

2. Alterações climáticas na RAM

2.1. Clima observado

O Arquipélago da Madeira situa-se geograficamente na região subtropical, apresentando um clima ameno, tanto no inverno como no verão, exceto nas zonas mais elevadas, onde são observadas temperaturas mais baixas. O efeito moderador do mar nas temperaturas faz-se sentir na reduzida amplitude térmica observada nas ilhas. Alguns sistemas depressionários que atravessam o Atlântico descem até à latitude da Madeira durante os meses de inverno, observando-se igualmente a formação de depressões na vizinhança do arquipélago, podendo dar origem a precipitação abundante. No verão, predominam ventos com rumo do quadrante norte associados ao ramo leste do anticiclone dos Açores.

A ilha da Madeira possui um relevo bastante acidentado, dominado por montanhas de altitude elevada, separadas por ravinas profundas, onde se pode encontrar muitos microclimas relacionados com o relevo complexo da ilha. A ilha do Porto Santo, que se localiza a cerca de 40 km a nordeste da ilha da Madeira, apresenta uma orografia mais suave, sendo o ponto mais alto a cerca de 500 metros de altitude.

Com base na Normal Climática relativa ao período 1961-1990, a temperatura média anual na Madeira varia entre um mínimo de 8°C, nos picos mais elevados, e 19°C nas zonas costeiras. A região do Funchal, situada na vertente sul a jusante dos ventos dominantes, é a zona mais quente da ilha. No inverno, a média das temperaturas mínimas desce um pouco abaixo dos 4°C, nas regiões elevadas, e, junto da costa, é ligeiramente superior a 13°C. No verão, observa-se, em média, 16°C de temperatura máxima nos picos mais elevados e 23°C nas zonas costeiras. No Porto Santo, os meses mais frios são janeiro e fevereiro, e a temperatura mais elevada registada no período 1961-1990 foi de 35,3°C, em agosto. Em relação à temperatura mínima absoluta, Porto Santo registou 7,4°C. A temperatura média no Porto Santo (18,4°C) é ligeiramente mais baixa do que no Funchal (18,7°C).

A média da precipitação acumulada anualmente na Madeira atinge um máximo próximo dos 3400 milímetros (mm), nos picos mais elevados, e um mínimo na zona do Funchal (menos de 600 mm).

Observa-se, na distribuição da precipitação anual, uma assimetria norte-sul, com bastante mais precipitação, à mesma altitude, na costa norte.

A Figura 2 representa a distribuição da temperatura média anual para a Ilha da Madeira entre o período de 1970 e 1990.

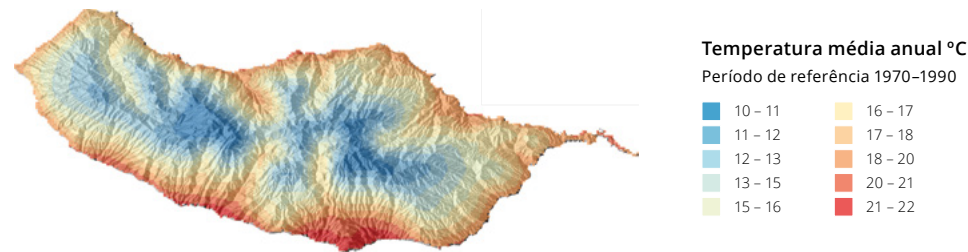


Figura 2. Distribuição da temperatura média anual para a Ilha da Madeira entre o período de 1970 e 1990.

A assimetria norte-sul da distribuição da precipitação acumulada não é tão acentuada no inverno comparando com a escala anual, embora continue a ser uma das características significativas da distribuição espacial. Nas zonas mais altas, a precipitação acumulada, no inverno, ultrapassa ligeiramente os 1200 mm, enquanto nas regiões do Funchal e do vale do Machico é cerca de 300 mm.

A Figura 3 representa a distribuição da precipitação média diária para a Ilha da Madeira entre o período de 1970 e 1990.

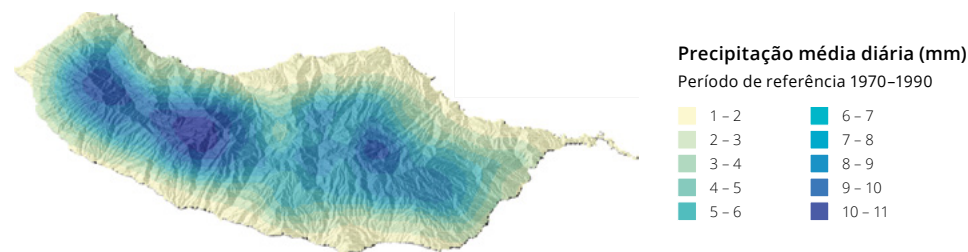


Figura 3. Distribuição da precipitação média diária para a Ilha da Madeira entre o período de 1970 e 1990.

Nos meses de verão, observa-se cerca de 150 mm de precipitação nas zonas elevadas (exceto Arieiro) e valores ligeiramente inferiores a 50 mm na costa sul da ilha, tornando-se, assim, mais

evidente a assimetria norte-sul na distribuição da precipitação nesta estação do ano. O facto de chover mais na parte norte da Madeira durante o verão está claramente associado ao rumo dominante do vento (norte) nesta estação e ao facto de a precipitação ser essencialmente orográfica. Em contraste, a ilha do Porto Santo, apesar de afetada pelos mesmos sistemas meteorológicos, é substancialmente mais seca, com uma precipitação anual média de 384 mm.

2.2. Cenários climáticos futuros

As projeções climáticas para o Arquipélago da Madeira foram regionalizadas recorrendo aos cenários de emissões do “*Special Report on Emissions Scenarios*”⁸ para o séc. XXI, propostos pelo Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC, sigla inglesa) em 2001, cobrindo um espectro diversificado de situações económicas, sociais, demográficas e ambientais, divididas nas famílias A1, A2, B1 e B2. Estes cenários têm correspondência com os novos cenários do IPCC (os “*Representative Concentration Pathways*”) que pode ser consultada no Observatório CLIMA-Madeira. O cenário com menores emissões é o cenário B1 (com concentrações de dióxido de carbono (CO₂) menores do que 600 partes por milhão em volume (ppmv), durante todo o séc. XXI), enquanto o cenário mais extremo é o A1 (com concentrações superiores a 900 ppmv, em 2100). No cenário A2, a concentração de CO₂ ultrapassa 800 ppmv no fim do séc. XXI, enquanto no cenário B2 é de cerca de 600 ppmv, em 2100. Como referência, note-se que, em 2015, a concentração média de CO₂ na atmosfera era de 402 ppmv⁹.

Este estudo teve por base os resultados do projeto CLIMAAT II que, recorrendo a métodos de regionalização dinâmica, usou o modelo de circulação global HadCM3 para os cenários A2 e B2, obtendo uma grelha, com uma resolução espacial de 1 km para a ilha da Madeira, de dados diários de precipitação e temperatura até ao final do século XXI.

Os resultados indicam um aumento generalizado da temperatura média, entre 1,3 e 3 °C, e uma diminuição da precipitação anual em cerca de 30% no final do século XXI. As variações anuais para o curto, médio e longo prazo encontram-se descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Variação da precipitação e temperatura na Ilha da Madeira relativa ao período de referência entre 1970 e 1990.

	PRECIPITAÇÃO		TEMPERATURA	
	CENÁRIO A2 (%)	CENÁRIO B2 (%)	CENÁRIO A2 (°C)	CENÁRIO B2 (°C)
2010-2039	[-28;-9]	[-28;-9]	[0.5;0.9]	[0.5;0.9]
2040-2069	[-40;-14]	[-31;-6]	[0.9;1.5]	[0.8;1.3]
2070-2099	[-48;-22]	[-44;-23]	[2.0;3.0]	[1.3;1.9]

⁸ SRES, 2000. A Special Report on Emissions Scenarios of Working Group III of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge.

⁹ www.CO2now.org

A Figura 4 (a,b,c,d) e a Figura 5 (a,b,c,d) representam a variação espacial das anomalias de precipitação e temperatura, respetivamente, para o cenário A2 entre 2070 e 2099 quando comparado com a normal climatológica do período de referência entre 1970 e 1990.

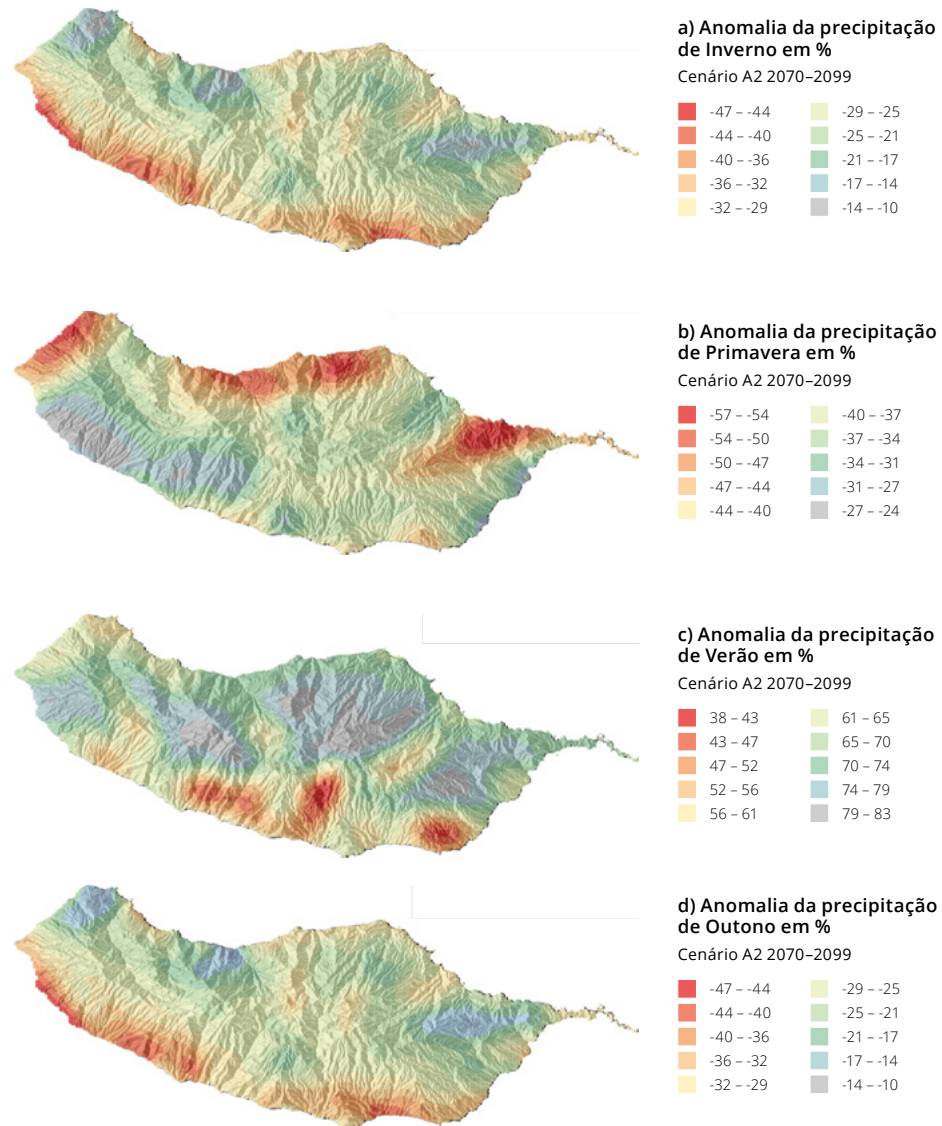


Figura 4. Anomalia da precipitação de Inverno (a), Primavera (b), Verão (c) e Outono (d) para o cenário A2 entre 2070-2099 em relação ao período de referência 1970-1990 na ilha da Madeira.

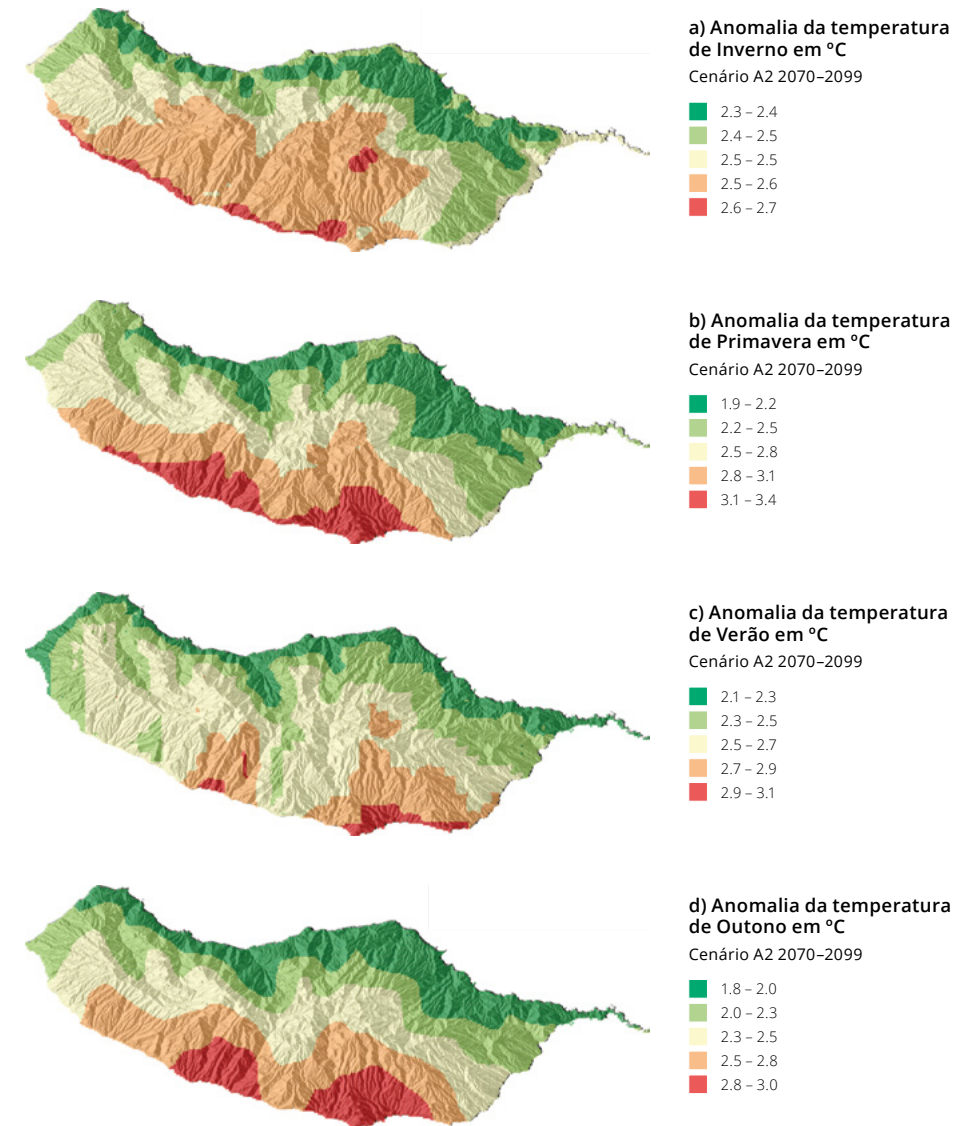


Figura 5. Anomalia da temperatura de Inverno (a), Primavera (b), Verão (c) e Outono (d) para o cenário A2 entre 2070-2099 em relação ao período de referência 1970-1990 na ilha da Madeira.

As variações mensais de longo prazo (2070-2099), para a precipitação e temperatura nos cenários A2 e B2 relativas ao período de referência 1970-1999, são apresentadas na Figura 6 e na Figura 7 para a ilha da Madeira, e na Figura 8 e na Figura 9 para a ilha do Porto Santo.

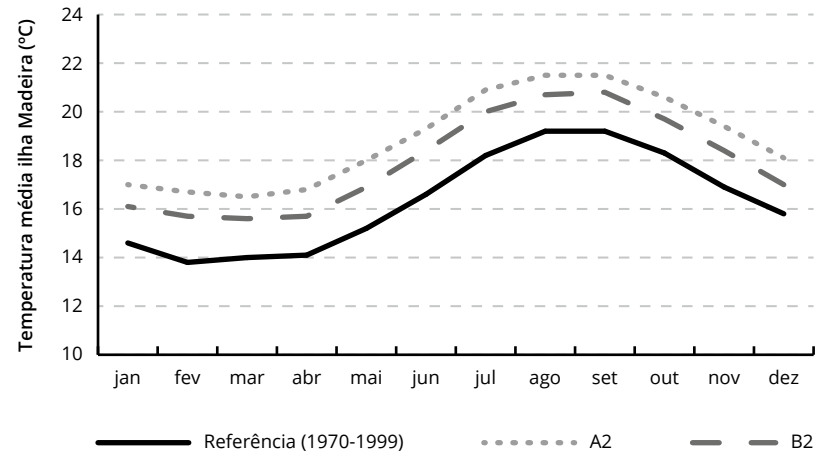


Figura 6. Distribuição sazonal da temperatura média da ilha da Madeira para o período 2070-2099.

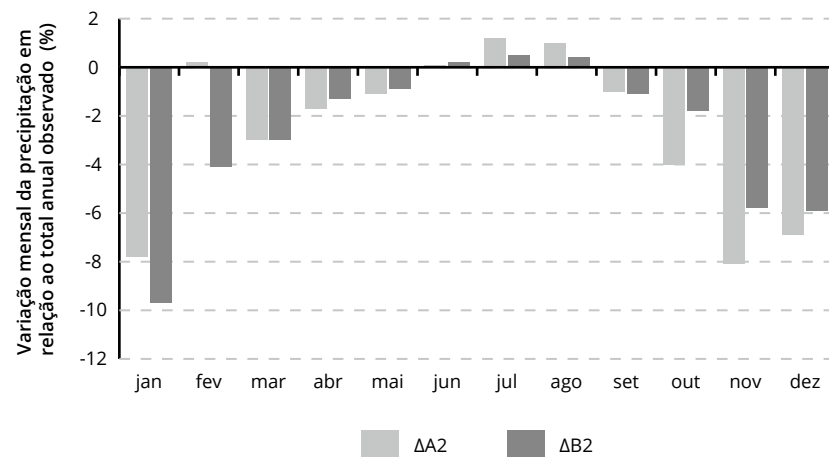


Figura 7. Distribuição sazonal da variação média mensal da precipitação em relação à precipitação total do período de referência na ilha da Madeira para o período 2070-2099.

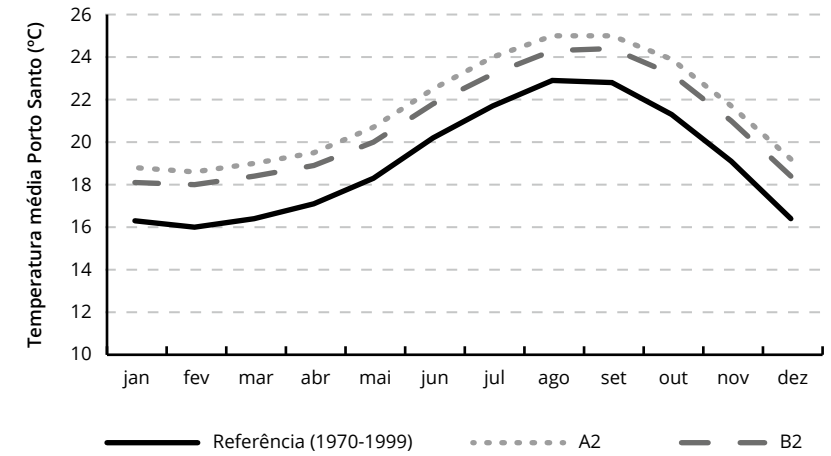


Figura 8. Distribuição sazonal da temperatura média da ilha do Porto Santo para o período 2070-2099.

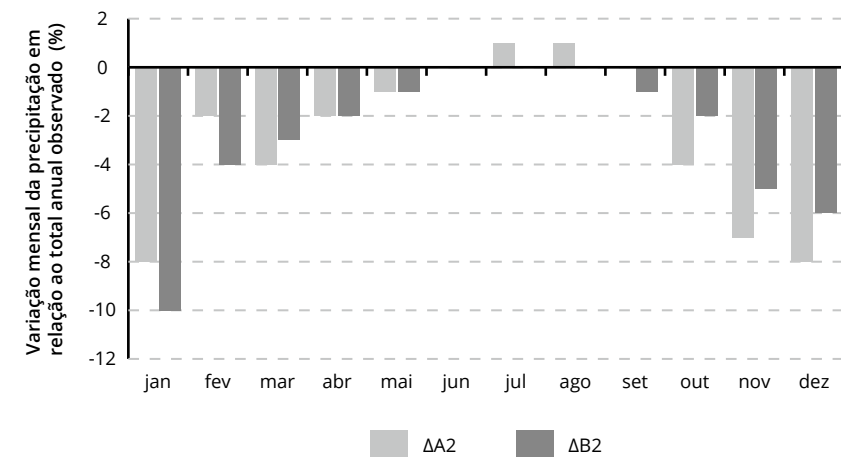


Figura 9. Distribuição sazonal da variação média mensal da precipitação em relação à precipitação total do período de referência na ilha do Porto Santo para o período 2070-2099.

As projeções sazonais indicam um aumento mais significativo da temperatura, durante a primavera, na ilha da Madeira e, no inverno, na ilha do Porto Santo. Verifica-se, também, uma maior diminuição da precipitação entre o outono e a primavera em ambas as ilhas. Quando analisada a variação da precipitação mensal em relação ao total anual do período de referência (Figura 6 e Figura 9), projeta-se que o mês de janeiro seja dos mais afetados, com diminuições relativas entre os 8 e 10%, quer para a ilha da Madeira, quer para a ilha do Porto Santo. Em termos homólogos, ou seja, comparando a média da precipitação mensal entre o cenário projetado e o período de referência para o mês de janeiro, essa variação situa-se entre os 34 e os 40% na Madeira e entre os 35 e 44% no Porto Santo. A Tabela 2 e a Tabela 3 descrevem com mais detalhe as variações mensais, sazonais e anuais entre os cenários de longo prazo (2070-2099) e o período de referência, para as ilhas da Madeira e do Porto Santo.

Tabela 2. Variação de temperatura e precipitação para os cenários A2 e B2 entre 2070 e 2099 e o período de referência 1970-1999 para a ilha da Madeira.

	TEMPERATURA		PRECIPITAÇÃO	
	$\Delta A2$ °C	$\Delta B2$ °C	$\Delta A2$ (%)	$\Delta B2$ (%)
JANEIRO	2.4	1.5	-34	-40
FEVEREIRO	2.8	1.8	-0.5	-34
MARÇO	2.5	1.6	-33	-32
ABRIL	2.7	1.6	-39	-30
MAIO	2.8	1.7	-61	-48
JUNHO	2.7	1.8	9	23
JULHO	2.6	1.7	92	33
AGOSTO	2.3	1.5	94	34
SETEMBRO	2.3	1.6	-33	-37
OUTUBRO	2.3	1.4	-56	-25
NOVEMBRO	2.5	1.5	-53	-40

	TEMPERATURA		PRECIPITAÇÃO	
	$\Delta A2$ °C	$\Delta B2$ °C	$\Delta A2$ (%)	$\Delta B2$ (%)
DEZEMBRO	2.3	1.2	-34	-30
INVERNO	2.5	1.5	-27	-35
PRIMAVERA	2.6	1.6	-38	-33
VERÃO	2.5	1.7	67	30
OUTONO	2.3	1.5	-52	-36
ANUAL	2.5	1.6	-32	-33

Tabela 3. Variação de temperatura e precipitação para os cenários A2 e B2 entre 2070 e 2099 e o período de referência 1970-1999 para Porto Santo.

	TEMPERATURA		PRECIPITAÇÃO	
	$\Delta A2$ °C	$\Delta B2$ °C	$\Delta A2$ (%)	$\Delta B2$ (%)
JANEIRO	2.5	1.9	-35	-44
FEVEREIRO	2.6	2.0	-13	-33
MARÇO	2.5	1.9	-41	-34
ABRIL	2.3	1.8	-47	-32
MAIO	2.3	1.7	-60	-54
JUNHO	2.3	1.6	10	32
JULHO	2.3	1.5	93	32
AGOSTO	2.1	1.4	92	28
SETEMBRO	2.2	1.6	-16	-22

	TEMPERATURA		PRECIPITAÇÃO	
	$\Delta A2$ °C	$\Delta B2$ °C	$\Delta A2$ (%)	$\Delta B2$ (%)
OUTUBRO	2.5	1.8	-56	-29
NOVEMBRO	2.6	1.8	-52	-40
DEZEMBRO	2.8	2.0	-39	-31
INVERNO	2.6	1.9	-32	-37
PRIMAVERA	2.4	1.8	-45	-36
VERÃO	2.2	1.5	69	31
OUTONO	2.4	1.7	-49	-34
ANUAL	2.4	1.7	-34	-34

De acordo com o relatório de 2007¹⁰ do IPCC, os cenários projetam uma subida do nível médio do mar de 35 cm até final deste século. No contexto do estudo CLIMAAT II¹¹, os autores consideram razoável assumir um aumento de 50 cm até ao final do séc. XXI. Atualmente, e segundo o último relatório do IPCC¹², o nível médio global do mar pode subir até um valor máximo de 82 cm no final do século.

Contudo, há publicações científicas que apontam para valores superiores a 100 cm. Especificamente para o arquipélago da Madeira, Kopp e colegas¹³ projetam um valor de 75 cm até 2100, no cenário RCP 8.5 do IPCC (equivalente ao cenário A1).

¹⁰ IPCC, 2007, Intergovernmental Panel on Climate Change, Contributions of Working Groups I, II and III to the IPCC Fourth Assessment Report, Cambridge University Press

¹¹ CLIMAAT, 2006, Impactos e Medidas de Adaptação às Alterações Climáticas no Arquipélago da Madeira, Projecto CLIMAAT II, F.D. Santos e R. Aguiar (Editores), Direcção Regional do Ambiente da Madeira, Funchal

¹² IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp

¹³ Kopp, R.E. et al. 2014, Probabilistic 21st and 22nd century sea-level projections at a global network of tide gauge sites. *Earth's Future* 2: 287–306, doi:10.1002/2014EF000239