



Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão

Moacir Antonio Berlato^(*) e Ana Paula Assumpção Cordeiro¹

¹ Faculdade de Agronomia, Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 7712, CEP 91.540-000 Porto Alegre, RS. E-mails: moacir.berlato@ufrgs.br e apacufrgs@yahoo.com.br

(*) Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 11 de Maio de 2017

Aceito em 27 de Dezembro de 2017

Termos para indexação:

ação antrópica

aquecimento global

variabilidade climática

El Niño

La Niña

ODP

RESUMO

O relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) de 2013 afirma que é de 95% a probabilidade do aquecimento global, desde meados do século XX, ser de natureza antrópica. A temperatura média global da superfície (continente e oceano) aumentou 0,85 °C no período 1880-2012. Segundo a NASA, 16 dos 17 anos mais quentes, da série iniciada em 1880, ocorreram desde 2001. A Terra está com balanço radiativo positivo (do inglês imbalance) devido ao aumento do efeito estufa, entre outras forçantes climáticas. Os novos modelos do IPCC projetam aumento da temperatura global de menos de 2 °C, para o cenário otimista (baixas emissões de GEE), até 4,8 °C para o cenário pessimista (altas emissões de GEE), até 2081-2100, em relação a 1986-2005. Há projeção de grande aquecimento sobre a Amazônia (5-6 °C), para o final do século, para o cenário pessimista. No Rio Grande do Sul, destacam-se as tendências de aumento da temperatura mínima e de aumento do número de noites quentes, principalmente no outono e no verão. A temperatura média apresentou tendência de aumento, devido à elevação acentuada da temperatura mínima. A temperatura máxima reduziu no verão pelo aumento da nebulosidade diurna. Houve redução da amplitude térmica. A precipitação pluvial aumentou no ano, no outono e na primavera, principalmente. Houve aumento de dias com precipitação pluvial intensa e do número de dias com precipitação pluvial no ano, no verão e na primavera. A insolação teve forte tendência de redução, no ano, no verão e no outono, e a nebulosidade diurna teve tendência de aumento. A evapotranspiração de referência teve maior tendência de redução no ano, no verão e na primavera. O inverno (entre os meses de junho, julho e agosto) teve a mais fraca tendência de mudança climática no Estado.

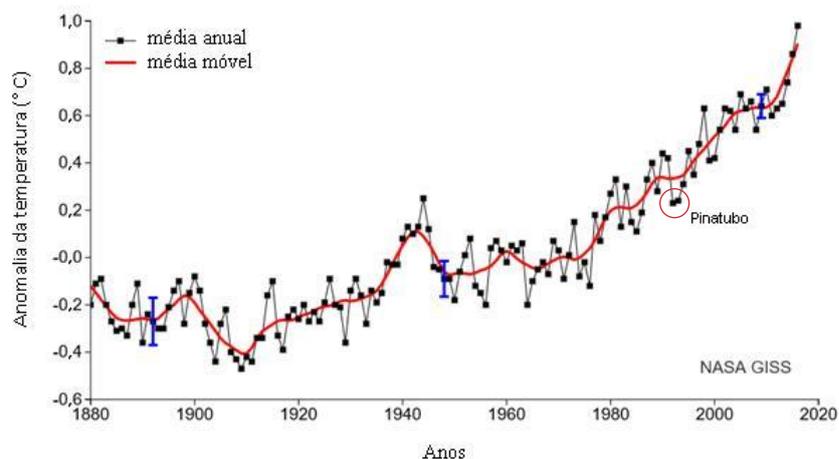
© 2017 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

Em 1988, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

(PNUMA) criaram um Fórum (Painel) para tratar das mudanças climáticas, o IPCC (Sigla em inglês de Intergovernmental Panel on Climate Change). Desde então, o IPCC vem divulgando relatórios científicos (em intervalo aproxima-

Figura 1. Anomalias da temperatura média global (oceano e continente), período 1880-2016 (137 anos) em relação à média de 1951-1980, segundo a NASA/GISS. A linha sólida preta é a média global anual e a linha sólida vermelha é a média móvel de cinco anos. As barras azuis representam as incertezas das estimativas (limite de confiança de 95%). Disponível em: <<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>>. Acesso em: 10 abr. 2017. GISS (Goddard Institute for Space Studies).



do de seis anos) integrando resultados de pesquisas realizadas globalmente, que tem demonstrado o aquecimento do sistema climático do Planeta Terra. O último relatório do IPCC foi lançado em 2013. Comparado com os anteriores, este teve um número significativamente maior de trabalhos científicos analisados e uma maior participação de países em desenvolvimento na sua concepção. Os relatórios do IPCC são considerados os mais respeitáveis e mais detalhados documentos sobre mudanças climáticas que se produz mundialmente.

Além do aumento da temperatura média global, especialmente a partir da segunda metade do século XX, elevação do nível do mar, acidificação do oceano e degelo, os relatórios do IPCC também têm mostrado fortes indicadores de mudanças nos extremos climáticos em diversos continentes, com grandes impactos econômicos e sociais. O IPCC também usa modelos climáticos globais para fazer projeções de temperatura média e precipitação pluvial para até o final do século XXI.

Coerente com outras regiões do mundo, na América do Sul (AS), principalmente no Sudeste da América do Sul (SAS), de que faz parte o sul do Brasil e onde existe um grande número de trabalhos publicados sobre o clima, estão sendo evidenciadas mudanças, não só nas médias de temperatura e precipitação pluvial, mas também em diversos índices de extremos climáticos.

Isto posto, os objetivos da presente revisão são:

- mostrar, de forma resumida, os recentes e principais dados sobre aquecimento global e mudanças climáticas em escalas global e regional, sua mais provável causa, bem como as projeções para o fim do século XXI. Essas informações estão baseadas, principalmente, no último Relatório do IPCC (IPCC, 2013) e em trabalhos de cientistas que publicaram sobre o tema; e

- analisar e discutir, com mais detalhes, as pesquisas publicadas sobre as tendências climáticas observadas no Rio Grande do Sul. Os trabalhos revisados do Estado são, na quase totalidade, aqueles que foram publicados depois

do ano 2000 e, a maioria deles, especialmente, nos últimos dez anos.

Sinais de mudanças climáticas globais e regionais e projeções para o século XXI

O principal sinal de mudança climática é o aumento da temperatura média global. Há, pelo menos, quatro principais centros que calculam, de forma independente, a média global da temperatura: um no Reino Unido (*Hadley Centre*), dois nos EUA, um ligado à NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), outro à NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) e a Agência Japonesa de Meteorologia (*Japan Meteorological Agency*). As estimativas desses quatro centros são muito semelhantes. Brohan *et al.* (2006) estudaram as incertezas das estimativas das anomalias das temperaturas globais e hemisféricas, desde 1850, concluindo que desde meados do século XX, principalmente, as incertezas são pequenas e o grande aumento verificado nas temperaturas excede essas incertezas.

A Figura 1 mostra a evolução das estimativas das anomalias da temperatura média global anual (continente e oceano), em relação à média de 1951-1980, do período 1880-2016 (137 anos), segundo a NASA/GISS (GISS, do inglês *Goddard Institute for Space Studies*), que é uma atualização apresentada anteriormente por Hansen *et al.* (2010). James Hansen é um dos pioneiros do alerta sobre o aquecimento global, foi Diretor do GISS, deixou a NASA há poucos anos, após 46 anos de carreira. Percebe-se, na figura, oscilação negativa nos primeiros 30 anos da série histórica, com aumento da temperatura global após esse período até meados dos anos 1940, onde houve declínio até meados dos anos 1970, aproximadamente. A partir da segunda metade da década de 1970 houve grande aumento das anomalias positivas da temperatura global, com uma pequena pausa na taxa de aumento de 2000 até 2012, aproximadamente. Após esse período houve a retomada do aumento, culminando em 2016 com o recorde de toda a série histórica,

com anomalia da temperatura média global de 0,98 °C (em relação à média de 1951-1980). Segundo dados da NASA, 16 dos 17 anos mais quentes da série histórica de observação da temperatura média global iniciada em 1880, ocorreram desde 2001 (<https://data.giss.nasa.gov>). A região extratropical norte (23,6N-90N) é a que apresenta maior aquecimento e o Hemisfério Sul o que apresenta menor elevação da temperatura, pelo menos nos últimos 15 anos da série histórica até 2016.

O último Relatório do IPCC (IPCC, 2013) diz que “é inequívoco o aquecimento do sistema climático e, desde 1950, muitas das mudanças são sem precedentes por décadas ou milênios. A atmosfera e os oceanos se aqueceram, neve e gelo diminuíram, o nível do mar se elevou e a concentração dos gases de efeito estufa (GEE) aumentou”.

A concentração do gás carbônico (CO₂) aumentou 40% desde a era pré-industrial, que era de cerca de 280 ppm (partes por milhão). Pelo menos nos últimos 150.000 anos, o CO₂ nunca esteve acima do nível de 1950, em torno de 300 ppm. Em janeiro de 2017 a concentração de CO₂ alcançou 405,9 ppm (<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>).

Há alguma controvérsia, não sobre o aquecimento global, que é fato observado por medidas da temperatura, mas sobre as causas, se naturais ou provocadas pelas atividades humanas na Terra. Por exemplo, Molion (2005), um dos cépticos brasileiros do aquecimento global antrópico e crítico dos modelos do IPCC, acredita que as mudanças climáticas observadas fazem parte da variabilidade natural do clima, que depende, principalmente, da atividade solar (ciclos e manchas solares), do vulcanismo e de mecanismos atmosféricos com flutuação de alta frequência (El Niño e La Niña) ou de baixa frequência (20 a 30 anos) como é o caso, por exemplo, da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) (Mantua *et al.*, 1997), entre outros. A ODP, semelhante ao El Niño e La Niña, ocorre no Pacífico e apresenta também duas fases. A fase fria é caracterizada por anomalias negativas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico tropical e, simultaneamente, anomalias positivas de TSM no Pacífico extratropical (acima de 20°N). Já a fase quente apresenta configuração contrária. Diferente do El Niño e La Niña que têm duração de menos de um a dois anos e, infreqüentemente, duração maior, os eventos de ODP persistem normalmente por 20 a 30 anos. Nesse caso Mantua *et al.* (1997) demonstraram que o índice de ODP é bem correlacionado com registros climáticos e ecológicos em regiões do Pacífico norte. Nessa linha, vários trabalhos têm mostrado relação entre ODP e variáveis meteorológicas, inclusive no Rio Grande do Sul. Molion (2008a; 2008b), com base em um trabalho de Jones *et al.* (1999) que analisaram a mudança da temperatura da superfície de 150 anos (antes de 1999) mostrou “curiosa coincidência” entre as anomalias da temperatura média global e a ODP nas duas fases quentes

dessa oscilação (1925-1946 e 1977-1998) e em sua fase fria (1947-1976). Esse autor levantou a possibilidade de depois do último período quente (1977-1998) se repetir a fase fria semelhante a de 1947-1976. Também Biondi *et al.* (2001), estudando os anéis de árvores de floresta da Califórnia (a densidade dos anéis indica o clima da época, especialmente precipitação pluvial) e com base em resultados anteriores que indicavam existir correlação entre os anéis de árvores dessa área e a ODP, usando técnicas de reconstrução paleoclimática, estenderam os dados da variação decadal do Pacífico até 1661. Eles também afirmaram que as condições do Pacífico indicavam possível reversão para a fase fria da ODP. Entretanto esse ciclo multidecadal do Pacífico foi quebrado. No final de 1998 a ODP realmente entrou na fase fria, mas durou apenas quatro anos, seguida de uma fase quente de três anos (2002-2005), neutra até agosto de 2007, quando houve abrupta mudança para a fase negativa que durou até 2013 (quase seis anos), com pequena interrupção durante o El Niño moderado de 2009-2010. Desde o começo de 2014 houve nova mudança para ODP positiva e forte (<https://www.nwfsc.noaa.gov>). Nesse período de variação da ODP, entre negativa e positiva, as anomalias da temperatura média global continuaram positivas.

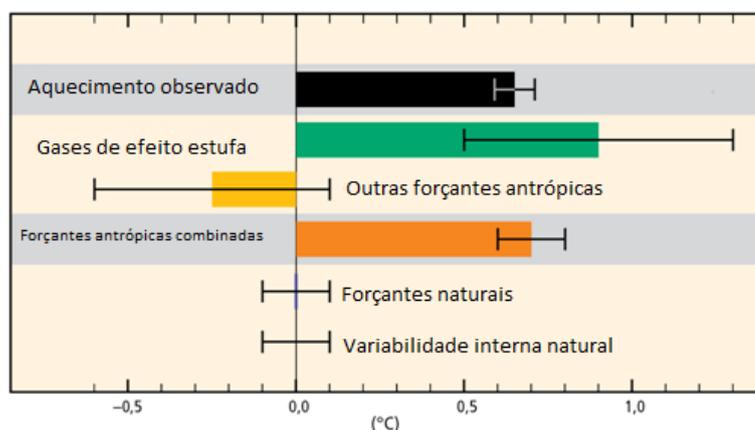
A Terra apresenta balanço radiativo positivo (do inglês *imbalance*). Segundo Hansen *et al.* (2005) ela está absorvendo 0,85 ± 0,15 W.m⁻² mais energia do sol do que a emitida para o espaço, devido principalmente ao aumento do GEE, aerossóis e outras forçantes climáticas.

Conforme recente e extenso trabalho sobre aquecimento dos oceanos (Cheng *et al.*, 2017), mais de 90% desse saldo de energia é armazenado no oceano, aumentando o conteúdo de calor do mesmo. Segundo esses autores, todas as bacias oceânicas examinadas apresentaram significativo aquecimento desde 1998. O Oceano Pacífico tropical e subtropical e o Oceano Atlântico tropical e subtropical, apresentam os maiores aquecimentos. Ou seja, a América do Sul está ladeada por dois oceanos em aquecimento. Segundo os cientistas, esse saldo de energia representa importante medida de forçante climática sobre o Planeta.

Molion (2005; 2008b) também levantou a importância dos oceanos no controle climático, lembrando que os oceanos cobrem 71% da superfície terrestre e que o Oceano Pacífico sozinho ocupa 35% dessa superfície. Recentes pesquisas têm focado o Oceano Pacífico como um modulador da tendência do aquecimento global (Meehl *et al.*, 2013; Amaya *et al.*, 2015). A ascensão da temperatura média global (Figura 1) tem apresentado períodos ou décadas de pausa no aquecimento global, ou mesmo de resfriamento, os chamados “hiatos” na literatura. No século XX o maior hiato ocorreu entre os anos 1940 e 1970, de forte resfriamento que coincidiu com a ODP negativa de 1947-1976.

Molion (2008a) afirmou que esse último período de resfriamento global não é explicado pelos que acreditam

Figura 2. Contribuição para as mudanças da temperatura média global da superfície de 1951 a 2010, devido às forçantes antrópicas e naturais (IPCC, 2014). As barras representam as médias e as linhas, a variação provável das estimativas. A barra preta mostra o aquecimento observado; a barra verde representa o efeito dos GEE, a barra amarela representa outras forçantes antrópicas, incluindo o efeito de resfriamento dos aerossóis e de mudanças do uso do solo; a barra laranja representa as forçantes antrópicas combinadas; as duas últimas representam as forçantes naturais e a variabilidade interna natural do clima (pequenas).



que o aquecimento é somente devido ao aumento de efeito estufa. No entanto, Hansen et al. (2013), apresentam o argumento de que o rápido crescimento do uso de combustíveis fósseis do pós-guerra, sem nenhuma preocupação com a poluição ambiental, liberou para a atmosfera grandes quantidades de aerossóis que exercem efeito de resfriamento. Trenberth (2015), não descartando o efeito da ODP negativa, afirmou que, também, os aerossóis podem ter contribuído para a existência desse grande hiato no aumento da temperatura nesse período. Outra possibilidade adicional são os diversos períodos de extensas La Niña, ocorridos nessa época. Mas, também, se sabe que períodos de ODP negativa são dominados por alta frequência de La Niña, assim como períodos de ODP positiva são dominados por alta frequência de El Niño. Em recente estudo, Trenberth (2015) afirma que: “The combination of decadal variability and a trend from increasing greenhouse gases makes the GMST record more like a rising staircase than a monotonic rise”.

Trenberth (2015), também afirmou que a radiação solar que foi ligeiramente menor durante o último mínimo de manchas solares (2003-2009) e o decréscimo do vapor d’água na estratosfera depois de 2000 podem ter contribuído para o pequeno hiato, mas considera que este efeito é pequeno na desaceleração recente do aumento da temperatura média global. Hansen et al. (2013) haviam afirmado que isso faz parte da natural variabilidade interanual do clima.

O vulcanismo é uma forçante natural do clima. Na Figura 1 é representado o vulcão Monte Pinatubo, a maior erupção vulcânica do século XX, ocorrido nas Filipinas. Em 12 de junho de 1991, o Pinatubo entrou em erupção após 600 anos, jogando na atmosfera uma nuvem de gases e cinzas vulcânicas, que se espalhou pelo Globo e derrubou a temperatura média global por mais de dois anos, pela interceptação da energia vinda do sol.

Também o El Niño e a La Niña são forçantes naturais que causam descontinuidade da ascensão da temperatura média global que, além do IPCC, a grande maioria dos cien-

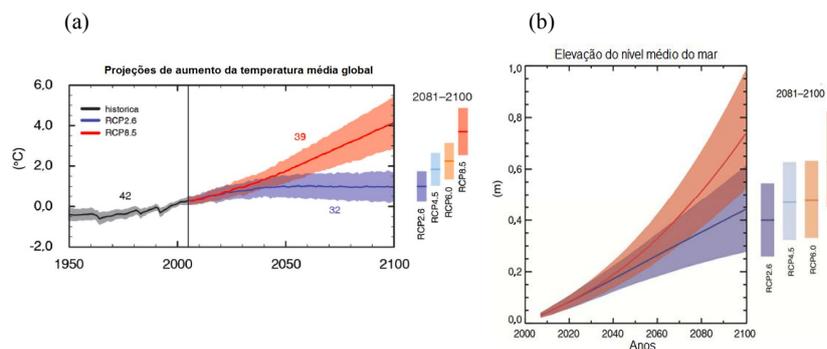
tistas do clima acredita ser devido ao aumento do efeito estufa, principalmente, desde meados do século XX. Na curva da Figura 1, muitos picos de temperaturas médias globais são anos de El Niño e muitos valores de baixas temperaturas média globais são anos de La Niña. Por exemplo, a maior temperatura do século XX ocorreu em 1998 (0,63°C), ano do forte El Niño de 1997-1998. E a menor temperatura do século XX ocorreu no ano de 1909 (-0,47°C), ano da forte La Niña de 1909-1910, ambas anomalias em relação à média de 1951-1980.

Molion (2008c) também afirmou que não há comprovação que a maior parte do CO₂ armazenado na atmosfera seja devido às emissões antrópicas. Na verdade, sabe-se que o CO₂ é um dos “ingredientes” fundamentais do processo da fotossíntese das plantas verdes para produzirem carboidratos, início da cadeia alimentar da Terra. Streck (2005) fez uma ampla revisão (89 autores principais) no âmbito do enriquecimento atmosférico por CO₂ sobre o crescimento, desenvolvimento e rendimento das culturas. O autor verificou que, em experimentos controlados, a duplicação do CO₂ da atmosfera aumenta o rendimento das plantas, principalmente as que têm mecanismo fotossintético tipo C3. No entanto, o aumento elevado da temperatura pode anular o efeito benéfico da fertilização com CO₂.

Segundo o IPCC, a evidência da influência humana no aquecimento se acentuou desde o relatório lançado em 2007. Atualmente considera-se *extremamente provável* (95% de probabilidade) que a influência antrópica seja a causa dominante do aquecimento observado desde meados do século XX (IPCC, 2013).

Além dos Relatórios do IPCC, a grande maioria dos cientistas que pesquisa e publica sobre o assunto, bem como os institutos oficiais mundiais de pesquisa climática atribuem o aquecimento global ao aumento do efeito estufa, provocado pelos GEE, principalmente o gás carbônico (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), liberados na atmosfera da Terra pelas atividades humanas, primeiramente pela queima de combustíveis fósseis e secundariamente pelo desmatamento, queimadas e uso do solo.

Figura 3. Projeções de aumento da temperatura média global (a) e do nível médio do mar (b), para os cenários otimista e pessimista, até o final do século, em relação a 1986-2005 (IPCC, 2013). As barras verticais à direita representam as médias e as variabilidades das estimativas. Os números indicam o número de modelos utilizados.



Aproximadamente metade de todo o CO₂ emitido pelas atividades humanas é absorvida pelos continentes e oceano (<https://climate.nasa.gov>). O restante permaneceria na atmosfera interceptando a radiação de onda longa (L↑) e aumentando o efeito estufa na superfície da Terra. Mas a pergunta é: se o CO₂ continuar aumentando continuamente, os oceanos e continentes continuarão absorvendo a mesma percentagem ou haverá um ponto de saturação?

O oceano é um grande sumidouro do CO₂ da atmosfera, mas sabe-se que à medida que o oceano aquece, como vem acontecendo, diminui sua capacidade de absorver o CO₂, pois as águas frias dos oceanos são as que capturam maior quantidade desse gás. Também, o CO₂ modifica a química da água pelo processo de acidificação. O oceano está mais ácido em 27%, em relação à era pré-industrial e isso causa impactos negativos nos ecossistemas marinhos. Esse cenário tende a se agravar, pois devido à inércia do oceano e o longo tempo de vida dos GEE na atmosfera, parte do aquecimento continuaria por séculos, mesmo depois de cessada (cenário não plausível) as emissões dos GEE (IPCC, 2013).

A Figura 2 mostra a importância relativa das principais forçantes antrópicas e naturais que determinaram o aumento da temperatura média global no período 1951-2010. Observa-se que os GEE foram os grandes contribuintes do aquecimento global, pelo menos desde a metade do século XX. O balanço das forçantes (de aquecimento e resfriamento) deste período determinou um aumento da temperatura global de cerca de 0,65°C.

Segundo o IPCC (2013) a média global da temperatura (oceano e continente) teve um aumento linear médio de 0,85 °C no período 1880-2012. Esse valor representa quase a metade do que as Convenções Climáticas assumem como compromisso para até o final do século, que é de limitar o aumento da temperatura a menos de 2 °C acima da era pré-industrial, e mais da metade de um compromisso complementar assumido na 21ª Conferência das Partes da ONU sobre o clima de “fazer esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C”, uma exigência dos pequenos países insulares ameaçados de submersão. Os anos mais quentes de toda a história de medidas ocorreram após o ano 2000, com exceção de 1998 (forte El Niño de 1997-1998). Com o

ano de 2016 mais quente do que 2015, os três últimos anos foram recordes de aumento de temperatura da Terra, desde 1880.

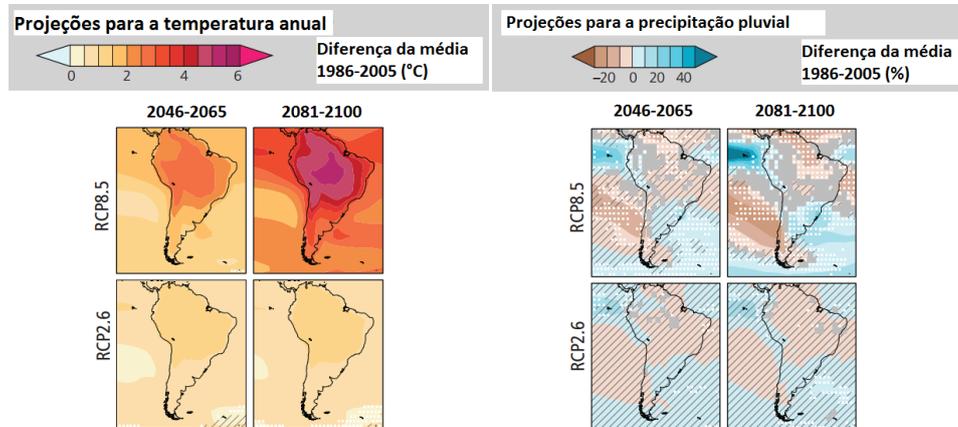
Outro sinal, consequência do aumento da temperatura, é a elevação do nível do mar, devido à expansão térmica da água e o degelo. No período 1901 a 2010 o mar subiu, média global, 0,19 m (0,17 m a 0,21 m) (IPCC, 2013) e esse dado é de alta confiança. O nível do mar subiu, em média, 2 mm por ano entre 1971 e 2010 e 3,2 mm por ano entre 1993 e 2010. Medidas de satélites mostram que a taxa de aumento do nível do mar de 1993 a outubro de 2016 foi de 3,4±0,4 mm/ano (<https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>), o que indica que a taxa anual vem aumentando mais rapidamente, nos últimos anos.

Observações desde 1970 mostram aumento do vapor d’água na superfície e na baixa atmosfera (IPCC, 2013). É, também, provável que a ação antrópica tenha alterado o ciclo hidrológico global desde 1960 (IPCC, 2014).

As pesquisas climáticas realizadas desde o início do século XXI têm mostrado fortes indicadores da ocorrência de mudanças climáticas, não só relacionadas à temperatura média, mas também aos extremos climáticos em escalas global e regional. Em diversas partes do planeta têm sido observados aumentos na frequência de noites quentes, ondas de calor, precipitações pluviais diárias mais intensas, enchentes e secas pronunciadas, o que tem resultado em grandes impactos econômicos e sociais. Por outro lado, amplitude térmica diária, ondas de frio e dias de geadas severas estão diminuindo significativamente (IPCC, 2001; Frich *et al.*, 2002; Peterson *et al.*, 2002; Vincent *et al.*, 2005; Alexander *et al.*, 2006; Haylock *et al.*, 2006; Hansen *et al.*, 2010; IPCC, 2007; IPCC, 2013; Asadich & Krakauer, 2015).

Coerente com outras regiões do mundo, também no sudeste da América do Sul (SAS), principalmente a região que inclui o Uruguai, centro e norte da Argentina, Paraguai e sul do Brasil, há convergência de evidências observacionais, nas últimas décadas, de aumento da temperatura, especialmente da temperatura mínima e noites mais quentes, aumento de ondas de calor, aumento da precipitação pluvial tanto no total como na intensidade com redução da amplitude térmica e da incidência de geadas severas, entre

Figura 4. Projeções médias de 23 modelos para a temperatura média anual e precipitação pluvial anual para a América do Sul, para os períodos 2046-2065 e 2081-2100, em relação à média de 1986-2005, para o cenário otimista (RCP2.6) e para o cenário pessimista (RCP8.5) (Adaptado de Magrin et al., 2014). As cores sólidas indicam áreas onde há muito forte concordância dos modelos. Os pontos brancos indicam áreas onde há forte concordância dos modelos. A cor cinza indica áreas onde há divergência dos modelos. Áreas com linhas diagonais indicam pequena ou nenhuma mudança, embora possa haver mudança em escala de tempo menor como estação do ano ou meses.



outros índices (Rusticucci & Barrucand, 2004; Vincent et al., 2005; Haylock et al., 2006; Doyle & Barros, 2006; Marenco & Camargo, 2008; Barros et al., 2008).

Ressalta-se que as projeções para o século XXI, derivadas dos modelos climáticos do IPCC, são de continuação do aumento da temperatura. No IPCC (2013) houve uma mudança de metodologia na construção dos modelos globais de projeções climáticas. Atualmente, estes relacionam a emissão de CO₂ e CO₂ equivalente com o balanço de radiação terra-atmosfera e são denominados *Representatives Concentration Pathways (RCPs)*. São cenários um pouco mais realísticos, porque no balanço de radiação é computado o efeito da intensidade da energia solar, nuvens (albedo), absorção por vários gases e os aerossóis, entre outros. São quatro os cenários adotados (RCP2.6; RCP4.5; RCP6.0; RCP8.5). Assim, por exemplo, o cenário RCP2.6 indica que o sistema terrestre armazenará 2,6 W.m⁻², enquanto o RCP8.5 indica um armazenamento de energia de 8,5 W.m⁻². O RCP2.6, o mais otimista, prevê um aumento da temperatura global até o período 2081-2100 (em relação a 1986-2005) variando de 0,3 °C a 1,7 °C. Esse cenário prevê atividade de mitigação e é compatível com um sistema climático de emissão negativa de GEE (emissão menor que sequestro), até o final deste século. O cenário RCP8.5, o mais pessimista, prevê altas emissões de GEE, resultando em aumento da temperatura média global variando de 2,6 °C a 4,8 °C (Figura 3a). Para um período mais próximo, a temperatura média global do período 2016-2035 deverá se situar entre 0,3 °C a 0,7 °C.

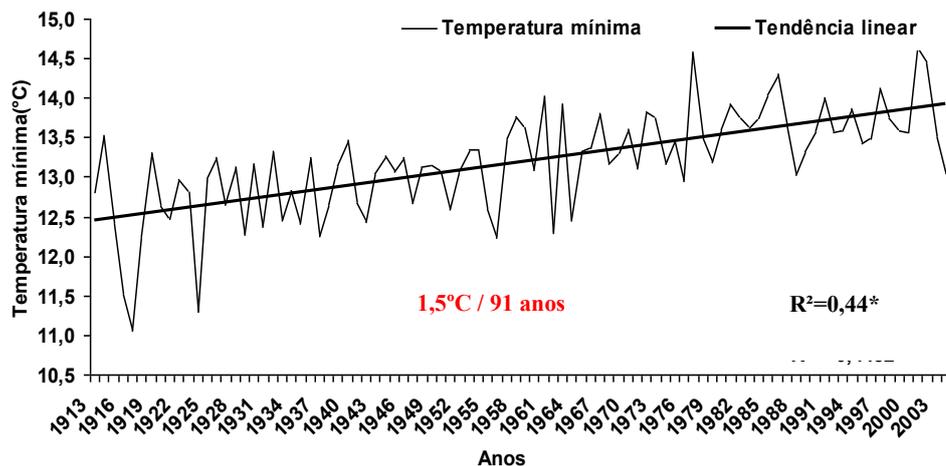
A elevação do nível do mar projetada para 2081-2100, em relação a 1986-2005, varia entre um mínimo de 0,26 m (cenário otimista) a um máximo de 0,82 m (cenário pessimista) (Figura 3b). Os modelos ainda projetam aumento

global da acidificação dos oceanos.

A Figura 4 refere-se às projeções da temperatura média anual e da precipitação pluvial anual para a América do Sul (Magrin et al., 2014), para os períodos de 2046-2065 e 2081-2100, considerando os cenários otimista e pessimista. No cenário otimista e para os dois marcos de tempo (2046-2065 e 2081-2100) a projeção é de aumento ameno da temperatura, especialmente para parte da região SAS, que inclui o extremo sul do Brasil (<1 °C). No entanto, para o cenário pessimista, ao final do século, a projeção é de maior aquecimento mesmo para o SAS (±3,0 °C) e de grande aquecimento para a América do Sul (AS) tropical, sobre parte da Amazônia brasileira (5-6 °C). Os prognósticos para a precipitação pluvial são mais incertos, mas projetam redução da precipitação pluvial para o norte da AS e no leste da Amazônia, principalmente para o cenário pessimista ao final deste século (redução de até 20%). Para a região do SAS, as projeções apontam para aumento da precipitação pluvial, principalmente para o cenário pessimista e para os dois marcos de tempo, mas também com maior certeza para 2081-2100, com aumento em torno de 20%, em relação à média de 1986-2005.

Para projeções regionais, a capacidade dos modelos globais em simular a temperatura e a precipitação pluvial é menor, especialmente para adoção de medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, por problemas de escala espacial (resolução espacial de 300 a 400 km). Para isso há necessidade de modelos regionais de melhor resolução. No Brasil, por exemplo, o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE), tem avaliado e usado Modelos Regionais para a América do Sul, para o Brasil e também para

Figura 5. Tendência linear da temperatura mínima média anual do estado do Rio Grande do Sul, período de 1913-2003 (Lopes & Berlato, não publicado) * significativo a 1%.



algumas regiões brasileiras (p. ex. Chou et al., 2005; Alves & Marengo, 2010). Em geral esses modelos são derivados de modelos globais de simulação climática, aumentando a resolução, com a redução da escala (*downscaling methods*).

Santos *et al.* (2015) avaliaram as incertezas nas projeções da precipitação pluvial da América do Sul para o século XXI, através de modelo de circulação geral da atmosfera (*Coupled Model Intercomparison Project 5th Phase - CMIP5*), indicando para o cenário RCP2.6 (baixas emissões), boa habilidade dos modelos.

Tendências climáticas observadas no Rio Grande do Sul

A análise dos estudos aqui discutidos, permitem afirmar que grande parte dos trabalhos usaram regressão linear com ajuste pelo método clássico dos mínimos quadrados (Wilks, 1995), e a tendência foi avaliada pelo teste de hipótese (teste *t*), para o coeficiente de regressão β_1 ($\beta_1 = 0$, não existe tendência; $\beta_1 \neq 0$, existe tendência), nos níveis de significância escolhidos. Vários trabalhos usaram, além das significâncias clássicas de 1 e 5%, geralmente adotadas em experimentos agrônomicos, em que muitas das variáveis são mantidas sob controle, a significância de 10%, com o argumento que na atmosfera não há controle sobre os eventos climáticos.

Dos 33 trabalhos analisados sobre tendências climáticas observadas no Rio Grande do Sul, cerca de 43% é advinda do Grupo de Agrometeorologia da Faculdade de Agronomia da UFRGS, que trata, não só sobre precipitação pluvial e temperatura, mas também sobre outras variáveis de grande importância agrometeorológica, como insolação (brilho solar), nebulosidade, geada, evapotranspiração, além de variáveis derivadas do Balanço Hídrico Climático.

Temperatura mínima

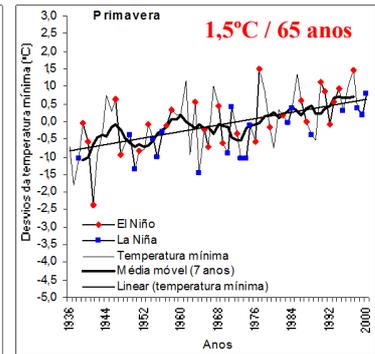
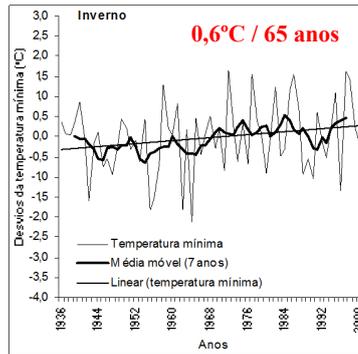
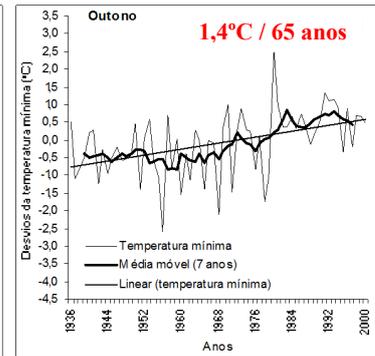
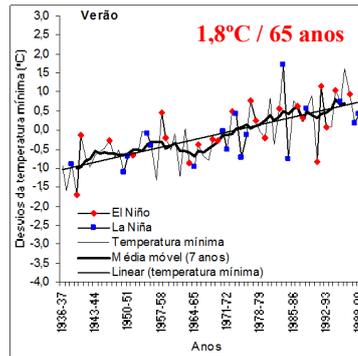
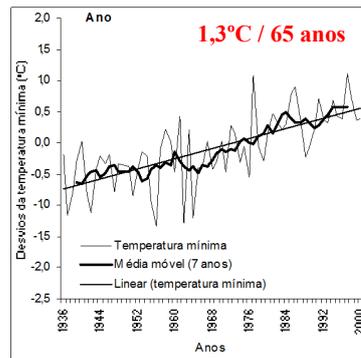
Usando quase três dezenas de estações meteorológicas,

período 1913-2003, Lopes & Berlato (trabalho não publicado), conforme resultados que são apresentados na Figura 5, mostraram a tendência da temperatura mínima média anual do Rio Grande do Sul. O incremento linear foi de 0,16 °C por década, totalizando no período de 91 anos um aumento de 1,5 °C. Coerente com esta tendência, Steinmetz *et al.* (2007) mostraram, para a região de Pelotas/RS, que a temperatura mínima aumentou 1,1 °C no período 1893-2006 e 1,8 °C no período 1951-2006. Também Cunha *et al.* (2007), estudando as tendências da temperatura para a região de Passo Fundo, no período de 1917-2006, encontraram aumento de 1,1 °C na temperatura mínima, concluindo que, nos 90 anos avaliados, a elevação térmica maior foi da temperatura mínima, mas houve tendência de estabilização das temperaturas mínimas e médias anuais nas últimas décadas analisadas.

Berlato & Althaus (2010) analisando uma série de desvios da temperatura mínima, em relação à normal climatológica de 1961-1990, de 18 estações meteorológicas bem distribuídas no Rio Grande do Sul, mostraram que houve incremento da temperatura mínima em todo o Estado, no período 1936-2000, tanto no ano como nas estações do ano (Figura 6). No ano, o aumento linear do período (65 anos) foi de 1,3 °C, no verão 1,8 °C, no outono 1,4 °C, na primavera 1,5 °C e no inverno, com a menor tendência, 0,6 °C.

A distribuição do sinal da tendência linear dos desvios da temperatura mínima do ar (Figura 7) mostra ampla coerência espacial, com exceção do inverno. A estação do ano de maior tendência positiva foi o verão, com 83% das estações meteorológicas com tendência significativa a 1%. Considerando o conjunto das tendências positivas significativas a 1 e 5%, nota-se que estas ocorrem na primavera, outono e no ano em, respectivamente, 61%, 50% e 67% das estações meteorológicas avaliadas. O inverno foi a estação do ano de menor tendência estatisticamente significativa (cinco com sinal positivo e duas com sinal negativo, a 1, 5 ou 10% de probabilidade de erro).

Figura 6. Tendência linear dos desvios da temperatura mínima média anual e estacional (°C) do estado do Rio Grande do Sul (média de 18 estações meteorológicas), período 1936-2000 (Adaptado de Berlato & Althaus, 2010). Os desvios são relativos à normal climatológica de 1961-1990. As informações sobre El Niño e La Niña foram obtidas em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensyears.shtml>. Acesso em: 10 jun. 2010.

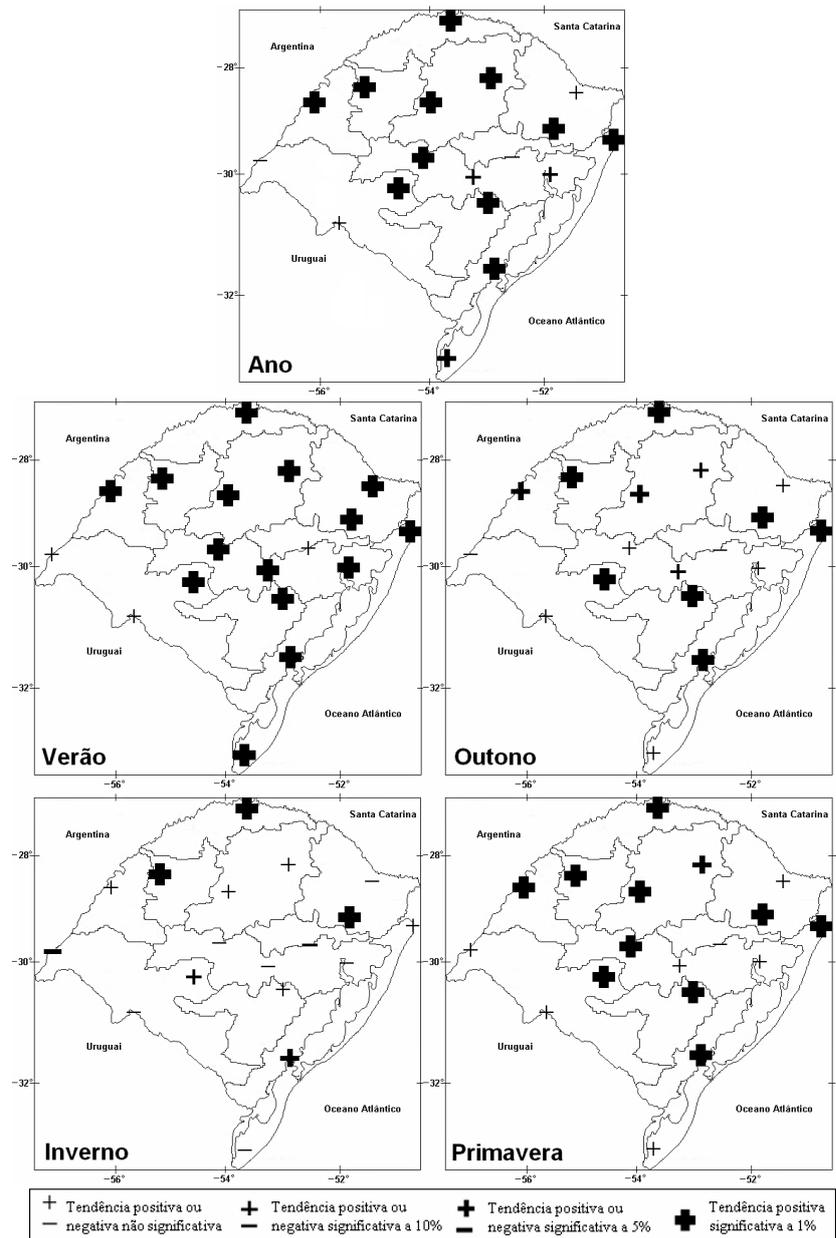


Marengo & Camargo (2008) estudaram as tendências das anomalias (relativas a 1961-1990) das temperaturas máximas, mínimas e amplitudes térmicas de 27 estações meteorológicas da Região Sul do Brasil, período 1960-2002, em escalas anual e estacional (verão e inverno), sendo 11 delas do Rio Grande do Sul. Encontraram, principalmente para o Rio Grande do Sul (maior número de estações com sinal de significância estatística) aumento da temperatura mínima no ano, no verão e no inverno. Na análise de tendência decadal, mostraram que a última década da série (1990-2002) apresentou maior aumento da temperatura mínima nos três estados do sul do Brasil. Os sinais negativos (significativos ou não) encontrados na fronteira sudoeste (Uruguaiana e Bagé) concordam com Cordeiro *et al.* (2016).

Costa & Marques (2010) estudaram a distribuição espacial das tendências lineares das temperaturas mínimas e máximas do Rio Grande do Sul, usando 13 estações meteorológicas, período 1961-2005, nos trimestres Outubro-Novembro-Dezembro (Out-Nov-Dez), Janeiro-Fevereiro-

-Março (Jan-Fev-Mar), Abril-Maio-Junho (Abr-Mai-Jun), Julho-Agosto-Setembro (Jul-Ago-Set) e apresentaram a distribuição numérica (mapas de isolinhas) das tendências da temperatura no Estado. Cabe ressaltar que estes dados não são totalmente comparáveis, por definições divergentes daquela usada pela Climatologia clássica para os limites das estações do ano, onde, por exemplo, o verão é nos meses de Dez-Jan-Fev. Os autores encontraram maiores tendências de aumento da temperatura mínima no trimestre Out-Nov-Dez (“primavera”) e Jan-Fev-Mar (“verão”), o que discorda dos resultados de Berlato & Althaus (2010), Sansigolo & Kayano (2010) e Rusticucci & Barrucand (2004), que encontraram maiores tendências da temperatura mínima no verão climatológico (Dez-Jan-Fev), fato que pode estar associado ao deslocamento do mês de dezembro no trimestre de análise. No “inverno” encontraram áreas em parte da Campanha riograndense e, especialmente, no extremo nordeste do Estado (Bom Jesus), com tendências de decréscimo da temperatura mínima, fato que, para Bom Jesus se repetiu nas outras “estações” do ano, embora com valo-

Figura 7. Sinal de tendência linear dos desvios da temperatura mínima média anual e estacional (°C) de 18 estações meteorológicas no estado do Rio Grande do Sul, período 1936-2000 (Berlato & Althaus, 2010). Os desvios são relativos à normal climatológica 1961-1990.



res menores. Nas Figuras 8a e 8b, Costa & Marques (2010), apresentam os dois trimestres (Jan-Fev-Mar e Out-Nov-Dez) que tiveram os maiores incrementos da temperatura mínima no Rio Grande do Sul.

A Figura 9, extraída de Berlato & Althaus (2010), apresenta a distribuição da temperatura mínima para todo o período estudado (1936-2000) e para os subperíodos 1936-1969 e 1970-2000. Nesta figura, observa-se que além da mudança de distribuição de probabilidade, também nota-se que as últimas três décadas do século XX foram as mais quentes, principalmente no ano e no verão. Por exemplo, no ano, para o subperíodo 1970-2000, cerca de 80% dos dados estão acima da mediana de todo o período e cerca de 90% dos dados estão acima da mediana do primeiro subperíodo. Nota-se também que os extremos superiores de temperatura mínima (círculos cheios) do subperíodo 1970-2000 não diferem significativamente de todo o período.

do, mas estão bem acima do subperíodo 1936-1969, principalmente no ano, no verão e no outono.

Cordeiro et al. (2016), com uma série de dados do período 1950-2009 (equivalente a duas normais climatológicas), de 14 estações meteorológicas, também encontraram forte tendência de aumento da temperatura mínima no Rio Grande do Sul, com aumentos estatisticamente significativos a 1%, no outono (1,1 °C), na primavera (1,0 °C) e no verão e anual (0,9 °C) no período de 60 anos.

Também, Kuinchtner et al. (2007), analisando a variabilidade da temperatura do ar de cinco estações meteorológicas no norte do Estado (Cruz Alta, Iraí, Lagoa Vermelha, Passo Fundo e São Luiz Gonzaga) concluíram que houve tendência temporal significativa de aumento da temperatura mínima (0,02 °C/ano), ou 1,3 °C no período de 1938 a 2004 na região do Planalto rio-grandense. No entanto, Rossato (2011), analisando 30 estações meteorológicas do

Figura 8. Distribuição espacial da tendência linear da temperatura mínima (°C) para os trimestres (a) janeiro-fevereiro-março e (b) outubro-novembro-dezembro, estado do Rio Grande do Sul, período 1961-2005 (Adaptado de Costa & Marques, 2010).

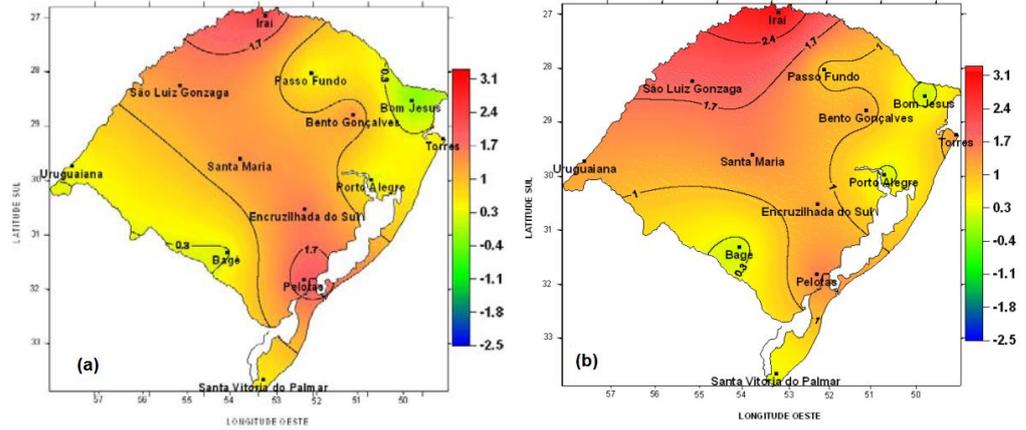


Figura 9. Distribuição da temperatura mínima média anual e estacional (°C), para três períodos (1936-1969, 1936-2000 e 1970-2000) no estado do Rio Grande do Sul (Berlato & Althaus, 2010). A linha cheia dentro da caixa representa o percentil 50% (mediana), o inferior da caixa representa o percentil 25% e o superior da caixa 75%, o traço inferior representa o percentil 10% e o superior 90%. Os círculos cheios representam os extremos.

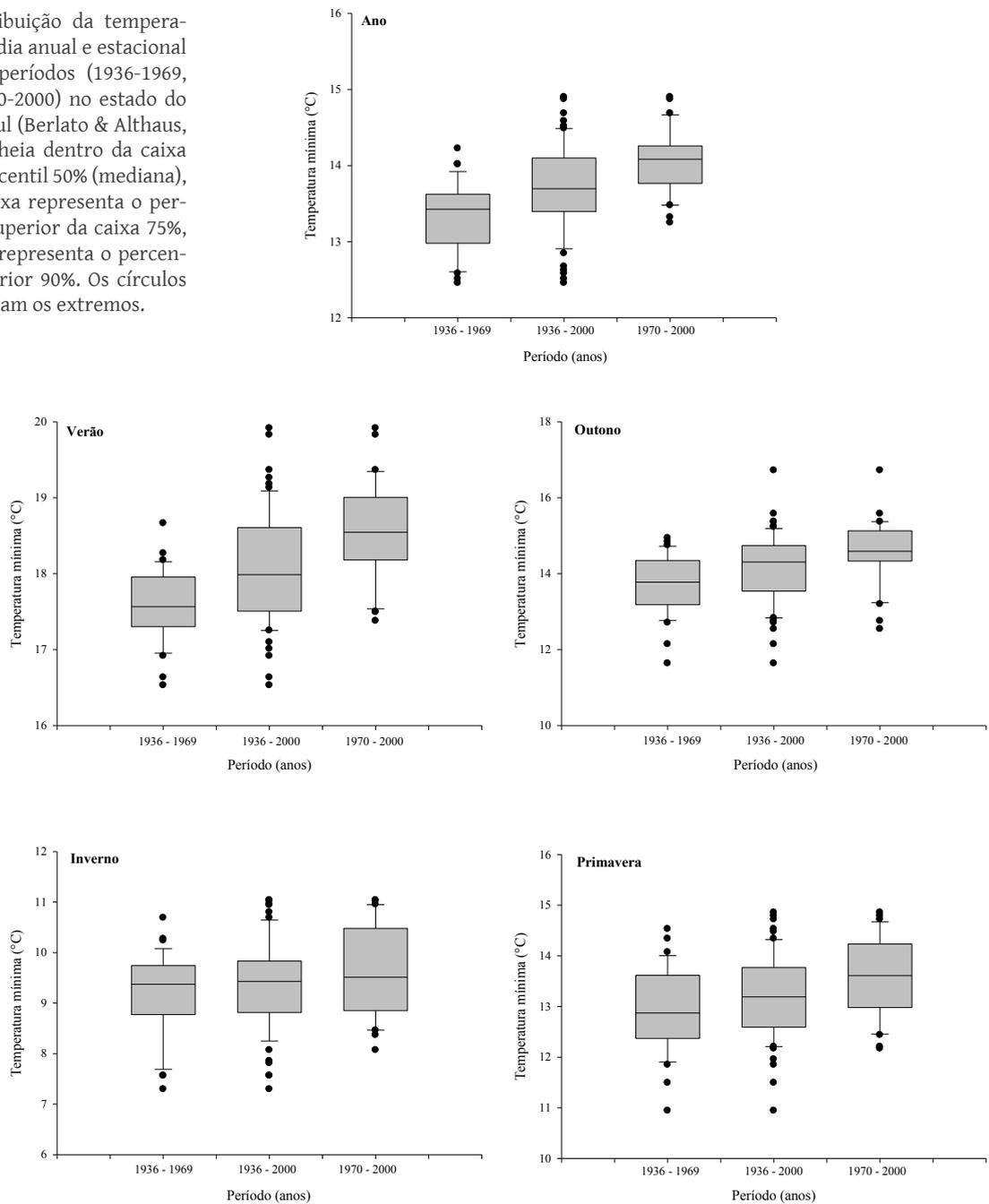
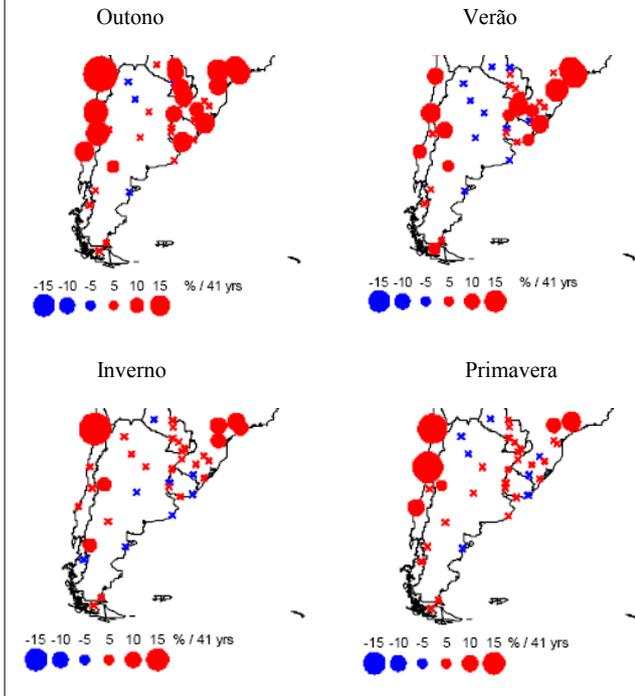


Figura 10. Tendência de dias com temperaturas mínimas altas (Tmin. no percentil >90), período 1960-2000, no sudeste da América do Sul, nas quatro estações do ano (Adaptado de Vincent et al., 2005).



Estado, período 1970-2007, encontrou tendência significativa de aumento linear da temperatura mínima média em apenas seis estações meteorológicas.

Rusticucci & Barrucand (2004) estudando a tendência de temperaturas extremas na Argentina, no período 1959-1998, mostraram que a estação do verão foi a que apresentou a mais forte tendência positiva da temperatura mínima, o que implicou em tendência negativa no número de noites frias no verão. A região nordeste da Argentina, que faz fronteira com o oeste do Rio Grande do Sul, concentrou o maior número de estações com forte tendência de aumento da temperatura mínima. Há coerência espacial com os dados apresentados por Berlato & Athaus (2010), expressos na Figura 7, indicando que a causa desta tendência é, muito possivelmente, um fenômeno de grande escala.

A Figura 10 (adaptada de Vincent et al., 2005) mostra o aumento de noites quentes para o SAS, que inclui o sul do Brasil. Observa-se que, no período de 1960-2000, houve grande aumento de noites quentes, especialmente no outono e no verão (Tmin. no percentil >90), o que está de acordo com Rustitucci & Barrucand (2004) para o verão. Sansigolo & Kayano (2010), analisando dados médios de seis estações meteorológicas do Rio Grande do Sul (Bagé, Passo Fundo, Porto Alegre, Santa Maria, Santa Vitória do Palmar e São Luiz Gonzaga), período 1913-2006, encontraram maiores aumentos da mínima no verão e no outono (1,9 °C/100 anos e 1,5 °C/100 anos, respectivamente), o que concorda com os resultados de Vincent et al. (2005), ape-

nas com a inversão das estações do ano, e com os resultados de Rustitucci & Barrucand (2004).

Mendonça (2006), estudando, entre outros aspectos, as tendências térmicas de 38 estações meteorológicas da Região Sul do Brasil, período 1961-2004, mostrou aumento linear significativo, principalmente, da temperatura média mínima, o que ocorreu em 36 das 38 localidades avaliadas. Das 14 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul, apenas Bom Jesus apresentou tendência negativa, o que concorda com os resultados de Costa & Marques (2010).

Ao considerar o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e sua influência nas temperaturas mínimas, Berlato & Althaus (2010) observaram, embora com exceções, que vários picos de temperaturas mínimas ocorrem em anos de El Niño e, mais claramente, diversos valores de baixas temperaturas mínimas ocorrem em anos de La Niña, na primavera e no verão, no Rio Grande do Sul (Figura 6). Na primavera, 86% das La Niña determinaram temperaturas mínimas mais baixas. Este fato foi corroborado por Cordeiro (2010), embora com período diferente de dados.

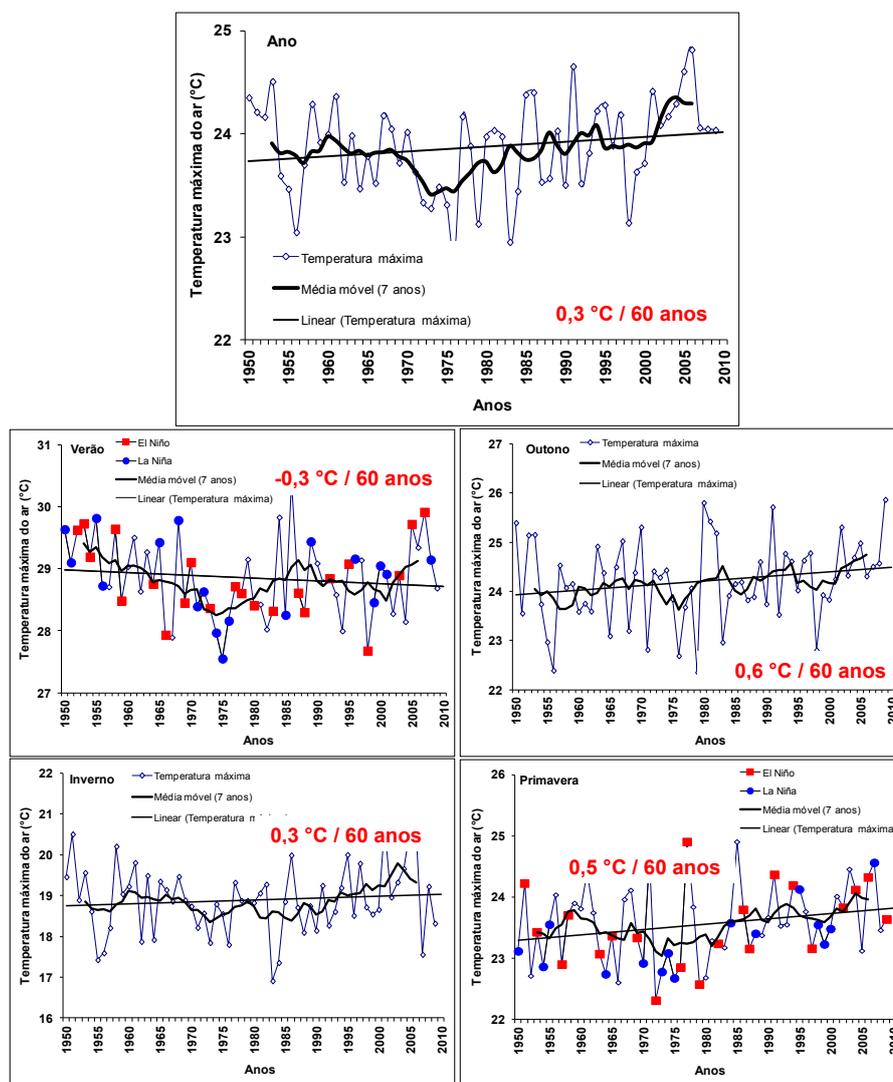
Lopes & Berlato (2003) também encontraram correlação positiva significativa entre temperatura da superfície do mar (TSM) da região do Niño 3.4 no Pacífico equatorial e temperatura mínima no Rio Grande do Sul. Diniz (2002) encontrou correlações positivas e estatisticamente significativas entre TSM da região dos Niños 4 e 3.4, no Pacífico, e temperatura mínima nas quatro regiões homogêneas de temperatura mínima do Rio Grande do Sul, principalmente no outono (abril) e na primavera (outubro). Mas, também, verificou correlações positivas e significativas com a TSM do Atlântico Sul, na costa da Região Sul do Brasil.

O mecanismo El Niño e temperatura mínima é simples: El Niño, comprovadamente, provoca, no Rio Grande do Sul, aumento de precipitação pluvial (Fontana & Berlato, 1997; Berlato & Fontana, 2003; Haylock et al., 2006), aumento da nebulosidade (Custódio et al., 2009; Custódio, 2016) e da umidade do ar (Mendonça, 2006). Essas condições à noite provocam menor perda de radiação de onda longa (OL↑) da superfície e, portanto, maior temperatura mínima.

Streck et al. (2011a) estudaram, para a estação meteorológica de Santa Maria/RS, com uma série quase secular de dados (1912-2009), a relação da tendência da temperatura com a ODP. Os autores concluíram que na fase fria da ODP de 1947-1976, houve decréscimo das temperaturas mínima e máxima, enquanto que nas duas fases quentes da ODP (1925-1946 e 1977-1998) houve aumento da temperatura mínima no primeiro período e aumento da máxima no segundo período.

Molion (2008a) relacionou a temperatura mínima de seis estações meteorológicas do Rio Grande do Sul (Bagé, Passo Fundo, Pelotas, Santa Maria, São Borja e São Luiz Gonzaga), período 1913-1998, com a fase fria da ODP (1947-1976). Encontrou que as médias das temperaturas mínimas

Figura 11. Tendência linear da temperatura máxima média do ar anual e estacional no estado do Rio Grande do Sul, período 1950-2009. (Adaptada de Cordeiro et al., 2016). Fonte de El Niño La Niña: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 10 jun. 2016.



foram até 1 °C mais baixas no período de junho a agosto, e até 2 °C mais baixas nos meses de outubro e novembro.

Número de dias de geadas

Consistente com o aumento da temperatura mínima, Berlato & Althaus (2010) mostraram também que houve redução, embora modesta, de dias com geadas (estimadas a partir de dias com temperatura mínima ≤ 3 °C, no abrigo meteorológico) no Rio Grande do Sul, período 1945-2005. No ano, houve redução média de, aproximadamente, quatro dias de geadas. Em geral, os mínimos de ocorrência de geadas ocorreram em anos de El Niño e os máximos ocorreram em anos de La Niña. Em relação à distribuição espacial do sinal de tendência linear do número de dias com geadas, no total (ano, outono, inverno e primavera) 70% das estações meteorológicas avaliadas apresentaram sinal negativo (redução de geadas), embora nem todos com significância estatística.

Streck et al. (2011b) ao estudar a tendência da temperatura mínima diária de relva (0,05m), período 1970-2009, para Santa Maria/RS, que é a variável meteorológica que

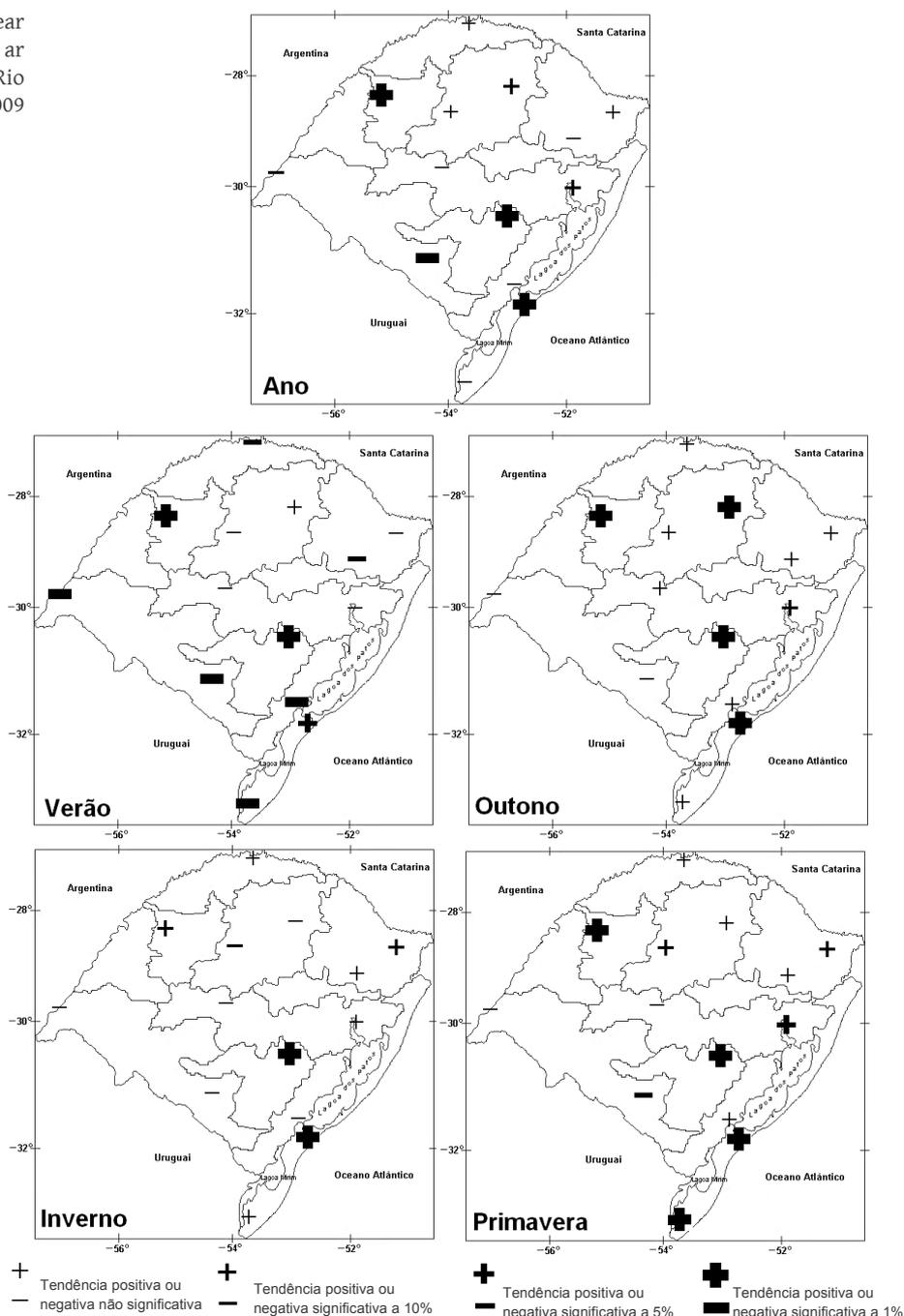
está mais associada à formação de geadas, encontraram tendência significativa de aumento da temperatura mínima de relva em cinco meses do ano (abril, junho, outubro, novembro e dezembro), ou seja, menor probabilidade de geadas precoce (abril). Também verificaram que o aumento iniciou, principalmente, na década de 1980.

Temperatura máxima do ar

Conforme Cordeiro et al. (2016), a temperatura máxima no Rio Grande do Sul no período de 1950 a 2009 apresentou tendência de aumento no ano (0,3 °C), no outono (0,6 °C) e na primavera (0,5 °C), sendo as duas primeiras estatisticamente significativas a 10%, e a última a 5%. No verão a tendência foi de redução (-0,3 °C) e no inverno, de aumento (0,3 °C), porém, ambas não estatisticamente significativas (Figura 11). A tendência de redução da temperatura máxima no verão é confirmada por Sansigolo & Kayano (2010), que encontraram significância estatística (-0,06 °C/década). Rustitucci & Barrucand (2004) encontraram tendência de redução de dias quentes no verão.

O trabalho de Cordeiro et al. (2016) para a temperatura

Figura 12. Sinal de tendência linear da temperatura máxima média do ar anual e estacional no estado do Rio Grande do Sul, período 1950-2009 (Cordeiro et al.,2016).

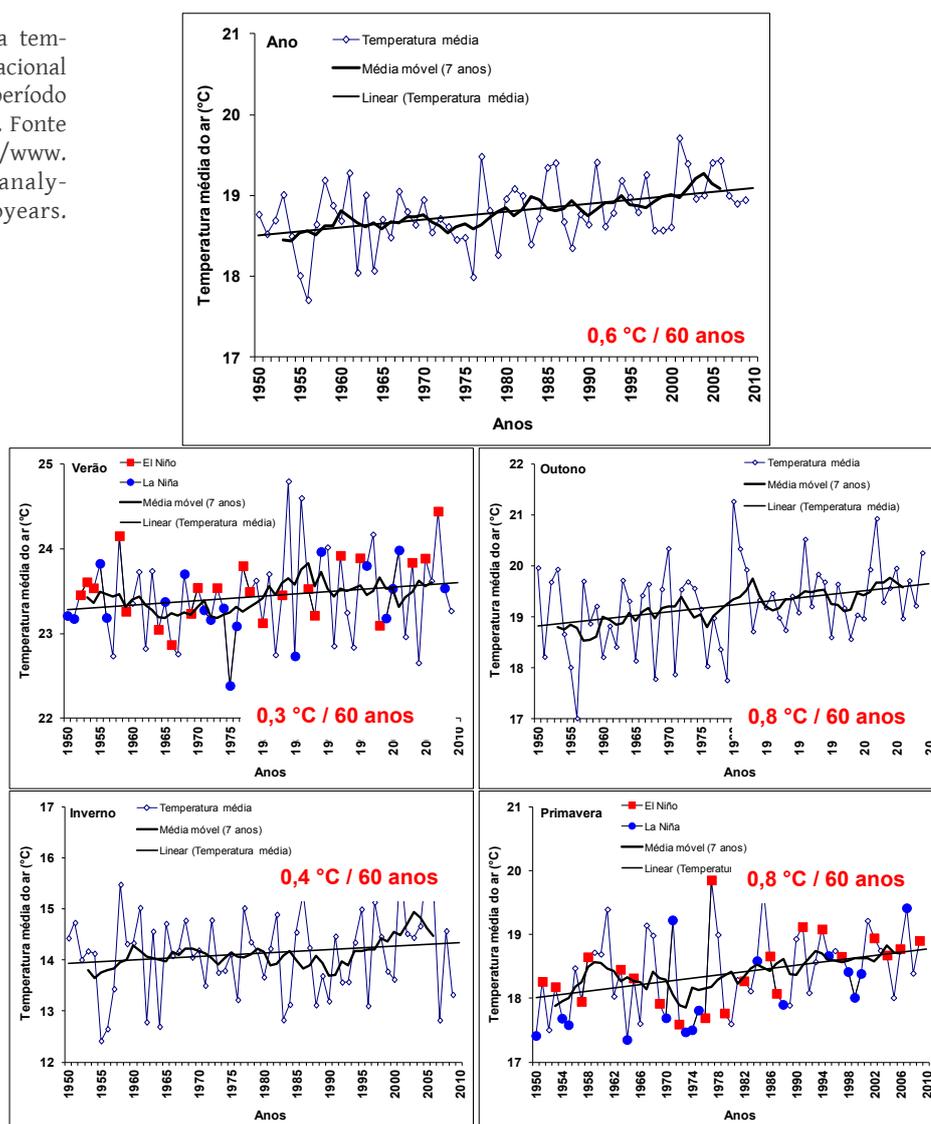


máxima do ar diverge daquele de Althaus & Berlatto (2007), que verificaram tendência negativa no ano e nas quatro estações do ano, e predominância do sinal negativo na distribuição espacial da temperatura máxima no Rio Grande do Sul. Segundo os autores essa divergência se deve, principalmente, aos períodos diferentes de dados analisados. Na Figura 12, tanto no ano como nas quatro estações do ano, a distribuição do sinal da tendência linear da temperatura máxima do ar apresenta baixa coerência espacial com poucas estações com sinal de tendência estatisticamente significativa, à exceção do verão que teve 60% das estações meteorológicas com tendências negativas e significância estatística. No verão, inclusive, a Campanha e Litoral Sul,

apresentaram redução altamente significativa (1%). A incongruência dos dados anuais (tendências contrárias), de verão e de inverno, ocorrida em Pelotas e Rio Grande, pode estar associada à mudança de local da estação de Rio Grande, o que pode provocar alterações nas séries históricas. Dessa forma, é mais provável que os dados de Pelotas sejam mais confiáveis.

Rusticucci & Barrucand (2004), encontraram forte tendência de redução da temperatura máxima no verão na grande maioria das estações meteorológicas do centro norte-nordeste da Argentina e encontraram também tendência de redução de dias quentes no verão. Marengo & Camargo (2008), encontraram para o Rio Grande do Sul,

Figura 13. Tendência linear da temperatura média do ar anual e estacional no estado do Rio Grande do Sul, período 1950-2009 (Cordeiro et al., 2016). Fonte de El Niño e La Niña: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 10 jun. 2016.



maior número de estações meteorológicas com tendência positiva da temperatura máxima, no verão, inverno e no ano, sendo que na fronteira sudoeste e sul do Estado as tendências foram negativas e com significância estatística, principalmente no verão, o que está de acordo com os resultados de Cordeiro et al. (2016). Já Kuinchtner et al. (2007) analisando a variabilidade da temperatura do ar de cinco estações meteorológicas no norte do Estado (Cruz Alta, Iraí, Lagoa Vermelha, Passo Fundo e São Luiz Gonzaga) concluíram que não houve tendência, positiva ou negativa, para a temperatura máxima, o que concorda com os resultados de Cunha et al. (2007) para Passo Fundo, que relataram que a temperatura máxima se manteve sem alteração no período 1917-2006. Rossato (2011) encontrou aumento da temperatura máxima média em apenas oito das trinta estações meteorológicas do Estado estudadas no período 1970-2007.

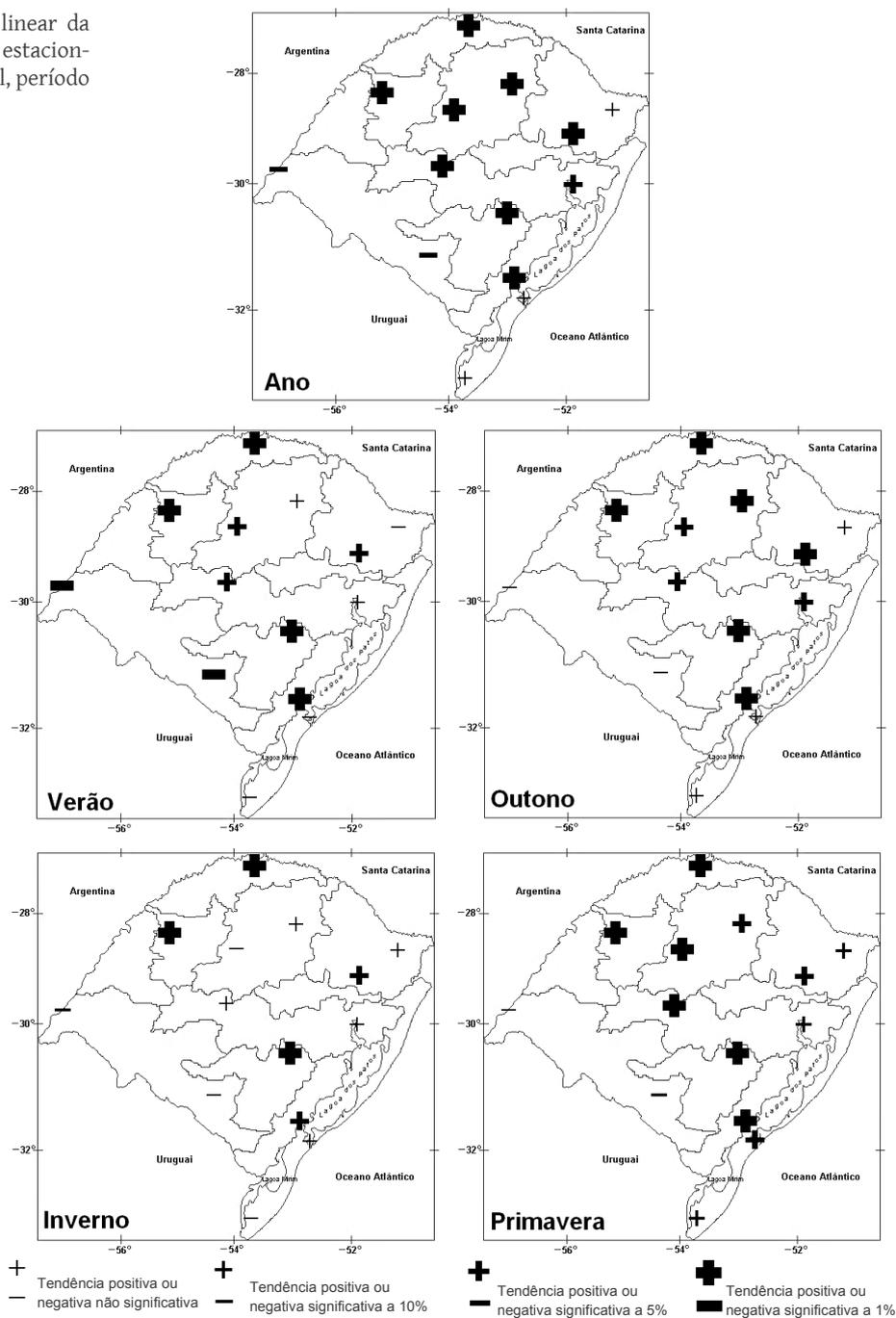
Para as temperaturas máximas Costa & Marques (2010) encontraram, em geral, para o Estado do RS, tendências menores de aumento do que para a mínima e também

tendências negativas. Os autores verificaram áreas relativamente grandes com tendências negativas, como no sudoeste do Estado, para os quatro trimestres do ano, em especial no outono e, na região serrana (Bento Gonçalves), também para os quatro trimestres. No entanto, no litoral, principalmente ao norte de Pelotas, bem como na região de São Luiz Gonzaga (noroeste) de Encruzilhada do Sul (sudeste), as tendências foram positivas, principalmente na primavera e verão.

Percebe-se que, no caso da temperatura máxima, quando houve aumento foram proporcionalmente inferiores aos aumentos ocorridos na temperatura mínima, conforme já discutido por outros autores (Martins et al., 2006; Steinmetz et al., 2007; Althaus & Berlatto, 2007), independente dos períodos avaliados por cada trabalho.

Na Figura 11 observa-se que o El Niño apresenta tendência de produzir efeito contrário na temperatura máxima em comparação à mínima, na primavera e verão. Isso é devido a que anos de El Niño são, em geral, anos de maiores precipitações pluviais, especialmente na primavera e iní-

Figura 14. Sinal de tendência linear da temperatura média do ar anual e estacional no estado do Rio Grande do Sul, período 1950-2009 (Cordeiro et al., 2016).



cio de verão no Rio Grande do Sul (Fontana & Berlato, 1997; Puchalski, 2000; Berlato & Fontana, 2003), menor insolação e, especialmente, maior nebulosidade diurna (Custódio et al., 2009), que contribui para a redução da temperatura máxima. Isso justifica o resultado encontrado por Sansigolo & Kayano (2010) de redução significativa da temperatura máxima no verão.

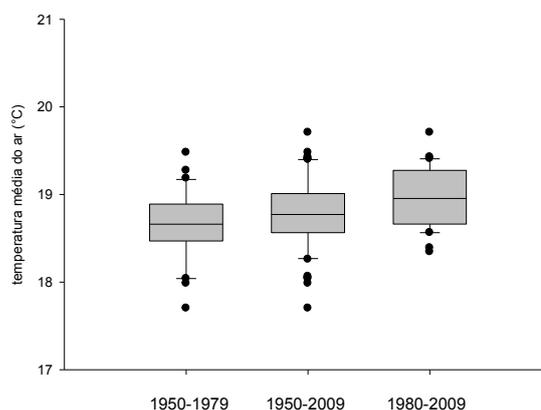
Temperatura média

Mota et al. (1993) usando a temperatura média de sete estações meteorológicas (Pelotas, Santa Vitória do Palmar, Bagé, Uruguaiana, São Luiz Gonzaga, Passo Fundo e Caxias

do Sul) como representativas para todo o estado do Rio Grande do Sul, encontraram um aumento da temperatura média anual de 0,5 °C para o Estado, no período 1913-1981.

Cordeiro et al. (2016) encontraram, para a temperatura média, a mesma tendência da temperatura mínima: aumento no ano e nas quatro estações do ano (Figura 13). Porém, com taxas de aumento bem menores que as da temperatura mínima e maiores que as da temperatura máxima. A tendência linear resultou, no período estudado, em um aumento médio de: 0,6 °C no ano; 0,8 °C na primavera, ambos estatisticamente significativos a 1%; 0,8 °C no outono, significativo a 5%; e 0,3 °C no verão, a 10%. No entanto, o inverno novamente teve aumento não estatisticamente

Figura 15. Distribuição da temperatura média do ar no estado do Rio Grande do Sul nos períodos 1950-1979, 1950-2009 e 1980-2009 (Cordeiro et al., 2016). A linha cheia dentro da caixa representa o percentil 50% (mediana), o inferior da caixa representa o percentil 25% e o superior da caixa 75%, o traço inferior representa o percentil 10% e o superior 90%. Os círculos cheios representam os extremos.



significativo (0,4 °C).

A distribuição do sinal da tendência linear da temperatura média do ar no Rio Grande do Sul apresentou coerência espacial semelhante à da temperatura mínima, principalmente no ano, verão, outono e primavera (Figura 14). Com exceção do inverno, as estações meteorológicas que apresentaram tendência de aumento da temperatura média do ar, em sua maioria foram aumentos estatisticamente significativos. Ainda conforme resultados de Cordeiro et al. (2016), a Região da Campanha também apresentou resultados discordantes das outras regiões climáticas do Estado, no que concerne à temperatura média, inclusive com redução estatisticamente significativa no ano e no verão.

Na análise de distribuição dos dados de temperatura média anual (Cordeiro et al., 2016), observa-se que cerca de 75% dos dados no período de 1980-2009 foi igual ou maior do que 50% das leituras no período de 1950-1979, indicando um aumento da temperatura média nas décadas mais recentes (Figura 15).

Cunha et al. (2007) na análise dos desvios da temperatura média anual, em relação à média da série climatológica (1917 a 2006), também encontraram tendência de aumento significativo na temperatura média do ar (0,8 °C) em Passo Fundo, no Planalto do Rio Grande do Sul. Como nesse trabalho não houve aumento da temperatura máxima, o aumento da média foi devido ao aumento da temperatura mínima, o que concorda com os resultados de Cordeiro et al. (2016).

Entretanto, Rossato (2011) não encontrou tendência linear significativa na série de temperatura média no Rio Grande do Sul, no período de 1970 a 2007, em nenhuma das 30 estações meteorológicas estudadas.

Embora com exceções, pode-se observar a influência do fenômeno El Niño – Oscilação Sul (ENOS) também na temperatura média do ar no Rio Grande do Sul, com destaque para La Niña, na primavera, em que 75% dos eventos determinaram temperaturas mais baixas (Figura 13).

Amplitude térmica

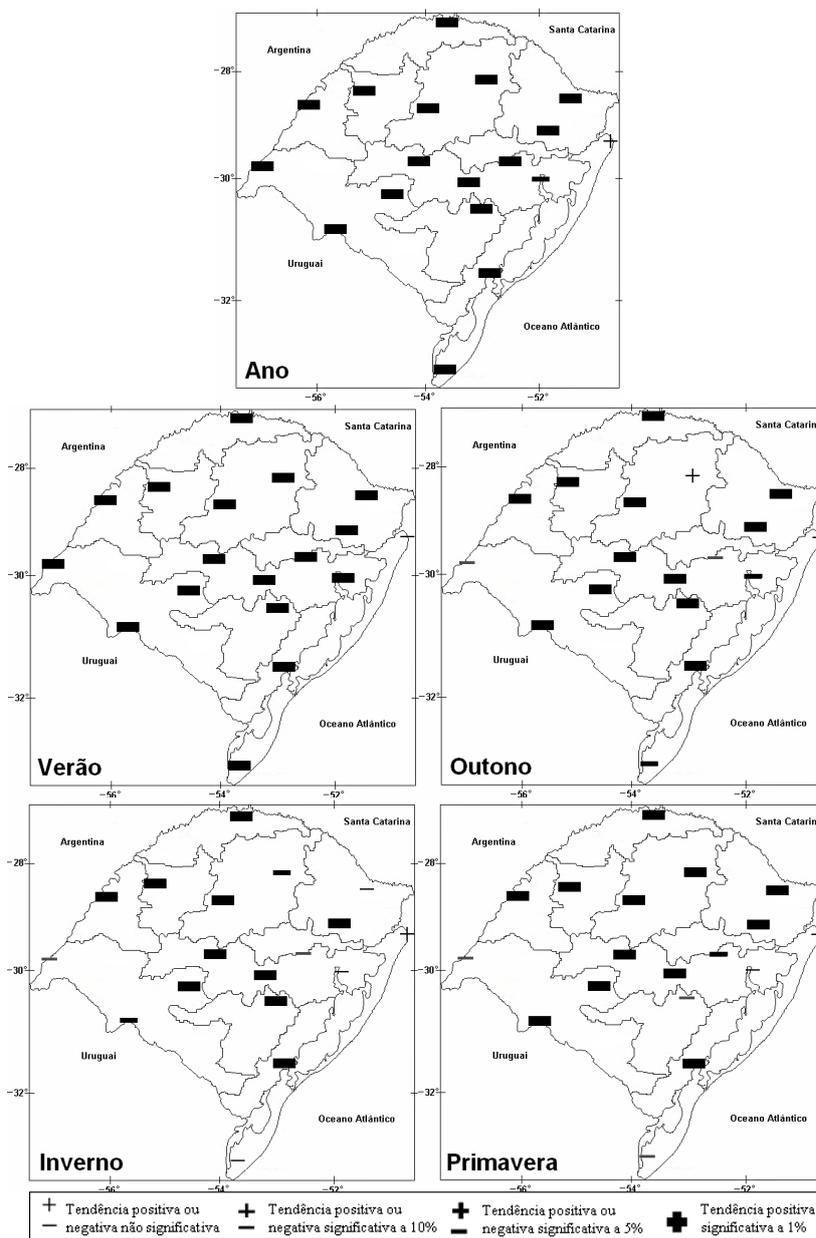
Como a temperatura mínima apresentou grande incremento no Rio Grande do Sul e a máxima apresentou pequena ou nula tendência de aumento e, em alguns casos, ocorreu decréscimo das temperaturas máximas, houve forte tendência de redução da amplitude térmica. A Figura 16 (Althaus & Berlato, 2007) mostra o sinal de tendência da amplitude térmica de 18 estações meteorológicas bem distribuídas no Estado, no período de 1936 a 2000. No ano e no verão, 94% das estações meteorológicas mostraram tendência, estatisticamente significativa, de redução da amplitude térmica, no outono 89%, no inverno 78% e na primavera 89%. Estes autores também observaram relação entre amplitude da temperatura e eventos ENOS. No período do ano do sinal mais forte desse fenômeno (primavera-verão), no Rio Grande do Sul, o El Niño, em geral, determina menores amplitudes térmicas e a La Niña determina, em geral, maiores amplitudes térmicas.

Estes resultados de Althaus & Berlato (2007) sobre a tendência da amplitude térmica, também estão de acordo com o de outros autores para o sudeste da América do Sul (Vincent et al., 2005), para a Região Sul do Brasil (Marengo & Camargo, 2008), para o Estado (Rossato, 2011) e para seis estações do norte do Rio Grande do Sul (Cruz Alta, Iraí, Lagoa Vermelha, Passo Fundo e São Luiz Gonzaga) (Kuinchtner et al., 2007).

Precipitação pluvial total e número de dias de precipitação pluvial

Berlato et al. (2007) estudaram a tendência da precipitação pluvial anual e estacional de 28 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul, período 1950-2002, mostrando coerente incremento espacial desta variável, tanto no ano como nas quatro estações do ano. No ano e no outono, 100% das estações meteorológicas apresentaram tendência de aumento da precipitação pluvial no período estudado; na primavera 93%; no verão 89%; no inverno 82%. O maior número de tendências estatisticamente significativas (nos níveis de 1%, 5% e 10%) ocorreu no ano e no outono.

Figura 16. Sinal de tendência linear dos desvios da amplitude térmica anual e estacional no estado do Rio Grande do Sul, período 1936-2000 (Althaus & Berlatto, 2007). Os desvios são relativos à normal climatológica 1961-1990



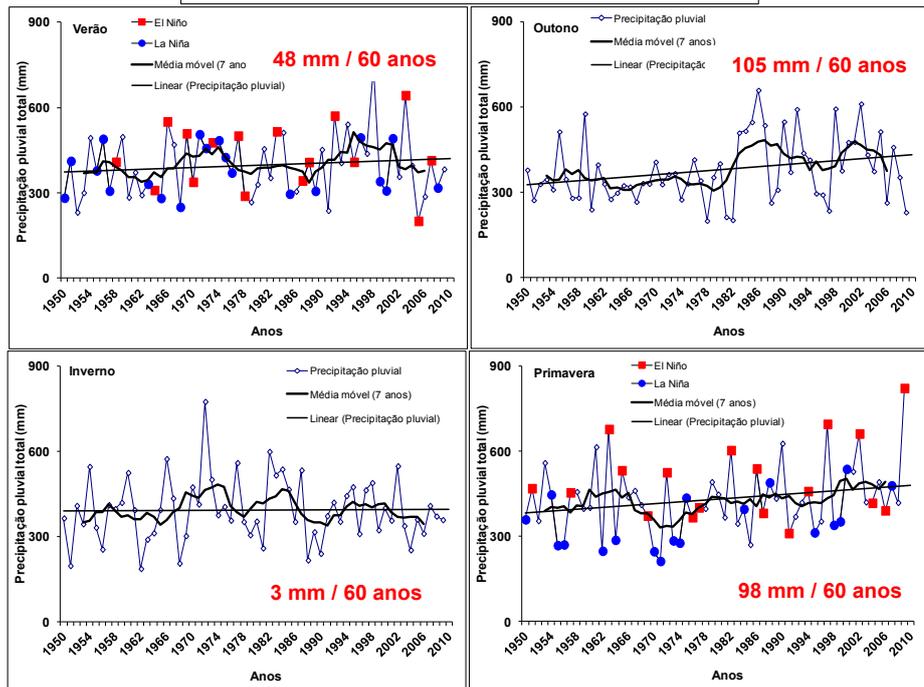
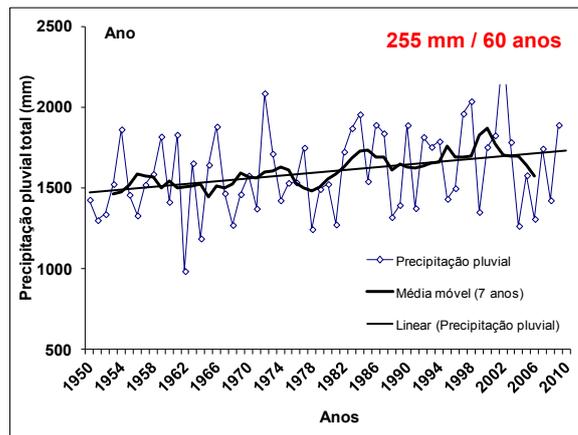
Cordeiro (2010), usando um período ligeiramente diferente (1950-2009), com metade do número de estações meteorológicas usadas por Berlatto et al. (2007), obteve resultados semelhantes, à exceção do inverno, conforme observado na Figura 17. O incremento total nos 60 anos foi de 255 mm (ou seja, uma taxa de 4,25 mm por ano), no outono 105 mm, na primavera 98 mm, no verão 48 mm e apenas 3 mm no inverno. Rossato (2011), utilizando 30 estações meteorológicas, período 1970-2007, encontrou aumento significativo da precipitação pluvial anual em 21 delas (70%). Cunha et al. (2007) mostraram para Passo Fundo/RS um aumento linear de 4,4 mm por ano, para o período 1917-2006, ou seja, 396 mm em 90 anos, taxa anual semelhante a encontrada por Cordeiro (2010) para todo o Estado.

Na Figura 18, observa-se também ampla coerência espacial do sinal de aumento da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul, especialmente no ano, no outono e prima-

vera. No ano, 100% das estações meteorológicas utilizadas tiveram sinal de aumento, a maioria com significância estatística (nos níveis de significância de 1%, 5% e 10%). Na primavera e no outono, 93% das estações mostram incremento da precipitação pluvial, também com maioria mostrando sinais estatisticamente significativos. No verão 85% apontaram para aumento desta variável, embora com minoria de sinal estatisticamente significativo. Sansigolo & Kayano (2010), ao considerar o período 1913 a 2006, encontraram aumento da precipitação pluvial em seis locais do RS, com significância estatística apenas no verão (9,3 mm/década).

Pinheiro et al. (2013) avaliaram a presença de tendência temporal da precipitação pluvial anual, em 18 estações pluviométricas, com séries de dados superiores a 60 anos, na Região Sul do Brasil, sendo que cinco estações pluviométricas estão no Rio Grande do Sul (São Francisco de Pau-

Figura 17. Tendência linear da precipitação pluvial total anual e estacional no estado do Rio Grande do Sul, período 1950-2009 (Cordeiro, 2010). Fonte de El Niño e La Niña: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 10 jun. 2010.



la, Canguçu, Cruz Alta, Caxias do Sul e Cacequi). Os autores encontraram tendência significativa em 16 das 18 estações. No Rio Grande do Sul, houve acréscimo da precipitação pluvial anual nas estações de Caxias do Sul, Canguçu e Cacequi.

Sanches et al. (2016) estudando a tendência das precipitações pluviais mensais, trimestrais e anuais no período 1957-2014, para Erechim, utilizando dados de três estações do Alto Uruguai (municípios de Erechango, Quatro Irmãos e Erechim) não encontraram indícios de tendências nas séries pluviométricas avaliadas. Em análise das séries históricas de precipitação pluvial de Alegrete/RS, período 1928-2009, Sanches et al. (2013) também não observaram evidências de mudanças.

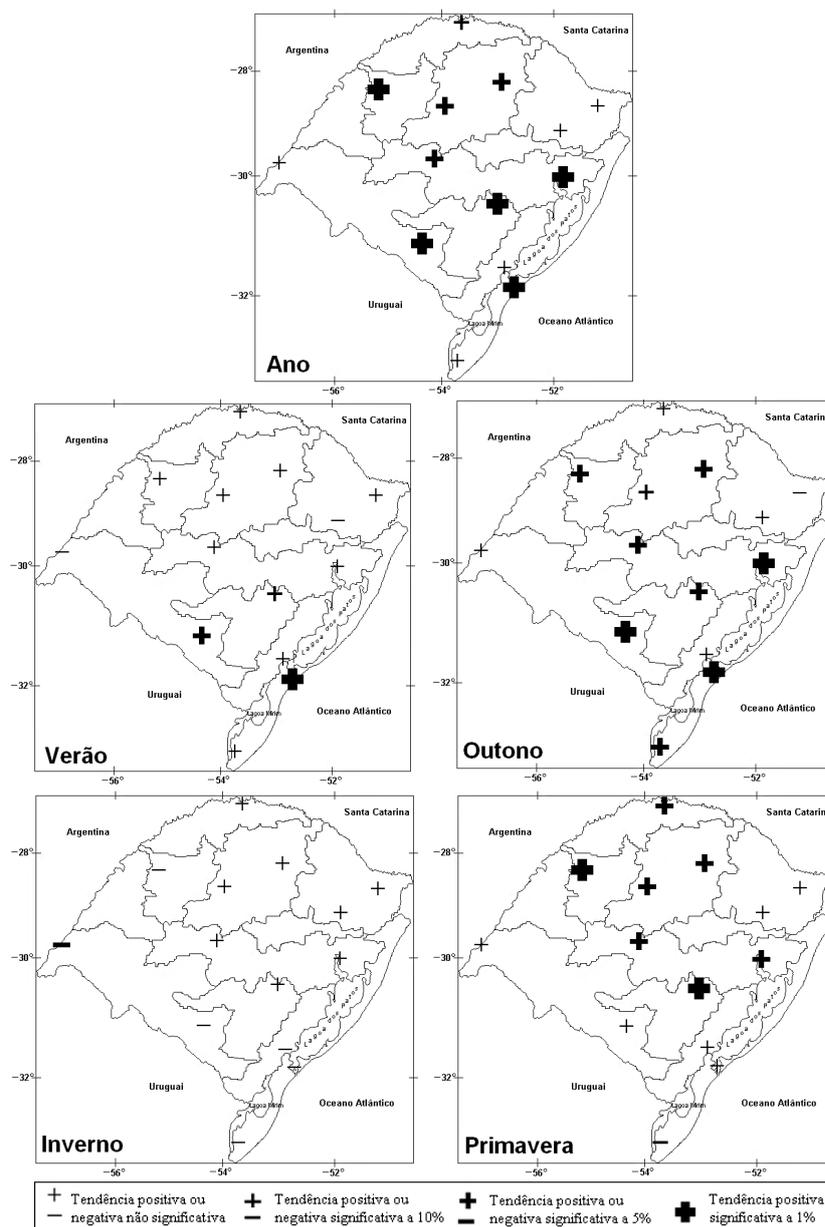
Sanches et al. (2014) estudaram a tendência de dias com precipitações pluviais intensas de quatro postos pluviométricos de Alegrete/RS, período 1928-2009. Os autores detectaram tendências positivas de precipitações pluviais diárias em abril (≥ 1 mm e ≥ 10 mm), em fevereiro (≥ 20 mm

e ≥ 100 mm), em novembro (≥ 80 mm) e tendência negativa em janeiro (≥ 50 mm). Os aumentos de dias com precipitações intensas foram relacionados com o problema da arenização do sudoeste do Rio Grande do Sul.

Haylock et al. (2006), em estudo de 54 estações da América do Sul, período 1960-2000, encontraram, principalmente para o SAS (Figura 19), dominância do sinal positivo (aumento) da precipitação pluvial anual, da intensidade média da precipitação pluvial anual, do número de dias por ano com precipitações pluviais intensas (≥ 10 mm, ≥ 20 mm) e do número de dias com precipitação pluvial que superam os percentis 95 e 99 (estes dois últimos índices são em relação à distribuição da precipitação pluvial de 1961-1990), ou seja condições mais úmidas na região, nesse período.

A Figura 20 mostra a relação entre a precipitação pluvial anual do Rio Grande do Sul e a TSM da região do Niño 3.4 do Pacífico equatorial, para o período 1950-2002, evidenciando a relação positiva existente entre elas (Berlato et al., 2007).

Figura 18. Sinal de tendência linear da precipitação pluvial total anual e estacional no estado do Rio Grande do Sul, período 1950-2009 (Cordeiro, 2010).



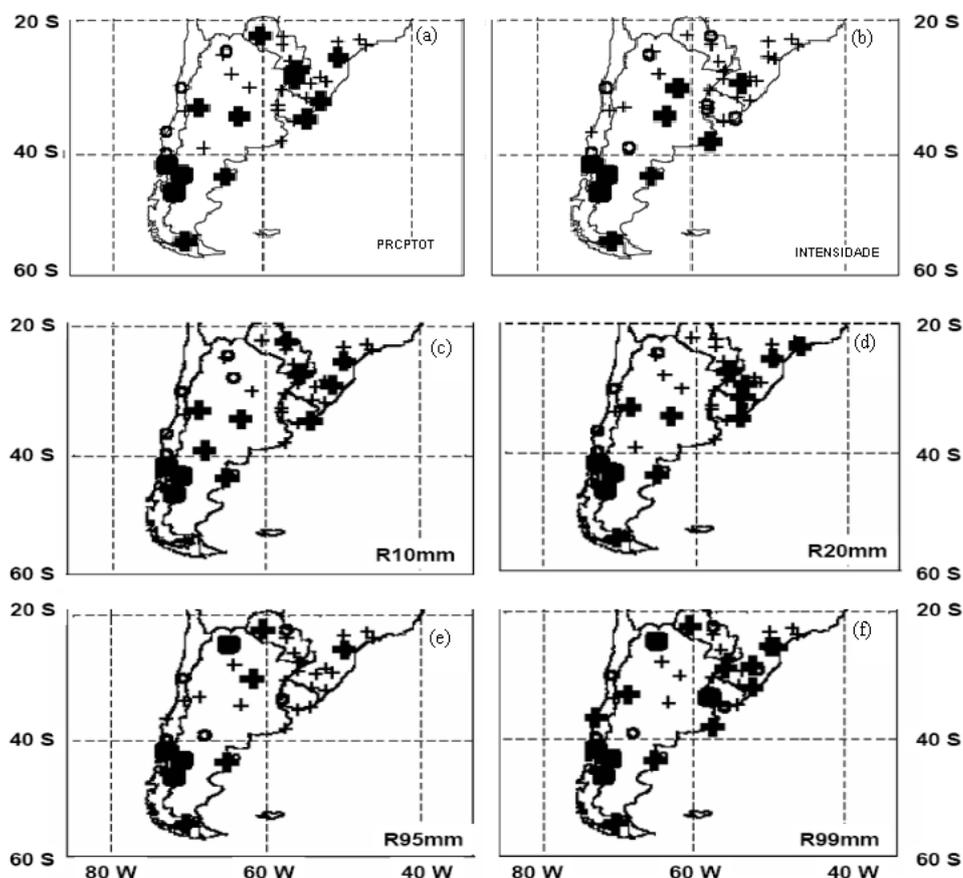
A tendência e variabilidade da precipitação pluvial, pelo menos em grande parte, é também devido aos eventos de El Niño e La Niña. Observa-se, especialmente, na primavera, que a grande maioria dos eventos de baixa precipitação pluvial são anos de La Niña e que a grande maioria dos picos de precipitação pluvial são anos de El Niño (Figura 17).

Fontana & Berlato (1997) estudaram a climatologia dos impactos temporais e espaciais do ENOS na precipitação pluvial do Rio Grande do Sul, com 29 estações meteorológicas, período 1913-1995. Concluíram que os maiores impactos positivos de El Niño, como negativos de La Niña, na precipitação pluvial no Estado, ocorrem na primavera e início de verão do ano de início do fenômeno (ano 0), com o que chamaram de “repique” do fenômeno no final do outono do ano seguinte (ano+1) e que a região noroeste do Estado é a mais afetada por esses fenômenos. Esses resul-

tados foram confirmados posteriormente por outros autores, principalmente para o período principal dos impactos (Puchalski, 2000; Montecinos et al., 2000; Grimm et al., 2000). A maior deficiência de precipitação pluvial em anos de La Niña ocorre, destacadamente, no mês de novembro do ano de início do fenômeno. Tanto isso, como a ocorrência do “repique” no ano+1, para La Niña no Estado, foram demonstrados por Marengo & Oliveira (1998), que estudaram os impactos de seis eventos de La Niña (1964/1965, 1970/1971, 1973/1974, 1975/1976, 1988/1989, 1995/1996) na precipitação pluvial do Brasil.

A Figura 21 (Puchalski, 2000) mostra o trimestre de maior sinal dos fenômenos ENSO (Outubro-Novembro-Dezembro), sendo que no El Niño, praticamente 80% dos dados estão acima da mediana dos anos neutros, concordando com Grimm et al. (2000), que mostraram maior sinal do El Niño na precipitação pluvial no sul do Brasil.

Figura 19. Sinal de tendência linear (a) da precipitação pluvial total anual (mm); (b) da intensidade média da precipitação pluvial anual (mm/dia); (c) do número de dias por ano com precipitação pluvial ≥ 10 mm; (d) do número de dias por ano com precipitação pluvial ≥ 20 mm; (e) do número de dias por ano com precipitação pluvial no percentil 95; (f) do número de dias por ano com precipitação pluvial no percentil 99 (os últimos dois índices são em relação à distribuição de 1961-1990), no sudeste da América do Sul (SAS), período de 1960 a 2000 (Adaptado de Haylock et al., 2006).



Barros et al. (2008) estudando a tendência da precipitação pluvial relacionada às fases de ENOS, período 1960-1999, mostraram que no sul do Brasil, nordeste da Argentina e no Paraguai, a metade da tendência de aumento da precipitação pluvial foi devido ao El Niño, com menor contribuição de La Niña e anos neutros.

Diaz et al. (1998), estudando a precipitação pluvial de 40 estações meteorológicas, período 1917-1980, do Uruguai e do Rio Grande do Sul, mostraram estreita relação entre anomalias da precipitação pluvial e a TSM do Pacífico e do Atlântico. Marques (2005) mostrou que no trimestre de outubro a dezembro no Rio Grande do Sul, as anomalias positivas de precipitação pluvial ocorrem em eventos quentes de ENOS e anomalias negativas em eventos frios.

Molion (2008a), usando dados observacionais e de reanálise (NCEP/NCAR), do período 1948-2007, estudou a variabilidade climática do Brasil relacionando com a ODP. O autor verificou que os totais pluviométricos de algumas regiões do País, entre elas o sul do Brasil, apresentaram correlações entre 0,5 e 0,8, com nível de confiança de 99,5%.

Nesse estudo, também verificou-se que na fase fria da ODP os totais pluviométricos foram entre 10 e 30% inferiores a da recente fase quente da ODP (1977-1998).

Streck et al. (2009) também encontraram associação entre precipitação pluvial e ODP para a região de Santa Maria/RS, período 1912-2008, onde décadas com precipitação pluvial acima da normal climatológica correspondem à fase quente da ODP e décadas com precipitação pluvial abaixo da normal estão associadas à fase fria da ODP do Pacífico.

Prestes et al. (2010) e Prestes (2011), para Porto Alegre/RS e Bagé/RS respectivamente, também verificaram relação entre a ODP e precipitação pluvial, demonstrando que na fase fria da ODP (1947-1976) as precipitações pluviométricas anuais, em geral, eram menores do que os valores normais.

Fontana & Almeida (2002) analisaram os dias com precipitação pluvial, período 1913-1998, com 32 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul, calculando as normais climatológicas padrão de 1931-1960 e de 1961-1990, bem como a tendência do número anual de dias com precipi-

Figura 20. Relação entre a TSM da região do Niño 3.4 e a precipitação pluvial total anual do estado do Rio Grande do Sul, período 1950-2000 (Berlato et al., 2007) *significativo a 1%.

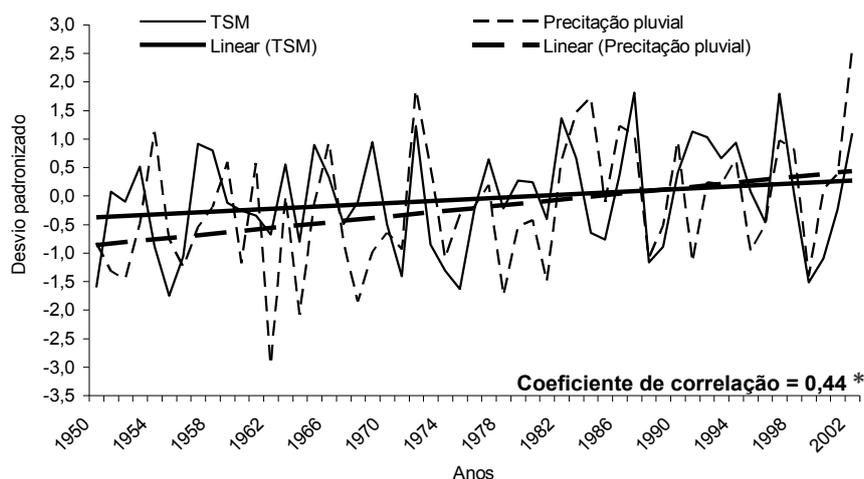
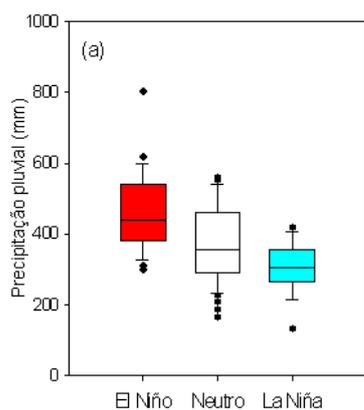


Figura 21. Distribuição da precipitação pluvial total (mm) dos meses de outubro a dezembro associada ao El Niño e La Niña e neutro, no estado do Rio Grande do Sul, período 1914-1998 (Puchalski, 2000). A linha horizontal no interior da caixa representa o percentil 50 (mediana); os fins da caixa, os percentis 25 e 75; as barras, os percentis 10 e 90; os círculos cheios, os valores extremos.



tação pluvial. As autoras verificaram um aumento linear significativo de aproximadamente um dia de precipitação pluvial a cada três anos, totalizando nos 86 anos um incremento de cerca de 35 dias (Figura 22b), sendo esse aumento associado ao ENOS, com maior número de dias com precipitação pluvial em anos de El Niño e menor em anos de La Niña. A comparação das duas normais climatológicas padrão mostrou aumento do número de dias com precipitação pluvial em todo o Estado; a diferença positiva da normal padrão de 1961-1990 em relação à de 1931-1960 variou de cinco dias no Baixo Vale do Uruguai a mais de 20 dias no Planalto Superior e Litoral Médio e Norte do Estado (Figura 22a). Além disso, observou-se aumento significativo do número de dias com precipitação pluvial, no verão e na primavera, em todas as regiões do Estado.

Minuzzi & Lopez (2014) estudando a variabilidade de

índices de precipitação pluvial para 32 estações hidrológicas, de um período variável (47 a 81 anos), concluíram que houve aumento tanto da precipitação pluvial total, como no número de dias com precipitação pluvial (>1 mm), principalmente no outono e primavera. Entretanto, houve poucas estações com significância estatística a 5% e 10%. Já Rossato (2011) encontrou poucas estações meteorológicas com aumento significativo de dias precipitação pluvial anual no período de 1970-2007 e Cunha et al. (2007), embora para a estação de Passo Fundo/RS, não encontraram alteração do número de dias com precipitação pluvial, no período de 1917-2006.

Insolação e nebulosidade

Custódio et al. (2007) estudando a tendência temporal da insolação (brilho solar) relativa (n/N) do Rio Grande do Sul, de 18 estações meteorológicas, do período 1971-2000, observaram tendência de redução anual e estacional, com exceção do inverno, onde houve pequena tendência de aumento. No ano, verão e primavera a tendência da redução foi estatisticamente significativa.

Cordeiro (2010), analisando 14 estações meteorológicas do Estado para o período 1950-2009 (Figura 23), observou redução significativa (estatística a 1%) da insolação anual e para as quatro estações do ano. No período estudado, a redução linear do número de horas de brilho solar foi de 248 horas no ano, 69 no verão, 62 no outono, 51 no inverno e 60 horas na primavera.

Além disso, no verão e na primavera, fica evidente os efeitos do ENOS também na insolação no Rio Grande do Sul, onde verifica-se que a maioria dos eventos El Niño coincidem com valores menores de insolação e a maioria dos eventos La Niña com os valores maiores.

Na Figura 24 observa-se ampla coerência espacial do sinal da tendência de redução da insolação no Rio Grande do Sul. No período estudado, 86% das estações meteorológicas apresentaram tendência de redução da insolação no

Figura 22. Diferença entre as normais anuais 1961-1990 e 1931-1960 (mm) (a) e tendência linear no período 1913-1998 do número anual de dias com precipitação pluvial (b) no estado do Rio Grande do Sul (Fontana & Almeida, 2002).

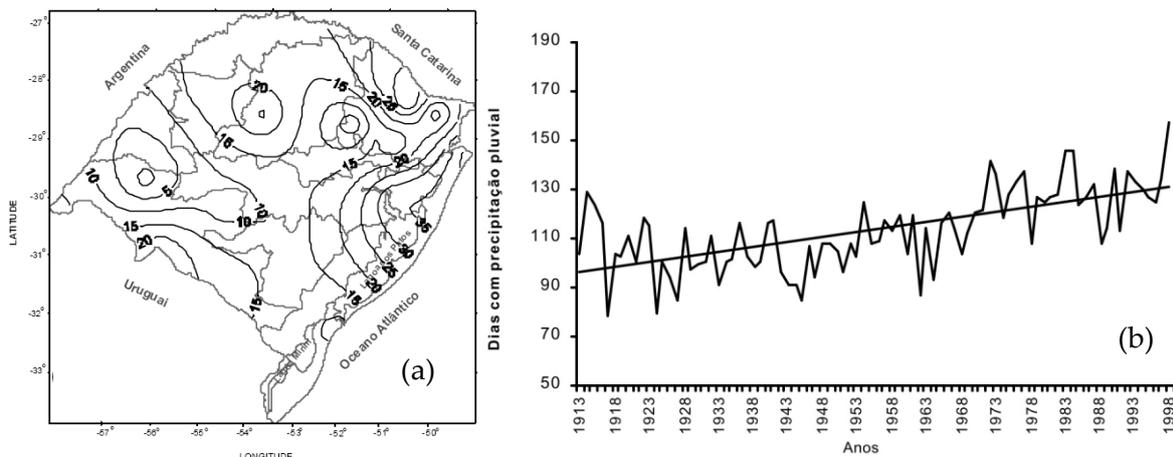


Figura 23. Tendência linear da insolação total anual e estacional no estado do Rio Grande do Sul, período 1950-2009 (Cord-iro, 2010).

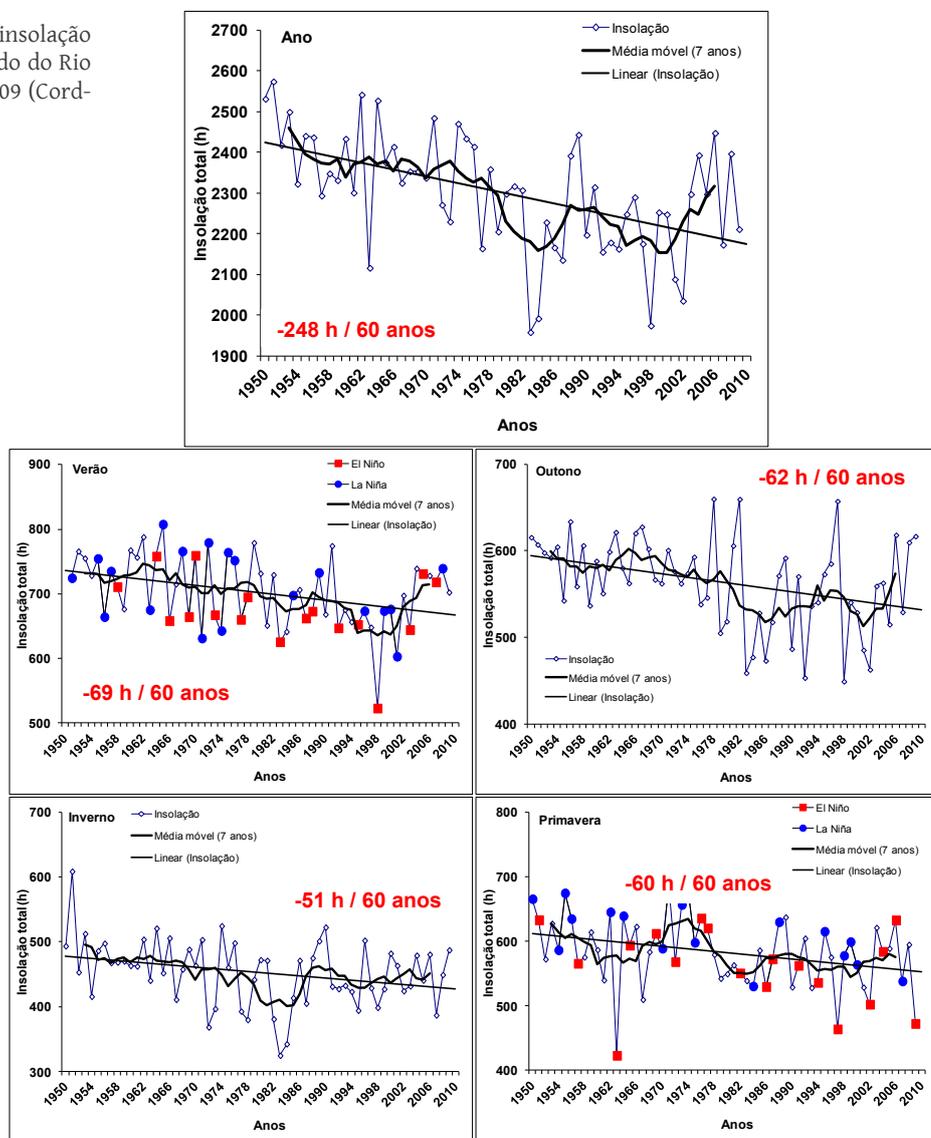
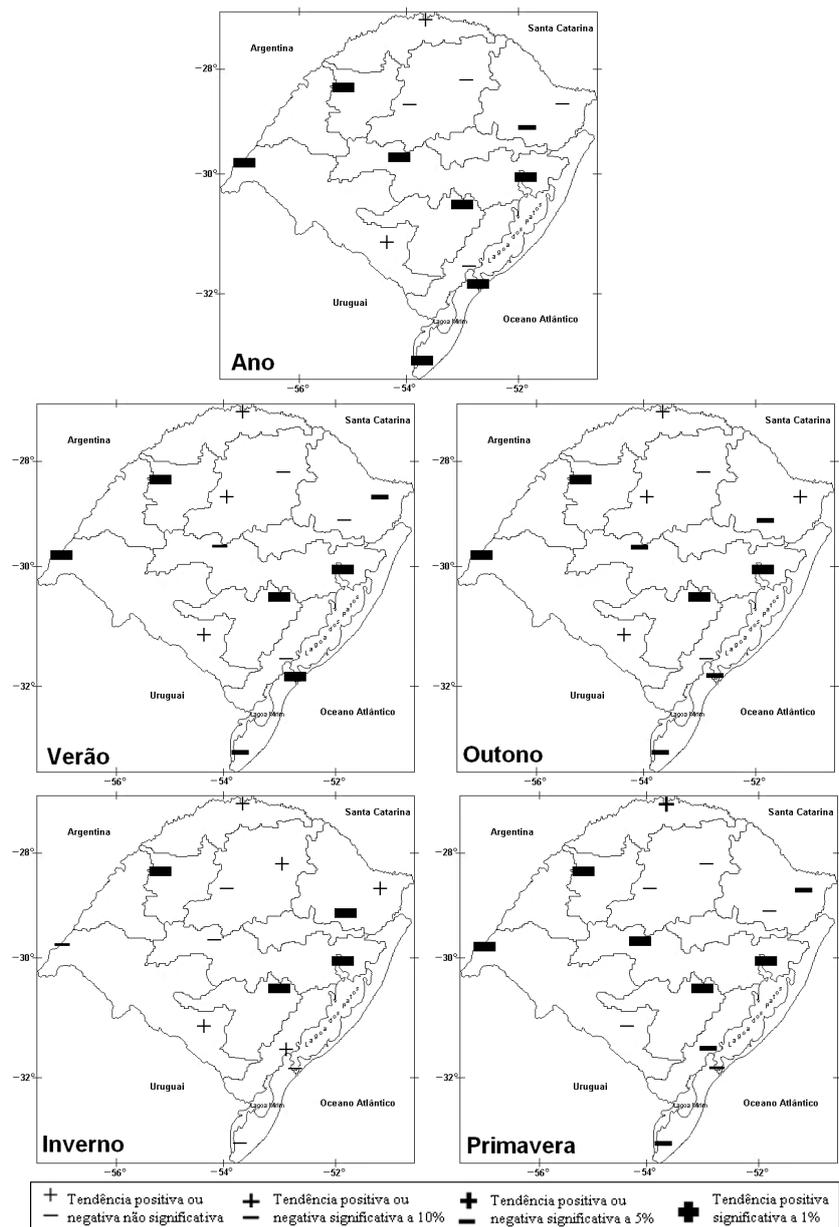


Figura 24. Sinal de tendência linear da insolação total anual e estacional no estado do Rio Grande do Sul, período 1950-2009 (Cordeiro, 2010).



ano; no verão 79%; no outono 71%; no inverno 64%; e na primavera 93%, tendências estatisticamente significativas na maioria dos casos (Cordeiro, 2010).

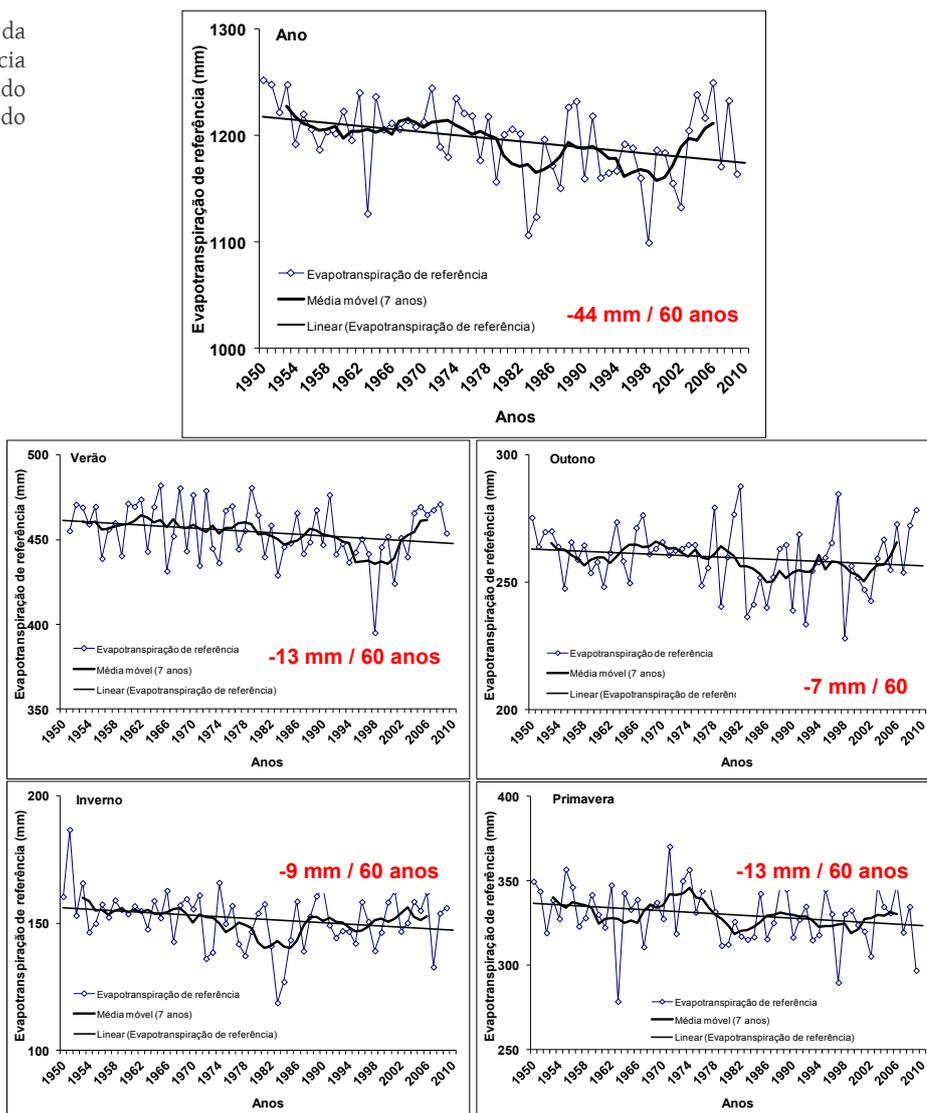
Paula et al. (2015) encontraram para a região de Santa Maria/RS, período 1912-2011, sinal do ENOS na insolação, mais marcante para a fase fria do fenômeno (La Niña) que causou maiores médias mensais de brilho solar em outubro, novembro, dezembro, abril e maio. Encontraram também sinal da fase fria da ODP (período 1947-1976) com brilho solar maior na primavera. No entanto, somente para o município de Santa Maria/RS houve semelhança aos resultados relatados por Cordeiro (2010).

Em relação à nebulosidade, Custódio et al. (2009) mostraram aumento da nebulosidade diurna do Rio Grande do Sul, período 1960-2005, para o ano e para as quatro estações do ano, sendo que para o ano, outono e verão o aumento foi estatisticamente significativo. Resultados co-

erentes com a redução da insolação observada por Custódio et al. (2007) e Cordeiro (2010), embora com períodos diferentes estudados. Custódio (2016) estudou os impactos do ENOS no índice de nebulosidade diurna de 17 estações meteorológicas do Estado, período 1960-2005, chegando a conclusão que o maior impacto tanto do El Niño, como da La Niña foi no final da primavera e início do verão, com maior nebulosidade durante os eventos quentes do ENOS e menor nebulosidade nos eventos frios, o que concorda com os resultados para a insolação e precipitação pluvial, observados anteriormente.

A tendência observada de redução da insolação e aumento da nebulosidade diurna é também muito coerente com as tendências de aumento da precipitação pluvial total (Martins & Berlato, 2005; Berlato et al., 2007; Cordeiro, 2010), com o aumento do número de dias com precipitação pluvial (Fontana & Almeida, 2002) e com o aumento

Figura 25. Tendência linear da evapotranspiração de referência total anual e estacional no estado do Rio Grande do Sul, período 1950-2009 (Cordeiro, 2010).



da umidade do ar (Mendonça, 2006; Rossato, 2011) no Rio Grande do Sul.

Umidade do ar

As tendências de aumento da umidade específica do ar, expressa em termos de água precipitável (Kg.m^{-2}) pela integração da umidade específica da superfície até o nível de 500mb, foram significativas na primavera e no verão (5% de probabilidade) no período 1948 a 2013. O maior aumento observado foi na primavera e no noroeste do Estado. No período estudado houve cerca de 14% de aumento da umidade na primavera (Comunicação pessoal do Prof. Dr. Júlio R. Q. Marques, da UFPel). Esses dados são coerentes com as tendências observadas na precipitação pluvial, no número de dias precipitação pluvial, insolação e nebulosidade diurna, vistos anteriormente.

Mendonça (2006) encontrou tendência de aumento linear significativo da umidade relativa do ar em 64% das 14 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul estudadas,

período 1960-2004.

Rossato (2011) estudando a tendência linear desta variável em 27 estações meteorológicas, encontrou tendência significativa de aumento em 56% delas, no período 1970-2007. Especialmente, a autora encontrou pequena tendência linear de aumento da umidade relativa do ar na porção central do Rio Grande do Sul, estendendo-se para o nordeste do Estado sobre o Planalto Basáltico, assim como no Litoral. No entanto, no sudoeste do Estado houve tendência de redução da umidade relativa.

Evapotranspiração de referência (ET_o)

Cordeiro (2010) mostrou que nos 60 anos de estudo (1950-2009), a tendência da evapotranspiração de referência foi de redução, no ano e nas estações do ano (Figura 25). A redução linear da evapotranspiração de referência no período foi de 44 mm no ano; sendo que o verão e a primavera apresentaram maior redução (13 mm), enquanto que no inverno esta foi de 9 mm. No ano, a redução foi

Tabela 1. Comparação de duas normais climatológicas anuais do Rio Grande do Sul (Adaptado de Cordeiro, 2010).

Elemento	1950-1979	1980-2009	Diferença
meteorológico			
Precipitação pluvial (mm)	1.522	1.672	150 (+10%)
Temp. mínima (°C)	13,5	13,9	0,4 (+3%)
Temp. máxima (°C)	23,8	24,0	0,2 (+0,8%)
Temp. média (°C)	18,5	18,8	0,3 (+1%)
Insolação (horas)	2.377	2.226	-151 (-6,4%)

estatisticamente significativa a 1% e nas demais estações do ano a 5%, exceto o outono que não apresentou significância estatística.

A evapotranspiração de referência, estudada por Cordeiro (2010), foi obtida pelo método de Priestley & Taylor (1972), que apesar de utilizar parâmetros baseados na temperatura média do ar, é determinada fortemente pelo saldo de radiação. Nesse sentido como a insolação no Rio Grande do Sul diminuiu no período estudado e como ela está fortemente correlacionada com a radiação solar global e, conseqüentemente, com o saldo de radiação, houve redução da demanda evaporativa da atmosfera, resultando em redução da evapotranspiração de referência.

Ainda segundo Cordeiro (2010), ao analisar as tendências de variáveis derivadas do Balanço Hídrico Seriado, utilizando uma capacidade de armazenamento de água do solo de 100 mm, verificou que a evapotranspiração real (ET_r) aumentou e o déficit hídrico diminuiu, no período de 1950 a 2009, como consequência lógica da tendência de aumento da precipitação pluvial e de redução da evapotranspiração de referência, no Estado.

Como já comentado, nos últimos anos (aproximadamente, seis a sete anos) da série estudada até 2009, houve uma tendência de redução da precipitação pluvial no ano, no verão e no outono (Figura 17). Coincidente e coerentemente, houve aumento da insolação e aumento da evapotranspiração de referência, nesse último período da série estudada (figuras 23, 25).

Comparação de duas normais climatológicas anuais

A Tabela 1, segundo dados de Cordeiro (2010), mostra que no último período de 30 anos estudados (1980-2009) a precipitação pluvial anual, média do Rio Grande do Sul, aumentou em 150 mm (aproximadamente, 10% de aumento). Ávila (1994) já havia mostrado que a normal climatológica padrão de 1961-1990 da precipitação pluvial anual é maior que a de 1931-1960, fato confirmado por Fontana & Almeida (2002). Viana et al. (2006), comparando duas normais climatológicas (períodos 1945-1974 e 1975-2004), da precipitação pluvial do Rio Grande do Sul, encontraram em 23 das 24 estações meteorológicas utilizadas, aumento do segundo período em relação ao primeiro, de 8% para o ano,

17% para o outono e 9% para a primavera. A temperatura mínima anual aumentou 0,4 °C, a temperatura máxima anual aumentou 0,2 °C e a temperatura média aumentou 0,3 °C (Tabela 1). Por outro lado, a insolação teve um decréscimo anual de 151 horas do primeiro para o segundo período (aproximadamente, redução de 6,4%). As normais mensais podem ser encontradas em Cordeiro (2010) para 14 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul

Considerações finais

- Suficientes evidências observacionais mostram mudanças no sistema climático global e regional, que incluem o aumento de extremos climáticos em diversos continentes, nas últimas décadas;

- Embora haja controvérsia sobre as causas do aquecimento global é possível afirmar que este fenômeno seja devido ao aumento do efeito estufa, provocado pelas atividades humanas, primeiramente pela queima de combustíveis fósseis e, secundariamente, pelo desmatamento, queimadas e uso do solo, liberando para a atmosfera gases de efeito estufa (GEE);

- A Terra está com balanço radiativo positivo, ou seja, está absorvendo mais calor que o emitido para o espaço, aquecendo os oceanos (maior reservatório de calor do Globo) e provocando o aumento da temperatura, por causa do aumento do efeito estufa;

- As diversas Convenções Climáticas globais realizadas até então, visando ao compromisso de redução das emissões de GEE pelos países signatários ou não dos acordos climáticos, não têm surtido o efeito esperado, pois a sua concentração atmosférica continua aumentando nos últimos anos;

- Os continentes e o oceano absorvem 50% do CO₂ emitido para a atmosfera. Mas a pergunta dos cientistas é: a continuar o aumento do CO₂ esta percentagem de absorção continuará ou haverá um ponto de saturação?

- A temperatura global (oceano e continente) já aumentou quase a metade 0,85 °C (no período 1880-2012) das metas das Convenções Climáticas, no máximo 2 °C até o final do século, e mais da metade do compromisso complementar assumido na COP 21 de Paris de 2015, que buscava limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C. A continuar o ritmo de emissões de GEE e de aumento da temperatura correntes, a meta de 1,5 °C é, no mínimo, desafiadora;

- Os anos mais quentes da série histórica de medidas da temperatura global desde 1880 ocorreram após o ano 2000, com exceção de 1998 (ano do forte evento de El Niño 1997-1998). O ano de 2016 foi o ano mais quente já registrado e, junto com 2014 e 2015, são os três anos recordes históricos;

-A elevação do nível do mar, cujas taxas vêm aumentando nos últimos anos, representa séria ameaça de inundação aos pequenos países insulares, além de impor risco

a uma parcela expressiva da humanidade, visto que 60% da população mundial vive em regiões costeiras;

- A acidificação do oceano tem impacto negativo nos ecossistemas marinhos, como, por exemplo, os recifes de corais;

- Em geral, há aumento de noites quentes, precipitações pluviais mais intensas, ondas de calor, e redução de dias e noites frias, redução da amplitude térmica e redução de geadas severas;

- A precipitação pluvial aumentou ou diminuiu, dependendo do continente, gerando tanto aumento de inundações como de seca;

- Nas regiões temperadas do globo o aumento da temperatura prolonga a estação de crescimento das culturas e o período livre de geadas. Isto já é fato concreto em algumas regiões do oeste dos Estados Unidos. As avaliações conduzidas nas diversas regiões do globo, abrangendo amplo espectro de regiões e cultivos, indicam que os impactos negativos superam os positivos;

- Os novos modelos globais do IPCC 2013 mostram continuação do aquecimento do sistema climático global no presente século, que varia de menos de 2 °C, para o cenário otimista (baixas emissões de GEE) a 4,8 °C, para o cenário pessimista (altas emissões de GEE). Os modelos também projetam continuação da elevação do nível do mar e da acidificação do oceano;

- Para o sudeste da América do Sul (SAS), principalmente a região que inclui o extremo sul do Brasil as projeções indicam aumentos amenos da temperatura, para o cenário otimista e para os dois marcos de tempo (2046-2065 e 2081-2100). Mas para o cenário pessimista e para o final do século o aquecimento desta região seria bem maior (possivelmente mais de 3°C). Há projeção de aumento da precipitação pluvial para essa região, mas com maior certeza para o cenário de grandes emissões de GEE com maior incremento para 2081-2100 (15-20%), o que está de acordo com o que vem sendo observado nas últimas décadas nessa região;

- As maiores implicações da mudança climática são projetadas para as últimas duas décadas do século XXI no cenário de altas emissões de GEE, o que requer medidas sérias de combate, pois senão as gerações futuras estarão ameaçadas;

- No Rio Grande do Sul, as principais evidências observacionais mostradas de tendências climáticas indicam que para a temperatura mínima há grande concordância entre os autores, que demonstram aumento significativo dessa variável, principalmente no verão e no outono. Coerente com o aumento da temperatura mínima, houve aumento de noites quentes (verão e outono). Houve ligeira redução de geadas;

- Em relação à tendência da temperatura máxima, parece não haver consenso entre os estudos realizados no RS,

que apresentam aumentos (embora pequenos), decréscimos e até estagnação no mesmo patamar inicial, além de não identificarem consistência espacial da temperatura. No entanto, vários trabalhos concordam com a tendência negativa no verão, mostrando que a tendência da temperatura máxima diminuir é associada ao efeito do El Niño na nebulosidade diurna;

- No estado do RS, foi constatado aumento, em geral, da temperatura média do ar, atribuído ao forte aumento da mínima. Interessante ressaltar que, tanto a temperatura mínima como a temperatura média, tiveram aumentos mais acentuados nos últimos trinta anos das séries estudadas;

- Há unanimidade nos trabalhos revisados mostrando redução da amplitude térmica, determinada pelas tendências observadas nas temperaturas mínima e máxima ocorrentes no RS;

- Com base nos estudos avaliados é possível afirmar que houve aumento da precipitação pluvial anual, com predominância para a primavera e o outono. No período de 30 anos, de 1980-2009, a precipitação pluvial anual na quase totalidade do Rio Grande do Sul aumentou cerca de 10%, em relação à normal climatológica de 1950-1979;

- Além do aumento da precipitação pluvial anual e estacional, houve aumento da intensidade média da precipitação anual (mm/dia) e aumento de precipitações diárias intensas. Esses resultados são extensivos ao Uruguai, Paraguai centro e nordeste da Argentina, mostrando uma tendência para condições mais úmidas dessa região, pelo menos nas quatro últimas décadas do século XX;

- O número de dias de precipitação pluvial, na média de todo o Estado, apresentou tendência de aumento, principalmente na primavera e verão;

- A insolação (duração do brilho solar) apresentou forte tendência de redução no RS, no ano e nas quatro estações do ano, e, coerentemente, a nebulosidade diurna teve tendência de aumento;

- Consistente com a nebulosidade e precipitação pluvial, especialmente, a umidade do ar, apresentou tendência significativa de aumento na primavera e verão, especialmente na região noroeste do Rio Grande do Sul. Também a umidade relativa do ar apresentou tendência de aumento, na quase totalidade do Estado;

- A evapotranspiração de referência apresentou redução significativa no ano e nas estações do ano, com exceção do outono;

- O inverno sul-rio-grandense foi a estação do ano que apresentou as mais fracas tendências climáticas;

- Considerando as informações disponibilizadas e discutidas neste trabalho, é possível afirmar que o clima do Rio Grande do Sul apresentou mudanças, especialmente nas últimas décadas;

- A variabilidade e tendência das variáveis meteorológicas

cas do Rio Grande do Sul estão associadas, em grande parte, às anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) do Pacífico equatorial (fenômenos El Niño e La Niña). Há, também, indicação de relação de alguns elementos meteorológicos com a ODP (Oscilação Decadal do Pacífico), o que faz sentido, pois esses dois modos de oscilação da temperatura do Oceano Pacífico são semelhantes. Também influencia nessas tendências a associação da TSM do Atlântico Sul com a precipitação pluvial do Estado;

- Os resultados encontrados no Rio Grande do Sul, especialmente precipitação pluvial e temperatura, são coerentes com os observados no SAS. Mas são consistentes, também, com os sinais de mudanças climáticas observadas em escala global;

- A relação das diversas variáveis meteorológicas com os fenômenos El Niño e La Niña, especialmente, se reveste de grande importância prática para a agricultura gaúcha. Graças ao conhecimento atual destes fenômenos e dos impactos positivos ou negativos que eles exercem sobre os diversos cultivos agrícolas e também, graças à previsibilidade com vários meses de antecedência, o produtor rural pode planejar, de forma mais racional suas atividades do ano agrícola, no sentido de minimizar os prejuízos ou tirar proveito de prognósticos favoráveis; e

- Adaptação e mitigação são as palavras de ordem para enfrentar as mudanças climáticas que já estão ocorrendo, e, segundo o IPCC, continuarão no século XXI.

Referências

ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; TANK, A. M. K.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F. TAGIPOUR, A.; KUMAR, K. R.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; I, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, Washington, v. 111, p. 1-22, 2006.

ALTHAUS, D.; BERLATO, M. A. Tendências observadas das temperaturas máximas e mínimas e da amplitude térmica do estado do Rio Grande do Sul, período 1936-2000. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 19, 2007, Porto Alegre, *Anais...*Porto Alegre, 2007. CD-ROM.

ALVES, L. M.; MARENGO, J. Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 100, p. 337-350, 2010.

AMAYA, D. J.; XIE, S-P.; MILLER, A. J.; MCPHADEN, M. J. Seasonality of tropical Pacific decadal trends associated with the 21st century global warming hiatus. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 120, p. 6782-6798, 2015.

ASADICH, B.; KRAKAUER, N. Y. Global trends in extreme precipitation: climate models versus observations. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 19, p. 877-891, 2015.

ÁVILA, A. M. H. *Regime de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul com base em séries de longo prazo*. 1994. 75 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.

BARROS, V. R.; DOYLE, M. E.; CAMILLONI, I. A. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 93, n. 1, p. 19-33, 2008.

BERLATO, M. A.; FONTANA D. C. *El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003. 110 p.

BERLATO, M. A.; MARTINS, E. J.; CORDEIRO, A. P. A.; ODERICH, E. H. Tendência observada da precipitação pluvial anual e estacional do estado do Rio Grande do Sul e relação com a temperatura da superfície do mar do Oceano Pacífico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOLOGIA, 15, 2007, Aracaju. *Anais...SBA*, 2007. CD-ROM.

BERLATO, M. A.; ALTHAUS, D. Tendência observada da temperatura mínima e do número de dias de geadas do estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v. 16, n.1, p. 7-16, 2010.

BIONDI, F.; GERSHUNOV, A.; CAYAN, D. North Pacific decadal variability since 1661. *Journal of climate*, v. 14, p.5-10, 2001.

BROHAN, P.; KENNEDY, J. J.; HARRIS, I.; TETT, S. F. B.; JONES, P. D. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new data set from 1850. *Journal of Geophysical Research*, v. 111, p. 1-21, 2006.

CHENG, L.; TRENBERTH, K. E.; FASULO, J.; BOYER, T.; ABRAHAM, J.; ZHU, J. Improved estimates of ocean heat contents from 1960-2015. *Science Advances*, v.3, n.3, p. 1-10, 2017.

CHOU, S. C.; BUSTAMANTE, J. F.; GOMES, J. L. Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America. *Nonlinear Processes in Geophysics*, v. 12, p. 537-555, 2005.

CORDEIRO, A. P. A. *Tendências climáticas das variáveis meteorológicas originais, estimadas e das derivadas do balanço hídrico seriado do Rio Grande do Sul*. 2010. 273f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CORDEIRO, A. P. A.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; ALVES, R. de C. M. Tendências climáticas das temperaturas do ar no estado do Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Pernambuco, v. 9, n.3, p. 868-880, 2016.

COSTA, C. da; MARQUES, J. R. Tendência Sazonal das Temperaturas Mínimas e Máximas no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. *Anais...SBMET*, 2010. CD-ROM.

CUNHA, G. R. da; DALMAGO, G. A.; NICOLAU, M.; PASINATO, A. *Análise de tendências na temperatura do ar e na precipitação pluvial na região de Passo Fundo, RS*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 15 p. HTML (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento online, 48). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPQ-2010/40321/1/p-bp48.pdf>>

CUSTÓDIO, M. de S.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Insolação no Rio Grande do Sul: Climatologia e Tendência Temporal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOLOGIA, 15., 2007, Aracaju. *Anais...* CD-ROM.

CUSTÓDIO, M. de S.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Nebulosidade diurna no Rio Grande do Sul, Brasil: Climatologia e tendência temporal. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v. 15, n.1, p. 45-52, 2009.

CUSTÓDIO, M. de S. Índice de nebulosidade diurna do estado do Rio Grande do Sul: climatologia e impactos do El Niño Oscilação Sul. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 382-392, 2016.

DIAZ, A. F.; STUJZINSKI, C. D.; MECOSO, C. R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic oceans. *Journal of Climate*, v. 11, p. 251-271, 1998.

DINIZ, G. B. *Preditores visando a obtenção de um modelo de previsão climática de temperaturas máxima e mínima para regiões homogêneas do Rio Grande do Sul*. 2002. 167f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DOYLE, M. E.; BARROS, V. B. Precipitation Trends in Southeastern South America: Relationship with ENSO Phases. In: *Proceedings of 8 ICSHMO*, Foz do Iguacu, Brazil, INPE, p. 1513-1517, 2006.

- FONTANA, D. C.; ALMEIDA, T. S. Climatologia do número de dias com precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 135-145, 2002.
- FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 127-132, 1997.
- FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, G.; HAYLOCK, M.; KLEIN TANK, A. M. G.; PETERSON, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the century. **Climate Research**, v. 19, p. 193-212, 2002.
- GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 13, p. 35-58, 2000.
- HANSEN, J.; NAZARENCO, L.; RUEDY R.; SATO, M.; WILLIS, J.; GENIO, A. DEL; KOCH, D.; LACIS, A.; LO, K.; MENON, S.; NOVAKOV, T.; PERLWITZ, J.; RUSSEL, G.; SCHMIDT, G. A.; TA1435USNEV, N. Earth's energy imbalance: confirmation and implications. **Science**, v. 308, p. 1431-1435, 2005.
- HANSEN, J.; RUEDY, R.; SATO, M.; LO, K. Global surface temperature change. **Reviews of Geophysics**, v. 48, p. 1-29, 2010.
- HANSEN, J.; SATO, M.; RUEDY, R. **Global temperature update through 2012**. Disponível em: <www.nasa.gov/.../719139main_2012_GISTEMP_sub>. Acesso em: 12 abr. 2013.
- HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T.; ABREU DE SOUSA, J. R.; ALVES, L. M., AMBRIZZI, T.; BAEZ, J.; BARBOSA DE BRITO, J. I., BARROS, V. R.; BERLATO, M. A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GRIMM, A. M.; DOS SANTOS, R. J.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.; MARINO, M. B.; MEIRA, P. R.; MIRANDA, G. C.; MOLION, L.; MUNCUNIL, D. F.; NECHET, D.; ONTANEDA, G.; QUINTANA, J.; RAMIREZ, E.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; VARILLAS, I. T.; VILLANUEVA, J. G.; VINCENT, L.; YUMICO, M. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, Boston, v. 19, n. 8, p. 1490-1512, 2006.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2001: Working Group II: Impacts, adaptations and vulnerability**. Disponível em: <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/009.htm>. Acesso em: 17 jan. 2005.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis (Summary for Policymakers)**. Cambridge. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents>. Acesso em: 30 mar. 2008.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2013. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, I. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2014: **Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático** [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 p.
- JONES, P. D.; NEW, M.; MARTIN, S.; RIGOR, G. Surface air temperature and its changes over the past 150 years. **Reviews of Geophysics**, v.37, n.2, p. 173-199, 1999.
- KUINCHTNER, A.; SIMÕES, J. C.; BURIOL, G. A. Variabilidade da temperatura do ar próximo à superfície no Planalto Meridional-riograndense. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 15, n. 3, p.232-240, 2007.
- LOPES, F.; BERLATO, M. A. Relações entre a temperatura da superfície do mar da região do Niño 3.4 e a temperatura média mínima do estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13. 2003, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: SBA, 2003.
- LOPES, F.; BERLATO, M. A. **Tendência linear da temperatura mínima média anual do estado do Rio Grande do Sul, período de 1913-2003**. Porto Alegre, 2004, (não publicado).
- MAGRIN, G. O.; MARENGO, J. A.; BOULANGER J. P.; BUCKERIDGE, M. S.; CASTELLNOS E.; POVEDA, G.; SCARANO, F. R.; VICUÑA, S. 2014: Central and South America. In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V. R.; Ebi, Y. O.; Estrada, R. C.; Genova, B.; Girma, E. S.; Kissel, A. N.; Levy, S.; MacCracken, P. R.; Mastrandea and L. L. White (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp.1499-1566.
- MANTUA, N. J.; HARE, S. R.; ZHANG, Y.; WALLACE, J. M.; FRANCIS, R. C. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, p. 1069-1079, 1997.
- MARENGO, J. A.; OLIVEIRA, G. S. de. Impactos do fenômeno La Niña no tempo e clima do Brasil: desenvolvimento e intensificação de La Niña 1998/99. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, Brasília, **Anais...**Brasília, SBMET, 1998. CD-ROM.
- MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960-202. **International Journal of Climatology**, v. 28, p. 893-904, 2008.
- MARQUES, J. R. Q. **Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul e sua relação com indicadores oceânicos**. 2005. 209f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- MARTINS, E. J.; ODERICH, E. H.; BERLATO, M. A. Tendência linear das temperaturas máximas e mínimas do estado do Rio Grande do Sul. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 18, 2006, Porto Alegre. **Anais...**Porto Alegre: UFRGS, 2006. CD-ROM.
- MARTINS, E. J.; BERLATO, M. A. Tendência linear da precipitação pluvial anual e estacional no estado do Rio Grande do Sul. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17, 2005, Porto Alegre. **Anais...**Porto Alegre: UFRGS, 2005. CD-ROM.
- MEEHL, G. A.; HU, A.; ARBLASTER, J. M.; FASULLO, J.; TRENBERTH, K.E. Externally Forced and Internally Generated Decadal Climate Variability Associated with the Interdecadal Pacific Oscillation. **Journal of Climate**, v.26, p. 7298-7310, 2013.
- MENDONÇA, F. Aquecimento global e suas manifestações regionais e locais: alguns indicadores da Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.2, p. 71-86, 2006.
- MINUZZI, R.; LOPEZ, F. Z. Variabilidade de índices de chuva nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 697-706, 2014.
- MOLION, L. C. B. Aquecimento global, manchas solares, El Niño, vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico. **Revista Climanalise**, ano 3, n.01, p. 1-5, 2005.
- MOLION, L. C. B. Perspectivas climáticas para os próximos 20 anos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3&4, p.117-128, 2008a.
- MOLION, L. C. B. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3&4, p. 7-24, 2008b.
- MOLION, L. C. B. Considerações sobre o aquecimento global antropogênico. **Informe Agropecuário** (Belo Horizonte), v. 29, p. 7-18, 2008c.
- MONTECINOS, A.; DIAZ, A.; ACEITUNO, P. Seasonal diagnostic and predictability of rainfall subtropical South America based on tropical Pacific SST. **Journal of Climate**, Boston, v.13, p.746-758, 2000.
- MOTA, F. S. da; SIGNORINI, E.; ALVES, E. G. P.; AGENDES, M. O. Tendência temporal da temperatura no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1. n.1, 101-103, 1993.
- PAULA, G. de; STRECK, N. A.; LANGNER, D. C. B.; HELDWEIN, A. B.; FERRAZ, S. E. T.; BURIOL, G. Série histórica secular de brilho solar e suas relações com os modos de variabilidades ENOS e ODP em Santa Maria-RS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.3, p.494-505, 2015.

- PETERSON, T. C.; TAYLOR, M. A.; DEMERITTE, R.; DUNCOMBE, D. L.; BURTON, S.; THOMPSON, F.; PORTER, A.; MERCEDES, M.; VILLEGAS, E.; FILS, R. S.; TANK, A. K.; MARTIS, A.; WARNER, R.; JOYETTE, A.; MILLS, W.; ALEXANDER, L.; GLEASON, B. Recent changes in climate extremes in the Caribbean region. *Journal of Geophysical Research*, Washington, v. 107, 4601, p. 1-9, 2002.
- PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Tendências das séries temporais de precipitação da Região Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.28, n.3, p.281-290, 2013.
- PRESTES, S. D.; SOUSA, A. J. S.; ROLIM, P. A. M., SANTO, A. R. S. E.; SOUSA, J. R. A. Relações entre a Oscilação Decadal do Pacífico e a Variabilidade da precipitação em Porto Alegre/RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. *Anais...SBMET*, 2010. CD-ROM.
- PRESTES, S. D. Relações entre a Oscilação Decadal do Pacífico e a variabilidade da precipitação e Bagé – RS. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 5., 2011, João Pessoa, PB, *Anais...SBMET*, 2011. Online.
- PRIESTLEY, C. H. B. & TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, Boston, v. 100, p. 81-92, 1972.
- PUCHALSKI, L. A. **Efeitos associados a El Niño e La Niña na temperatura média, precipitação pluvial e no déficit hídrico no estado do Rio Grande do Sul.** 2000. 83p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia.** 2011. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- RUSTICUCCI, M.; BARRUCAND, M. Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina. *Journal of Climate*, Boston, v. 17, p. 4099-4107, 2004.
- SANCHES, F., de O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Tendência de longo prazo das chuvas diárias no Sudoeste do Rio Grande do Sul: os eventos extremos e a arenização. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.7, n.6, p. 1100-1109, 2014.
- SANCHES, F., de O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Estudo de tendência de chuvas de longo prazo. *Ambiente & Água*. v. 8, n. 3, Taubaté. 2013.
- SANCHES, F. de O.; MAY, G. C.; SILVA, R. V. da; FERREIRA, R. V. Chuvas no norte gaúcho: um estudo sobre a tendência das chuvas e mudanças climáticas. *Revista Brasileira de Climatologia*, ano 12, v. 18, p. 349-360, 2016.
- SANSIGOLO, C. A.; KAYANO, M. T. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913-2006 period. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 101, p. 209-216, 2010.
- SANSIGOLO, C. A.; DINIZ, G. B.; MACHADO, J. P. Impactos das fases extremas do ENOS nas temperaturas médias sazonais do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. *Anais...Florianópolis: SBMET*, 2006. CD-ROM.
- SANTOS, T. S. dos; MENDES, D.; CASTRO, A. A. de; SILVA, A. R. Incertezas das projeções de mudanças climáticas: Análise preliminar. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 37 Ed. Especial SIC, p. 63-68, 2015.
- STEINMETZ, S.; WREGE, M. S.; HERTER, F. G.; REISSER JÚNIOR, C. Influência do aquecimento global sobre as temperaturas máximas, mínimas e médias anuais na região de Pelotas, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. *Anais... Aracaju*, 2007. CD-ROM.
- STRECK, N. A. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.35, n.3, p.730-740, 2005.
- STRECK, N. A.; GABRIEL, L. F.; HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; PAULA, G. M. de. Temperatura mínima de relva em Santa Maria, RS: climatologia, variabilidade interanual e tendência histórica. *Bragantia*, Campinas, v.70, n.3, p.696-706, 2011.
- STRECK, N. A.; GABRIEL, L. F.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; PAULA, G. M. de. Variabilidade interdecadal na série secular de temperatura do ar em Santa Maria, RS. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.46, n.8, p.781-790, 2011.
- STRECK, N. A.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; GABRIEL, L. F.; PAULA, G. M. de. Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria/RS com a Oscilação Decadal do Pacífico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. (online), Brasília, v.44, n.12, p.1553-1561, 2009.
- TRENBERTH, K. E. Has there been a hiatus? Internal climate variability masks climate-warming trends. *Science*, Washington, v.349, n. 6249, p. 691-692, 2015.
- VIANA, D. R.; AQUINO, F. E.; MATZENAUER, R. Comportamento espaço-temporal da precipitação no Rio Grande do Sul entre 1945-1974 e 1975-2004. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. *Anais...Florianópolis: SBMET*, 2006. CD-ROM.
- VINCENT, L. A.; PETERSON, T. C.; BARROS, V. R.; MARINO, M. B., RUSTICUCCI, M.; MIRANDA, G. C.; RAMIREZ, E.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; BARBOSA DE BRITTO, J. I.; BERLATO, M. A.; GRIMM, A. M.; DOS ANJOS, R. J.; MARENGO, J. A.; MEIRA, P. R.; MOLION, L.; MONCUNIL D. F.; NECHET, D.; REBELLO, E.; ABREU DE SOUSA, J. R.; ANUNCIÇÃO, Y. M. T.; QUINTANA, J.; SANTOS, J.L.; ONTANEDA, G.; BAEZ, J.; CORONEL, G.; GARCIA, V. J.; TREBEJO, I.; BIDGAIN, M.; CORRADI, V.; HAYLOCK, M. R.; KAROLY, D. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate*, Boston, v. 18, p. 5011-5023, 2005.
- WILKS, D. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: an introduction.** New York: Academic Press, 1995. 467 p.

REFERENCIAÇÃO

- BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.25, n.2, p.273-302, 2017.

Signs of global and regional climate changes, projections for the 21st century and trends observed in Rio Grande do Sul state, Brazil: a review

Moacir Antonio Berlato^{1(*)} and Ana Paula Assumpção Cordeiro¹

¹ Faculdade de Agronomia, Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 7712, CEP 91.540-000 Porto Alegre, RS. E-mails: moacir.berlato@ufrgs.br and apacufrgs@yahoo.com.br

(*)Corresponding author

ARTICLE INFO

Article history:

Received 11 May 2017

Accepted 27 December 2017

Index terms:

human activity

global warming

climate variability

El Niño

La Niña

PDO

ABSTRACT

In 2013, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) report claims that is 95% the probability of global warming be caused by human activity, since the mid-twentieth century. The global surface temperature (including land and ocean) showed an average increase warming of 0.85 °C from 1880 to 2012. According to NASA, 16 out of 17 warmer years of the entire series, since 1880, have occurred since 2001. The earth is in a positive imbalance between the energy absorbed and emitted by the planet, due to the greenhouse gas (GHG) effect, among other climatic forces. New IPCC models project increases in global temperature lower than 2.0 °C for the optimistic scenario (low GHG emissions) until 4.8 °C for the pessimistic scenario (high GHG emissions) to 2081-2100 years, related to 1986-2005. In the pessimistic scenario, there is projection of great temperature increase over the Amazon region (5-6 °C) towards the end of the century. Trends observed in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, are: increasing of the minimum temperature and increasing on the number of the warming nights, especially during autumn and summer seasons. The average temperature showed a tendency of increasing, due to the increment of the minimum temperature. Maximum temperature was reduced during summer due to an increase of cloudy days. There was decrease in the thermic amplitude. Rainfall increased over the year, especially in autumn and spring. There was an increasing in the number of the days with intense rainfall and in the number of the days with rainfall over the year, in autumn and spring. Sunshine duration showed downward trend over the year, in the summer and the spring seasons, and the day cloudiness showed tendency to increase. The reference evapotranspiration showed reduction tendency over the year, in the summer and the spring. Winter (through June, July, and August months) has the lowest tendency of climate change in the state.

© 2017 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.25, n.2, p.273-302, 2017.