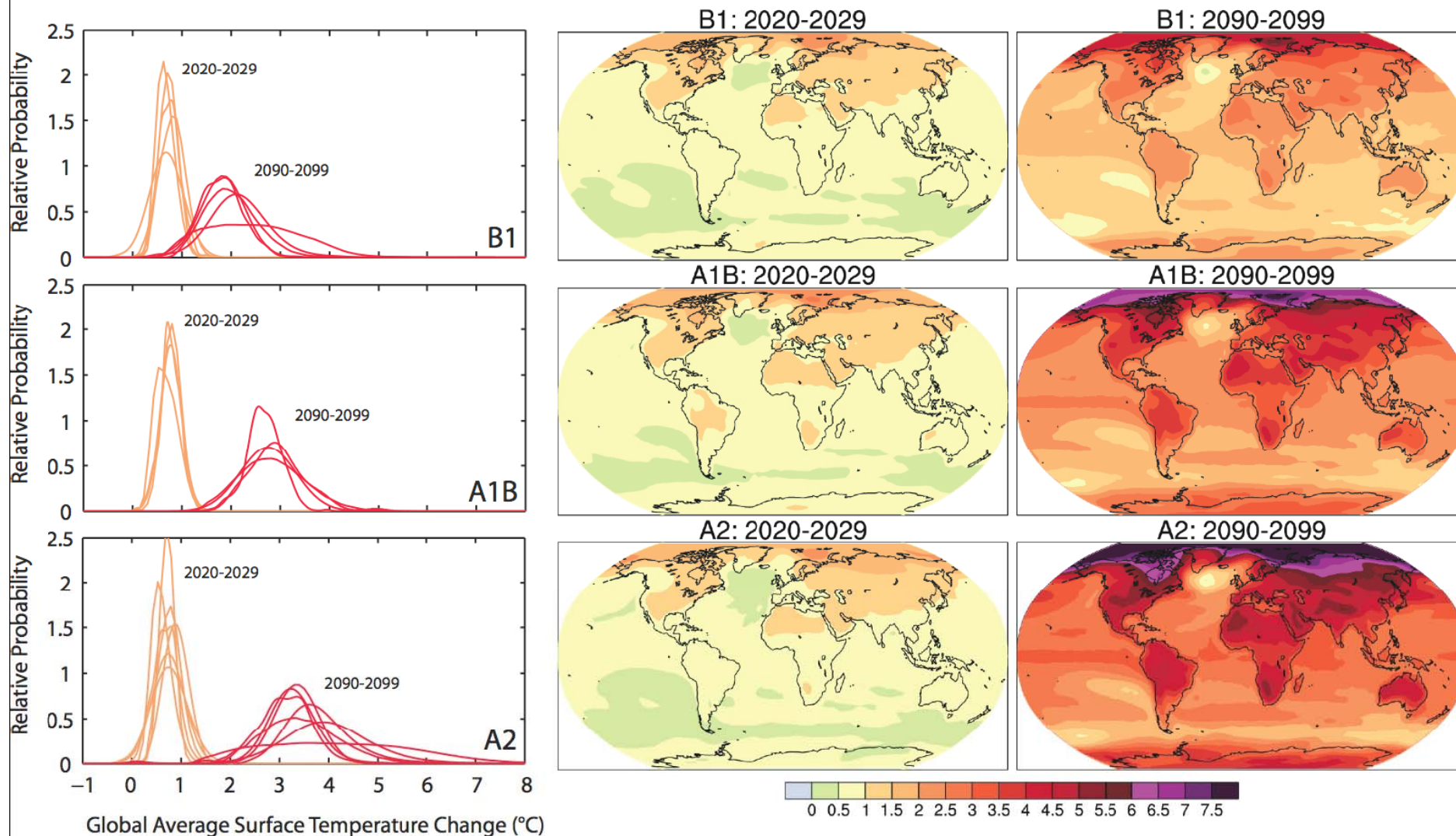
- as zonas de variação de recarga mais significativa ocorrem em vegetação de grandes raízes e solos mais impermeáveis;
- os solos mais permeáveis têm as menores variações de recarga;
- a variação de recarga é inversamente proporcional à variação da evapotranspiração;
- a variação média de recarga parece ter uma menor relação de linearidade com a variação de evapotranspiração do que com a variação de precipitação;
- as rectas de regressão podem usar-se para os respectivos pares NC/AGUT para previsões aproximadas de variação de recarga em função da variação da evapotranspiração.

Alterações climáticas – recarga, conclusões



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

AOGCM Projections of Surface Temperatures

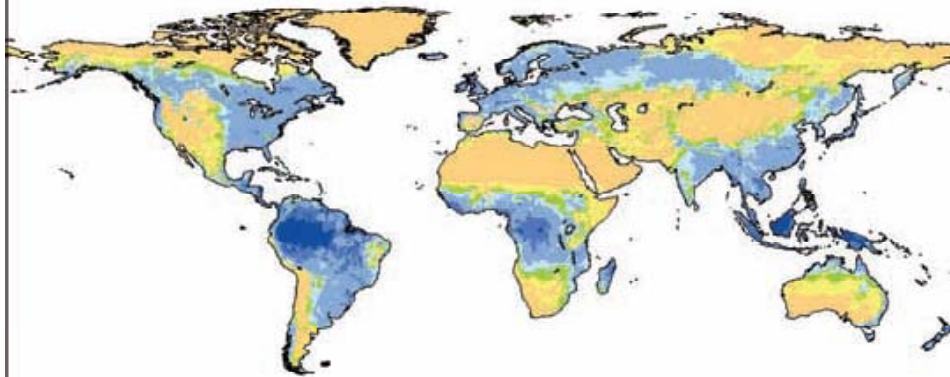


Alterações climáticas – recarga, conclusões

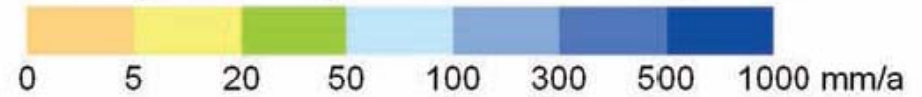
RESULTADOS OBTIDOS

- > Resposta das nascentes em função da variação da precipitação
- > Resposta das nascentes em função da variação da evapotranspiração potencial
- > Relação entre consumos previstos para os cenários e a recarga e os caudais de nascente

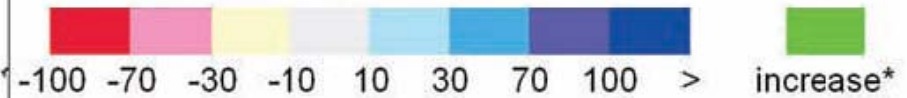
1961 - 90



Average annual groundwater recharge 1961-90

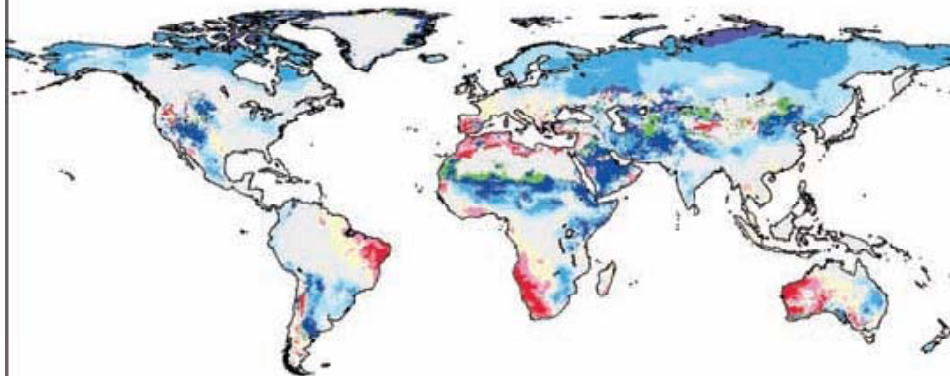


Percent change of groundwater recharge between 1961-90 and the 2050s

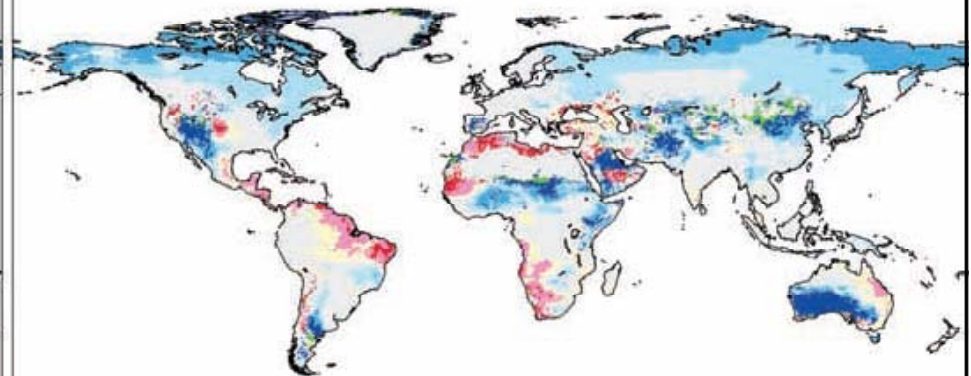


* percent change cannot be quantified due to zero groundwater recharge in 1961-90

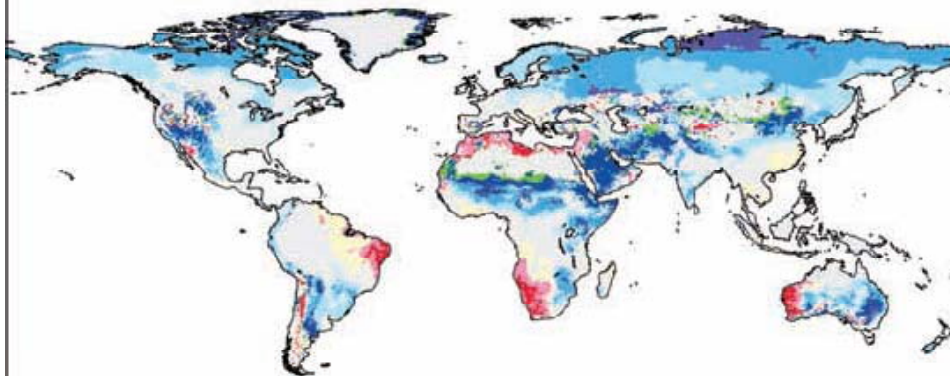
A2 - ECHAM4



A2 - HadCM3



B2 - ECHAM4



B2 - HadCM3

