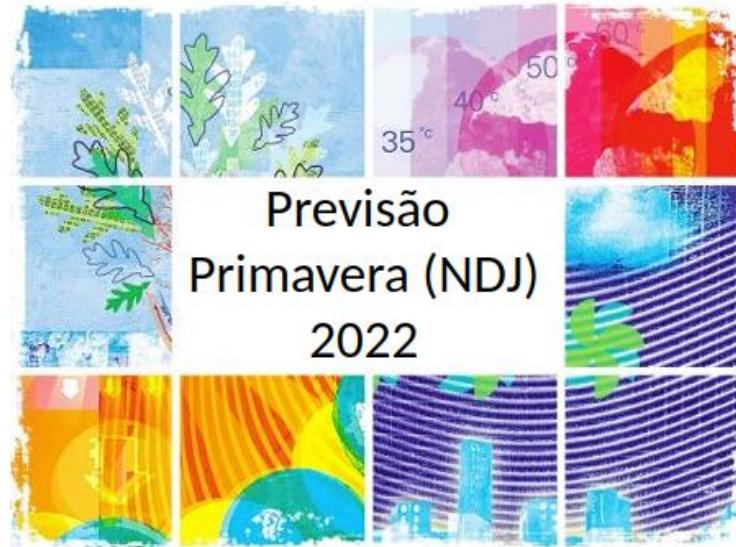


Boletim da Previsão Climática Mensal

Grupo de Meteorologia da UFSM



1. Equipe de Elaboração

Levantamento de dados, apresentação e redação: Dr. Daniel Caetano Santos e Me. Murilo Machado Lopes (Meteorologistas da UFSM); Prof. Dr. Jônatan Dupont Tatsch (Coordenador do Curso de Graduação em Meteorologia da UFSM).

1 Climatologia do Trimestre NDJ

A climatologia do trimestre de novembro-dezembro-janeiro (NDJ) no RS é caracterizada por um contraste meridional de precipitação entre a metade norte do estado (com volumes de chuva superior a 500 mm) e centro-sul do estado que apresentava valores inferiores a 300mm (Figura 1.a). No trimestre NDJ a média das temperaturas mínimas fica entorno dos 12°C nas áreas de maior altitude do Nordeste Gaúcho e dos 16°C na região do Pampa gaúcho e norte do RS (Figura 1.b). As incursões de ar mais frio se tornam mais raras neste trimestre o se a atuação de massas de ar quente passa a ser mais frequente. A temperatura mínima média é maior no Noroeste do RS e na faixa central do estado até o litoral norte com valores predominantes entre 17 e 19°C. O padrão de variação espacial da temperatura máxima média é similar ao da temperatura mínima, com valores em torno de 25°C no sul do RS e dos 20°C nas partes altas da Serra. No oeste do estado e área central do RS a máxima fica entorno dos 30°C e se aproxima dos 32°C no noroeste do estado (Figura 1.c).

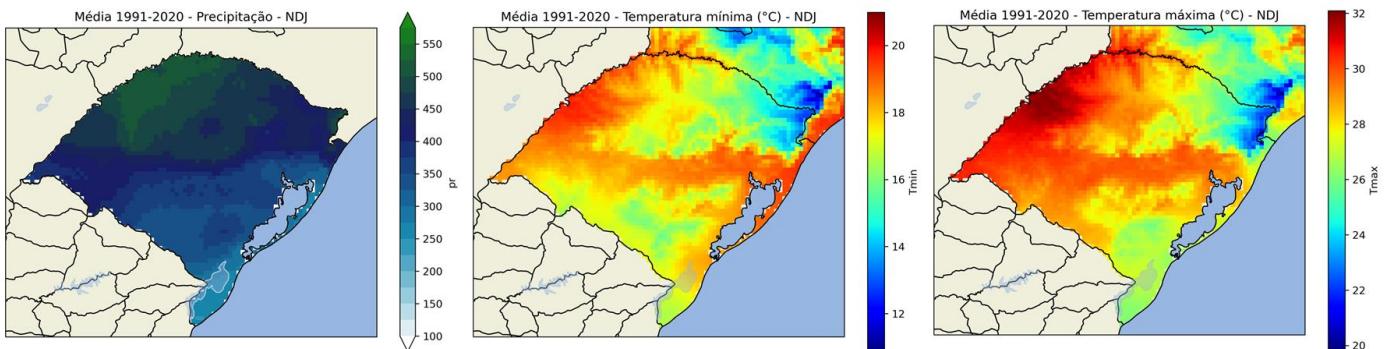


Figura 1. Normal climatológico do período SON de 1991 a 2020 a partir do conjunto de dados *Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD)* de Xavier et al. (2022)¹ para precipitação acumulada mensal (a), temperatura mínima (b) e temperatura máxima (c).

2 Dados observados de agosto, setembro e outubro (ASO) de 2022

Em agosto os maiores acumulados de chuva ocorreram na metade Leste do estado, nas demais regiões a chuva acumulada foi inferior a 100 mm (Figura 2.c), apesar da passagem de 5 sistemas frontais que favorecem mais as anomalias positivas de precipitação no Sul e Nordeste do RS. A temperatura média no mês de agosto foi abaixo da normal climatológica especialmente no oeste do estado (Figura 4.c) onde a média das temperaturas máximas foi de até 2°C dois graus abaixo da normal climatológica. Apesar das temperaturas mínimas próximas à normal, ao contrário do mês de julho, 5 geadas foram registradas em Bagé e 8 em Bom Jesus.

¹ XAVIER, Alexandre C. et al (2022). New Improved Brazilian Daily Weather Gridded Data (1961-2020). International Journal of Climatology.

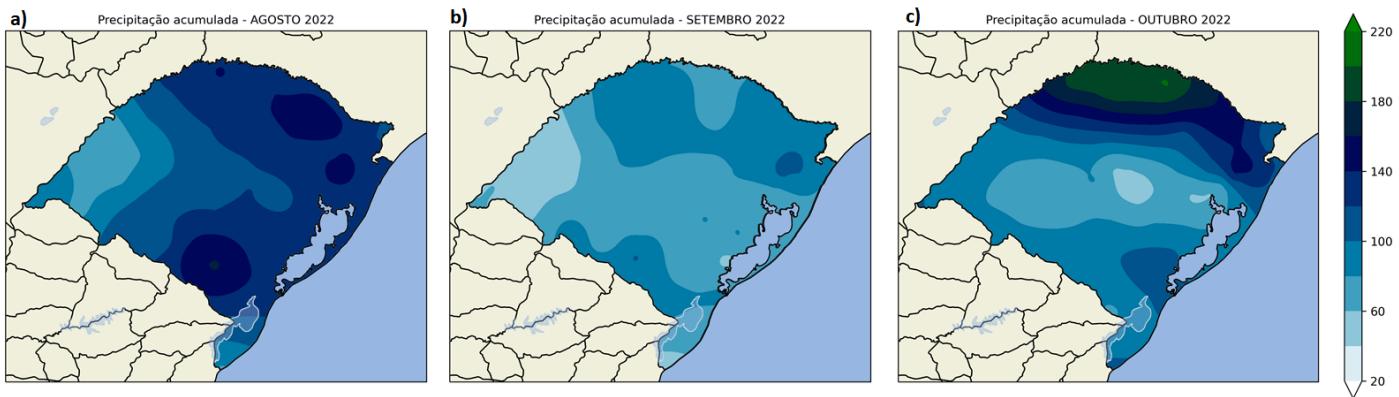


Figura 2. Dados de precipitação combinados para os meses de agosto (a), setembro (b) e outubro (c) a partir de dados combinados do [INMET](#) e [SIMAGRO](#) e [SEMA-RS](#).

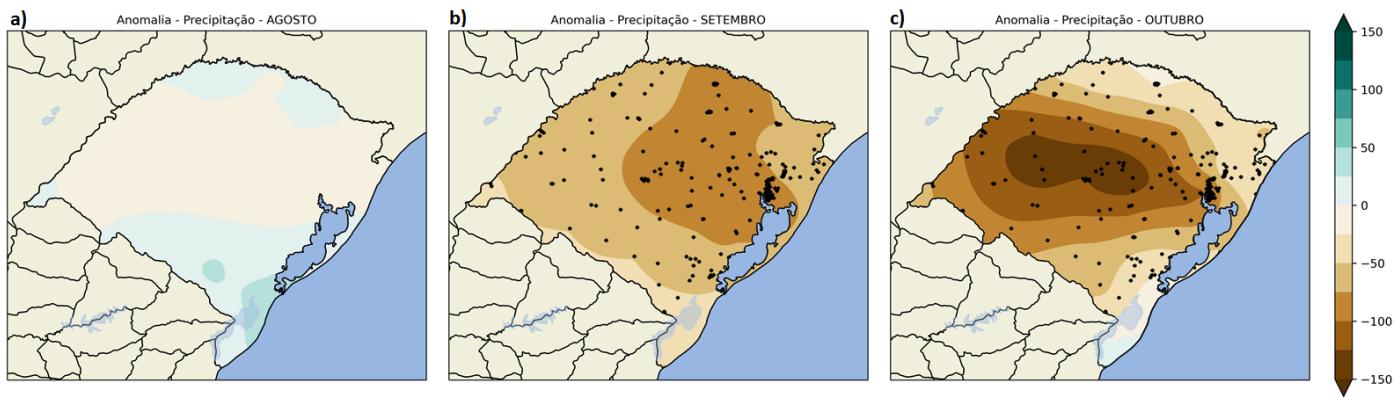


Figura 3. Anomalia de precipitação total mensal em relação à normal climatológica 1991-2020 para os meses de agosto (a), setembro (b) e outubro (c). Os pontos indicam a localização das estações meteorológicas utilizadas.

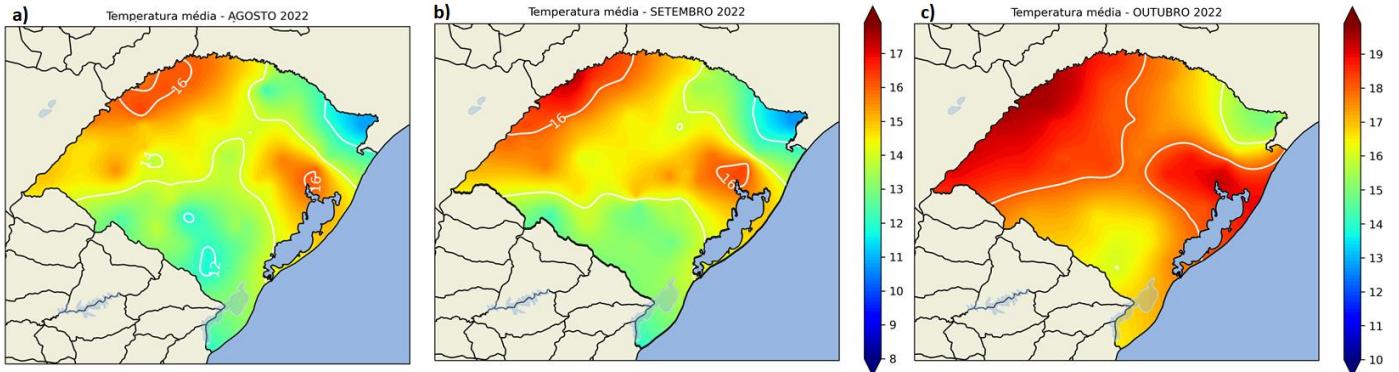


Figura 4. Dados de temperatura média combinados para os meses de agosto (a), setembro (b) e outubro (c) a partir de dados combinados das estações meteorológicas do [INMET](#) e [SIMAGRO](#) e [SEMA-RS](#).

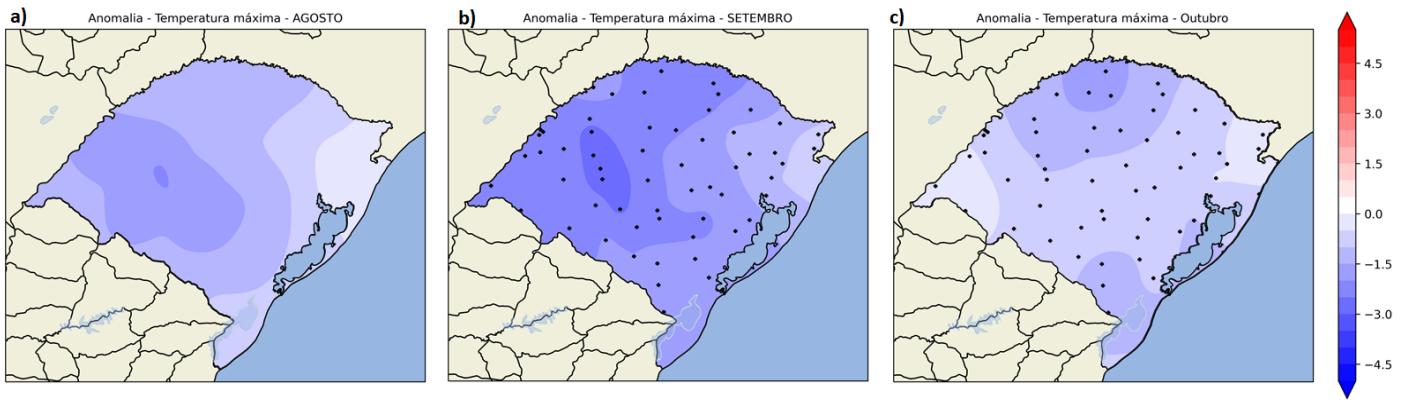


Figura 5. Anomalia de temperatura máxima mensal em relação à normal climatológica 1991-2020 para os meses de agosto (a), setembro (b) e outubro (c).

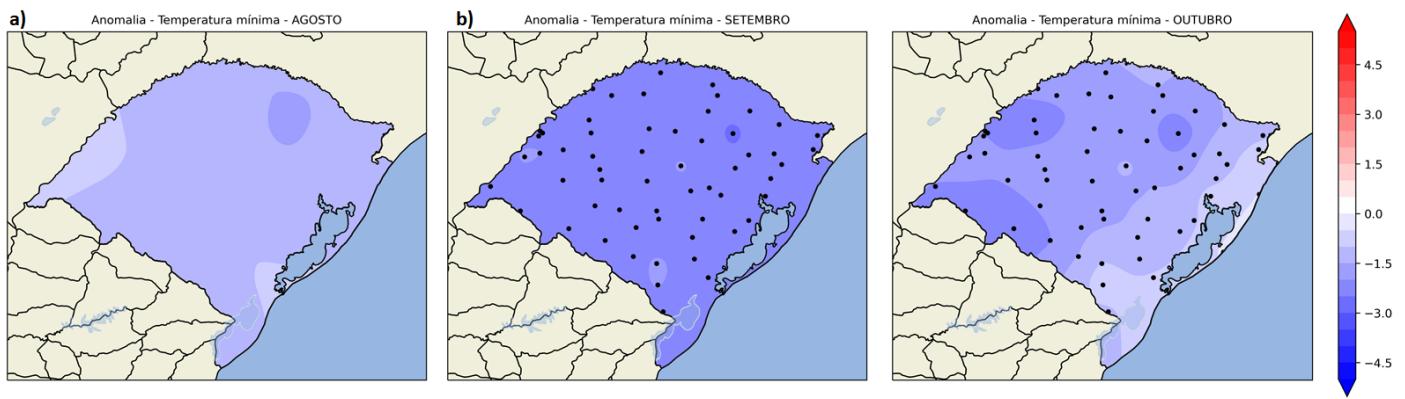


Figura 6. Anomalia de temperatura mínima mensal em relação à normal climatológica 1991-2020 para os meses de agosto (a), setembro (b) e outubro (c).

No mês de setembro de 2022 houve menor ocorrência de geadas em relação ao mês anterior, apesar da incursão de 3 massas de ar frio. Apenas uma geada foi registrada pelas estações convencionais do INMET em 11/09/2022 nas cidades de Santa Maria, Bagé, Caxias do Sul e em 24/09/2022 na cidade de Bom Jesus com intensidade forte. Temperaturas negativas ocorreram na região da Serra e no Sudoeste do estado, com o valor extremo mínimo sendo de -2,8°C em São José dos Ausentes. As temperaturas máximas absolutas do mês ocorreram em Campo Bom (32,9°C) ultrapassaram os 30°C no Noroeste do RS e em municípios da região Metropolitana. Durante o mês, apenas 3 frentes frias passaram pelo RS o que levou a volumes de chuva bem abaixo da média. O escoamento predominantemente do setor leste-sudeste favoreceu as temperaturas abaixo da média em todo estado. As maiores anomalias negativas de chuva (entre -75 e -100 mm) ocorreram nos setores do centro e Nordeste do estado. As anomalias de temperaturas foram de até -3°C para a temperatura máxima e de até -4°C para a temperatura mínima.

Apesar da passagem de 4 frentes frias pelo RS no mês de outubro, a precipitação ficou muito abaixo da normal climatológica para o mês, especialmente no setor centro-oeste do estado (anomalias negativas de até 150 mm). A passagem dos sistemas se deu como pouca oferta de umidade e ausência de massas de ar instáveis na dianteira dos mesmos, assim sem a advecção quente as temperaturas ficaram abaixo da normal em todo o estado. Enquanto as anomalias negativas mais intensas na média máxima se localizaram no norte do estado (abaixo de 1,5°C da normal), o setor oeste do RS foi o que apresentou as anomalias mais negativas nas médias mínimas (abaixo de 2°C da normal). Apesar das anomalias negativas nas temperaturas não houve o registro de geada no mês de outubro pelos observadores das estações convencionais do Inmet, contudo dada a mínima absoluta no mês de 2,5°C em São José dos Ausentes é bastante provável que o fenômeno tenha ocorrido em alguns pontos da Serra. O mesmo pode ter ocorrido na

região da Campanha, onde Quaraí teve mínima de 2,6°C. Quanto a máxima absoluta do mês, esta foi de 35,9°C registrada em Teutônia.

3 Verificação das previsões setembro-outubro de 2022

Nesta seção apresenta-se a verificação das previsões climáticas dos modelos regionais para os dois últimos meses, com foco especialmente no mês de outubro de 2022. Os campos de anomalia têm como referência os dados observados e interpolados a partir de estações meteorológicas do Cemaden, [INMET](#), [SIMAGRO](#) e [SEMA-RS](#). Os modelos regionais com previsões para o RS incluem o modelo dinâmico [RegCM4 do SIMAGRO](#) e o estatístico [MoReClima-SUL](#) do Centro Polar e Climático da UFRGS.

Para o mês de setembro de 2022 (Fig. 7) a chuva foi predominante abaixo da média na maior parte do estado, com exceção do extremo Sul. Tal padrão foi previsto apenas em parte pelo modelo RegCM4 do Simagro, uma vez que indicava grande parte do RS com anomalias negativas de precipitação (inferiores a -25mm), exceto o setor Noroeste onde este previa anomalias positivas que não se confirmaram. A previsão do modelo MoReClima-SUL superestimou os acumulados de precipitação, indicando anomalias positivas na Campanha Gaúcha (superiores a 100 mm) que divergiram muito do observado. Em termos das anomalias da temperatura média, o predomínio por todo estado de condições mais frias que o normal nas observações foi satisfatoriamente captado pelo RegCM4 do SIMAGRO (Fig. 8). No caso do MoReClima-SUL, o sinal das anomalias foi oposto ao observado. Nesta segunda verificação, o desempenho da previsão do RegCM4 do SIMAGRO para um mês à frente foi novamente mais coerente com o padrão observado.

Já para o mês de outubro de 2022 (Fig xx) as anomalias negativas de precipitação foram bem representadas por ambos modelos de previsão analisados, contudo, com distinções na localização e a magnitude das mesmas. O MoReClima-SUL em contraste ao modelo da SIMAGRO previa a máxima de anomalias de precipitação no norte do estado, enquanto o modelo dinâmico sugeria que a precipitação mais abaixo da normal ficaria no litoral e Região Metropolitana. A faixa de previsão de chuva mais próxima a normal no oeste e norte do estado pela previsão do SIMAGRO não acabou se confirmado no observado, sendo o centro-oeste do estado a área de anomalia mais expressiva. O extremo-sul gaúcho, que teve acumulados acima da normal, foi melhor previsto pelo modelo estatístico MoReClima-SUL.

De modelo semelhante a previsão para o mês de setembro o desempenho do MoReClima-SUL não foi satisfatório, invertendo o sinal da anomalia para praticamente todo RS. As anomalias positivas previstas não foram observadas em nenhuma região do RS, que pelo terceiro mês consecutivo apresentou temperaturas abaixo da normal climatológica. Tal padrão foi bem representado pelo modelo dinâmico da SIMAGRO, que assim como para o mês anterior indicava anomalias negativas para a temperatura.

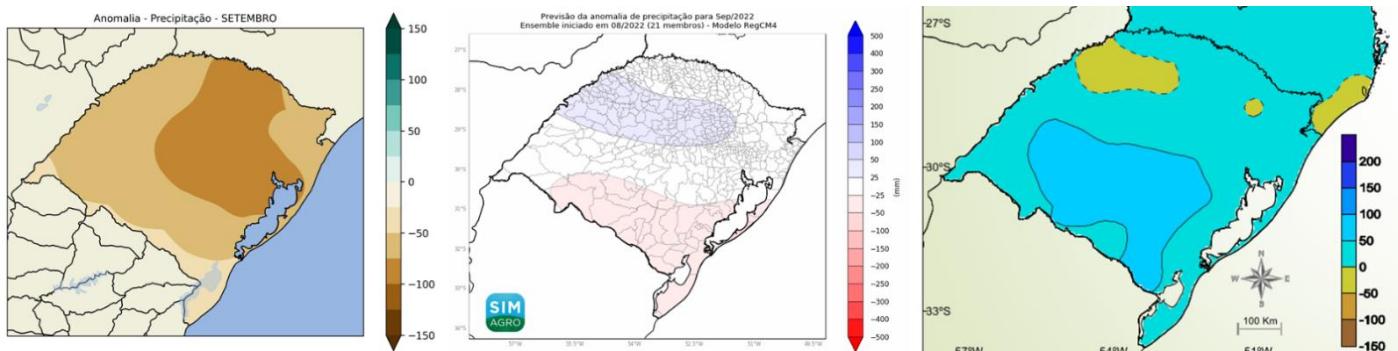


Figura 7. Verificação das anomalias mensais do total de precipitação (mm mês^{-1}). (a) Anomalias de chuva observada no mês de setembro de 2022 com (a) dados interpolados a partir das estações do [INMET](#), [SIMAGRO](#) e [SEMA-RS](#); (b) previsão do modelo RegCM4 do SIMAGRO e (c) do modelo estatístico MoReClima-SUL.

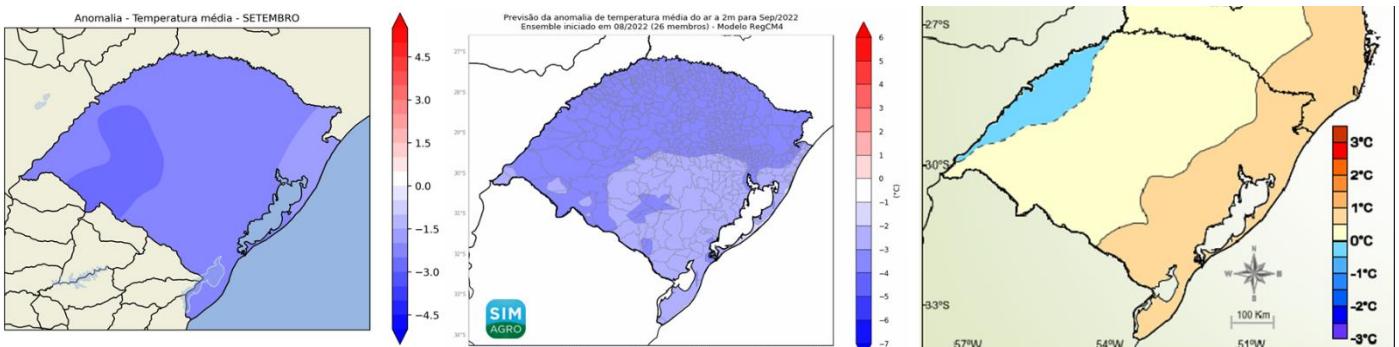


Figura 8. Mesmo que a Figura 7, porém para anomalias de temperatura média do ar.

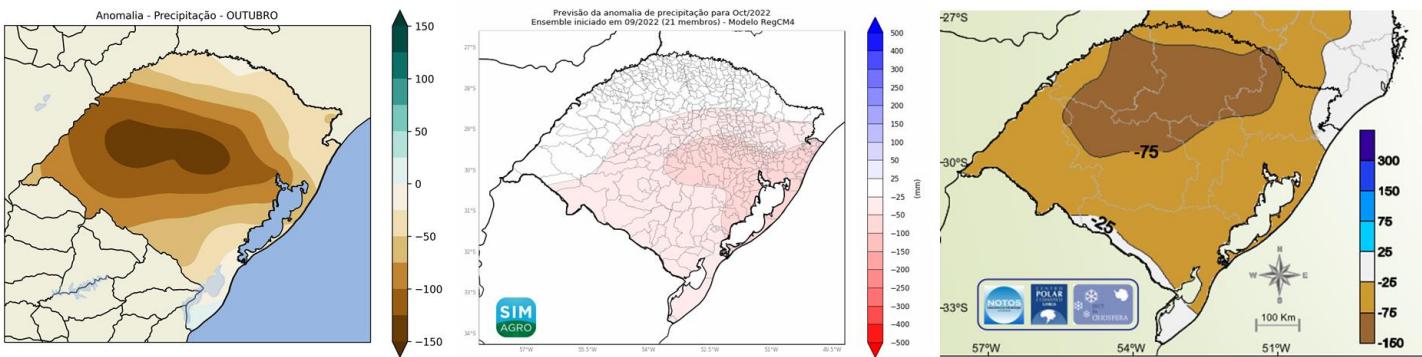


Figura 9. Verificação das anomalias mensais do total de precipitação (mm mês^{-1}). (a) Anomalias de chuva observada no mês de outubro de 2022 com (a) dados interpolados a partir das estações do [INMET](#), [SIMAGRO](#) e [SEMA-RS](#); (b) previsão do modelo RegCM4 do SIMAGRO e (c) do modelo estatístico MoReClima-SUL.

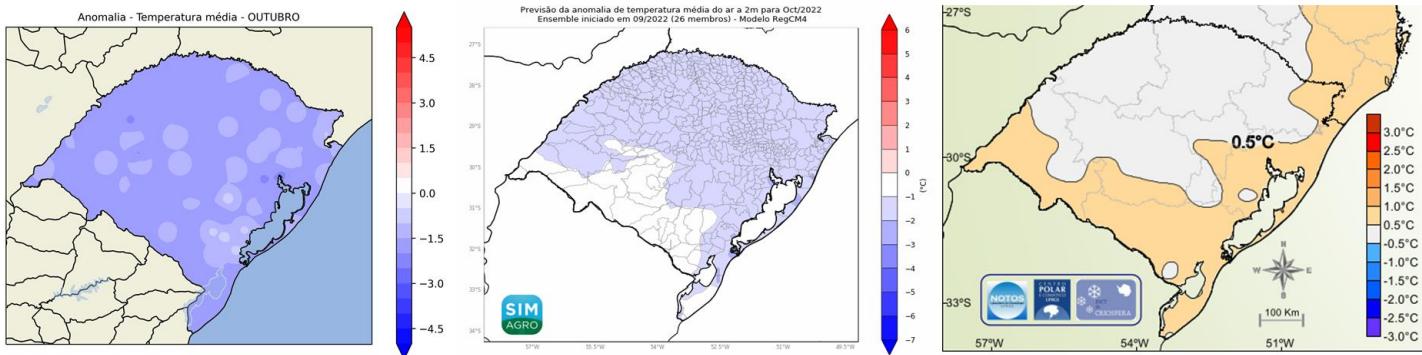


Figura 10. Mesmo que a Figura 9, porém para anomalias de temperatura média do ar.

4 Condição Oceânica

A condição oceânica superficial observada no oceano Pacífico tropical no dia 2 de novembro (Fig. 11) permanece com anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) negativas. Condição similar ao mês anterior ([boletim anterior](#)) desde a costa oeste do Peru até 130°W ao longo da linha equatorial.

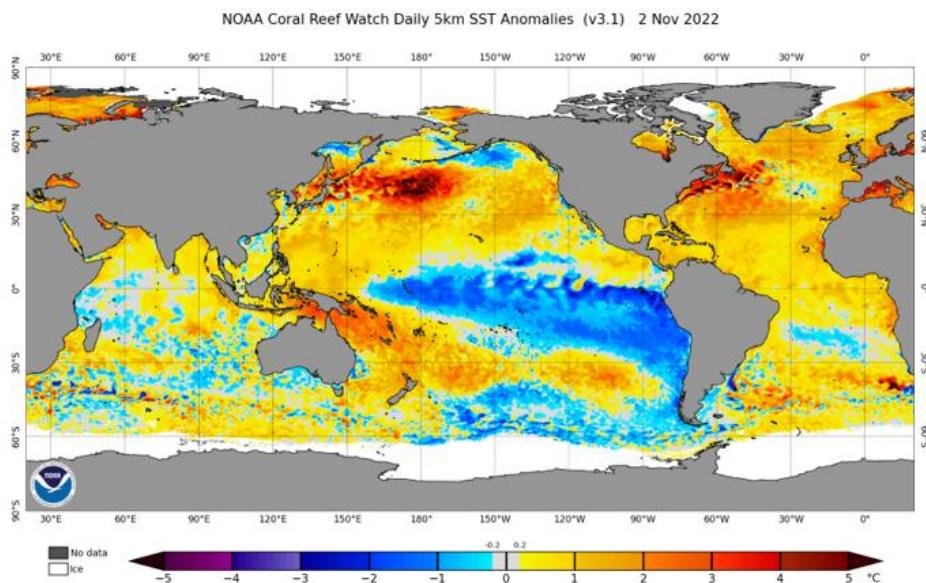


Figura 11. Anomalia da TSM média observada no dia 2 de novembro. Fonte: NOAA.

De acordo com o principal índice de monitoramento do fenômeno ENOS, o índice Niño 3.4, região principal do monitoramento do ENOS, as anomalias de TSM também permanecem mais frias do que o limiar de La Niña ($-0,5^{\circ}\text{C}$) (Fig. 12) desde julho de 2021. O estabelecimento da La Niña também é suportado pela contínua intensificação das anomalias negativas de temperatura das águas subsuperficiais do Oceano Pacífico Equatorial ao longo dos meses de agosto até outubro (Fig. 13).

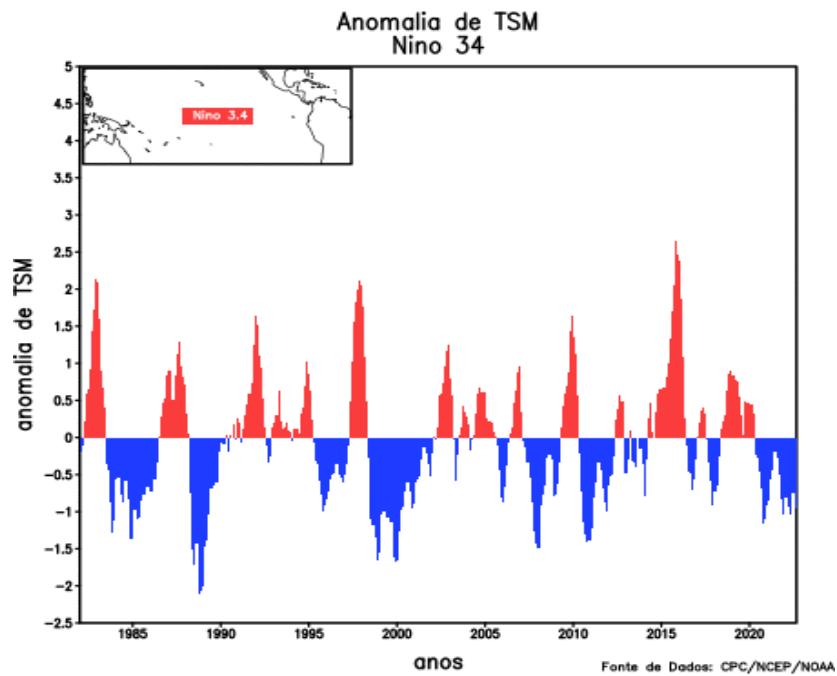


Figura 12- Série temporal da anomalia de TSM observada sobre a região do Niño 3.4 (região indicada no canto superior esquerdo) desde de 1980 até atualmente. Fonte: CPC/NCEP/NOAA.

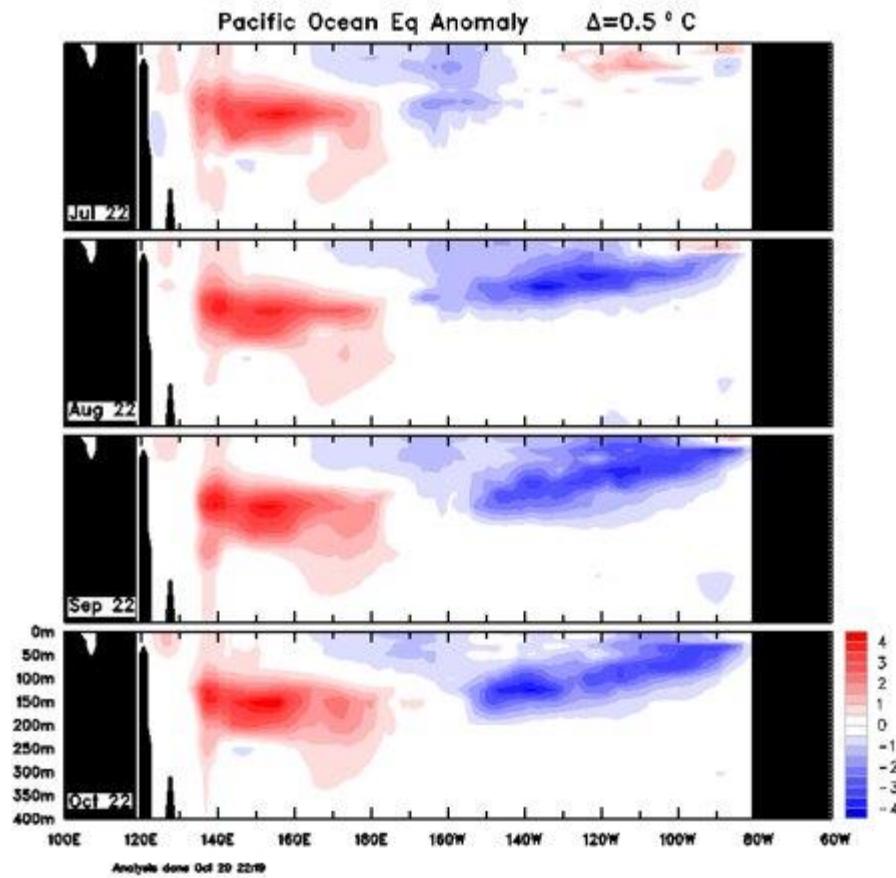


Figura 13- Seção transversal da anomalia da TSM na região do Oceano Pacífico Equatorial dos meses de julho, agosto, setembro e outubro de 2022. Fonte: BOM² da Austrália.

Além das condições oceânicas, as condições atmosféricas também indicam que a La Niña está bem estabelecida. O índice de Oscilação Sul (SOI) indicou setembro de 2022 como o 4º setembro mais intenso em termos de diferença das anomalias pressão do ar atmosférico entre o Tahiti e Darwin, na Austrália.

Além da influência remota do ENOS, outros índices de teleconexão podem impactar o clima do RS (Figura 14). A Oscilação Decenal do Pacífico (PDO, Figuras 14) está na sua fase fria atualmente (Figuras 15), o que favorece a maior ocorrência de La Niñas e como já dito a anomalias de negativas de chuva na primavera (Figuras 14.a). A combinação das condições atuais de La Niña, evento do Dipolo do Oceano Índico negativo mas tendendo pra neutro; fase negativa da Oscilação Antártica (AAO, Figura 14.b) e fase positiva do Dipolo do Atlântico Sul (SAD, Figura 14.c) contribuem para condições mais secas de forma generalizada pelo RS com base na composição de eventos. Estas condições oceânicas mais às condições hídricas do solo devido a secas dos anos anteriores, estão em grande parte associadas às sucessivas quebras de safra registradas nos últimos anos.

² <http://www.bom.gov.au/climate/ocean/outlooks/#region=IOD>

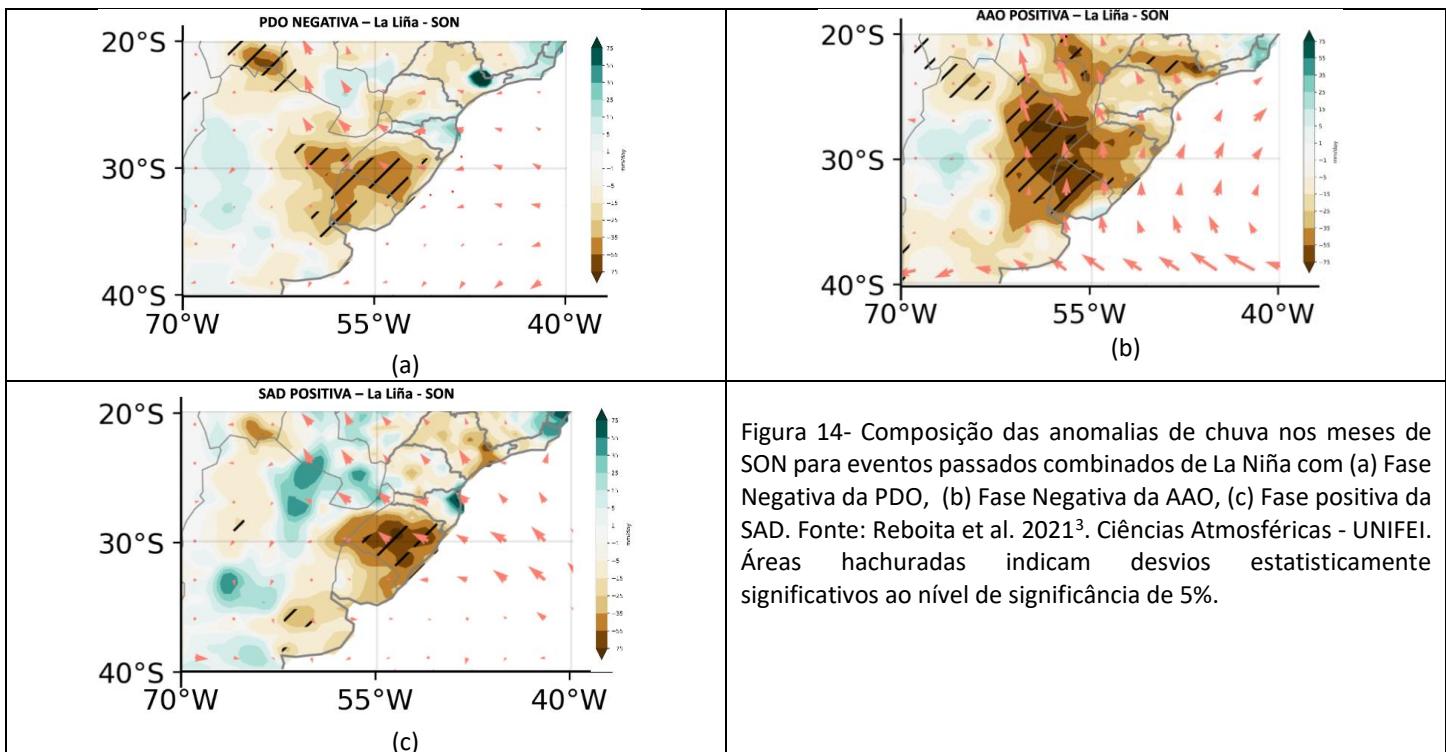


Figura 14- Composição das anomalias de chuva nos meses de SON para eventos passados combinados de La Niña com (a) Fase Negativa da PDO, (b) Fase Negativa da AAO, (c) Fase positiva da SAD. Fonte: Reboita et al. 2021³. Ciências Atmosféricas - UNIFEI. Áreas hachuradas indicam desvios estatisticamente significativos ao nível de significância de 5%.

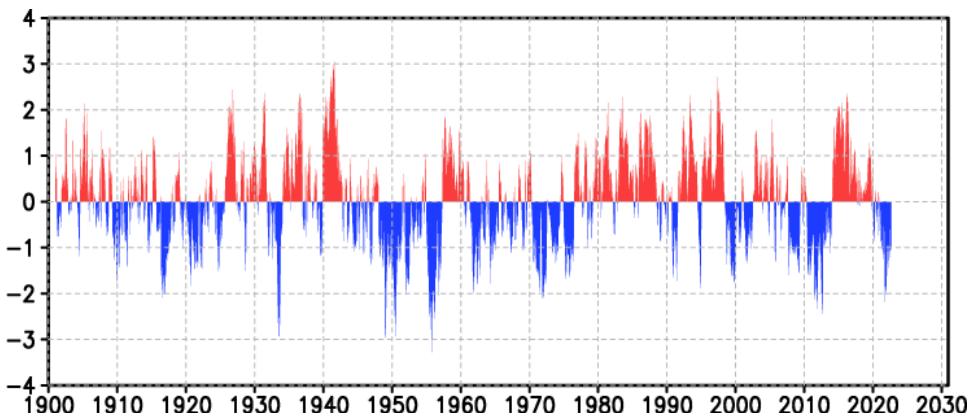


Figura 15 - Série temporal do Oscilação decenal do Pacífico (PDO) desde 1900 até o momento. Fonte: *Tokio Climate Center*.

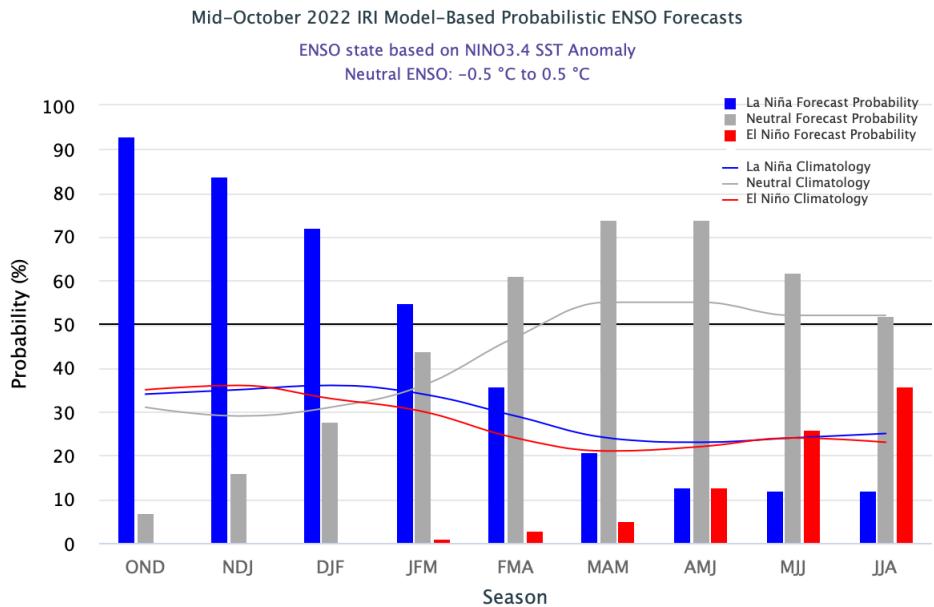
5 Previsões do El Niño Oscilação Sul (ENOS)

A previsão probabilística de ENOS (Figura 16a) do IRI integra os modelos dos principais centros de previsões climáticas mundiais. O consenso destes modelos indica 91% de chance de permanência da La Niña e que há entre 70% e 80% de chance de aconteça um 3º verão consecutivo de La Niña. Embora haja boa concordância entre os modelos na previsão do pico da La Niña em novembro-dezembro (Figura 14.b), há muita incerteza quanto a duração da La Niña. Para comparação das durações previstas desta La Niña não

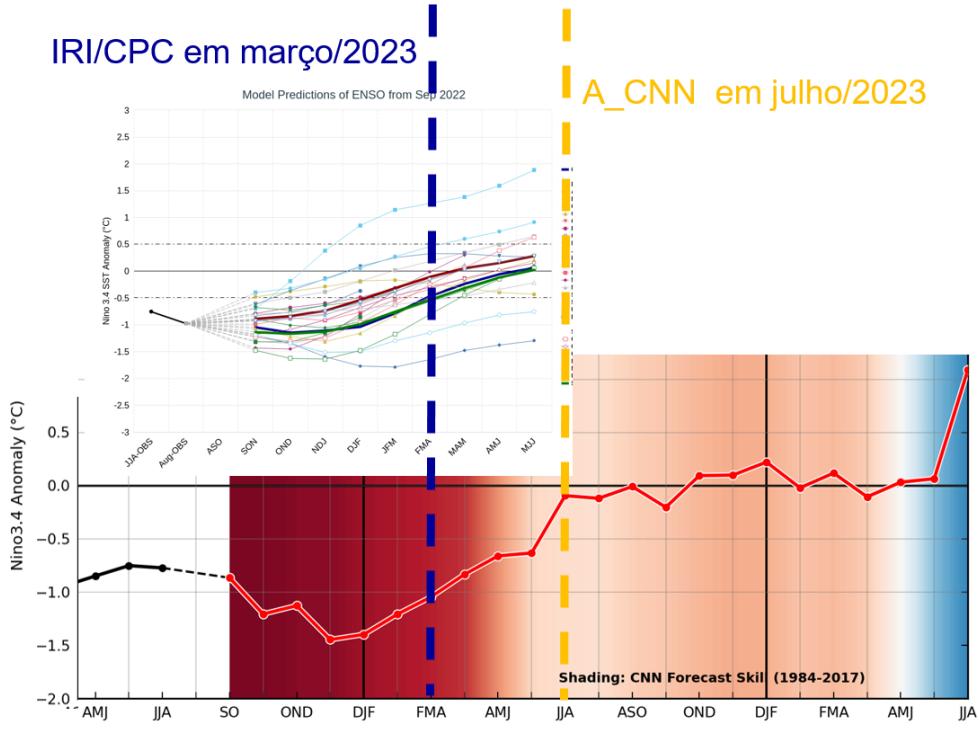
³ Reboita, M.S., Ambrizzi, T., Crespo, N.M., Dutra, L.M.M., Ferreira, G.W.d.S., Rehbein, A., Drumond, A., da Rocha, R.P. and Souza, C.A. (2021), Impacts of teleconnection patterns on South America climate. Ann. N.Y. Acad. Sci.. DOI: [10.1111/NYAS.14592](https://doi.org/10.1111/NYAS.14592)

convencional, incluímos a previsão estendida do modelo com maior destreza para o índice do Niño 3.4⁴ encontrado na literatura. O modelo estatístico baseado em Rede Neural Convolucional (A_CNN) prevê a transição para condições normais (anomalias de acima de -0,5°C) somente em julho de 2023, 4 meses após a transição prevista pela média dos modelos do IRI, durante o trimestre JFM.

⁴ Yoo-Geun Ham, Jeong-Hwan Kim, Eun-Sol Kim, Kyoung-Woon On. Unified deep learning model for El Niño/Southern Oscillation forecasts by incorporating seasonality in climate data. Science Bulletin, Volume 66, Issue 13, 2021. Pages 1358-1366, ISSN 2095-9273, <https://doi.org/10.1016/j.scib.2021.03.009>.



(a)



(b)

Figura 16. Previsão probabilística do ENOS realizada em outubro de 2022. (b) Previsões multimodelo das anomalias de TSM na região no Niño 3.4 pelos modelos estatísticos e dinâmicos do [IRI](#) (Figura menor superior) e a previsão estendida de ENOS do [modelo A CNN](#) de Ham *et al.* (2021) que tem maior destreza em comparação aos modelos do IRI. Ambas previsões realizadas em setembro de 2022. A linha azul (amarela) destaca a transição para condições normais de anomalias de TSM (condições neutras) pela média dos modelos do IRI (modelo A_CNN).

O índice AAO (Fig. 17) manteve-se um longo período na fase positiva que está associada a menor frequência de frentes frias no RS e às anomalias negativas de chuva no oeste do RS (Figura 14.c). A previsão deste índice para a primeira quinzena de novembro mostra uma concordância entre os membros do modelo GFS, com a predominância da fase positiva.

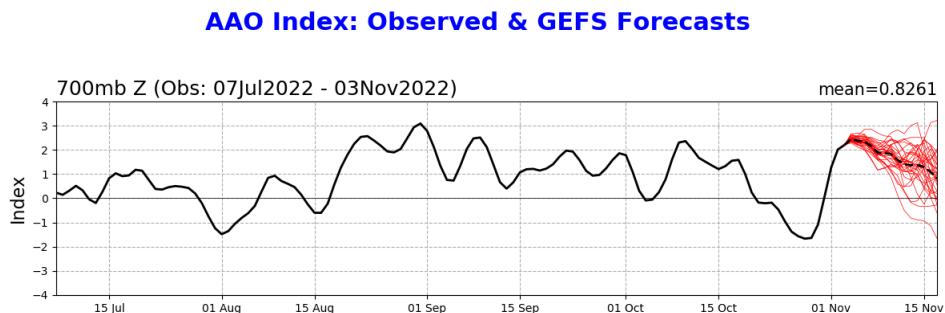
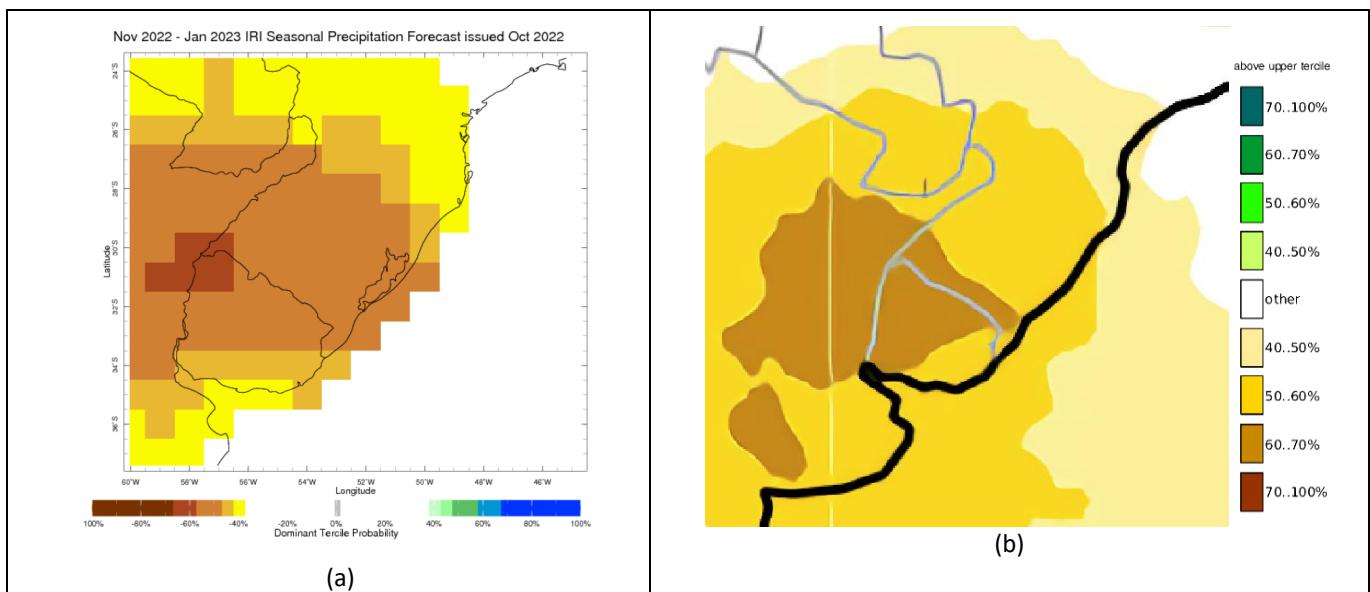


Figura 17- Série temporal do AAO dos últimos 4 meses (linha preta) e a previsão de 15 dias (linhas vermelhas) do índice obtido do modelo GFS. A linha pontilhada é a média dos membros. Fonte: *Climate Prediction Center (CPC/NOAA)*.

6 Previsões sazonais

As previsões do multimodelo do IRI (conjunto de modelos climáticos norte-americanos), do Multissistema C3S (conjunto de modelos climáticos europeus) e o multimodelo dos centros nacionais (CPTEC/INMET/FUNCEME) indicam probabilidade acima de 50% de chuva abaixo do normal para o trimestre NDJ na maior parte do RS (Figura 18.a-c). Já o modelo regional MoReClima-SUL indica probabilidade acima de 60% de chuvas abaixo do normal nas regiões da campanha, leste e nordeste do estado (Figura 18.d). Do centro ao noroeste do estado a previsão é de chuvas entre a normal climatológica e levemente abaixo do normal. **De forma geral, os padrões espaciais das previsões evidenciam uma probabilidade consistente de chuvas muito abaixo da normal (com valores entre 100 e 200m abaixo da normal) do centro ao noroeste do estado e abaixo da normal para o restante do estado (entre 50 e 100 mm abaixo da normal) (Figura 19.a-d).**



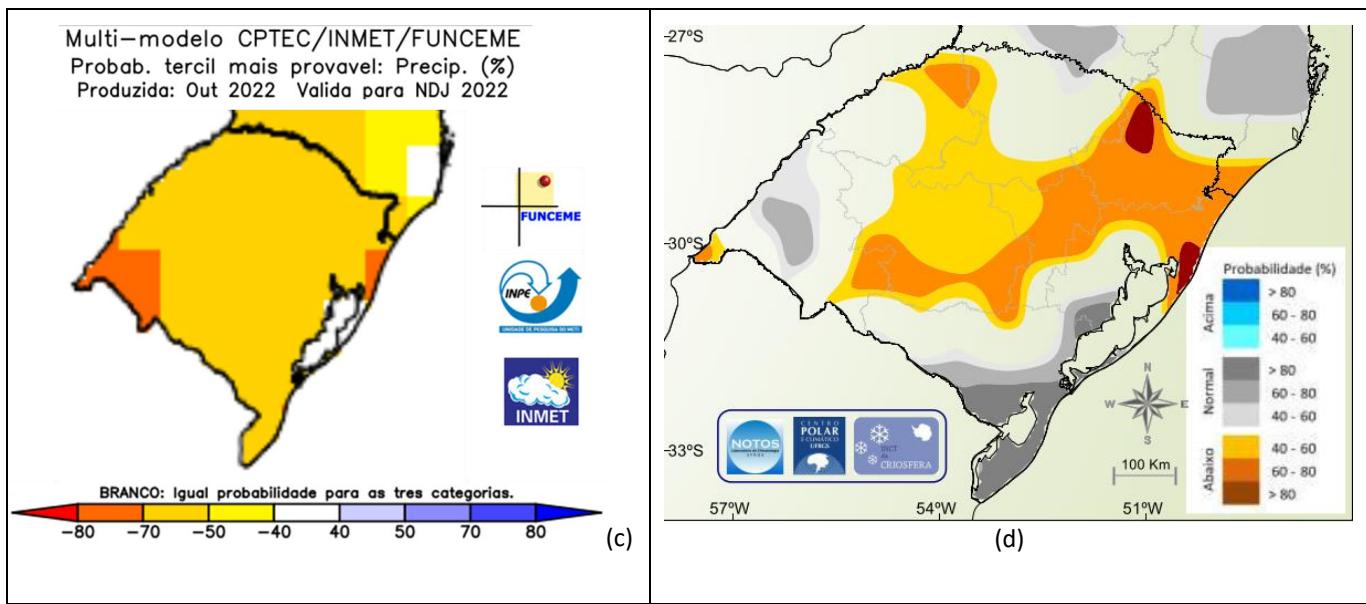
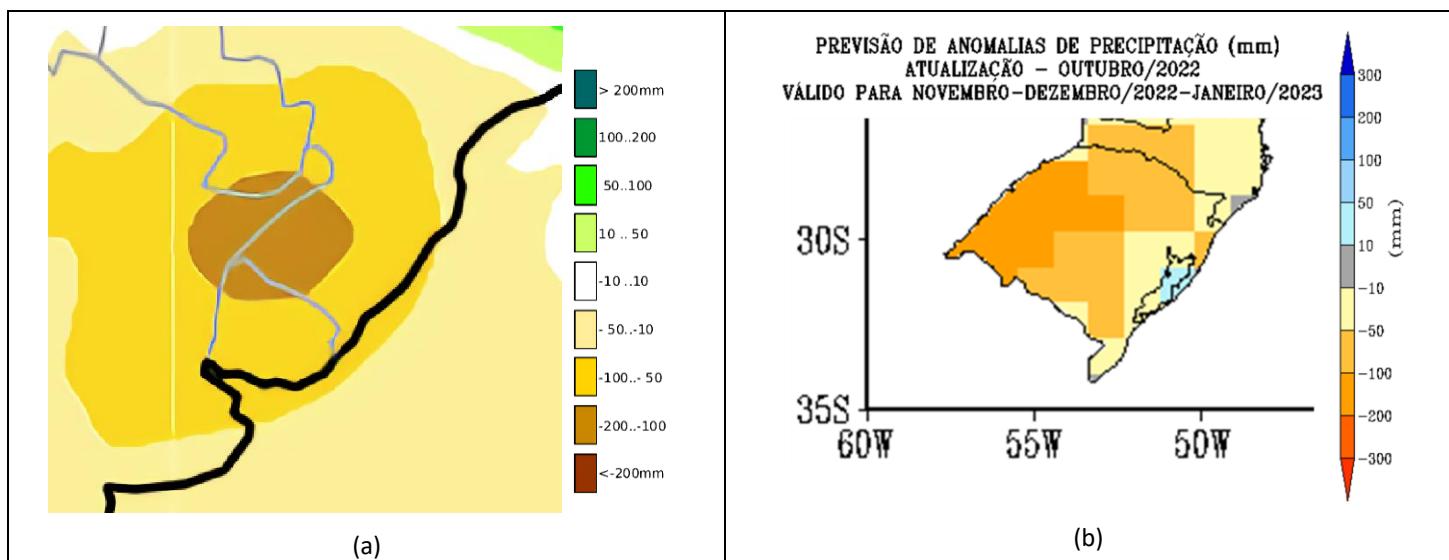


Figura 18- Probabilidade do tercil dominante (%) da previsão climática da chuva média mensal acumulada realizada em setembro de 2022 para o trimestre OND, segundo (a) [Mutimodelo IRI](#), (b) [Multissistema C3S](#) (ECMWF) e (c) Multimodelo [CPTEC/INMET/FUNCeme](#) e (d) Modelo Regional de Previsão Climática para o Sul do Brasil (MoReClima-SUL, Centro Polar e Climático da UFRGS).



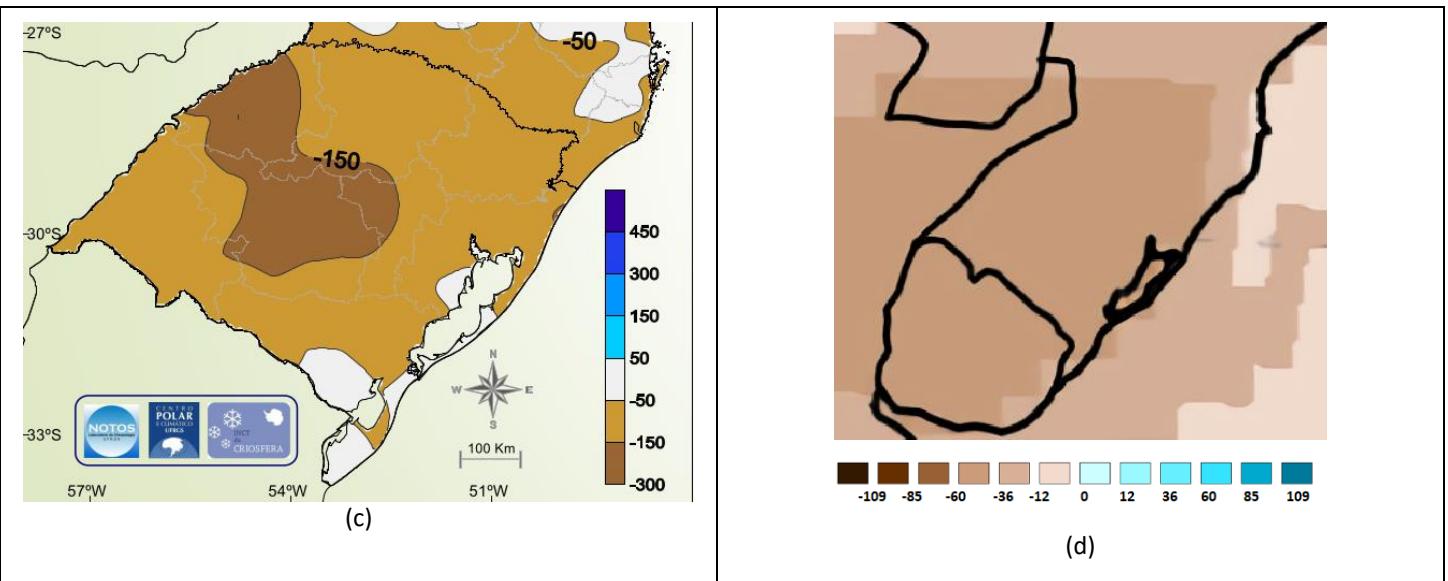
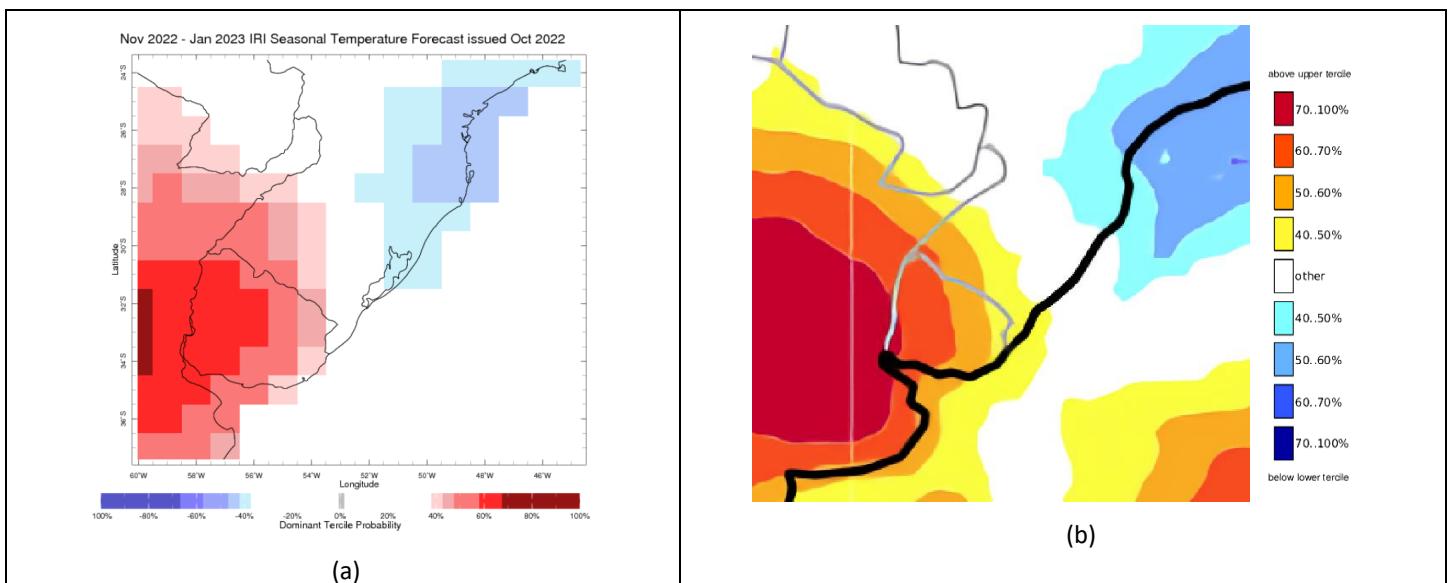
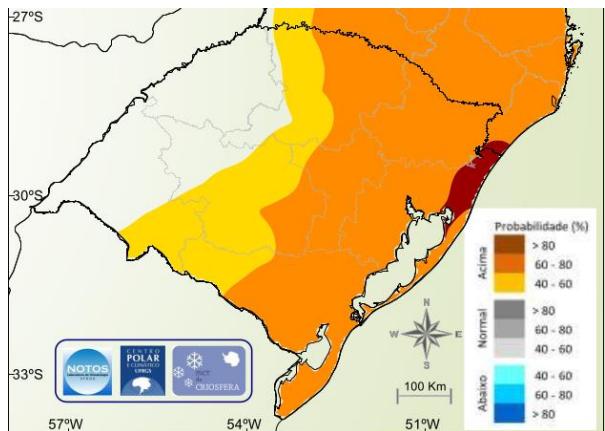


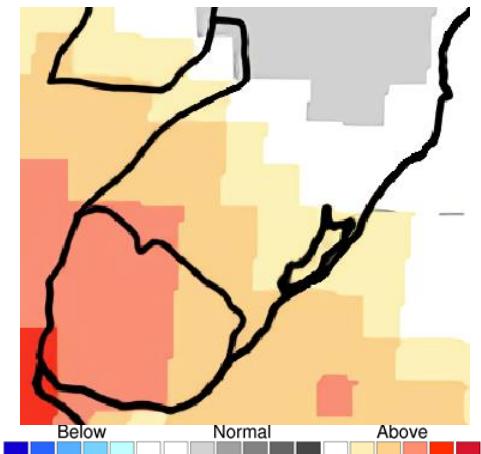
Figura 19- Previsões das anomalias de chuva realizada em setembro de 2022 para o trimestre NDJ, segundo (a) [Multissistema C3S](#), (b) modelo estatístico do INMET, (c) Modelo Regional de Previsão Climática para o Sul do Brasil (MoReClima-SUL, Centro Polar e Climático da UFRGS) e (d) APEC Climate Center (APCC) South Korea, em mm/dia.

Para temperatura média mensal do ar as previsões do multimodelo do IRI (Figura 20.a), Multissistema C3S do ECMWF (Figura 20.b) e APEC Climate Center (Figura 20.d) indicam 40% de chance para temperatura acima do normal, do centro do RS em direção a região de fronteira com o Uruguai. O modelo MoReClima-SUL (Figura 20.c) prevê temperatura mais elevadas sobre uma faixa que compreende do centro ao leste do estado. **Em termos de anomalias, a temperatura tende a ficar levemente acima do normal, aproximando-se de 1°C no extremo oeste gaúcho (Figura 21a-d).**



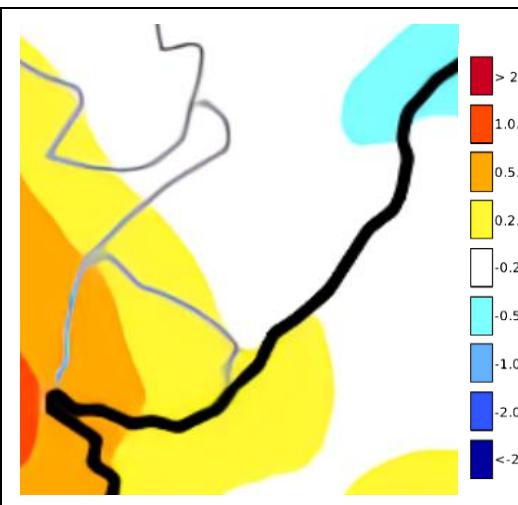


(c)

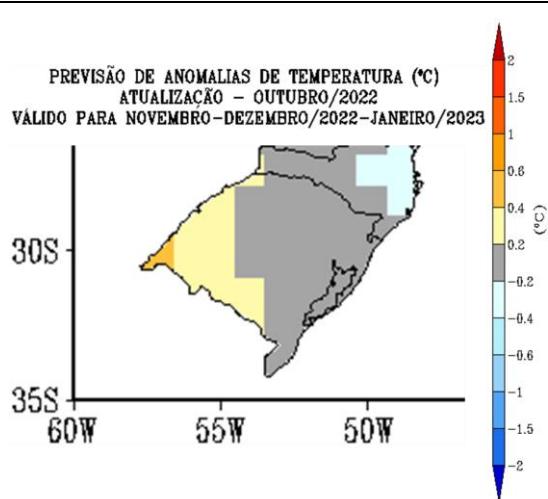


(d)

Figura 20- Probabilidade do tercil dominante (%) da previsão climática de temperatura média, realizada em setembro de 2022 para o trimestre OND, segundo (a) [Mutimodelo IRI](#) e (b) [Multissistema C3S](#) e (c) Modelo Regional de Previsão Climática para o Sul do Brasil (MoReClima-SUL, Centro Polar e Climático da UFRGS) e (d) Conjunto de modelos globais do Centro Climático da Cooperação Econômica Ásia-Pacífico (APCC).



(a)



(b)

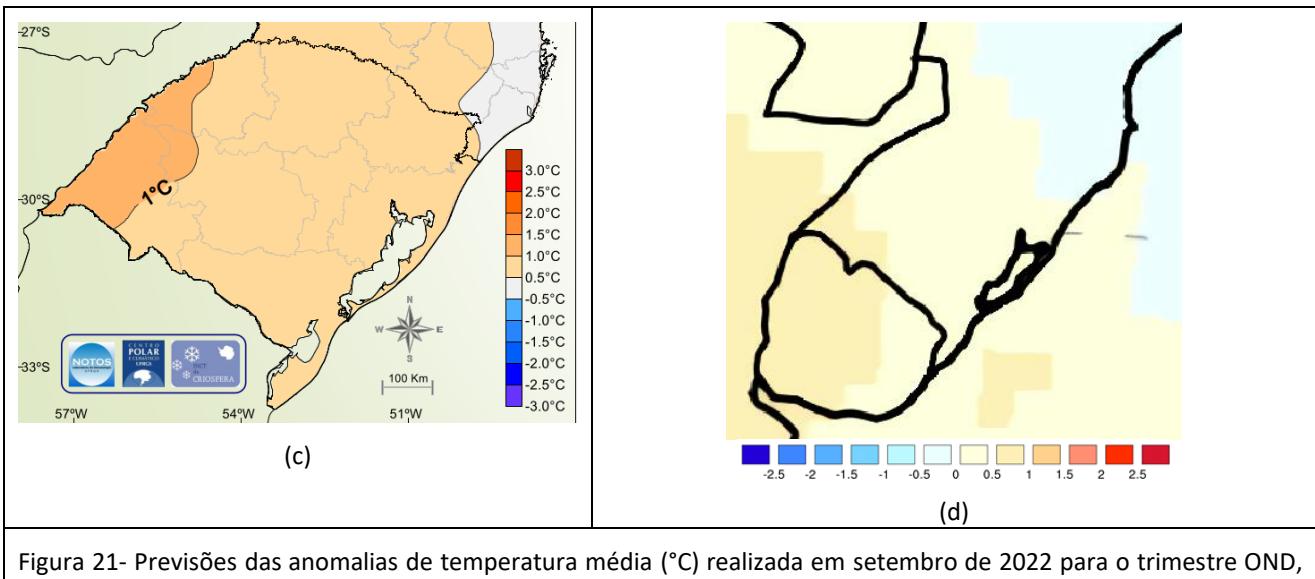
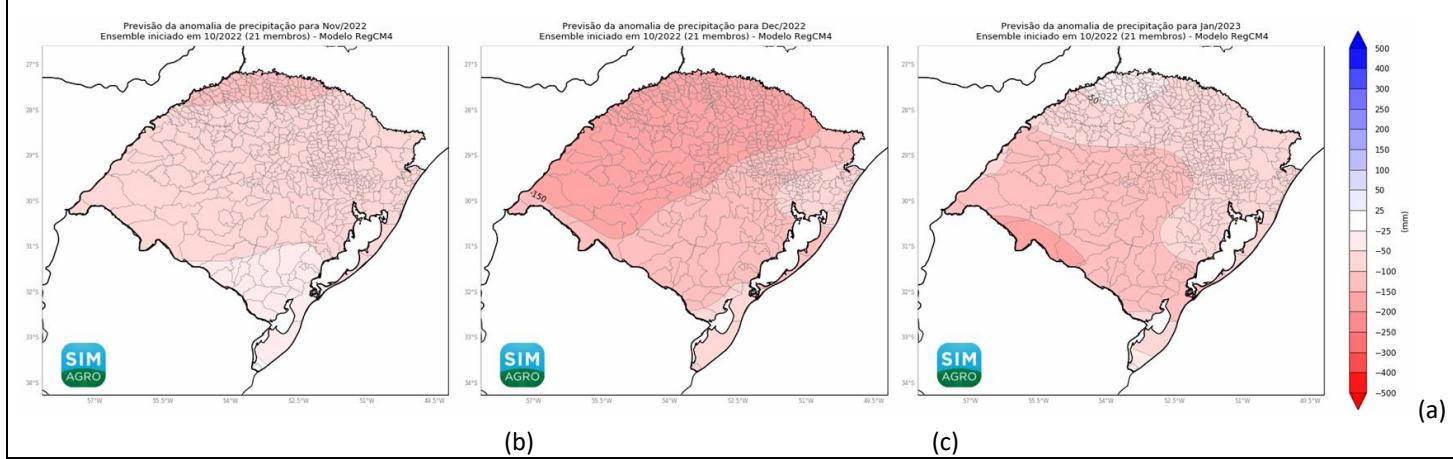


Figura 21- Previsões das anomalias de temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) realizada em setembro de 2022 para o trimestre OND, segundo (a) [Multissistema C3S](#) (mediana dos modelos), (b) modelo estatístico do INMET, (c) Modelo Regional de Previsão Climática para o Sul do Brasil (MoReClima-SUL, Centro Polar e Climático da UFRGS) e (d) Média do conjunto de modelos globais do Centro Climático da Cooperação Econômica Ásia-Pacífico (APCC).

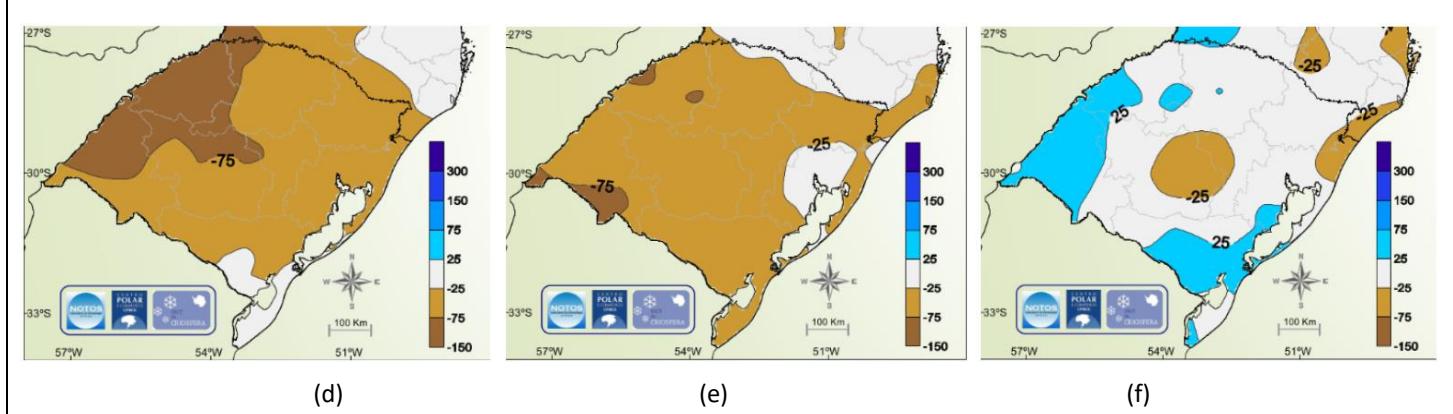
7 Previsões mensais

As previsões mensais realizadas em outubro de 2022, para as anomalias de chuva acumulada e temperatura média mensal dos meses do trimestre NDJ são apresentados nas Figuras 22 e 23, respectivamente. Todas previsões concordam na indicação de anomalias negativas na maioria do estado durante os meses de novembro e dezembro. Enquanto o modelo RegCM4, do SIMAGRO, apresenta a intensificação das anomalias negativas com a máxima intensidade no mês de dezembro (Figura 22.b), no modelo MoReClima-SUL (Figura 22.d-e) e na média do conjunto de modelos do APCC (Figura 22.a-b e 20.g-h), o mês das anomalias negativas mais intensas ocorre em novembro, com uma mudança no padrão das chuvas no mês de janeiro de 2023 (Figuras 22.f e 22.i), apesar de apontarem para uma condição de enfraquecimento na condição de seca, os padrões espaciais não têm concordância.

Modelo dinâmico - RegCM4 do SIMAGRO



Modelo estatístico - MoReClima-SUL



Previsão por conjunto de modelos dinâmicos globais - APCC

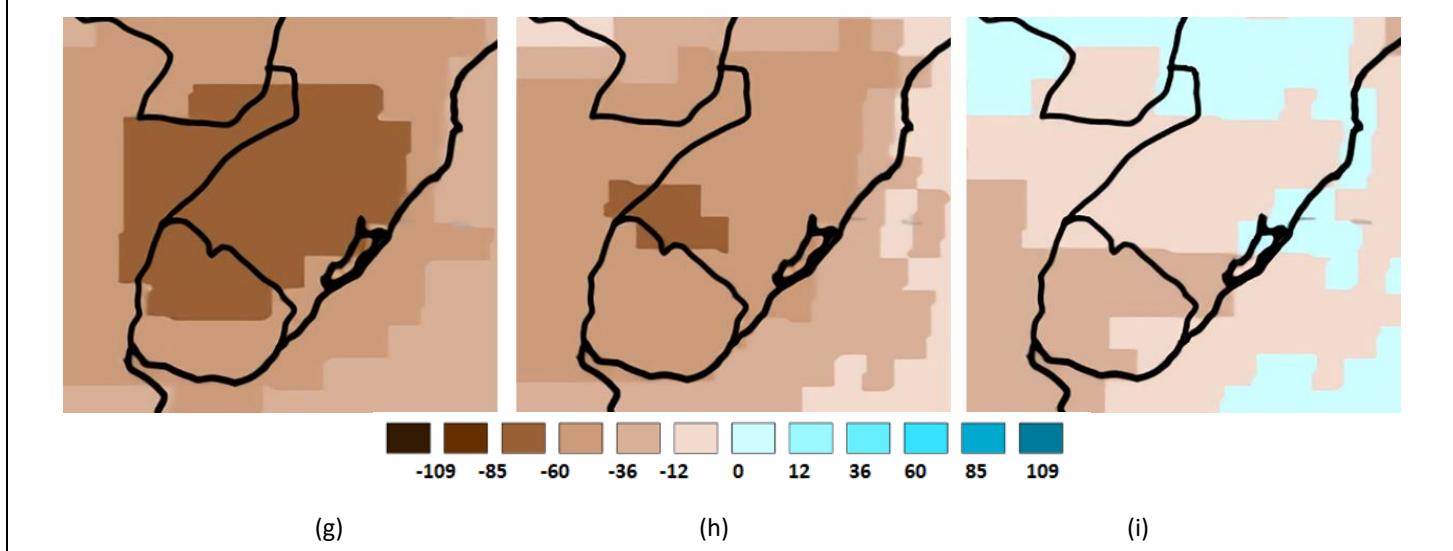
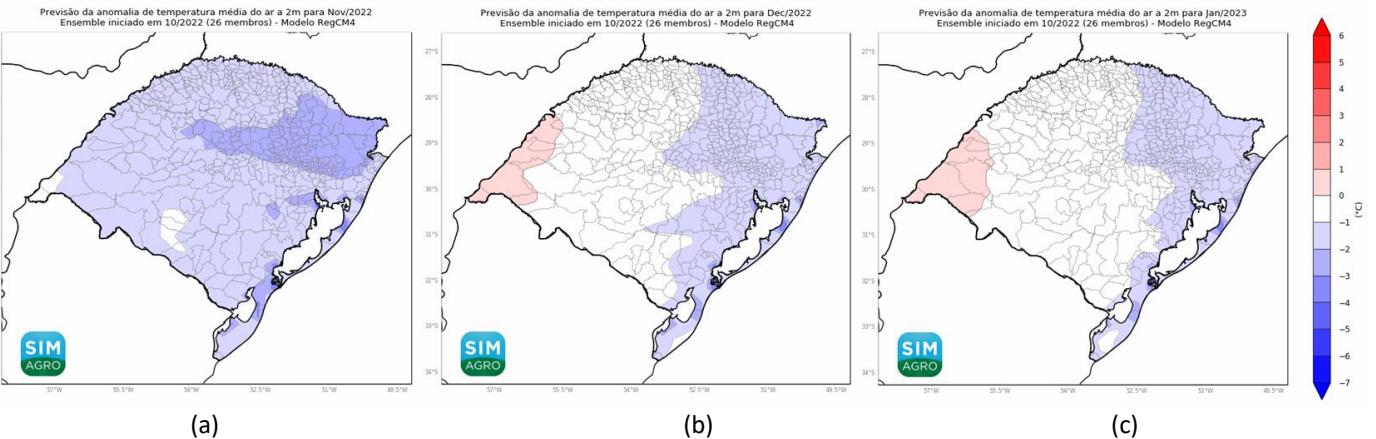


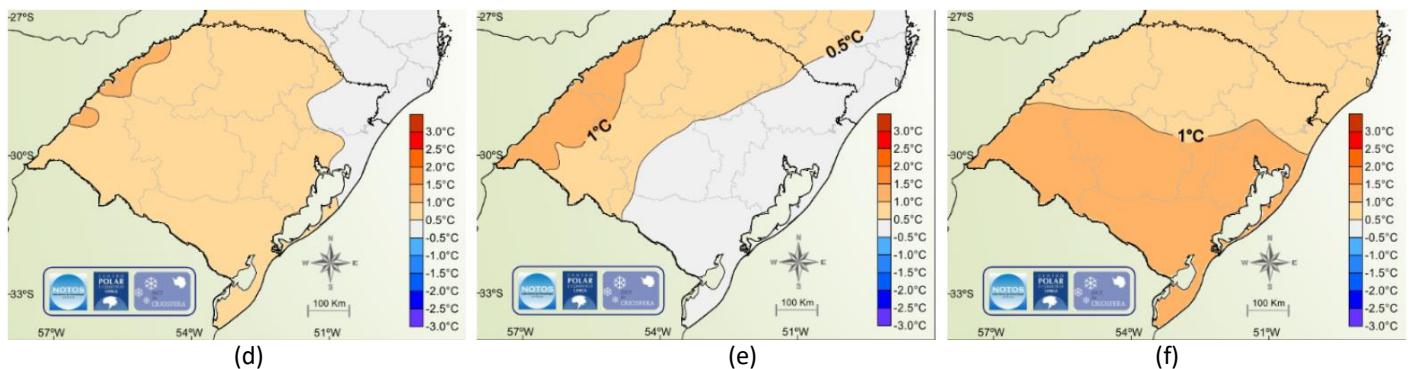
Figura 22- Previsões das anomalias de precipitação mensal, em mm, do modelo dinâmico REGCM-4 do SIMAGRO (a-c), do Modelo Regional de Previsão Climática para o Sul do Brasil (MoReClima-SUL, Centro Polar e Climático da UFRGS) (d-f) e (d) Média do conjunto de modelos globais do Centro Climático da Cooperação Econômica Ásia-Pacífico (APCC). As previsões foram realizadas em outubro de 2022 para os meses de novembro (1^a coluna) e dezembro de 2022 (2^a coluna), e janeiro (3^a coluna) de 2023.

Temperaturas (de 1 a 2 °C) abaixo da média mensal são previstas somente pelo RegCM4 do SIMAGRO para maior parte do estado em novembro e na faixa leste gaúcho, em dezembro e janeiro (Figura 23.b-c). Nos modelos MoReClima-SUL e APCC concordam com temperaturas relativamente mais elevadas que a normal ocorrendo ao longo de todo o trimestre. A previsão do MoReClima-SUL é de temperaturas acima da média (Figura 23.d-f), principalmente no extremo oeste gaúcho, o que é consistente com o sinal da anomalia prevista pelo APCC (Figura 23.g-i). Em janeiro de 2023, todos modelos preveem temperatura acima do normal no oeste do território gaúcho (Figuras 23.c, f,i).

Modelo Dinâmico - RegCM4 do SIMAGRO



Modelo estatístico - MoReClima-SUL



Previsão por conjunto de modelos dinâmicos globais - APCC

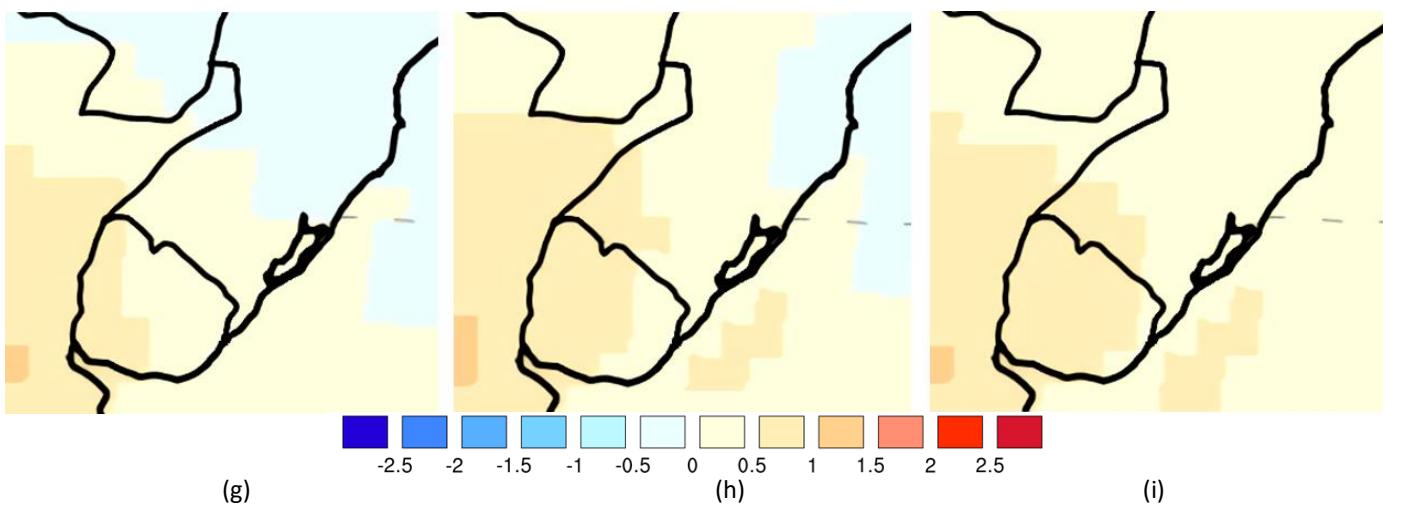


Figura 23- Previsões das anomalias de temperatura média mensal do modelo dinâmico REGCM-4 do SIMAGRO (a-c) e do Modelo estatístico Regional de Previsão Climática para o Sul do Brasil (MoReClima-SUL, Centro Polar e Climático da UFRGS) (d-f) e (d) Média do conjunto de modelos globais do Centro Climático da Cooperação Econômica Ásia-Pacífico (APCC). As previsões foram realizadas em setembro de 2022 para os meses de novembro (1^a coluna) e dezembro de 2022 (2^a coluna), e janeiro (3^a coluna) de 2023.

8 Previsão por consenso

Com base na análise das previsões de permanência da La Niña durante a primavera (e pelo 3º verão consecutivo); na avaliação de impactos esperados na chuva no RS associados aos indicadores de teleconexões; na sucessão de condições hídricas desfavoráveis à recuperação do armazenamento de água no solo devido às secas anteriores; nas previsões do conjunto de modelos climáticos dinâmicos e estatísticos; e na opinião consensual do grupo de Meteorologia da UFSM. A previsão climática sazonal para NDJ no RS é de:

- Chuvas muito abaixo da normal (com valores entre 100 e 200mm abaixo da normal) no centro-oeste do estado e abaixo da normal para o restante do estado (entre 50 e 100 mm abaixo da normal) (Figura 24.a).

- Temperaturas levemente acima da normal climatológica (por volta de 1°C, Figura 24.b) no extremo oeste do RS. Na região central e norte gaúcho a temperatura deve ficar dentro da normal climatológica e levemente abaixo em toda a faixa leste do estado.

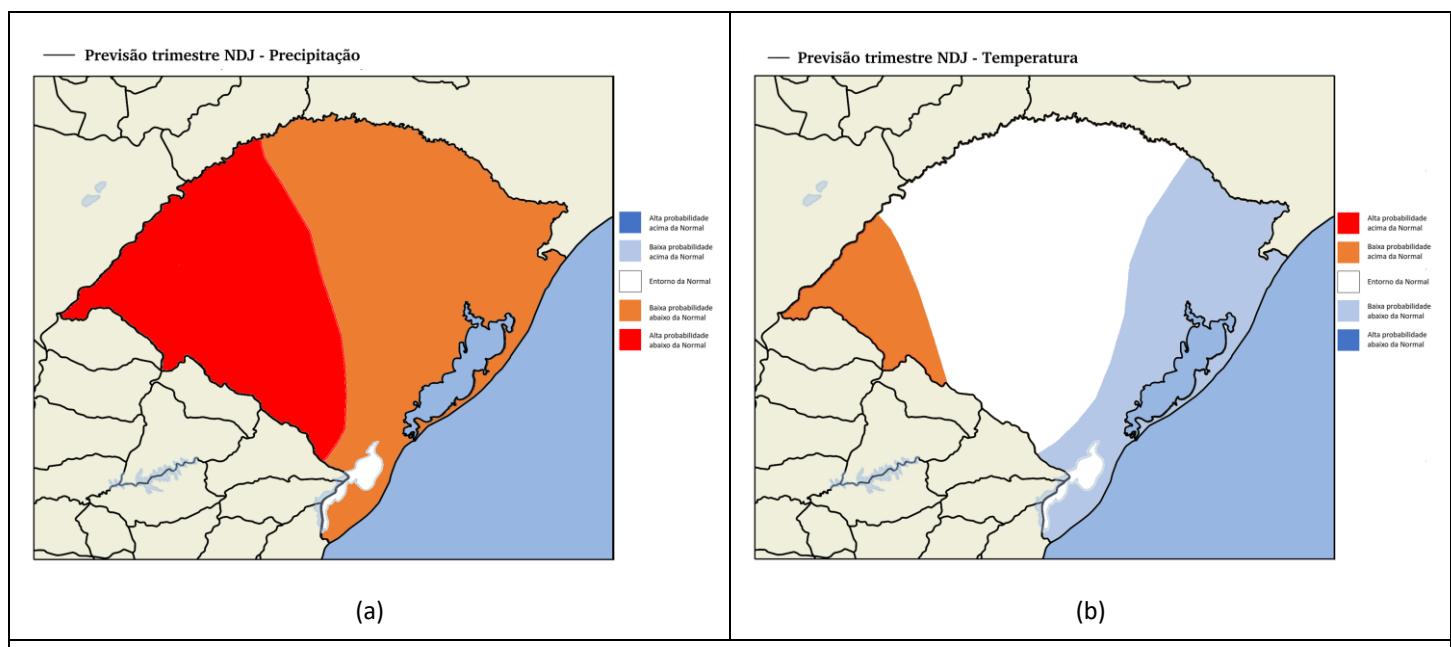


Figura 24- Previsão climática sazonal por consenso para (a) chuva e (b) temperatura média do trimestre OND de 2022. Em (a) Vermelho indica alta probabilidade de chuva abaixo da normal, laranja indica chuva levemente abaixo da normal. Em (b) laranja indica temperatura levemente acima da normal climatológica e branco indica temperatura dentro da normal climatológica.