

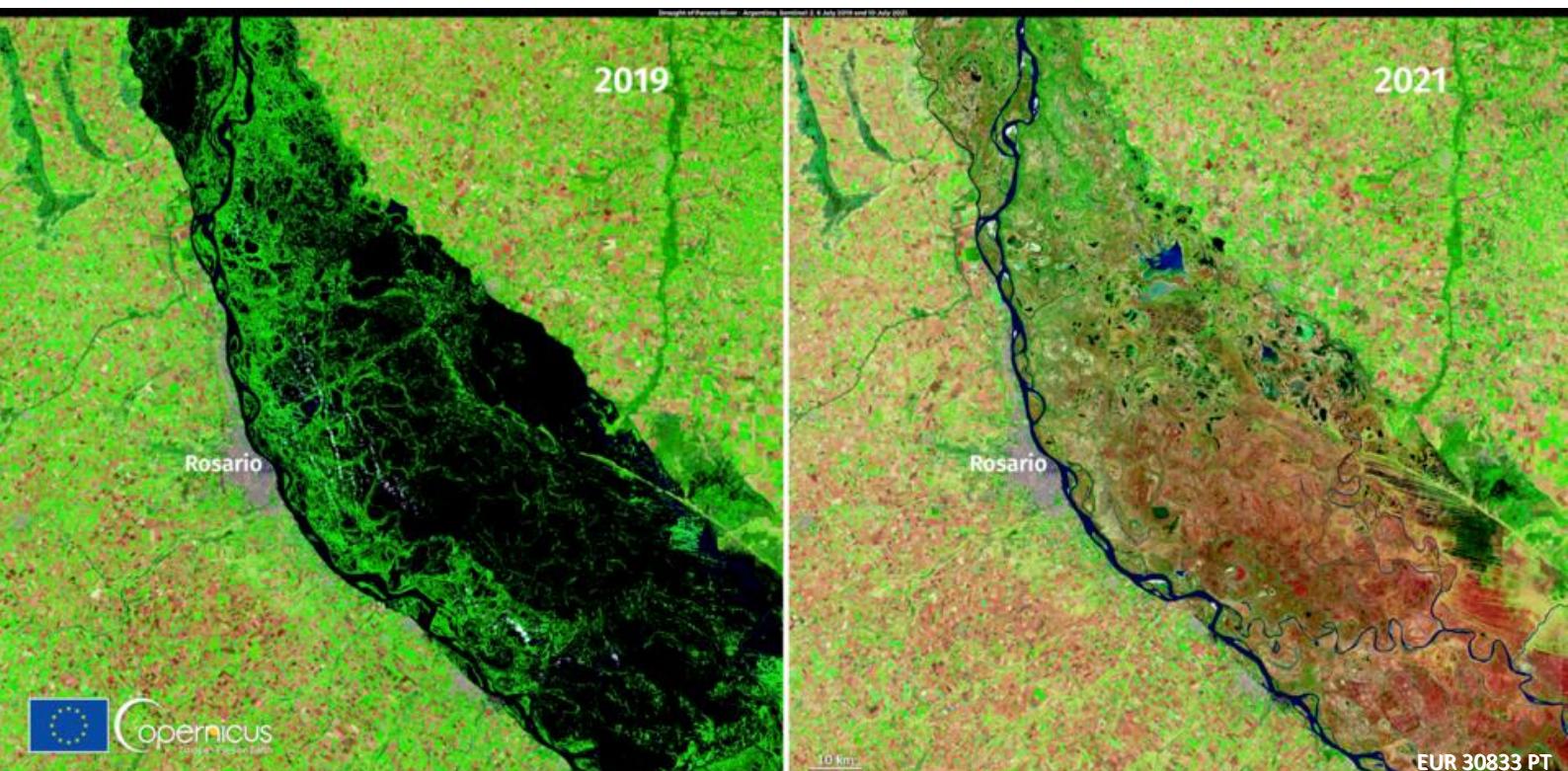


O episódio de seca extrema de 2019-2021 na bacia do Rio da Prata

*Um relatório conjunto do JRC
da CE, do CEMADEN, do SISSA
e da OMM*

Naumann, G., Podestá, G., Marengo, J., Luterbacher, J., Bavera, D., Arias Muñoz, C., Barbosa, P., Cammalleri, C., Chamorro, L., Cuartas, A., de Jager, A., Escobar, C., Hidalgo, C., Leal de Moraes, O., McCormick N., Maetens, W., Magni, D., Masante, D., Mazzeschi, M., Seluchi, M., Skansi, M. M., Spinoni, J., Toreti, A.

2022



A presente publicação é um relatório do Centro Comum de Investigação (JRC), o serviço científico e de conhecimento da Comissão Europeia. Visa proporcionar apoio científico, baseado em dados objetivos, ao processo decisório europeu. Os resultados científicos apresentados não constituem uma posição política da Comissão Europeia. A Comissão Europeia e as pessoas que agirem em seu nome declinam qualquer responsabilidade pela utilização das informações disponibilizadas. Para obter informações sobre a metodologia e qualidade subjacentes aos dados utilizados na presente publicação cuja fonte não seja o Eurostat nem outros serviços da Comissão, os utilizadores devem contactar a fonte mencionada. As designações utilizadas e os elementos apresentados nos mapas não correspondem à expressão de qualquer opinião da União Europeia sobre o estatuto jurídico de países, territórios, regiões ou localidades, nem sobre as suas autoridades ou a delimitação das respectivas fronteiras ou limites.

Contactos

Nome: Andrea Toreti

Endereço: Via E. Fermi 2749, I-21027 ISPRA (VA), Itália

Endereço eletrónico: Andrea.TORETI@ec.europa.eu

Plataforma Científica da UE

<https://ec.europa.eu/jrc>

JRC126508

EUR 30833 PT

PDF

ISBN 978-92-76-47670-2

ISSN 1831-9424

doi:10.2760/972605

Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia, 2022

© União Europeia 2022



A política de reutilização da Comissão Europeia é regida pela Decisão 2011/833/UE da Comissão, de 12 de dezembro de 2011, relativa à reutilização de documentos da Comissão (JO L 330 de 14.12.2011, p. 39). Salvo indicação em contrário, a reutilização do presente documento é autorizada ao abrigo da licença «Creative Commons Attribution 4.0 International» (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). Tal significa que a reutilização é autorizada desde que seja feita uma menção adequada da origem do documento e que sejam indicadas eventuais alterações. A Comissão Europeia não é responsável por quaisquer consequências decorrentes da reutilização. Para utilizar ou reproduzir fotografias ou outro material não protegido pelos direitos de autor da UE, é necessário obter autorização direta dos titulares dos direitos de autor.

Todos os conteúdos © União Europeia 2022, salvo indicação em contrário. Página de rosto: Duas imagens obtidas por um dos satélites do Sentinel-2 do Copernicus em 6 de julho de 2019 (painel esquerdo) e 10 de julho de 2021 (painel direito). As imagens mostram a seca que afeta o rio Paraná, na Argentina, perto do porto de Rosário. Os bancos de areia expostos e as zonas húmidas secas aparecem na imagem da esquerda. Crédito: União Europeia, imagens do Sentinel-2 do Copernicus.

Como citar este relatório: Naumann, G., Podesta, G., Marengo, J., Luterbacher, J., Bavera, D., Arias Muñoz, C., Barbosa, P., Cammalleri, C., Chamorro, L., Cuartas, A., de Jager, A., Escobar, C., Hidalgo, C., Leal de Moraes, O., McCormick N., Maetens, W., Magni, D., Masante, D., Mazzeschi, M., Seluchi, M., Skansi, M. M., Spinoni, J., Toreti, A. O episódio de seca extrema de 2019-2021 na bacia de La Plata, EUR 30833 PT, Serviço das Publicações da União Europeia, Luxemburgo, 2022, ISBN 978-92-76-47670-2 (em linha), doi:10.2760/972605 (em linha), JRC126508.

Índice

Agradecimentos	2
Resumo.....	3
1 Introdução	4
2 Evolução e situação da seca na BLP de 2019 até ao presente	6
2.1 Precipitação total e anomalias cumulativas desde setembro de 2016.....	7
2.2 Índice normalizado de precipitação (SPI)	8
2.3 Evolução da zona em diferentes categorias de seca com base nas estimativas de precipitação do CHIRPS	10
2.4 Variáveis hidrológicas.....	12
2.5 Resposta da vegetação.....	16
3 Causas da recente seca.....	17
3.1 Fenómeno de Oscilação Meridional-El Niño (ENSO).....	17
3.2 Alteração do uso do solo e desflorestação	18
4 Eventos de seca históricos na BLP	21
5 Impactos comunicados da seca em curso	24
5.1 Declaração de emergência em caso de seca	24
5.2 Ecossistemas – Zonas húmidas.....	24
5.3 Incêndios.....	26
5.4 Culturas, Pecuária e Economia	28
5.5 Transporte por vias navegáveis.....	30
5.6 Produção de energia hidroelétrica e outros impactos energéticos	32
5.7 Abastecimento de água para consumo humano	34
5.8 Saúde humana.....	35
6 Conclusões.....	36
Referências	37
Lista de abreviaturas e definições	40
Lista de figuras.....	41
Lista de quadros	43
Anexos	44
Anexo 1. Descrição dos indicadores de seca utilizados no presente relatório	44

Agradecimentos

A investigação no «Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais» (CEMADEN) foi parcialmente financiada pela fase dois do projeto INCT-Alterações Climáticas (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), Número de Subvenção/Concessão: 465501/2014-1; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Número de Subvenção/Concessão: 88887.136402/2017-; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Número de Subvenção/Concessão: 2014/50848-9; CNPq, Número de Subvenção/Concessão: 301397/2019-8).

O «Sistema de Información sobre Sequías para el Sur de Sudamérica» (SISSA) é uma componente do Centro Regional do Clima para o Sul da América do Sul, uma colaboração de seis países para produzir e divulgar informações e serviços climáticos oportunos, pertinentes e acionáveis para apoiar a tomada de decisões em setores da sociedade sensíveis à variabilidade e às alterações climáticas. O principal apoio às atividades do SISSA é prestado pela Iniciativa para a Promoção de Bens Públicos Regionais do Banco Interamericano de Desenvolvimento e pelo programa Euroclima+ financiado pela União Europeia através da Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento.

Autores

Gustavo Naumann, Comissão Europeia, Centro Comum de Investigação, Itália
Guillermo Podestá, SISSA, Argentina
Jose Antonio Marengo, CEMADEN, Brasil
Jürg Luterbacher, Diretor do Departamento de Ciência e Inovação e cientista-chefe da Organização Meteorológica Mundial, Genebra, Suíça
Davide Bavera, Arcadia SIT, Vigevano, Itália
Arias Muñoz, Carolina, Arhs Development, Milão, Itália
Paulo Barbosa, Comissão Europeia, Centro Comum de Investigação, Itália
Carmelo Cammalleri, Comissão Europeia, Centro Comum de Investigação, Itália
Lucas Chamorro, Entidad Binacional Yaciretá, Paraguai - Argentina
Luz Adriana Cuartas, CEMADEN, Brasil
Alfred de Jager, Comissão Europeia, Centro Comum de Investigação, Itália
Cristián Escobar, Organização Meteorológica Mundial, Gabinete Regional para a América do Sul, Paraguai
Cecilia Hidalgo, SISSA, Argentina
Marco Mazzeschi, Unisystems Luxembourg Sàrl, Luxemburgo
Osvaldo Luiz Leal de Moraes, CEMADEN, Brasil
Niall McCormick, Comissão Europeia, Centro Comum de Investigação, Itália
Willem Maetens, Comissão Europeia, Centro Comum de Investigação, Itália
Diego Magni, Arcadia SIT, Vigevano, Itália
Dario Masante, Comissão Europeia, Centro Comum de Investigação, Itália
Marcelo Enrique Seluchi, CEMADEN, Brasil
Maria de los Milagros Skansi, Serviço Nacional de Meteorologia, Argentina
Jonathan Spinoni, Comissão Europeia, Centro Comum de Investigação, Itália
Andrea Toreti, Comissão Europeia, Centro Comum de Investigação, Itália

Resumo

Uma seca persistente e extrema iniciada em 2019 está ainda em curso e tem vindo a afetar a bacia de La Plata, a segunda maior bacia hidrográfica da América do Sul e a quinta maior do mundo. Apresentamos aqui uma panorâmica do evento, do seu contexto climatológico, da sua evolução espaciotemporal, das suas causas e características, bem como dos seus impactos nos sistemas naturais e humanos.

A seca de 2019-2021 teve início com uma precipitação inferior à normal na parte superior da bacia em meados de 2019 e, devido à sua persistência, propagou-se pelo ciclo hidrológico, afetando a humidade do solo, os caudais, as águas subterrâneas e a vegetação. As condições de seca grave, extrema e excepcional começaram a surgir nas bacias superiores dos rios Paraguai e Paraná, no centro-sul do Brasil. No final de 2019, as condições de seca já afetavam os estados brasileiros de Mato Grosso, Goiás, São Paulo e Paraná, bem como o Paraguai e o centro da Argentina. Esta situação manteve-se em 2020 e, no final de 2020, a seca atingiu os seus contornos máximos em termos espaciais, altura em que o norte da Argentina e as Pampas do centro-leste argentino também sofreram uma seca generalizada.

O episódio de seca da bacia de La Plata, em curso em 2019-2021, pode já figurar entre os cinco principais eventos do sudeste da América do Sul desde a década de 1950. A maioria dos parâmetros incluídos na classificação atual (gravidade, intensidade e pico) mostra que a seca em curso fica aquém do evento de 1968-1971 devido à sua duração mais curta.

Na maior parte da bacia de La Plata, La Niña é frequentemente acompanhada de secas, o que conduz a impactos particularmente negativos no sul do Brasil, no nordeste da Argentina, no Paraguai e no Uruguai. As observações recentes e as previsões sazonais sugerem que as condições de La Niña podem voltar a ocorrer em outubro-novembro de 2021 e prolongar-se até à primavera de 2022, atrasando assim o regresso às condições normais na bacia de La Plata, incluindo os caudais fluviais. Tal está em consonância com a maior parte das previsões de precipitação sazonais de conjuntos de modelos globais, que indicam um cenário de défice de precipitação na parte média e inferior da bacia de La Plata.

De acordo com os impactos comunicados e atribuídos a este evento, muitos setores, incluindo a agricultura, a navegação interior, a produção de energia, o abastecimento de água e vários ecossistemas, têm sido afetados pela seca contínua. No entanto, as estimativas dos danos totais e a caracterização de todos os setores afetados só podem ser efetuadas uma vez terminado o evento.

1 Introdução

A bacia de La Plata (a seguir designada BLP) engloba o sul do Brasil, o sudeste da Bolívia, o Paraguai, a maior parte do Uruguai e o nordeste da Argentina. Com uma área de 3,1 milhões de km², a BLP é a segunda maior bacia hidrográfica da América do Sul e a quinta maior do mundo, abrangendo cerca de 17 % da superfície terrestre do continente sul-americano. A região depende sobretudo da precipitação para sustentar uma grande produção agrícola, a energia hidroelétrica e o transporte de mercadorias ao longo dos seus rios, bem como para satisfazer as necessidades domésticas, industriais e ambientais de água. A BLP inclui três grandes sistemas fluviais: os rios Paraná, Paraguai e Uruguai convergem no estuário do Río de La Plata, que escoa para o Atlântico. Cada uma destas bacias hidrográficas tem características socioeconómicas únicas que refletem a sua água de origem e a variabilidade do padrão de fluxo associada (Figura 1). O sistema fluvial Paraguai-Paraná, por exemplo, é um corredor fluvial com uma extensão de 3 500 km de rios com curso natural que, devido à ausência de barragens e outras intervenções importantes, ainda preserva as suas funções hidrológicas e ecológicas (Baigún e Minotti, 2021).



Figura 1. Mapa da bacia de La Plata, incluindo as principais barragens hidroelétricas. As zonas verdes escuras representam zonas de desenvolvimento da irrigação. Fonte: FAO, (2016).

A população total que vive na BLP é de cerca de 100 milhões de pessoas, quase metade da população dos países da bacia. Na BLP, é produzido cerca de 70 % do PIB agregado dos países da bacia (Barros *et al.*, 2006). Atualmente, os rios da BLP estão expostos a fatores que alteram a quantidade e a qualidade das suas águas. Estas pressões são exacerbadas pela extraordinária variabilidade do regime hidrológico ligada, em parte, à variabilidade climática e às alterações climáticas, com secas e/ou inundações recorrentes. Outros fatores importantes estão associados a alterações nos seguintes domínios: uso do solo, crescimento demográfico, urbanização, agricultura, indústria e desenvolvimento de infraestruturas. Compreender os impactos das condições climáticas e ambientais atuais e recentes e avaliar cenários futuros (incluindo, por exemplo, uma maior frequência e intensidade dos fenómenos de seca) é crucial para apoiar as políticas e decisões governamentais, bem como para promover o progresso rumo a economias hipocarbónicas, a uma elevada resiliência e a sociedades mais equitativas nesta região (Coelho *et al.*, 2016).

A região da BLP tem sofrido, desde 2019, um evento longo, excepcional e devastador que começou como uma seca meteorológica¹ (défices de precipitação), mas que, devido à sua persistência, se propagou pelo ciclo hidrológico e afetou toda a hidrologia (humididade do solo, rios, armazenamento de águas de superfície e subterrâneas) e os ecossistemas da região. É considerada «a mais grave desde 1944» (INA, 2021) e teve graves repercussões nas sociedades, nos ecossistemas e na economia regionais. Apresentamos aqui uma panorâmica da evolução da seca e dos impactos associados nos ecossistemas e nos principais setores socioeconómicos. As principais características e os fatores determinantes do clima são descritos nas secções seguintes, juntamente com uma panorâmica dos principais setores sensíveis à seca.

¹ As secas são uma característica recorrente de todos os climas e são geralmente definidas em função do clima médio a longo prazo de uma dada região. O Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas (PIAC) define seca como «um período de tempo anormalmente seco suficientemente longo para provocar um grave desequilíbrio hidrológico» (PIAC, 2021). Resulta de um défice de precipitação durante um determinado período, de um calendário inadequado ou da ineficácia da precipitação, e/ou de um balanço hidrológico negativo devido ao aumento da procura atmosférica de água na sequência de temperaturas elevadas ou de ventos fortes (UNDRR, 2021).

2 Evolução e situação da seca na BLP de 2019 até ao presente

Vários relatórios (GDO², CEMADEN³, INA⁴ e OMM^{5,6}) analisaram as fases iniciais desta seca que teve início aproximadamente em meados de 2019 no norte da BLP e se propagou recentemente no espaço, afetando quase toda a bacia. Observações recentes⁷ e a monitorização por parte do CEMADEN, de agências hidrológicas e de serviços meteorológicos na região confirmaram um agravamento do défice de precipitação e de caudal.

As diferentes fases de seca exigem indicadores diferentes para a sua caracterização (ver caixa 1). As anomalias de precipitação e o índice normalizado de precipitação são frequentemente utilizados na análise meteorológica da seca. Os indicadores de humidade do solo, como o índice de gravidade da seca baseado na humidade do solo, caracterizam os impactos da seca em termos de *stress* hídrico das plantas (Vogt *et al.*, 2018).

Caixa 1. Tipos de seca

Dependendo do efeito no ciclo hidrológico e do impacto na sociedade e no ambiente, distinguem-se geralmente diferentes tipos de seca:

- A seca meteorológica consiste num período de meses ou anos com um défice de precipitação ou de balanço hidrológico climatológico (ou seja, precipitação menos a evapotranspiração potencial) numa dada região. O défice é definido em função da climatologia a longo prazo. Uma seca meteorológica é frequentemente acompanhada por temperaturas superiores às normais e precede e provoca outros tipos de secas. A seca meteorológica é causada por anomalias persistentes nos padrões de circulação atmosférica em grande escala, que são frequentemente desencadeadas por temperaturas anómalas da superfície do mar tropical ou outras condições remotas. As reações locais, como a redução da evaporação e da humidade associada a solos secos e temperaturas elevadas, aumentam frequentemente as anomalias atmosféricas.
- A seca agrícola e ecológica consiste num período com um défice anormal de humidade do solo, que resulta da escassez de precipitação combinada com o excesso de evapotranspiração e, durante a estação vegetativa, afeta a produção vegetal ou a função do ecossistema em geral.
- A seca hidrológica ocorre quando o caudal fluvial e o armazenamento de água em aquíferos, lagos ou reservatórios se situam abaixo dos níveis médios a longo prazo. A seca hidrológica desenvolve-se mais lentamente porque envolve água armazenada que é esgotada mas não reabastecida. As séries cronológicas destas variáveis são utilizadas para analisar a ocorrência, a duração e a gravidade das secas hidrológicas.

Fonte: adaptado de Vogt *et al.* (2018); PIAC (2021)

2 GDO, 2021. Relatório analítico do GDO. Seca no centro-sul do Brasil – junho de 2021. Observatório Mundial da Seca (GDO) do JRC, do serviço de gestão de emergências do Copernicus (CEMS). Disponível em: <https://edo.jrc.ec.europa.eu/gdo/php/index.php?id=2050>

3 CEMADEN, 2021. Monitoramento De Secas E Impactos No Brasil – julho/2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/rede-mcti/cemaden/conteudo/monitoramento/monitoramento-de-seca-para-o-brasil/monitoramento-de-secas-e-impactos-no-brasil-2013-julho-2021>.

4 INA, 2021. Posibles escenarios hidrológicos en la cuenca del plata Durante el período septiembre-octubre-noviembre 2021. Disponível em: <https://www.ina.gob.ar/alerta/index.php?seccion=6>.

5 OMM, 2021a: Estado do clima global 2020, OMM-N.º 1264.

6 OMM, 2021b: Estado do clima na América Latina e nas Caraíbas 2020, OMM-N.º 1272.

7 https://www.ina.gob.ar/archivos/alerta/Tabprono_2021sep29.pdf.

Os indicadores hidrológicos, tais como percentis de caudal e défices, são utilizados para quantificar o volume do défice hídrico em rios e reservatórios ou para monitorizar se é mantido um caudal ecológico exigido ou um regime de caudal mínimo. Os indicadores baseados em sensores remotos, como a fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida, são utilizados para monitorizar o *stress* da seca na canópia da vegetação (UNDRR, 2021).

Aqui, descrevemos a evolução dos diferentes indicadores de seca meteorológicos e hidrológicos relacionados com a vegetação. O anexo 1 contém uma descrição pormenorizada dos indicadores de seca utilizados nesta secção.

2.1 Precipitação total e anomalias cumulativas desde setembro de 2016

A Figura 2 mostra a evolução temporal da precipitação mensal e das anomalias de precipitação cumulativas nos últimos 5 anos (setembro de 2016 – setembro de 2021). São apresentadas as séries cronológicas para dois locais: *a*) uma próxima de Santa Fé do Sul no estado de São Paulo para descrever as condições do sistema de abastecimento de água de Cantareira que fornece água à megaciadade de São Paulo (painéis da esquerda) e *b*) o Pantanal no estado de Mato Grosso, uma das maiores zonas húmidas do mundo (painéis da direita).

É evidente que, nos últimos 5 anos, a precipitação foi sempre inferior à média de 1981-2010 em ambos os locais, pelo que não contribuiu significativamente para atenuar as condições de seca anteriores. No entanto, os últimos 12 meses destacam-se com valores muito baixos. Ao longo dos últimos 5 anos, foi

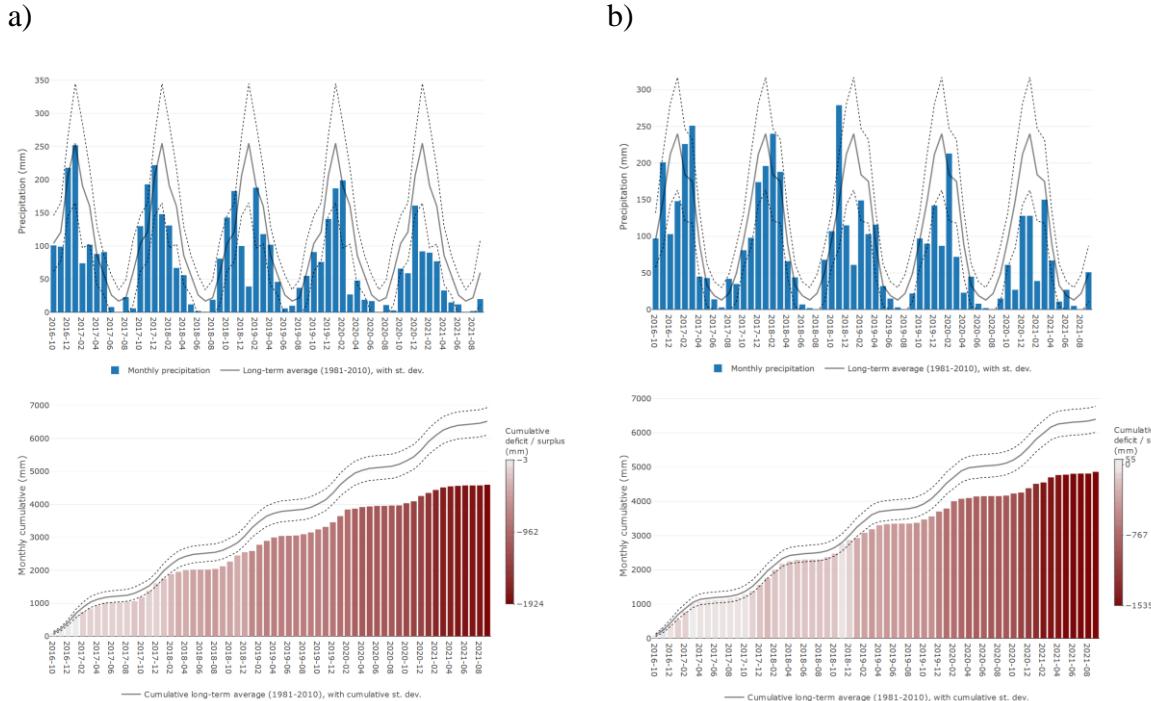
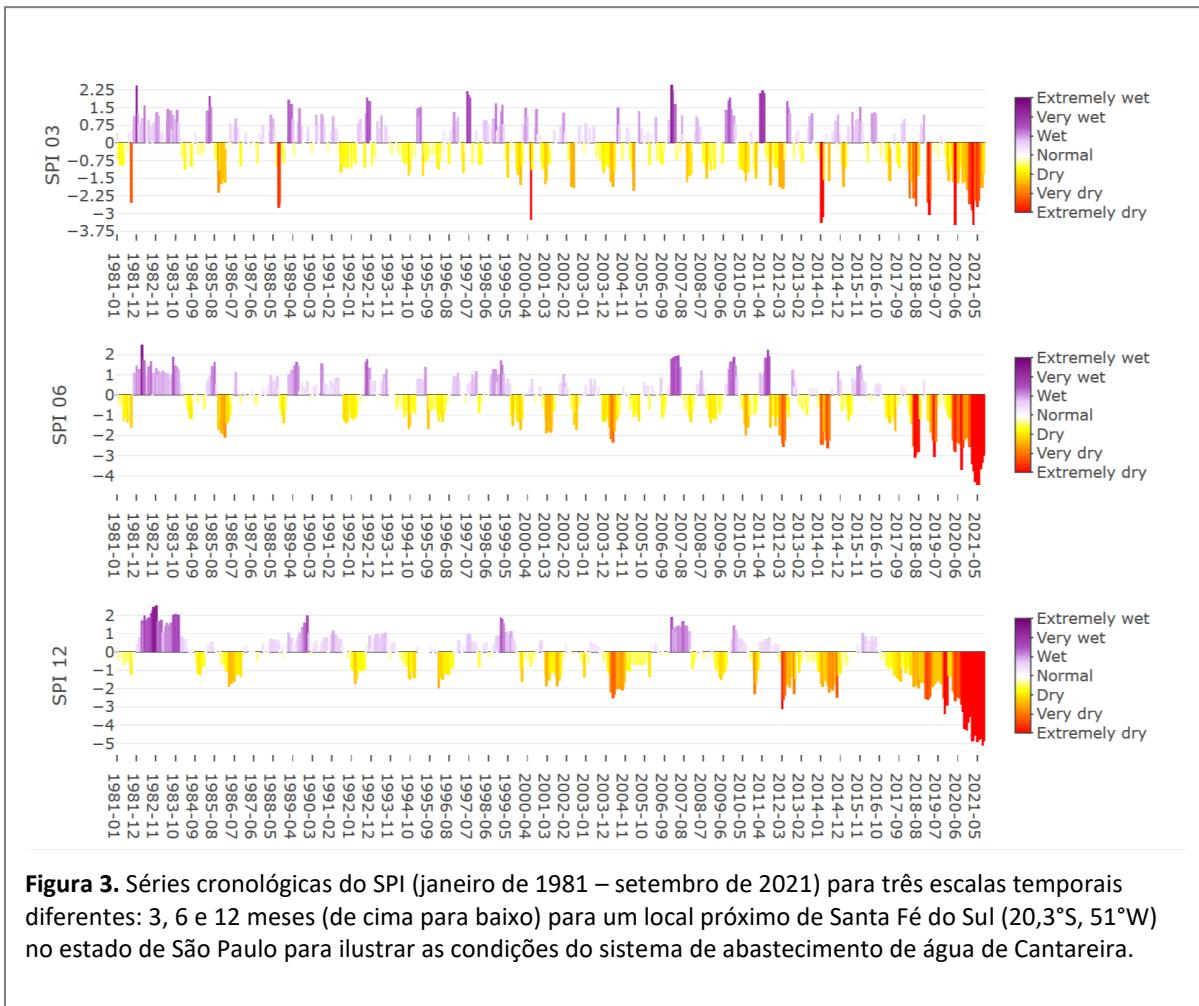


Figura 2. Séries cronológicas da precipitação total mensal (barras azuis) e anomalias de precipitação cumulativas (barras vermelhas) dos últimos 5 anos (setembro de 2016 – setembro de 2021). São apresentadas séries para: a) uma região próxima de Santa Fé do Sul ($20,3^{\circ}\text{S}$, 51°W) no estado de São Paulo para ilustrar as condições próximas do sistema de abastecimento de água de Cantareira; b) a zona húmida do Pantanal nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul ($16,7^{\circ}\text{S}$, $57,5^{\circ}\text{W}$). Ambos os painéis mostram igualmente a média mensal de 1981-2010 da precipitação total (linhas sólidas) e o intervalo de variabilidade estimado dado pelo desvio-padrão (linhas a tracejado). Os painéis inferiores mostram a média mensal de 1981-2010 (linhas sólidas) e o intervalo de variabilidade estimado dado pelo desvio-padrão (linhas a tracejado) das anomalias de precipitação cumulativas ao longo dos últimos 5 anos.

acumulado um forte défice de precipitação superior a 25 % (relativamente a 1981-2010). Nos últimos dois anos, a precipitação total foi de cerca de 50 % da média.

2.2 Índice normalizado de precipitação (SPI)

A presente secção centra-se nas séries cronológicas do índice normalizado de precipitação (SPI, um indicador de seca meteorológica, ver anexo para mais pormenores) para os dois locais descritos na secção anterior (sistema de abastecimento de água de Cantareira e zona húmida do Pantanal). As séries SPI são apresentadas na Figura 3 e Figura 4 para três escalas temporais: 3, 6 e 12 meses.



A análise da série cronológica do SPI mostra que, desde 1981, o SPI-03 atingiu valores muito secos ou extremamente secos entre 20 e 30 vezes. No entanto, é impressionante constatar que 2/3 destes eventos ocorreram nos últimos 4 anos. Nos últimos 6 meses, o SPI-12 apresentou valores negativos, sugerindo um forte défice hidrológico. Esta informação confirma que a seca atual representa um dos períodos mais secos e mais longos de pluviosidade abaixo do normal na parte superior da BLP nos últimos 40 anos.

A série cronológica do SPI do período de acumulação a longo prazo (12 meses) explica o impacto da falta de precipitação na hidrologia da região. O grave défice do SPI-12 cobre praticamente a totalidade da parte norte da bacia de La Plata (não indicado). A gravidade do défice de precipitação a longo prazo é extremamente forte na maior parte do centro e sul do Brasil, no sudeste da Bolívia e no norte do Paraguai, no nordeste da Argentina e no leste do Uruguai.

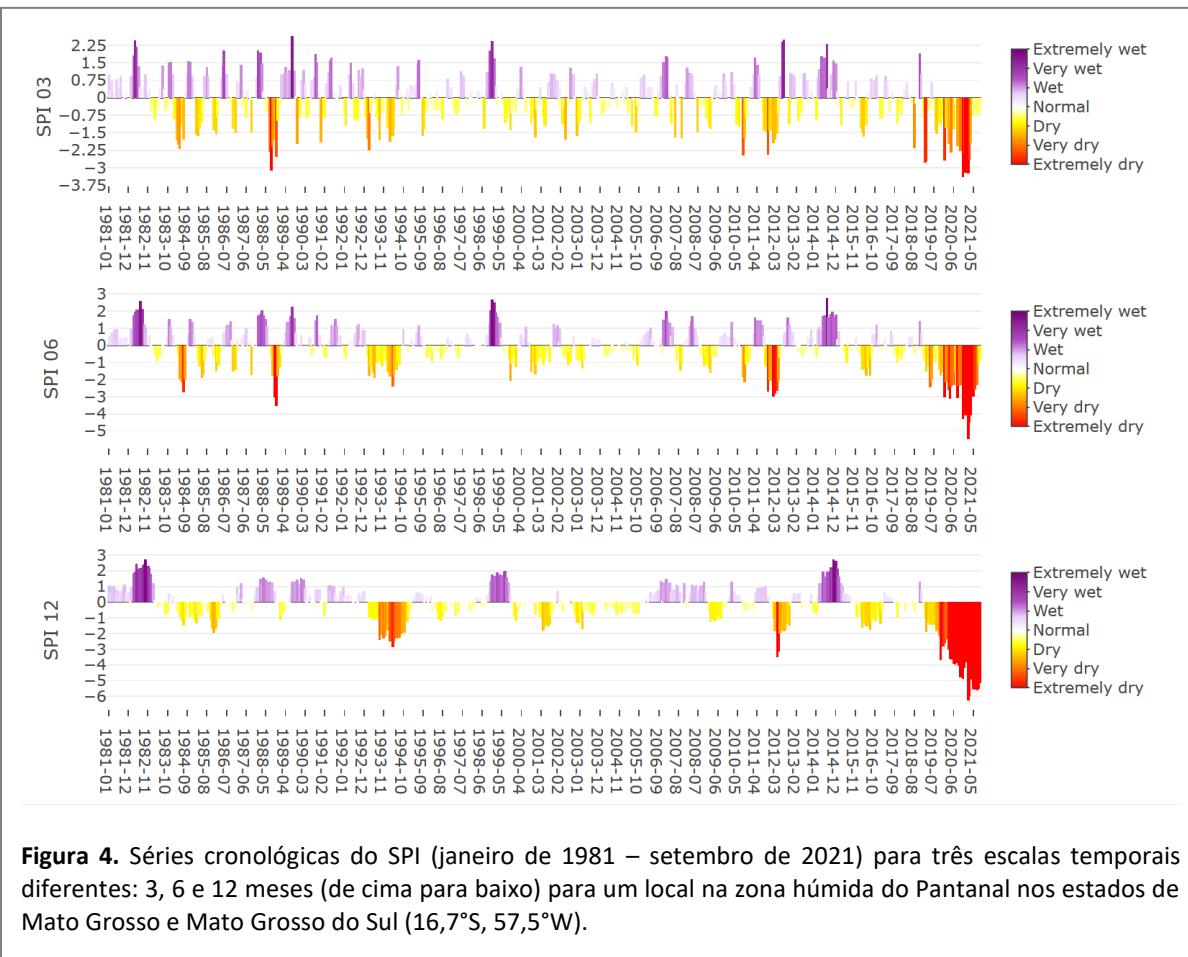


Figura 4. Séries cronológicas do SPI (janeiro de 1981 – setembro de 2021) para três escalas temporais diferentes: 3, 6 e 12 meses (de cima para baixo) para um local na zona húmida do Pantanal nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul ($16,7^{\circ}\text{S}$, $57,5^{\circ}\text{W}$).

2.3 Evolução da zona em diferentes categorias de seca com base nas estimativas de precipitação do CHIRPS

Para acompanhar a evolução temporal das recentes condições de seca na bacia de La Plata também utilizamos mapas de categorias de seca calculados a partir das estimativas de precipitação do CHIRPS (*Climate Hazards InfraRed Precipitation with Station data*) (Funk *et al.*, 2015). Os campos do CHIRPS são obtidos a partir de dados de satélite e de observações *in situ*; são produzidos a cada período de 5 dias e estão disponíveis desde 1981 numa grelha de aproximadamente 5×5 km. O conjunto de dados CHIRPS foi validado em todo o mundo, incluindo algumas regiões brasileiras, tendo-se constatado que tinha um melhor desempenho do que outros conjuntos de dados de precipitação no centro do Brasil (Marengo *et al.*, 2021b).

Aqui, as estimativas de precipitação do CHIRPS são agregadas ao longo de períodos de 6 meses que terminam nas datas indicadas no canto superior direito de cada mapa na Figura 5. Por exemplo, o mapa que se encontra na parte superior esquerda com a data «2019-03-15» inclui valores do período compreendido entre 16 de setembro de 2018 e 15 de março de 2019. É então utilizada uma abordagem não paramétrica (Kooperberg e Stone, 1991) para cada célula e data final/ano para estimar os percentis para cada série cronológica de precipitação. Estes percentis são utilizados para atribuir cada célula da grelha e combinação data final/ano a uma das seis categorias de seca seguindo o sistema de monitorização da seca dos E.U.A. (Svoboda *et al.*, 2002). As categorias de seca variam entre «sem condições de seca» (valores do percentil > 30) e «seca excepcional» (percentis ≤ 2).

Plata Basin Drought Categories (6-month periods)

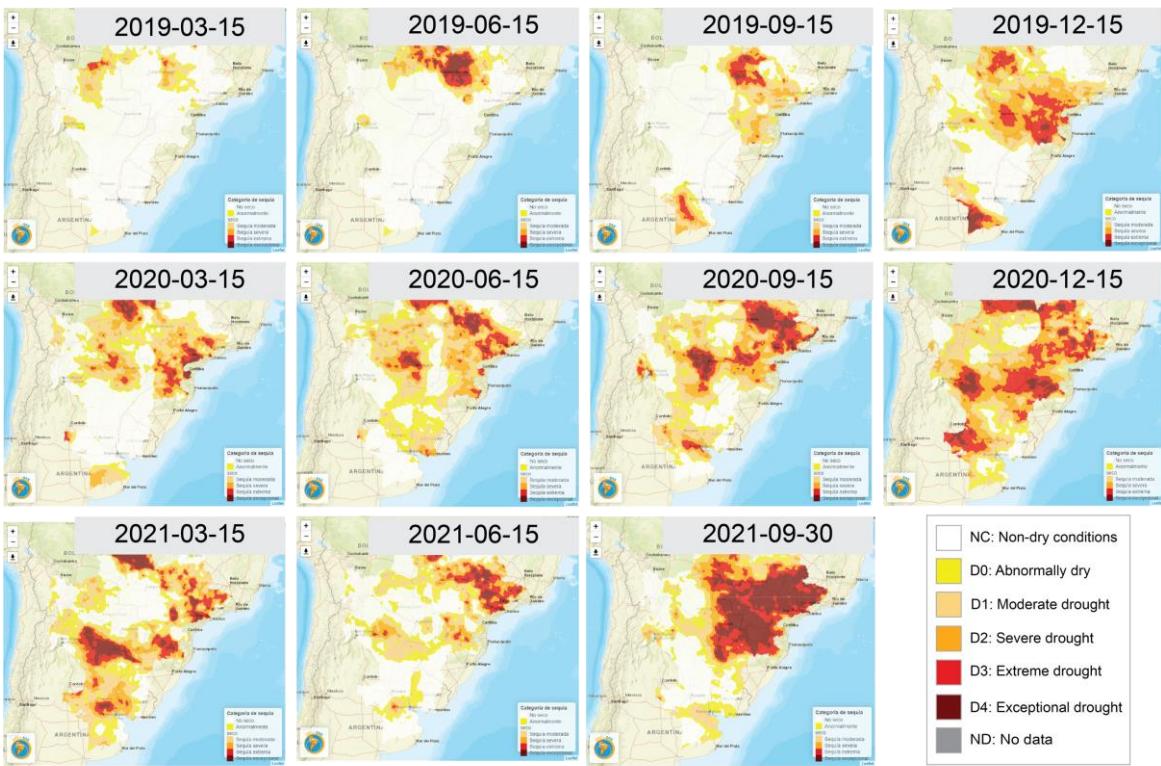


Figura 5. Categorias de seca para a bacia de La Plata derivadas de anomalias de precipitação CHIRPS do SPI-6 entre 15 de março de 2019 e 30 de setembro de 2021. Fonte: SISSA

A evolução espaciotemporal desta seca, dada pelas categorias estimadas de seca baseadas no percentil (aproximadamente de três em três meses – à exceção do painel inferior direito, que mostra os dados mais recentes que terminam em 30 de setembro de 2021, ou seja, três meses após o mapa anterior), é apresentada na Figura 5. Quanto ao período de 6 meses que terminou em março de 2019 (Fig. 5, painel superior esquerdo), a maior parte da BLP não se encontrava em condições de seca. As condições de seca grave, extrema e excepcional começaram a surgir no período que terminou em meados de junho de 2019 nas bacias superiores dos rios Paraguai e Paraná, no centro-sul do Brasil. No final de 2019 (Fig. 5, painel superior direito), as condições de seca prolongaram-se bastante nos estados brasileiros de Mato Grosso, Goiás, São Paulo e Paraná, bem como no Paraguai e no centro da Argentina. A partir do outono de 2020, a seca persistiu (Barbosa *et al.*, 2021) e foi agravada por uma intensa onda de calor que afetou a maior parte da América Central/do Sul entre setembro e outubro (Marengo *et al.*, 2021a). Esta situação manteve-se e atingiu a sua extensão máxima no final de 2020, altura em que o norte da Argentina e as Pampas do centro-leste argentino apresentavam uma seca generalizada.

As condições críticas foram ligeiramente atenuadas no Paraguai e no centro-sul do Brasil em março de 2021, mas a seca grave a extrema continuou a afetar tanto as regiões a norte como a sul dessa zona *não seca*. Esta zona *não seca* expandiu-se até meados de 2021, exceto para o sul do centro do Brasil. Por último, analisando o período de 6 meses que terminou em setembro de 2021 (Fig. 5, painel inferior direito), a zona afetada pela seca grave a excepcional expandiu-se consideravelmente, abrangendo o centro-sul do Brasil, o Paraguai, a maior parte do Uruguai e o norte e centro da Argentina.

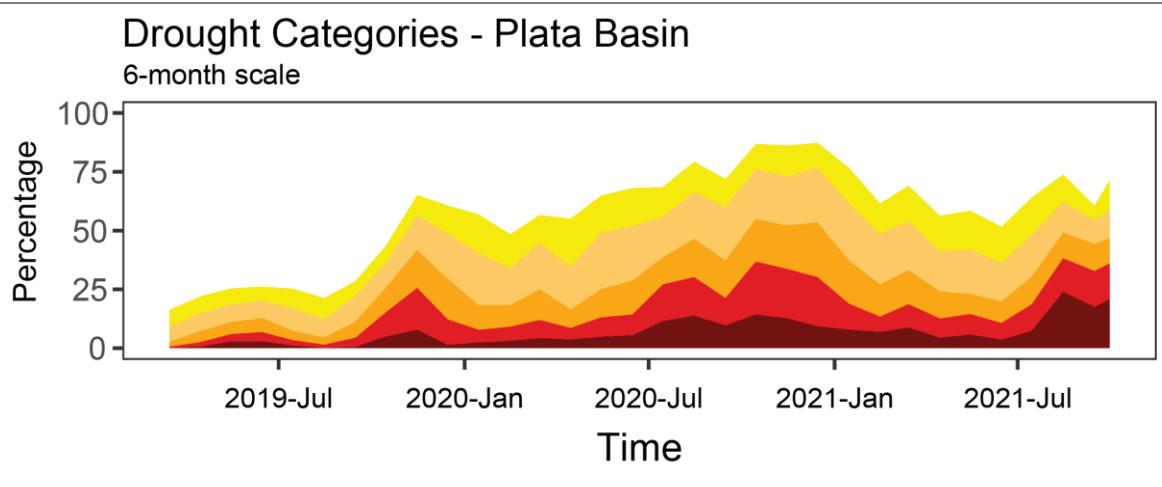


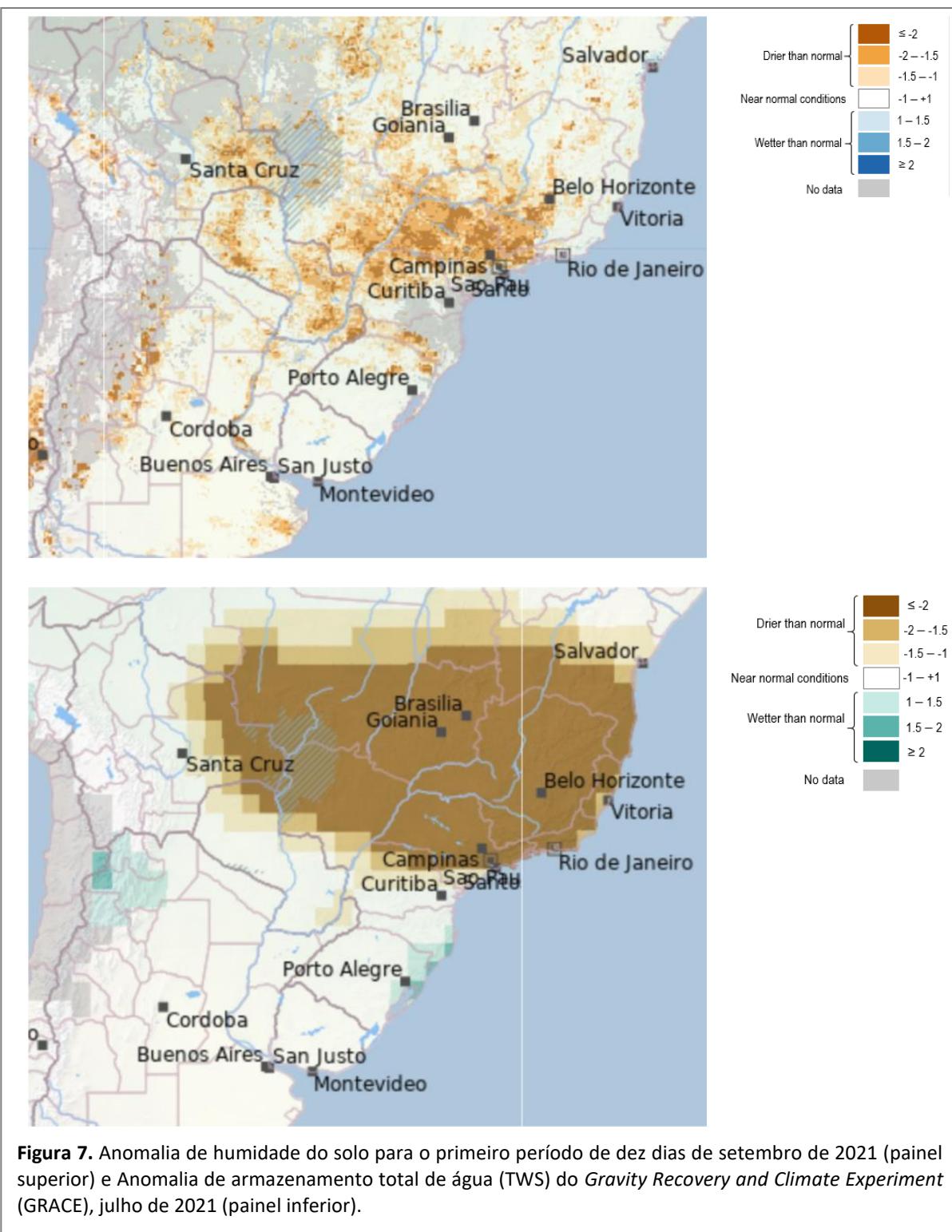
Figura 6. Percentagem de superfície da BLP em cada uma das cinco categorias de seca utilizadas na Fig. 5, de acordo com o SPI-6 de março de 2019 a setembro de 2021. As superfícies foram derivadas de anomalias de precipitação do CHIRPS. Para a escala e cores, ver a Fig. 5. Fonte: SISSA

A zona afetada pela seca, e consequentemente a população e os ativos em risco, mais do que duplicou desde meados de 2019. A série cronológica da percentagem de superfície em cada uma das cinco categorias de seca (Fig. 5) para a BLP é apresentada na Figura 6. A figura mostra que a bacia de La Plata teve mais de metade da sua superfície sob alguma categoria de seca (de anormalmente seca a seca excepcional) entre outubro de 2019 e setembro de 2021. Significa isto que as condições de seca prolongada duraram cerca de dois anos. A maior extensão espacial das condições de seca foi alcançada no último trimestre de 2020, altura em que cerca de três quartos da grande bacia de La Plata estavam sujeitos a seca (Figura 6).

2.4 Variáveis hidrológicas

A precipitação na BLP, tanto em 2019 como em 2020, foi uma das mais baixas de que há registo. A escassez de precipitação teve impactos significativos no ciclo hidrológico da bacia, afetando, por exemplo, a humidade do solo e o armazenamento das águas subterrâneas, bem como os caudais fluviais. Quanto aos caudais fluviais, as anomalias de precipitação parecem ser amplificadas: ou seja, a resposta à diminuição da precipitação traduz-se numa redução mais do que proporcional do caudal das águas de superfície e subterrâneas.

O défice de precipitação persistente na BLP traduz-se diretamente em anomalias de humidade do solo e de armazenamento total de água. O indicador de humidade do solo do Observatório Mundial da Seca (GDO) estima o teor de água da zona radicular, que é uma medida direta das condições de seca, especificamente no que respeita à dificuldade de extração de água pelas plantas, o que, por sua vez, limita a sua capacidade de produzir biomassa. O impacto da seca que se verifica atualmente na BLP na humidade do solo foi atenuado de forma intermitente pela precipitação esporádica em 2020, mas não foi suficiente para recuperar o armazenamento total de água (subterrânea), o que levou à consolidação de uma anomalia de armazenamento total de água negativa e persistente.



As anomalias de humidade do solo no final dos primeiros 10 dias de setembro de 2021 refletem as condições mais secas (Figura 7, painel superior) na parte norte da BLP (que se estende ao Paraguai e ao sul do Brasil), aproximadamente nas mesmas regiões onde o SPI-6 atingiu os valores mais baixos (Figura 5). Fica assim reforçado o pressuposto de que o principal fator desencadeador deste evento de seca é, em grande medida, uma falta de precipitação ligeira, mas persistente, durante um período prolongado.

O indicador de anomalia de armazenamento total de água (TWS) (Figura 7, painel inferior) é utilizado para detetar a ocorrência de condições de seca hidrológica a longo prazo; é frequentemente utilizado como um indicador alternativo de seca das águas subterrâneas. A anomalia TWS é calculada em termos de anomalias de TWS estimadas a partir de dados recolhidos pela missão de satélite GRACE (Landerer e Swenson, 2012). A TWS está fortemente correlacionada com o SPI de longo prazo, ou seja, 12, 24 e 48 meses (Cammalleri *et al.*, 2019). A anomalia TWS representa um indicador fiável das anomalias na disponibilidade de águas subterrâneas e, por conseguinte, é um indicador alternativo útil para anomalias nos caudais fluviais. As anomalias TWS em julho de 2021 refletem as condições mais secas na parte norte da BLP, aproximadamente nas mesmas zonas onde as anomalias do SPI-6 e da humidade do solo atingiram os valores mais baixos.

O índice de baixo caudal (LFI) explora os resultados simulados diários das descargas de água fluviais do modelo hidrológico LISFLOOD,⁸ a fim de captar períodos consecutivos de caudais anormalmente baixos e compara o consequente défice hídrico durante esses períodos com as condições climatológicas históricas, a fim de determinar a gravidade dos eventos. Durante os primeiros 10 dias de setembro de 2021, o LFI segue em grande medida a tendência da humidade do solo e das condições das águas subterrâneas na BLP, tal como previsto (Figura 8). Existem fortes défices na parte oriental superior da bacia e perto da desembocadura⁹ da BLP. As zonas em que o índice de baixo caudal não pode ser calculado de forma fiável (principalmente na parte central da BLP) devido a incoerências entre o tempo quase real e os dados históricos estão assinaladas a cinzento (Cammalleri *et al.*, 2020).

No entanto, outras fontes de informação locais apontam para um elevado défice na parte central da BLP. Um relatório do «Instituto Nacional del Agua» (INA) da Argentina¹⁰ descreve as condições durante a primeira semana de setembro de 2021. Esse relatório salienta que os baixos valores de caudal dos rios Paraná e Paraguai confirmam a condição de seca que afeta o norte e centro da BLP. Na secção de confluência Paraná-Paraguai, os níveis dos rios mantiveram-se em declínio gradual durante a primeira metade de agosto de 2021. O caudal do Paraná ao largo de Corrientes e Rosário em agosto de 2021 foi inferior a metade do valor médio para esse mês, calculado utilizando os últimos 25 anos.

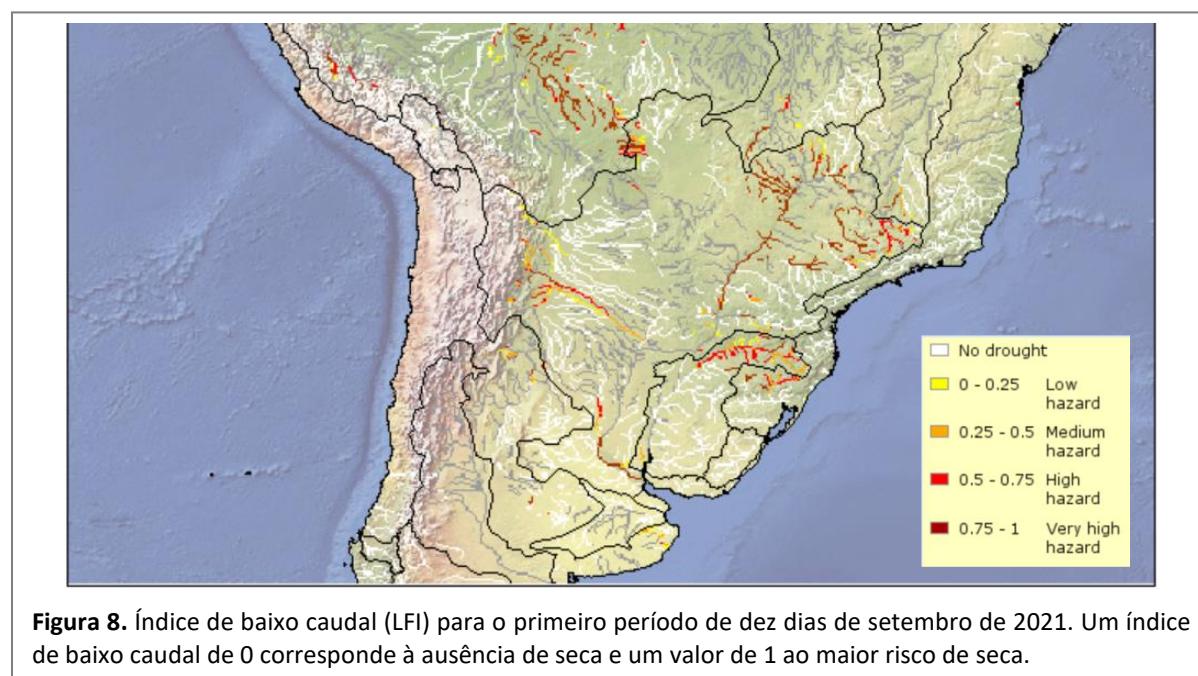


Figura 8. Índice de baixo caudal (LFI) para o primeiro período de dez dias de setembro de 2021. Um índice de baixo caudal de 0 corresponde à ausência de seca e um valor de 1 ao maior risco de seca.

8 <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC78917>

9 A foz ou a desembocadura de um rio é a parte de um rio onde este desemboca numa massa de água maior, como outro rio, um lago ou reservatório, um mar ou um oceano.

10 https://www.ina.gob.ar/archivos/alerta/Escenario2021_Septiembre.pdf

A descarga do rio Paraná foi afetada, com valores muito inferiores à média. De acordo com o índice normalizado de caudais (SSFI) em escalas temporais de 12 e de 24 meses, as centrais hidroelétricas (CH) de Emborcação (bacia hidrográfica do Paranaíba) e Furnas (bacia hidrográfica do Grande), localizadas no nordeste da bacia hidrográfica do Paraná (Figura 9), têm vindo a enfrentar uma seca hidrológica desde 2014, classificada como grave (SSFI < -1,3) e excepcional (SSFI < -2,0). Desde fevereiro de 2019, as CH de Jurumirim (bacia hidrográfica do Paranapanema) e Foz do Areia (bacia hidrográfica do Iguaçu) encontram-se em condição de seca hidrológica, classificada entre grave e excepcional. Atualmente, a CH de Jurumirim permanece nas condições mais críticas (SSFI-12 = -2,7 e SSFI-24 = -3,1). O influxo na CH de Itaipu tem vindo a enfrentar uma seca hidrológica desde abril de 2019 e tem estado em condições de seca «excepcional» desde dezembro de 2020 (SSFI < -2,0). De um modo geral, a atual seca hidrológica é a mais grave desde, pelo menos, janeiro de 1981.

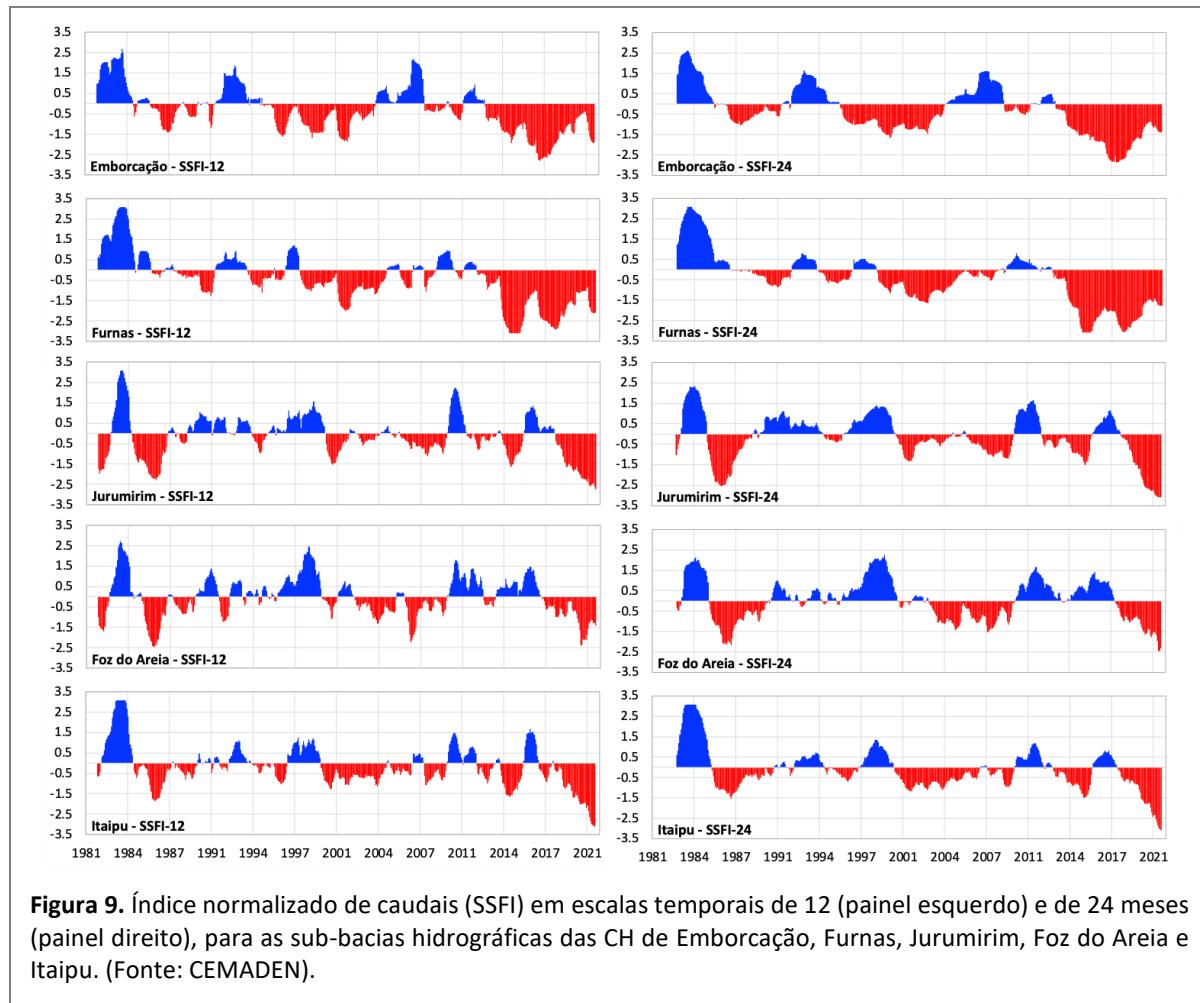


Figura 9. Índice normalizado de caudais (SSFI) em escalas temporais de 12 (painel esquerdo) e de 24 meses (painel direito), para as sub-bacias hidrográficas das CH de Emborcação, Furnas, Jurumirim, Foz do Areia e Itaipu. (Fonte: CEMADEN).

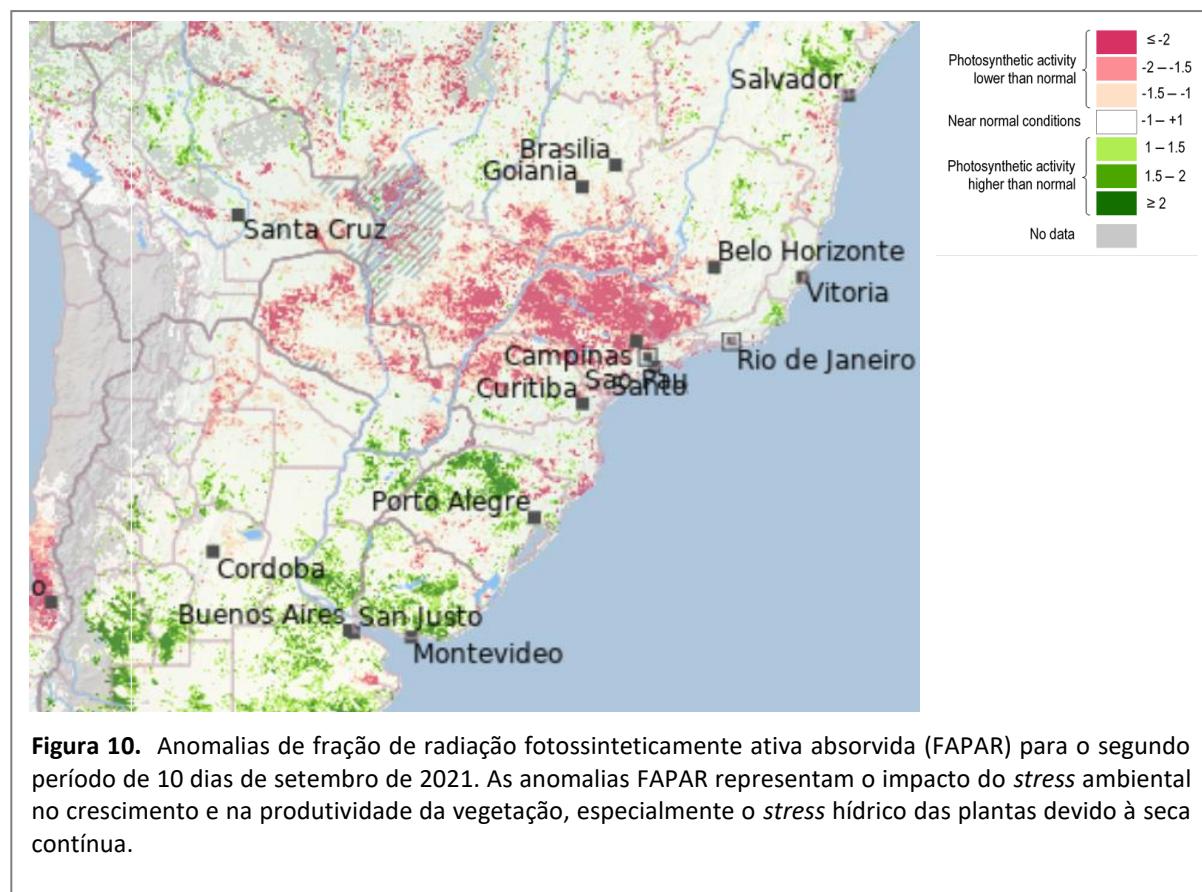
Na secção de desembocadura da bacia hidrográfica do Paraná, o valor extremo do índice de baixo caudal ilustra claramente o estado de seca grave de toda a bacia e indica a magnitude do evento¹¹. O caudal para o Delta do Paraná (perto da sua entrada no estuário do Río de la Plata) registou uma tendência decrescente ao longo de todo o mês de agosto de 2021. O caudal observado nesta secção

11 Este índice é fornecido oficialmente e distribuído atualmente apenas para a Europa (Observatório Europeu da Seca <https://edo.jrc.ec.europa.eu>), mas, em princípio, baseia-se no mesmo algoritmo e vai ser implementado à escala mundial.

foi de $7\,000\text{ m}^3\text{s}^{-1}$, muito abaixo das condições anteriores a 2019. Dado os baixos níveis do Paraná, todo o delta depende fortemente das oscilações provenientes do estuário.

2.5 Resposta da vegetação

A fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (FAPAR, um indicador GDO baseado em imagens de satélite) é um indicador de anomalia, utilizado para detetar e monitorizar os impactos no crescimento e na produtividade da vegetação decorrentes de fatores de *stress* ambiental, especialmente o *stress* hídrico das plantas devido à seca. Este indicador representa a fração da energia solar absorvida pela vegetação. As anomalias FAPAR, nomeadamente os desvios negativos em relação à média a longo prazo durante o mesmo período, são um bom indicador do impacto da seca na vegetação. Nos segundos 10 dias de setembro de 2021 e em conformidade com os outros indicadores de seca, é detetado um impacto significativo na atividade fotossintética da vegetação na parte superior da BLP (Figura 10).



3 Causas da recente seca

3.1 Fenómeno de Oscilação Meridional-El Niño (ENSO)

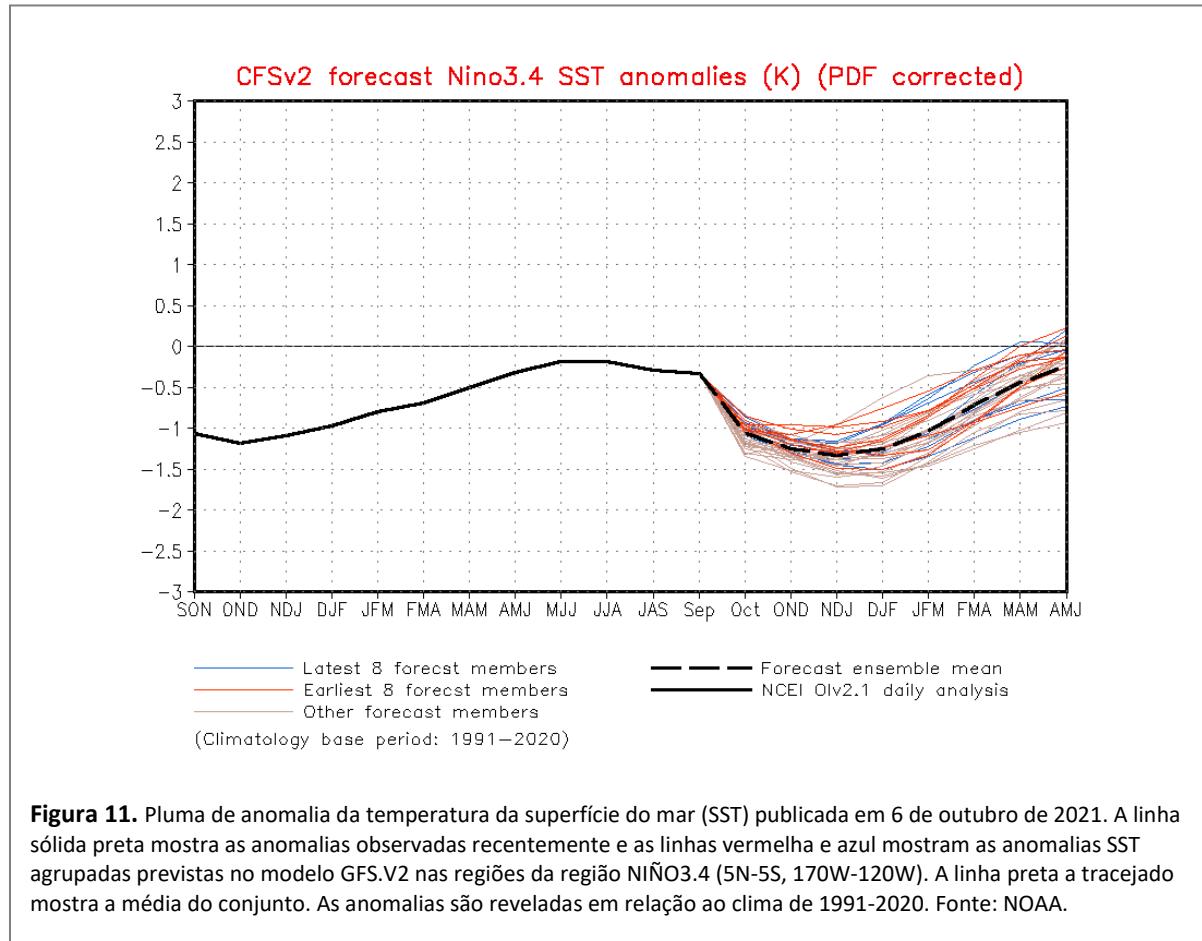
O fenómeno de Oscilação Meridional-El Niño (ENSO) é a principal fonte de flutuações climáticas interanuais em muitas partes do mundo (Cai *et al.*, 2020; Davey *et al.*, 2014). O clima da maior parte da América do Sul está estreitamente ligado ao El Niño/La Niña – as fases extremas do fenómeno ENSO, historicamente descritas como temperaturas anómalas da superfície do mar no Pacífico equatorial (Cai *et al.*, 2020). As alterações da circulação atmosférica na América do Sul relacionadas com o ENSO influenciam o transporte de humidade tropical para os extratrópicos. Esta modulação do jato de baixa altitude a leste dos Andes favorece ou elimina a ocorrência de eventos de precipitação extremos (Mo e Berbery, 2011). Por conseguinte, existem ligações claras entre o ENSO e a precipitação na BLP durante a primavera/verão (um período crítico para as culturas estivais de sequeiro). Os eventos do EL Niño estão geralmente associados a precipitações medianas mais elevadas na BLP, ao passo que os eventos de La Niña apresentam uma precipitação mediana claramente inferior e uma dispersão mais estreita de anomalias (Cai *et al.*, 2020; Davey *et al.*, 2014; Prieto, 2007). O ENSO influencia igualmente a frequência dos eventos de precipitação extrema que tiveram impactos socioeconómicos dramáticos no passado (Grimm e Tedeschi, 2009; Prieto, 2007). Outros processos que influenciam o clima da BLP incluem: o transporte de humidade da floresta amazónica para leste, a partir do oceano Atlântico; a deslocação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); os Jatos de Baixa Altitude sul-americanos; a intensidade e a variabilidade da Alta Subtropical boliviana; a variabilidade da circulação antártica.

Em toda a América do Sul, a precipitação e a temperatura apresentam uma associação substancial, mas diversificada a nível regional, com o ENSO. Na BLP superior, o sinal ENSO na variabilidade interanual não está tão bem definido como na bacia inferior, uma vez que esta região se encontra na faixa de transição entre impactos opostos do ENSO (Coelho *et al.*, 2002). No entanto, um estudo recente da bacia do Paraná de (Santos *et al.*, 2021) concluiu que a maior parte dos eventos considerados extremamente secos na parte superior da bacia estavam associados aos eventos de La Niña. Na maior parte da BLP, La Niña é frequentemente acompanhada de secas, o que conduz a impactos particularmente negativos no sul do Brasil, no nordeste da Argentina, no Paraguai e no Uruguai. A estreita associação entre os eventos de La Niña e as condições secas em toda a BLP é motivo de grande preocupação, uma vez que as recentes observações e previsões sazonais sugerem que as condições de La Niña podem voltar a ocorrer em outubro-novembro e prolongar-se até ao outono de 2022 no hemisfério sul, atrasando assim potencialmente o regresso a condições normais, incluindo os caudais fluviais, na BLP (Figura 11 e na caixa 2).

Devido à sua extensão geográfica, especialmente para sul, a BLP tem regimes climáticos diferentes. A região da bacia superior, situada em latitudes tropicais no centro do Brasil, tem um clima de monção com uma estação chuvosa acentuada, que se estende de novembro a março, e uma estação seca que ocorre entre maio e setembro. De um modo geral, esta região tem vindo a registar uma diminuição gradual da precipitação nas últimas décadas (Cunha *et al.*, 2019). Tal diminuição afetou o nível dos reservatórios na região, especialmente na última década.

Além do sinal interanual, a BLP também mostrou uma acentuada variabilidade climática por décadas (Boulanger *et al.*, 2016; Cavalcanti *et al.*, 2015; Seager *et al.*, 2010). As tendências de precipitação nesta região têm sido das mais acentuadas observadas no século XXI (Cavalcanti *et al.*, 2015). Observou-se um aumento da precipitação anual (especialmente na primavera–verão) desde a década de 1970 na maior parte do centro-leste argentino (Haylock *et al.*, 2006; Jacques-Coper e Garreaud, 2015). Contudo, neste domínio há sinais de inversão das tendências na zona afetada pela seca por volta da década de 1990, das tendências decrescentes durante o período inicial para as tendências crescentes nos últimos anos (Rivera e Penalba, 2014). É necessária uma análise exaustiva da variabilidade por

décadas, abrangendo os múltiplos regimes de pluviosidade da BLP (Grimm, 2011) e ao longo de todo o ano, especialmente à luz dos futuros serviços climáticos centrados nas previsões climáticas plurianuais.



A influência do Modo Meridional Sul (SAM) nos eventos de seca que afetam o rio Paraná, na Argentina, foi observada com os graves eventos durante a década de 1940, a década de 1960, o final da década de 1980 e os recentes eventos de 2011 e 2013 (Díaz *et al.*, 2018). O SAM também conhecido como Oscilação Antártica (AAO) descreve o movimento norte-sul da faixa de vento oeste que circunda a Antártida, dominando as latitudes médias e as mais altas do hemisfério sul. A influência de La Niña foi observada nos eventos de seca dos anos 50 e 60 (graves devido à sua longa duração) e em 1988-1989, 1993-1995, 2002-2004 e 2011-2013. A influência das temperaturas da superfície do mar no Atlântico Sul Tropical foi observada durante os eventos de seca ocorridos em 1962-1971 e anteriores às secas de 1988-1990 e 2005-2010. Desde 1950, estas secas foram as mais longas identificadas até à data (Díaz *et al.*, 2018).

3.2 Alteração do uso do solo e desflorestação

Estudos anteriores sobre o escoamento da precipitação na BLP revelaram que o clima tem um efeito mais predominante nos caudais do que o uso do solo (Collischonn *et al.*, 2001; Tucci, 2003). À escala das sub-bacias, o clima é também o principal responsável pelas variações do caudal, no entanto, também o uso do solo tem efeitos na resposta hidrológica das bacias (Saurral *et al.*, 2008). Estudos realizados na bacia hidrográfica superior do rio Grande, estado de Minas Gerais, Brasil, demonstraram

que a conversão da floresta em pastagem conduziu a um aumento do escoamento total e dos picos de caudal e a uma diminuição do caudal de base e da evapotranspiração (Oliveira *et al.*, 2018).

No entanto, os efeitos do uso do solo nos caudais dos rios são bem conhecidos a nível mundial, aumentando os picos de caudal e diminuindo os caudais de base. O papel do coberto vegetal, das planícies de inundação e das zonas húmidas consiste em armazenar e retardar o escoamento, o que, em certa medida, compensa as consequências das secas. Por conseguinte, o efeito da atual seca é agravado pelas alterações no uso do solo, como a desflorestação e a agricultura intensiva, que muito provavelmente ocorrem na BLP.

Estas alterações do uso do solo caracterizaram as três principais sub-bacias da BLP: Paraguai, Paraná e Uruguai nas últimas décadas. A expansão agrícola a partir de 1960, em especial no Brasil, deixou algumas zonas com apenas 5 % do seu coberto florestal original (FAO, 2016). No estado brasileiro de São Paulo, a superfície de floresta primária diminuiu de 58 % para 8 % no final do século XX. Do mesmo modo, no leste do Paraguai, a superfície florestal diminuiu de 55 % em 1945 para apenas 15 % em 1990 (FAO, 2016).

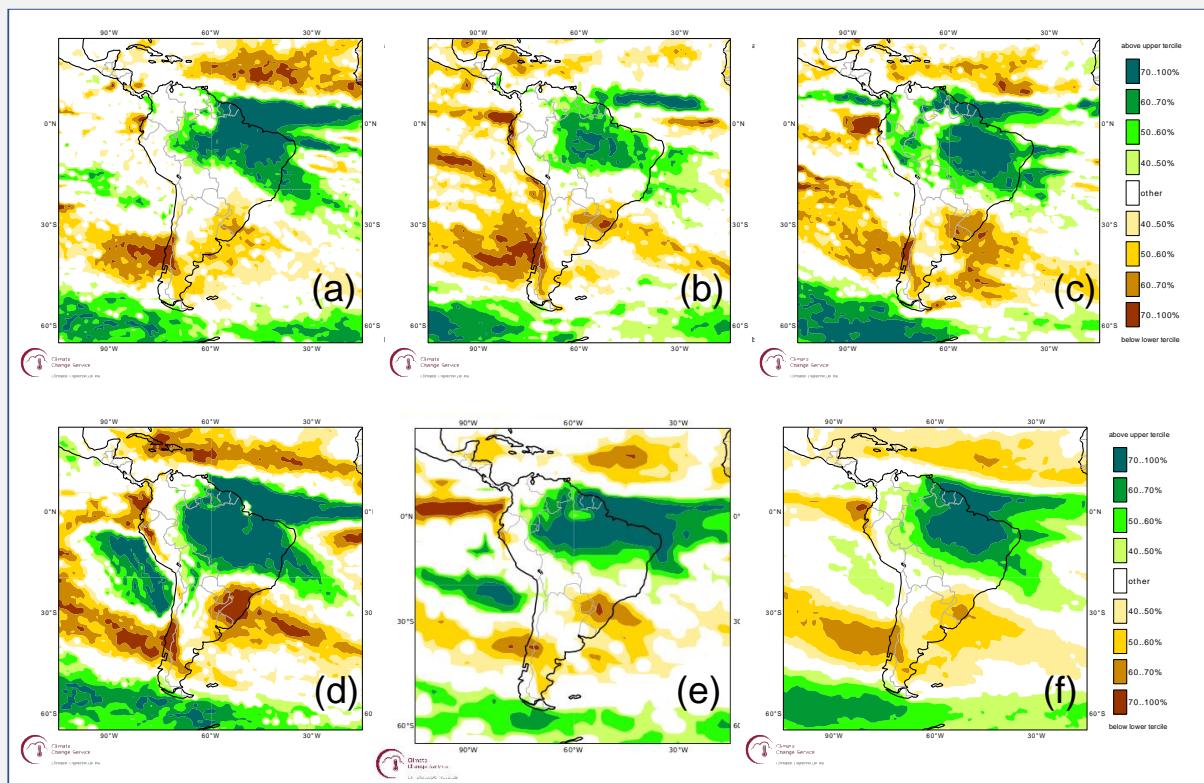
Os efeitos das barragens no sistema fluvial também são visíveis na BLP. Na bacia hidrográfica superior do Paraguai, o número de barragens a montante do Pantanal mais do que duplicou nos últimos vinte anos, afetando significativamente a frequência e a duração dos pulsos altos e baixos (Ely *et al.*, 2020). Em maior escala, os dados adquiridos antes e depois da construção da barragem de Porto Primavera no rio Paraná superior revelaram alterações nas descargas de água, na erosão das margens, nos pulsos de inundação e outras variáveis (Stevaux *et al.*, 2009).

Caixa 2. Perspetivas de precipitação

Em média, o ciclo pluvioso na BLP começa gradualmente, sendo a precipitação observada pela primeira vez na segunda quinzena de setembro. No entanto, a transição para a estação das chuvas ocorre em meados de outubro. Atualmente, é difícil prever o início e a intensidade da estação das chuvas. O comportamento da convecção no noroeste da América do Sul não apresenta um sinal claro e não é possível prever com grande certeza o início da precipitação sazonal para além das informações climatológicas. No entanto, é de notar que não existe uma relação clara entre a data de início da estação das chuvas e a precipitação total registada durante os meses mais húmidos.

Atualmente, a maioria das previsões de precipitação sazonais de conjuntos de modelos globais e as perspetivas de consenso regional do CRC-SAS da OMM indicam um cenário de precipitação deficitária na parte média e inferior da BLP (figura abaixo).

Em resumo, nas zonas a montante da bacia do rio Paraná, em condições normais, a precipitação mais abundante só deveria ocorrer após meados de outubro. No entanto, devido à baixa humidade do solo resultante da estação seca e da precipitação inferior à média durante a estação das chuvas nos últimos anos, a precipitação vai demorar um pouco para dar um contributo significativo para o caudal do rio e o armazenamento do reservatório. Além disso, a probabilidade de um evento de La Niña se desenvolver nos últimos meses de 2021 pode afetar a precipitação nas partes média e inferior da BLP. Consequentemente, o cenário mais provável para os próximos três meses é a continuação da situação de seca, tanto do ponto de vista pluviométrico como hidrológico.



Previsões climáticas para a precipitação de outubro-dezembro de 2021 na América do Sul provenientes de várias fontes. a) ECMWF, b) NCEP, c) Met Office, d) DWD, e) JMA e f) previsões sazonais multissistemas C3S. Em todos os painéis, as zonas de cor castanha/amarela (verde) correspondem a uma precipitação abaixo (acima) do normal. As probabilidades são estimadas comparando a função de densidade de probabilidade prevista (PDF) com a PDF do clima do modelo correspondente, estimada a partir do conjunto retrospectivo. As probabilidades são estratificadas de acordo com: a mediana, o terço inferior/superior/médio e os 20 % mais baixos/mais elevados da distribuição climática do modelo. A título de síntese das previsões sazonais, é apresentado um mapa recapitulativo para as categorias de tercios, que mostra num único número as zonas com maior probabilidade (superior a 40 %) de se encontrarem abaixo do tercil inferior ou acima do tercil superior.

Fontes: C3S, https://climate.copernicus.eu/charts/c3s_seasonal/ e CRC-SAS https://www.crc-sas.org/en/perspectivas_climaticas.php.

4 Eventos de seca históricos na BLP

Desde a década de 1960, sete secas (1977, 1984, 1990, 1992, 2001, 2012 e 2014) reduziram as reservas de armazenamento do estado de São Paulo no Brasil (Coelho *et al.*, 2016). Em algumas partes da BLP, como a bacia hidrográfica superior do Paraná, estão presentes condições de seca hidrológicas graves a excepcionais desde 2014. No entanto, nos últimos dois anos esta situação agravou-se.

Tal como demonstrado pelo Índice Normalizado de Precipitação (SPI), tanto à escala de 12 meses como à de 24 meses (Figura 12), a precipitação na bacia hidrográfica do Paraná tem sido inferior à média nos últimos anos. As séries cronológicas SPI mostram vários ciclos secos e chuvosos desde o início da década de 1900, com a seca mais grave registada entre dezembro de 1968 e setembro de 1971, com um pico em março de 1969. No entanto, é importante notar que, nessa altura, a procura de água em toda a bacia hidrográfica do Paraná era muito inferior à atual. Ao analisar o SPI-24 nos últimos 22 anos, predominaram condições abaixo da média, com breves exceções em 2010 e 2015. Desde o final de 2019, as condições de seca intensificaram-se, indo de grave ($SPI < -1,3$) a excepcional ($SPI < -2,0$).

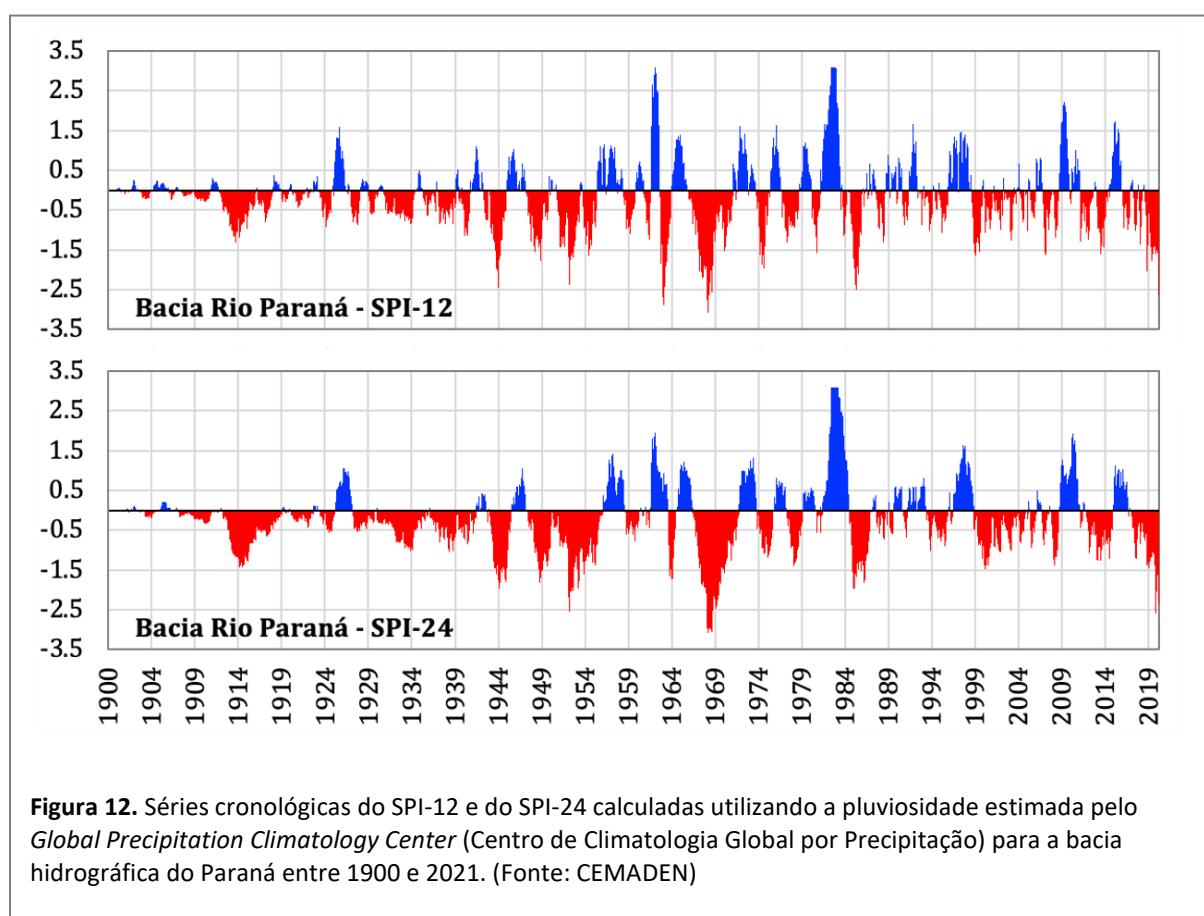
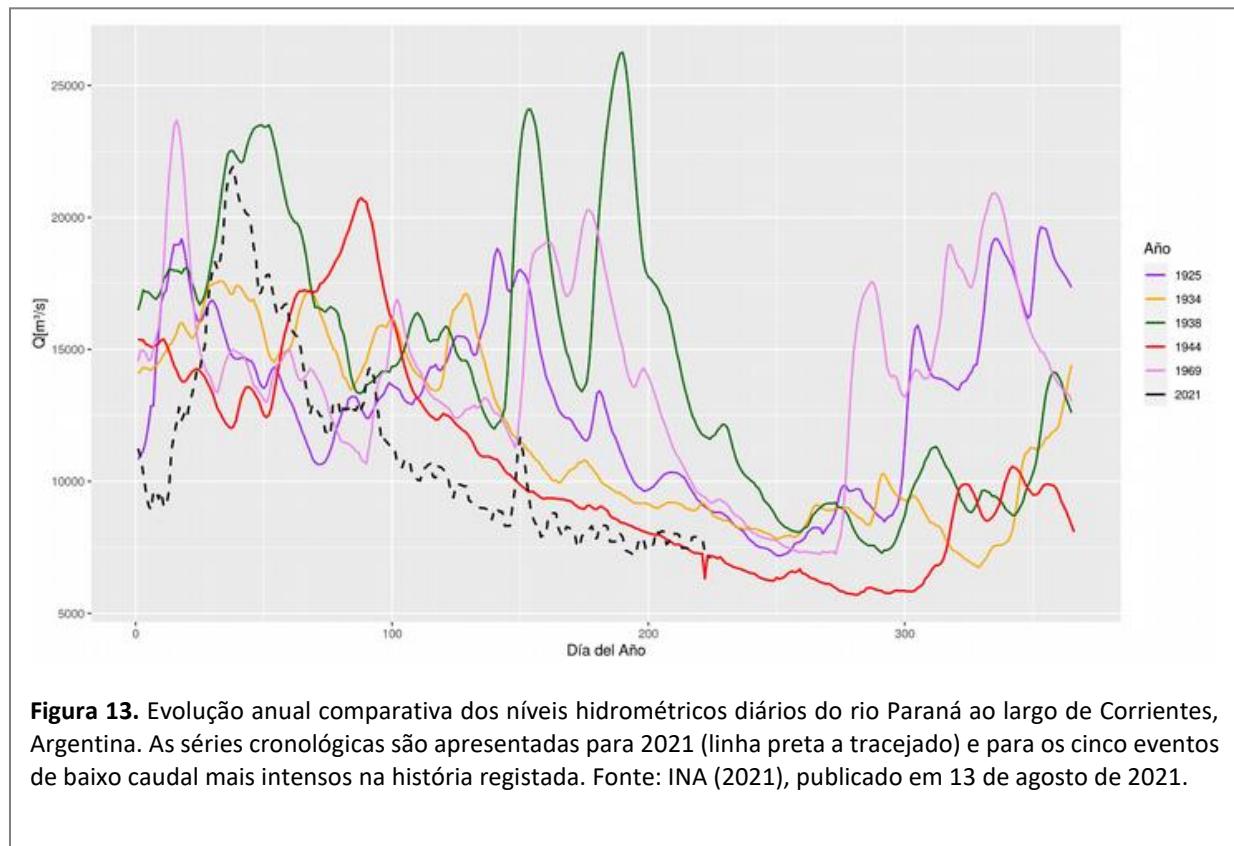


Figura 12. Séries cronológicas do SPI-12 e do SPI-24 calculadas utilizando a pluviosidade estimada pelo *Global Precipitation Climatology Center* (Centro de Climatologia Global por Precipitação) para a bacia hidrográfica do Paraná entre 1900 e 2021. (Fonte: CEMADEN)

A análise de longo prazo do SPI descreve um acentuado agravamento das condições de seca nos últimos dois ou três anos, o que confirma que este evento de seca se tem vindo a acumular lentamente desde, pelo menos, 2019 e que a sua longa duração é a principal razão da sua gravidade (Cunha *et al.*, 2019; Leal Filho *et al.*, 2021; Libonati *et al.*, 2020).

A Figura 13 mostra o nível hidrométrico do rio Paraná ao largo de Corrientes em alguns anos selecionados durante o século XX, a montante do importante polo de transformação e transporte de cereais de Grande Rosário. A evolução temporal da atualização diária do nível hidrométrico do Paraná até agosto de 2021 (linha preta a tracejado) e dos cinco anos com os níveis históricos mais baixos (linhas contínuas) é apresentada na figura 13. A gravidade do atual evento de baixo nível é evidente e a sua evolução é comparável à observada durante os dois eventos de baixo nível mais graves na história registada, ou seja, 1934 e 1944. Além disso, os padrões anteriores mostram que os níveis mínimos ao largo de Corrientes ocorreram historicamente entre setembro e novembro, pelo que restam poucas semanas desde a data de redação do presente documento (início de outubro de 2021) até aos níveis do Paraná poderem começar a recuperar.



Abelen *et al.*, (2015) e Lovino *et al.*, (2018) identificaram uma seca na parte sul da BLP durante o forte evento de La Niña, em 2008/2009. Esta seca foi considerada a pior do século passado na Argentina, uma vez que atingiu a região mais produtiva em termos agrícolas, provocando uma forte redução da produção de cereais e carne. De acordo com o instituto de investigação agronómica da Argentina (INTA), a seca de 2008/09 causou uma queda significativa da produção de trigo, que passou de 16 milhões de toneladas na colheita anterior para cerca de oito milhões após a seca.

Em 1999/2000 ocorreu um evento de La Niña muito mais forte, associado a uma grave seca na BLP. No entanto, a magnitude deste evento (pelo menos no nível inferior da BLP) parece ser menos significativa do que a seca em curso, tal como sugerido pelos dados relativos à precipitação. Tal indica que outros fatores (para além de La Niña) desempenharam um papel importante (Chen *et al.*, 2010). A grave seca de 2011-2012 causou perdas económicas de 2,5 mil milhões de USD na produção de soja e milho na Argentina (Naumann *et al.*, 2019).

Outra importante seca ocorreu no final de 2017–início de 2018, nas Pampas do centro-leste argentino, a parte meridional da BLP. Esta seca esteve ligada a um evento fraco de La Niña, bem como a outros

modos intra-sazonais de variabilidade atmosférica (Bert *et al.*, 2021). Vários locais das Pampas apresentaram valores mínimos de precipitação históricos durante este evento. A falta de precipitação foi agravada por temperaturas elevadas e vagas de calor no início de 2018. Esta seca teve um grande impacto na produção de culturas de verão, como o milho e a soja. Quando se propagaram por toda a economia argentina, as perdas de colheitas (cerca de 1,55 mil milhões de USD) tiveram um impacto global três vezes superior (cerca de 4,6 mil milhões de USD). Estimativas prudentes sugerem que o PNB argentino diminuiu pelo menos 0,8 % devido a esta seca (Bert *et al.*, 2021).

Para comparar a seca em curso com eventos anteriores ocorridos na mesma região, foram examinadas séries cronológicas históricas de dois indicadores de seca bem conhecidos, ou seja, o SPI e o SPEI (que também utiliza indiretamente a temperatura e inclui, por conseguinte, os efeitos do aquecimento). Ambos os indicadores foram calculados em escalas de acumulação de 3 meses e 12 meses. Utilizámos a mesma abordagem descrita em Spinoni *et al.*, (2019), que resultou na criação da base de dados meteorológica mundial de eventos de seca, organizada pelo Observatório Mundial da Seca da Comissão Europeia¹². Esta base de dados foi atualizada em 2016 e classifica os eventos de seca que, de um ponto de vista meteorológico, podem ser considerados terminados. Efetuámos novas análises que alargam a base de dados até 2021 e adaptámos o sistema de classificação de modo a incluir eventos que ainda não terminaram. No que diz respeito à extensão da abordagem, utilizámos os dados do GPCC e do ERA5¹³.

A bacia hidrográfica do Paraná abrange mais do que um país mas, de acordo com as novas macrorregiões oficialmente incluídas no último relatório IPCC-AR6 (IPCC, 2021; Iturbide *et al.*, 2020), selecionámos o sudeste da América do Sul como alvo das nossas análises retrospectivas. Tal como referido anteriormente, um evento de seca histórica destaca-se quando se considera a precipitação (SPI) e a temperatura (SPEI) como indicadores, nomeadamente o evento que teve início no final da década de 1960 (1967 ou 1968) e durou até 1971 (ou 1972 em algumas zonas). Este foi o único evento na região que pode ser classificado como «excepcional» entre 1950 e 2016. Ao redefinir a pontuação de classificação – atualmente de 1 a 100, em vez de 1 a 25, como na versão publicada da base de dados histórica – o evento de 1967-1972 apresenta um valor de 60, pelo que pode ser considerado como um dos vinte eventos mais graves à escala mundial desde 1950.

A seca em curso de 2019-2021 na BLP ainda não atingiu o nível de excepcional (pontuação superior a 58), mas está muito próxima (pontuação: 55) e já pode figurar entre os cinco principais eventos de seca do sudeste da América do Sul desde a década de 1950. A maioria dos parâmetros incluídos na classificação (gravidade, intensidade, pico) mostra que a seca em curso fica aquém do evento de 1968-1971 devido à sua duração mais curta. No entanto, é provável que o evento em curso evolua de «muito grave» para «excepcional» se a precipitação permanecer abaixo dos valores normais durante mais três a seis meses e se a temperatura aumentar acima do normal durante esse período.

No Paraguai, destacam-se três eventos de seca meteorológica históricos, o de 1968-1971 e dois eventos posteriores, a saber, um em 1978-1979 e outro em 2008-2010. O último atingiu um pico em 2009, altura em que uma seca extrema também atingiu a Argentina e o sul do Brasil. Analisando a situação de seca em curso, a pontuação por país do Paraguai é agora de cerca de 50 (muito grave), no mesmo intervalo do evento de 2009 (pontuação: 49) e atrás do de 1968-1971 (pontuação: 53). Além disso, também se verificam pontuações elevadas no Uruguai, confirmando assim que o evento na bacia hidrográfica do Paraná discutido no presente relatório já pode ser considerado um dos mais graves dos últimos setenta anos também à escala nacional.

12 <https://edo.jrc.ec.europa.eu/gdo/php/index.php?id=2020>

13 <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>

5 Impactos comunicados da seca em curso

Os eventos de seca prolongada podem afetar vastas zonas e populações, com impactos muito abrangentes na sociedade, nas atividades económicas e no ambiente. Estes impactos podem ser diretos e indiretos por natureza, sendo muitas vezes difíceis de quantificar em termos económicos. A seca em curso na BLP já teve impactos consideráveis na estrutura e no funcionamento dos ecossistemas naturais e comprometeu o bem-estar de setores importantes da sociedade. A presente secção apresenta uma coletânea dos impactos comunicados e atribuídos a este evento até à data. A maior parte dos relatórios provém de meios de comunicação social reconhecidos, de relatórios governamentais e de publicações científicas. Uma vez que o evento ainda está a decorrer à data da redação do presente documento, as estimativas dos danos totais e a caracterização de todos os setores afetados só podem ser efetuadas quando o evento tiver terminado.

5.1 Declaração de emergência em caso de seca

A Argentina¹⁴, o Brasil¹⁵ e o Paraguai¹⁶ declararam emergências formais de seca em 2021. Em 24 de julho de 2021, o Governo argentino declarou um estado de emergência hídrica válido por 180 dias e abrangendo sete províncias com faixa costeira nos rios Paraná, Paraguai e Iguaçu. Em 8 de julho de 2021, o Governo do Paraguai declarou o estado de emergência para a navegação nos rios Paraná, Paraguai e Apa.

5.2 Ecossistemas – Zonas húmidas

À medida que a disponibilidade de água nas zonas húmidas é reduzida durante as secas, os corredores húmidos que ligam secções de águas abertas diminuem em termos de área e secam, resultando na perda de *habitat*, de estrutura e erosão do solo, oxidação orgânica do solo e libertação de carbono para a atmosfera (Dollar *et al.*, 2013). A extensão dos ecossistemas das zonas húmidas na BLP é considerável, abrangendo uma superfície contínua desde o Pantanal, a norte, até ao estuário de La Plata, a sul.

As regiões muito vastas de Gran Chaco, Pantanal e bacia do Paraná (norte da Argentina, Bolívia, Paraguai, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul no Brasil) registaram um tempo seco intenso desde o verão austral de 2018 (Marengo *et al.*, 2021b), com impactos muito abrangentes nos ecossistemas naturais, na agricultura, nos transportes e na produção de energia. Desde 2019 que o Pantanal está a sofrer uma seca prolongada desastrosa para a região e os incêndios subsequentes consumiram centenas de milhares de hectares (Marengo *et al.*, 2021b). Em dezembro de 2020, a seca extrema nos estados brasileiros de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul tinha afetado 4,17 milhões de pessoas (76 % da população de ambos os Estados). Um total de 218 municípios desta zona (quase 100 %) foi afetado pela seca.

Mais a norte, a seca também afetou o Parque Nacional do Pantanal Matogrossense (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, cerca de 135 000 ha), que faz parte da maior zona húmida permanente de água

14 <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/247302/20210726>.

15 <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/eventos-criticos/salas-deacompanhamento/Paraná/ResolucaoANA771junho2021.pdf>.

16 <https://www.bacn.gov.py/archivos/9613/LEY%206767.pdf>.

doce do hemisfério ocidental. Situa-se numa grande depressão que funciona como um delta interior e é provavelmente a zona húmida mais importante da América do Sul.

Na Argentina, as organizações ambientais alertaram para alterações significativas nos ecossistemas associados às margens do rio Paraná, com locais onde a vegetação aquática ou pantanosa já não está presente. Os bancos de areia expostos e as zonas húmidas secas ao largo de Rosário são visíveis nas imagens de satélite (Figura 14). Até maio de 2021, as autoridades argentinas anunciaram medidas para salvaguardar a biodiversidade do rio e proteger as espécies piscícolas e a fauna¹⁷. Na cidade de Paraná, a capital da província de Entre Ríos, o presidente da Escola de Canoagem de Paraná sublinhou o impacto visual na paisagem: o típico postal de ravinhas verdes onde as pessoas se divertem e exercitam com vista para o rio Paraná é agora uma zona arenosa que permite atravessar o rio a pé¹⁸. Foram relatados desabamentos importantes em ilhas próximas da ponte que liga Rosário a Victoria. Em diferentes cidades de Entre Ríos, os navios ficaram encalhados em lama seca, surgiram numerosos bancos de areia, ficaram expostas âncoras antigas e os peixes de grandes dimensões ficaram presos em bancos de areia. Além disso, os municípios tiveram de trabalhar arduamente para garantir o abastecimento de água potável. O conjunto de instrumentos existente não foi capaz de fornecer as medições precisas da situação extrema: A guarda costeira argentina não conseguiu medir os níveis do Paraná ao largo de Victoria e Diamante entre abril e junho de 2020, uma vez que os instrumentos não conseguiam registar as alturas do rio abaixo de um metro¹⁹.

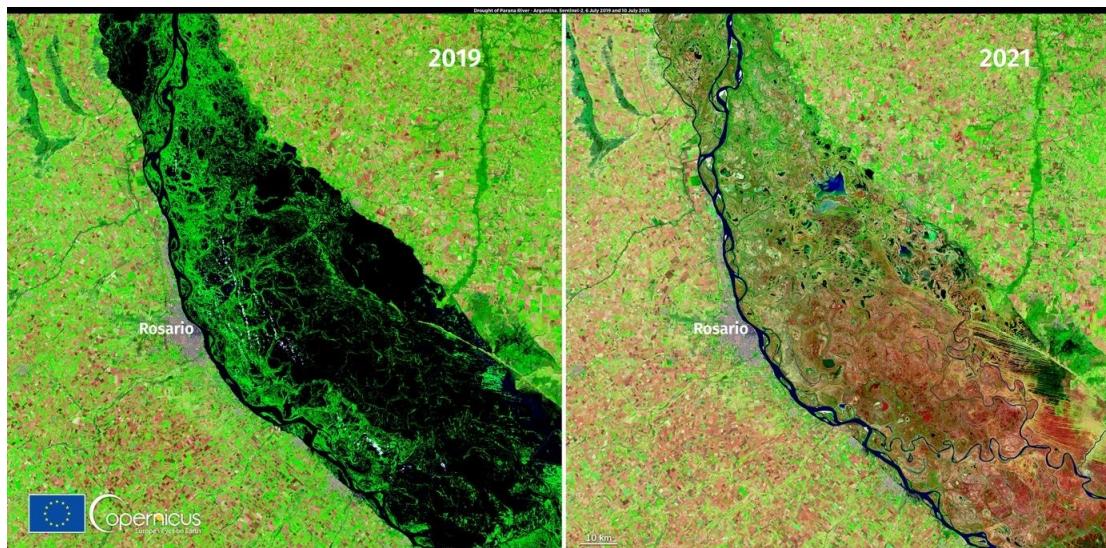


Figura 14. Duas imagens obtidas por um dos satélites do Sentinel-2 do Copernicus em 6 de julho de 2019 (painel esquerdo) e 10 de julho de 2021 (painel direito). As imagens mostram claramente a seca que afeta o rio Paraná, na Argentina, perto do porto de Rosário. Os bancos de areia expostos e as zonas húmidas secas aparecem na imagem da direita. Crédito: União Europeia, imagens do Sentinel-2 do Copernicus.

As águas baixas do Paraná também afetaram os meios de subsistência das comunidades piscatórias que praticam pesca artesanal e que operam ao longo do rio Paraná ao largo das províncias argentinas

17 <https://www.cronica.com.ar/sociedad/Preocupa-la-situacion-del-Parana-el-rio-continua-bajando-en-Entre-Rios-y-se-acerca-a-niveles-historicos-20210804-0099.html>.

18 <https://www.pagina12.com.ar/364519-bajo-el-rio-y-dejo-las-heridas-expuestas>.

19 <https://www.telam.com.ar/notas/202106/557869-bajante-del-parana-ciudades-entrerrianas.html>.

de Santa Fé e Entre Ríos. Cerca de 4 100 agregados familiares dependem de espécies de peixes de água doce como o *sábalo*, o *bagre*, o *boga* e o *dorado* para consumo próprio, mercados de proximidade ou mesmo para exportação. As quotas de exportação de peixes de água doce foram reduzidas para um terço das 18 000 toneladas autorizadas em 2019²⁰. Poucas bancas do mercado de peixe permaneceram abertas no distrito de Bajada Grande. Consequentemente, o impacto económico nos agregados familiares dos pescadores que utilizam canoas tem sido muito elevado. Como as lagoas onde os peixes se reproduzem secaram, o governo provincial decretou uma proibição que não permite a pesca ao fim de semana para proteger as cerca de 200 espécies do rio^{21, 22, 23}. Além disso, a pesca ao largo de Santa Fé foi limitada a três dias por semana para proteger as unidades populacionais de peixe. Para além da menor disponibilidade de peixe, as águas pouco profundas em pequenos riachos e lagoas resultam em redes emaranhadas e na perda de artes de pesca²⁴.

5.3 Incêndios

Devido à grande quantidade de biomassa seca no solo e à utilização da combustão como prática associada às atividades humanas, os incêndios têm surgido ao longo do extenso corredor das zonas

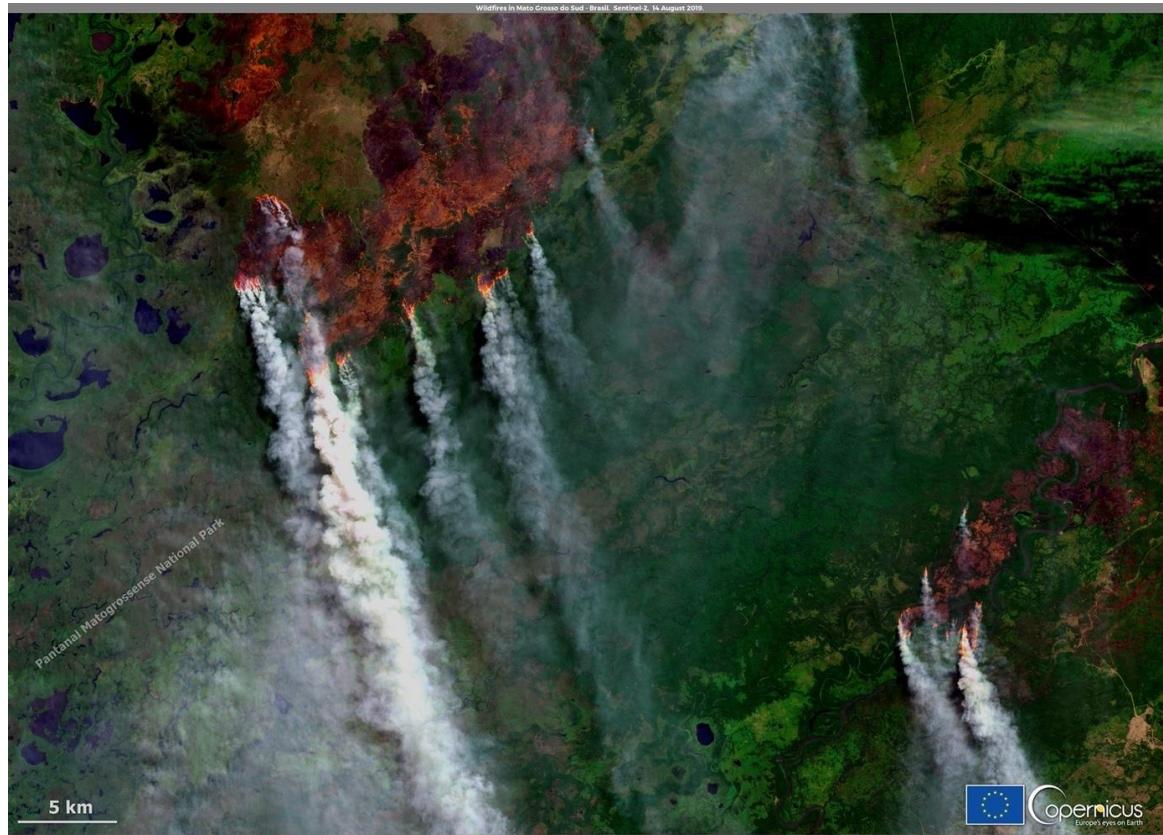


Figura 15: Esta imagem, obtida por um dos satélites Sentinel-2 do Copernicus em 14 de agosto de 2019, mostra incêndios florestais no Parque Nacional do Pantanal Matogrossense (estado de Mato Grosso). Crédito: União Europeia, imagens do Sentinel-2 do Copernicus.

20 <https://www.chacodiapordia.com/2021/08/23/bajante-del-parana-barcos-sin-granos-y-pescadores-sin-peces-mientras-esperan-niveles-mas-bajos/>.

21 <https://ar.radiocut.fm/audiocut/parana-seco-drama-familias-pescador-s-del-litoral-roxana-russo/>.

22 <https://www.pagina12.com.ar/364519-bajo-el-rio-y-dejo-las-heridas-expuestas>.

23 <https://elmercurio.com.mx/internacional/rio-parana-el-segundo-de-america-registra-su-peor-baja-desde-1940>.

24 <https://intainforma.inta.gob.ar/bajante-del-parana-como-afecta-a-la-pesca-artesanal/>.

húmidas do rio Paraná. Os incêndios tiveram um impacto significativo em certas zonas da bacia do Paraná, especialmente nos seus dois extremos: o Pantanal (**Figura 15**) e o Delta do Paraná.

No Pantanal, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) informou que o número total de incêndios aumentou 233 % em 2020, em comparação com o ano anterior. Ainda não é possível estimar o número de animais mortos por fogo, mas sabe-se que a perda de vida selvagem foi significativa (Libonati *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2020). Corpos de bombeiros relataram tuiuiús, tatus, surus e ursos formigueiros mortos, muitos deles carbonizados. Além disso, há relatos de atropelamentos de animais que circulavam em autoestradas para tentar escapar ao fogo, como quatis, ursos formigueiros, aligátores e cobras. Couto Garcia *et al.*, (2021) mostraram que as zonas ardidas no Pantanal brasileiro aumentaram 376 % em 2020, em comparação com a média de 2003-2019; 43 % da superfície afetada em 2020 não tinha ardido anteriormente em 2003-2019. No início de outubro de 2021, o risco de incêndio continua a ser moderado a elevado na maior parte da BLP superior (Figura 16), incluindo a zona do Pantanal na bacia superior do Paraguai.

Em 2020, o Paraguai sofreu os impactos simultâneos da maior seca dos últimos anos, dos enormes incêndios florestais e da pandemia de COVID-19. Em conjunto, estes eventos conduziram ao fim de sete anos consecutivos de crescimento económico neste país. As populações indígenas do Paraguai (cerca de metade das quais se concentram na parte nordeste do país, nos departamentos do Alto Paraguai, Boquerón e Canindeyú) foram desproporcionadamente afetadas pela seca e pelos incêndios florestais²⁵.

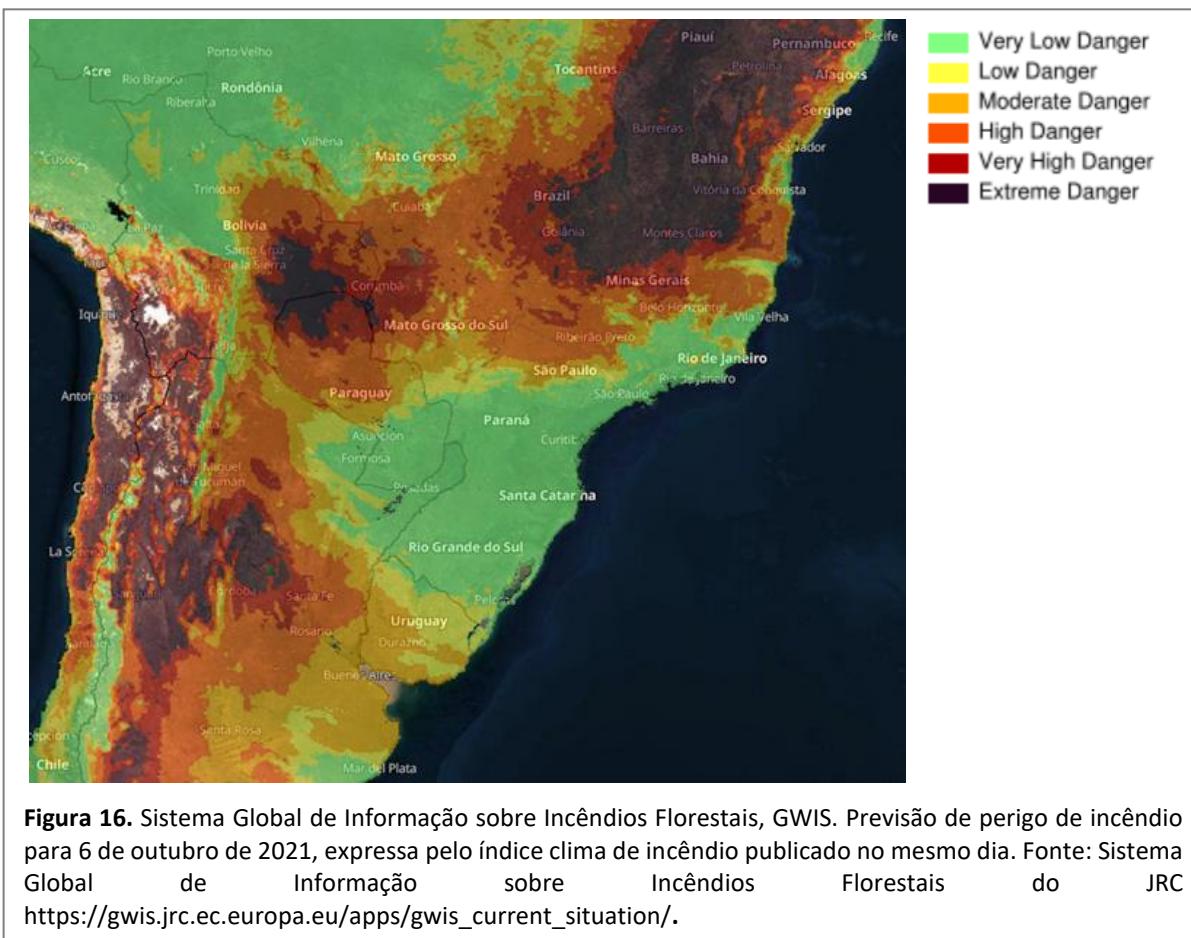


Figura 16. Sistema Global de Informação sobre Incêndios Florestais, GWIS. Previsão de perigo de incêndio para 6 de outubro de 2021, expressa pelo índice clima de incêndio publicado no mesmo dia. Fonte: Sistema Global de Informação sobre Incêndios Florestais do JRC https://gwis.jrc.ec.europa.eu/apps/gwis_current_situation/.

25 <https://reliefweb.int/updates?search=sequia%20Paraguay>.

Na Argentina, o número de focos de incêndio entre janeiro e maio de 2021 incluía 273 focos detetados pelo sensor MODIS e 1118 focos detetados pelo sensor VIIRS (Suomi-NPP). O mês com o maior número de focos foi janeiro de 2021, com um total de 101 focos detetados pelo MODIS e 444 detetados pelo sensor VIIRS. Em maio de 2021, foi comunicado um número semelhante de zonas críticas, com 109 e 376 focos detetados por cada sensor, respetivamente. Em fevereiro de 2021, tinham sido identificados 35 focos pelo MODIS e 192 pelo VIIRS. Foi registado um menor número de incêndios nos meses de março (16 focos MODIS e 81 focos VIIRS) e abril (12 focos MODIS e 25 focos VIIRS). De acordo com o Museu Regional de Ciências Naturais de San Nicolás, província de Buenos Aires, Argentina, entre 2020 e agosto de 2021, arderam mais de 700 000 hectares de zonas húmidas no Delta do Paraná, abrangendo cerca de 30 % desta região. As casas dos rios e os corais foram queimados; cidades como Villa Constitución foram invadidas por fumo e cinzas. Os peritos do Observatório Ambiental da Universidade Nacional de Rosário (UNR) estimaram que 7 000 hectares foram afetados ao largo de San Nicolás, outros 20 000 entre San Pedro e Zárate, o que representa quase 30 000 hectares ardidos até ao final de agosto de 2021²⁶.

5.4 Culturas, Pecuária e Economia

A produção agrícola da BLP desempenha um papel importante no apoio à disponibilidade mundial de alimentos através da exportação de produtos de base agrícolas. A BLP exporta não só alimentos, mas também «água virtual» incorporada em produtos de base agrícolas (Hoekstra e Mekonnen, 2012). Na região, a produção alimentar provém principalmente do cultivo de sequeiro, em que o rendimento das culturas e, por conseguinte, a produção alimentar dependem quase exclusivamente de uma precipitação suficiente.

O indicador do risco de impactos da seca para a agricultura (RDrl-Agri) é aplicado no Observatório Mundial da Seca (GDO) do serviço de gestão de emergências do Copernicus. Este indicador é utilizado para determinar a zona mais suscetível de ser afetada pela seca. O RDrl-Agri é calculado como a combinação de camadas dinâmicas de perigo de seca, exposição e vulnerabilidade. Nas zonas que registam os valores mais elevados deste indicador, é mais provável que ocorram impactos associados à seca. Por conseguinte, os mapas do RDrl-Agri podem ser utilizados como precursores dos impactos negativos causados pela seca de 2019-2021. No entanto, devido à complexidade da propagação da seca ao longo do ciclo hidrológico e dos diferentes setores socioeconómicos, estes impactos podem desenvolver-se e ser claramente detetados com um atraso temporal considerável.

O mapa do RDrl-Agri no final do segundo período de 10 dias de setembro de 2021 (Figura 17) sugere que a parte superior da BLP é a principal zona afetada. O mapa RDrl-Agri mostra uma vasta superfície com riscos moderados de impacto na BLP superior, incluindo os estados brasileiros de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná. Nas mesmas regiões, algumas zonas do Pantanal e do sudoeste do Paraguai atingiram um valor de alto risco.

O Paraguai é o quarto exportador mundial de soja e esta cultura contribui significativamente para o PIB do país. Os eventos de seca de 2009 e 2012 afetaram também a produção de soja, contraindo a economia e reduzindo o PIB em 4 % e 1,2 %, respetivamente²⁷. As previsões de produção de soja no Paraguai para 2020/21 foram reduzidas de 10 milhões de toneladas para cerca de 8 milhões de toneladas. Tal deveu-se à falta de precipitação associada a La Niña. A precipitação nos departamentos de Canindeyú e Itapúa, de setembro a outubro de 2020, foi cerca de 30 % da normal²⁸. A falta de

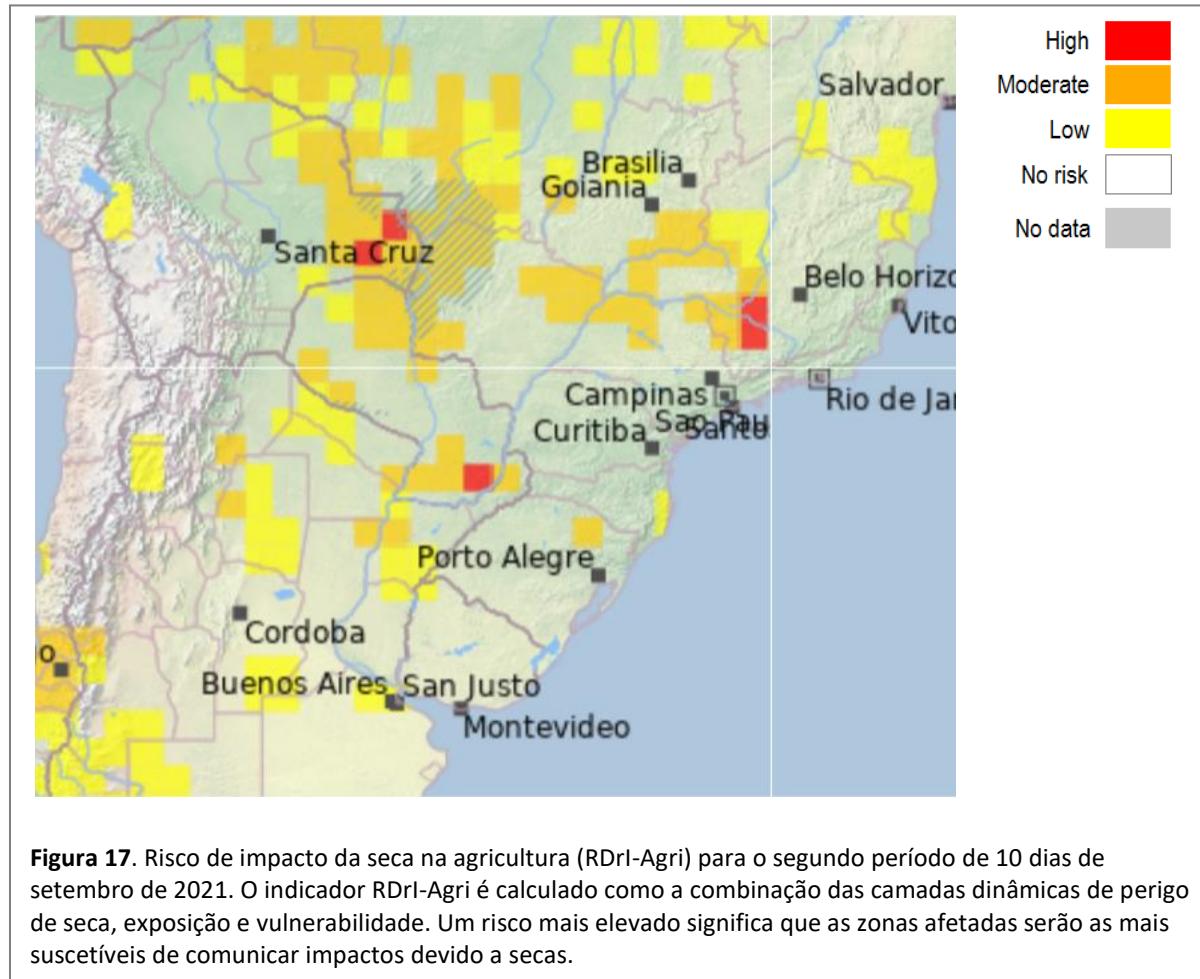
26 <http://observatorioambiental.org/informe-sobre-el-monitoreo-diario-de-focos-de-incendio-en-el-humedal-correspondiente-al-delta-del-rio-parana-en-los-primeros-5-meses-del-ano-2021/>

27 <https://reliefweb.int/updates?search=sequia%20Paraguay>.

28 <https://www.hoy.com.py/comercio-e-industrias/dejaran-de-cosechar-al-menos-2-millones-de-toneladas-de-soja-causa-de-la-sequia>.

precipitação afetou os rendimentos da soja de ciclo curto, semeada no início de 2021. No departamento do Alto Paraná, previa-se uma perda quase total da soja de ciclo curto. Observou-se uma diminuição semelhante na superfície semeada e nos rendimentos da soja de ciclo curto durante o ciclo de cultivo anterior (2019/2020)²⁹.

A Bolsa de Cereais (*Bolsa de Cereales*) de Buenos Aires (Argentina) declarou que a produção de soja no



ciclo de cultivo de 2020-2021 foi de cerca de 43,5 milhões de toneladas, ou seja, cerca de 3 milhões de toneladas abaixo das previsões. A diminuição da produção – 11 % inferior à registada em 2019/2020 – foi associada à baixa pluviosidade de fevereiro e março de 2021, períodos críticos para a definição do rendimento desta cultura. Para a Argentina, os rendimentos médios de soja calculados a nível nacional foram cerca de 10 % inferiores ao ciclo de 2019-2020³⁰. A Bolsa de Comércio de Rosário (*Bolsa de Comercio*) estimou que o nível historicamente baixo do Paraná poderia custar ao setor de exportação de cereais do país uma perda de cerca de 315 milhões de USD em seis meses (março a agosto de 2021)³¹. Por último, o instituto de investigação agrícola argentino (INTA) informou que os baixos níveis do Paraná perto da sua junção com o Río de la Plata (no chamado Delta) resultaram em perturbações no transporte de bovinos criados em pequenas ilhas e zonas húmidas³².

29 <https://www.lanacion.com.py/negocios/2021/04/21/sequia-afecto-cultivos-de-soja-y-maiz-zafrina-en-varios-departamentos-del-pais/>.

30 Informe Cierre de Campaña Soja 2020/21, Instituto de Estudios Económicos, Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

31 <https://www.ambito.com/informacion-general/rio-parana/piden-poblacion-limitar-consumo-agua-historica-bajante-del-n5227686> 1/4 7/26/2021.

32 <https://intainforma.inta.gob.ar/bajante-del-parana-como-afecta-a-la-pesca-artesanal/>.

Note-se, no entanto, que a agricultura na BLP é a principal responsável pelas alterações do uso do solo comunicadas na secção 3.2. Tal como referido nessa secção, as alterações do uso do solo introduzidas pela agricultura podem estar a diminuir a capacidade de armazenamento de humidade do solo na BLP, aumentando o escoamento e diminuindo o caudal de base.

5.5 Transporte por vias navegáveis

A seca tem impactos importantes no transporte de mercadorias por via navegável na BLP. A via navegável Paraguai-Paraná (PPW, ou «Hidrovía Paraná-Paraguai») é uma importante componente geopolítica dos sistemas de transporte na BLP, uma vez que fornece acesso oceânico por rio ao Paraguai e à Bolívia, ambos sem litoral. A PPW de 3 400 km liga o sul do Brasil ao Río de la Plata e ao Oceano Atlântico. Todos os anos, cerca de 4 500 batelões, rebocadores e navios porta-contentores navegam para cima e para baixo na PPW, transportando cerca de 102 milhões de toneladas de carga. No entanto, a navegabilidade da PPW está estreitamente ligada à profundidade (e ao caudal) dos rios Paraná e Paraguai. Os grandes navios de mar (classe Panamax, calado de 36 pés) só podem chegar à zona do Grande Rosário em Santa Fé, Argentina (km 420 da via navegável). Os navios mais pequenos («handy max», calado de 28 pés) podem ir mais para norte até ao porto de Santa Fé (km 590). No norte de Santa Fé, só é possível o tráfego interior de batelões (calado de 10 pés).

A diminuição dos níveis no rio Paraguai afetou consideravelmente o tráfego de batelões. O Centro de Armadores Fluviais e Marítimos (*Centro de Armadores Fluviales y Marítimos*) do Paraguai comunicou que, devido à redução dos níveis dos rios, os batelões tiveram de transportar cargas menores, gerando assim derrapagens nos custos. Registou-se um aumento do número de batelões encalhados. Apesar dos contínuos problemas de navegação, em maio de 2021, o Paraguai conseguiu exportar 3 309 619 toneladas de soja, cerca de 5 % mais (ou cerca de 165 190 toneladas) do que no ano anterior. Um acordo alcançado entre os governos da Argentina, do Brasil e do Paraguai permitiu à entidade binacional Yacyretá (operador da central hidroelétrica Yacyretá) programar a «Operation Water Window» (*Operativo Ventana de Agua*, Operação Janela de Água), que elevou o rio Paraná para um nível de cerca de 1 m entre 21 e 31 de maio de 2021, permitindo assim que várias colunas de batelões encalhados mais a norte passassem pelasclusas de navegação da central elétrica³³. Este acordo permitiu que as remessas de cereais provenientes de zonas de produção elevada no Paraguai (Alto Paraná, Itapúa) se deslocassem para sul para portos da região de Grande Rosário.

A zona designada por «Grande Rosário» ou «Rio Acima» é um troço de 70 km no Paraná, perto da cidade de Rosário, província de Santa Fé, Argentina, que abrange o principal centro de transformação e exportação de soja do mundo, superando polos semelhantes em Nova Orleães (Estados Unidos) e Santos (Brasil). O polo de «Grande Rosário» inclui cerca de 20 unidades de transformação de oleaginosas que representam cerca de 80 % da capacidade de Trituração argentina. Destas instalações, 12 têm o seu próprio terminal portuário. Para além da soja argentina, os grãos do Paraguai, do Brasil e da Bolívia são regularmente transportados para o polo de Grande Rosário por batelão. Aí, as oleaginosas podem ser transformadas em farinha e óleo ou diretamente transferidas para navios de navegação oceânica para exportação sob a forma de grão.

Para avaliar os impactos prováveis dos níveis do rio Paraná na atividade de transporte marítimo perto do polo de Grande Rosário, mostra-se a evolução temporal dos níveis hidrométricos do Paraná perto de Rosário entre dezembro de 2019 e agosto de 2021 (Figura 18). A profundidade da PPW ao largo da zona do Grande Rosário diminuiu rapidamente entre março e maio de 2020; em 22 de maio de 2020, foi alcançado um nível mínimo de 0,08 m (ver Figura 18). Os níveis do rio oscilaram entre 0,5 e 1,5 m

33 «Ventana de agua»; operativo en Itaupú para elevar los niveles del Paraná (elabcrural.com/operativo-ventana-de-agua-en-itaupu-para-elevar-los-niveles-en-el-parana/)

entre junho de 2020 e fevereiro de 2021, altura em que o nível atingiu um máximo de 2,88 m em 22 de fevereiro de 2021. Desde então, os níveis do rio diminuíram continuamente, atingindo níveis abaixo da referência de 0,0 m após julho de 2021. Em 20 de agosto de 2021, foi atingido um nível mínimo de 33 cm abaixo da referência zero; o nível médio histórico para este mês é de cerca de 2,90 m. Infelizmente, neste momento não se prevê qualquer aumento dos níveis da PPW pelo menos até outubro de 2021 e possivelmente – devido às condições previstas de La Niña – até ao final do ano^{34,35}.

A baixa profundidade da PPW obriga os cargueiros oceânicos que saem de Grande Rosário a diminuir as suas cargas normais. A capacidade de transporte de mercadorias perdida, por sua vez, implica custos mais elevados por carga. Normalmente, um navio «handy max» transporta entre 35 000 e 40 000 toneladas; cada pé de calado perdido devido aos baixos níveis da PPW reduz essa capacidade em 1 500-1 800 toneladas. Os maiores navios que conseguem chegar aos portos de Rosário (tamanho Panamax, cerca de 235 m de comprimento) podem transportar 60 000 a 75 000 toneladas de grãos. Um pé a menos no calado de um cargueiro Panamax significa que 2 000 a 2 500 toneladas de grão não podem ser carregadas. Em meados de maio de 2020, a profundidade da PPW ao largo de Grande

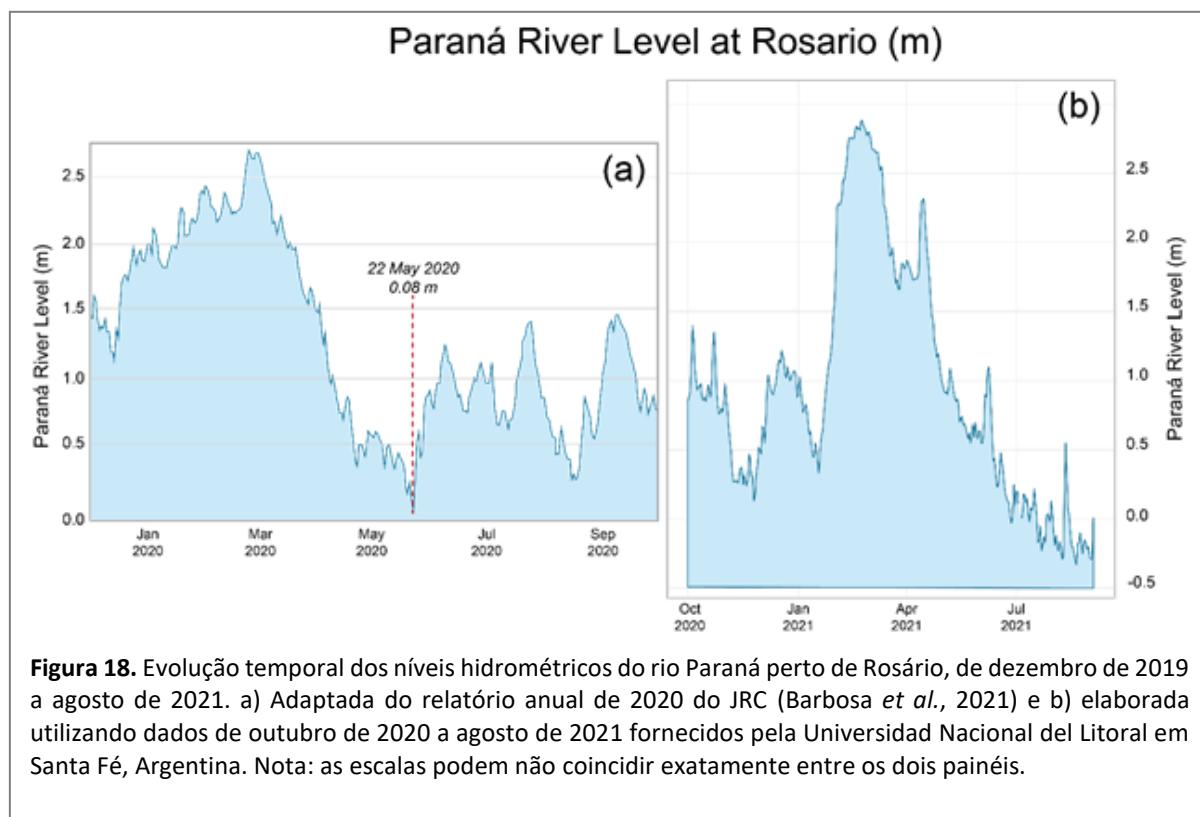


Figura 18. Evolução temporal dos níveis hidrométricos do rio Paraná perto de Rosário, de dezembro de 2019 a agosto de 2021. a) Adaptada do relatório anual de 2020 do JRC (Barbosa *et al.*, 2021) e b) elaborada utilizando dados de outubro de 2020 a agosto de 2021 fornecidos pela Universidad Nacional del Litoral em Santa Fé, Argentina. Nota: as escalas podem não coincidir exatamente entre os dois painéis.

Rosário era cerca de 5 pés abaixo do seu valor normal, reduzindo a carga de um Panamax em cerca de 11 000 toneladas, ou seja, a carga de cerca de 370 camiões com 30 toneladas cada. Para além de reduzir as cargas dos navios, as reduzidas profundidades da via navegável também aumentam os riscos de navegação, restringem frequentemente as operações às horas diurnas e aumentam a frequência de encalhamentos. Além disso, os baixos caudais e profundidades da PPW também criam problemas no lado terrestre das operações: operações de navegação mais lentas perturbam o fluxo global de oleaginosas e cereais.

34 <https://www.telam.com.ar/notas/202108/564834-rio-parana-bajante-grave.html>.

35 <https://www.eldiariocba.com.ar/suplementos-especiales/2021/8/14/crisis-en-el-transporte-de-granos-por-la-bajante-del-rio-parana-52199.html>.

Apesar da dragagem contínua da PPW entre Rosário e o estuário do Plata, os navios Panamax carregados com milho saem habitualmente de Rosário, transportando apenas cerca de 70-80 % da sua carga máxima e completam os seus porões em portos oceânicos mais profundos do sul da Argentina (Quequén ou Bahía Blanca) ou do Brasil. No entanto, atualmente, os cargueiros oceânicos só podem carregar 40-50 % da sua capacidade e têm encher os seus porões noutro lugar, o que gera custos adicionais. Por exemplo, uma vez que Quequén ou Bahía Blanca estão mais distantes das regiões centrais de produção de soja e milho da Argentina, incorre-se num custo adicional de cerca de 30-40 USD por tonelada de grão para transportar grãos para lá por via terrestre. Devido às dificuldades logísticas da PPW e à baixa produção de milho de ciclo curto no Brasil, os preços FOB do milho são consideravelmente mais baixos em Rio Acima do que nos portos brasileiros (por exemplo, o porto de Paranaguá): em junho de 2021, este diferencial de preços atingiu um máximo histórico de 48 USD por tonelada de milho³⁶. Em 2020, a Bolsa de Comércio de Rosário (Conselho do Comércio ou BCR no acrônimo espanhol) estimou que o valor agregado de todos os impactos relacionados com os baixos caudais e profundidades da PPW era de cerca de 244 milhões de USD nos primeiros quatro meses desse ano. Uma vez que os níveis da PPW foram mais baixos em 2021, a BCR estimou derrapagens nos custos das exportações de produtos de base agrícolas de cerca de 315 milhões de USD no período compreendido entre março e agosto de 2021, um montante aproximadamente equivalente a 1 % do valor total das exportações agrícolas argentinas^{37, 38, 39}.

Para além dos benefícios económicos que o sistema fluvial proporciona em termos de transporte, importa salientar os serviços ambientais e hidroecológicos que presta. Este sistema fluvial é um dos maiores rios de curso livre do mundo; representa um sistema único de zonas húmidas, desde o Pantanal, no norte da BLP, até ao estuário do Rio de la Plata, no sul. A ausência de fragmentação ao longo do canal principal e das planícies de inundação preservou a conectividade longitudinal e lateral, o que proporciona serviços ecossistémicos e meios de subsistência conexos (Baigún e Minotti, 2021). Como uma das medidas destinadas a atenuar os impactos da seca no transporte marítimo, muitas instituições propuseram alterações importantes ao sistema fluvial, como a dragagem e a criação de canais. Algumas das características do rio, como a profundidade e os meandros, exigem a desmontagem das colunas de rebocadores e batelões, o que aumenta os custos do transporte marítimo. No entanto, esta medida terá importantes impactos hidrológicos e ecológicos.

5.6 Produção de energia hidroelétrica e outros impactos energéticos

A energia hidroelétrica é a principal fonte de energia renovável na América do Sul, seguida dos biocombustíveis. A BLP é um dos maiores produtores mundiais de energia hidroelétrica (Rudnick *et al.*, 2008): esta região dispõe de 28 % dos recursos hídricos mundiais que, juntamente com as suas características topográficas, contribuem para a elevada produção, atual e potencial, de energia hidroelétrica da BLP (Popescu *et al.*, 2012). As barragens e centrais hidroelétricas na BLP fornecem cerca de 55 % da procura de energia dos países da bacia; no entanto, a elevada importância da energia hidroelétrica torna os países da BLP altamente dependentes da disponibilidade de recursos hídricos (Popescu *et al.*, 2014).

A seca pode ter importantes impactos diretos na produção de energia na BLP. A bacia do Alto Paraná alberga mais de 63 reservatórios e centrais hidroelétricas com uma capacidade de produção instalada total de cerca de 61 000 MW. O Instituto Nacional da Água argentino (INA, no acrônimo espanhol) e o

36 <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/la-bajante-4>.

37 <https://www.chacodiapordia.com/2021/08/23/bajante-del-parana-barcos-sin-granos-y-pescadores-sin-peces-mientras-esperan-niveles-mas-bajos/>.

38 <https://bichosdecampo.com/por-suerte-ahora-lo-va-a-dragar-el-estado-la-bajante-historica-del-parana-ya-costo-312-millones-de-dolares-en-mayores-costos/>.

39 <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/la-bajante-3>.

Operador Nacional do Sistema Elétrico brasileiro (ONS⁴⁰) comunicaram um estado crítico de armazenamento nos reservatórios de maior capacidade na bacia do Alto Paraná, particularmente nos rios Grande e Paranaíba, devido aos caudais extremamente baixos desde 2014 (Figura 9). Desde fevereiro de 2019, as centrais hidroelétricas de Jurumirim (bacia hidrográfica do Paranapanema) e Foz do Areia (bacia hidrográfica do Iguaçu) têm vindo a enfrentar condições de seca hidrológica graves a excepcionais. À data da redação do presente documento, a central de Jurumirim permanece na situação mais crítica (SSFI-12 = -2,7 e SSFI-24 = -3,1). O influxo na central hidroelétrica de Itaipu tem vindo a enfrentar uma seca hidrológica desde abril de 2019 e tem estado em situação de seca «excepcional» desde dezembro de 2020 (SSFI < -2,0).

Devido à escassez das centrais hidroelétricas, o ONS solicitou aos produtores de eletricidade que adiassem o mais possível os trabalhos de manutenção, a fim de evitar o agravamento da crise energética decorrente da pior seca do país em quase um século. As barragens hidroelétricas registaram os menores influxos de água em mais de 90 anos, aumentando os preços da eletricidade e fazendo subir as taxas de inflação. A Agência Nacional de Energia Elétrica brasileira (ANEEL) anunciou um aumento médio de 6,78 % nas faturas de eletricidade do país desde setembro de 2021 devido à seca⁴¹. Em 30 de agosto de 2021, o Presidente brasileiro, Jair Bolsonaro, alertou para o facto de a crise hídrica colocar o país «no limite do limite» e incentivou a população a poupar energia⁴².

A central elétrica Yacyretá é partilhada pelo Paraguai e pela Argentina e é a central hidroelétrica mais a sul do Paraná. O influxo para Yacyretá tem vindo a diminuir desde 2017, mas esta central foi particularmente afetada pelo evento em curso. De acordo com os operadores da central, o influxo médio em junho de 2021 foi de 6 200 m³ s⁻¹, um valor semelhante ao registado durante o evento de baixo caudal fluvial de 1934, e o segundo mais baixo desde 1901⁴³. Em meados de julho de 2021⁴⁴, o influxo para o reservatório de Yacyretá foi de cerca de 5 700 m³ s⁻¹, enquanto a média para esta época do ano é de cerca de 13 000 m³ s⁻¹. Em resultado dos baixos influxos, a produção de energia de Yacyretá diminuiu significativamente. No início de julho de 2021, foi comunicada uma diminuição de 45 % na produção hidroelétrica de Yacyretá em relação aos níveis de janeiro de 2021⁴⁵ (Figura 19). As perdas económicas da central de Yacyretá em meados de 2021 foram estimadas em cerca de 30 milhões de USD por mês⁴⁶.

40 <http://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/reservatorios>.

41 <https://www.milenio.com/internacional/latinoamerica/brasil-vuelve-subir-precio-electricidad-causa-sequia>.

42 <https://www.lanacion.com.ar/el-mundo/brasil-al-limite-por-su-peor-sequia-en-decadas-temen-apagones-y-jair-bolsonaro-ya-toma-medidas-nid26082021/>.

43 <https://www.telam.com.ar/notas/202108/564834-rio-parana-bajante-grave.html>.

44 <https://econojournal.com.ar/2021/07/sequia-historica-del-parana-yacyreta-al-50-problemas-en-usinas-termicas-y-contingencia-en-atucha-para-garantizar-la-toma-de-agua-de-centrales-nucleares/>.

45 <https://www.eldiariocba.com.ar/suplementos-especiales/2021/8/14/crisis-en-el-transporte-de-granos-por-la-bajante-del-rio-parana-52199.html>.

46 <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/la-bajante-4>.

Verificaram-se outros impactos relacionados com a energia a jusante da Yacyretá, afetando particularmente as entradas de água de refrigeração das centrais elétricas, como as centrais térmicas de Vuelta de Obligado e San Martín em Santa Fé, Argentina. Mais a sul, duas centrais nucleares, Atucha I e Atucha II, alugaram uma draga para garantir a disponibilidade de água⁴⁷.

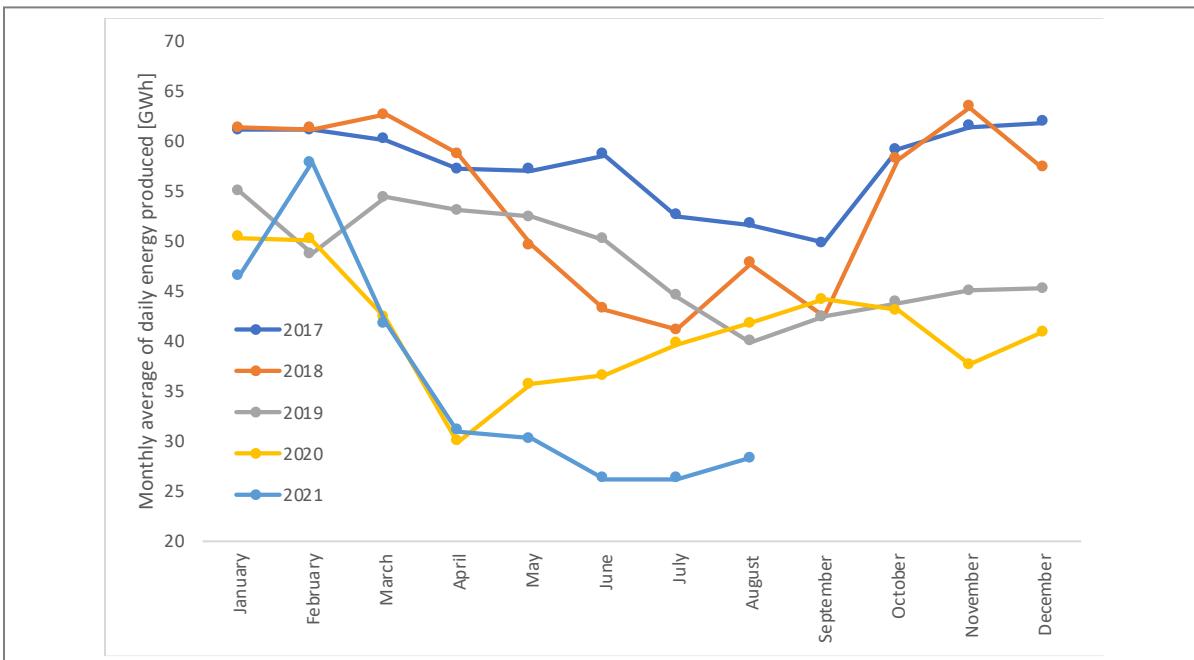


Figura 19. Média mensal da energia produzida diariamente durante o período 2017-2021 na central hidroelétrica de Yacyretá. Fonte: *Ente Binacional Yacyretá*.

5.7 Abastecimento de água para consumo humano

Em finais de maio de 2021, o Presidente brasileiro, Jair Bolsonaro, emitiu uma declaração de emergência hídrica. No entanto, esta declaração não chegou a impor restrições de água aos consumidores⁴⁸. O Governo da Argentina emitiu uma declaração em que solicita à população de sete províncias situadas ao longo dos rios Paraná, Paraguai e Iguaçu que limitem o consumo diário de água, utilizem água da chuva para irrigação e suspendam a queima de pastagens⁴⁹. Cidades importantes como Rosário, Santa Fé e Paraná dependem da água do rio Paraná para o seu abastecimento de água potável. Em 27 de julho de 2021, o Governo argentino afetou mil milhões de pesos (cerca de 10 milhões de USD) a um fundo de emergência destinado, entre outros fins, a apoiar as cidades na modernização das suas infraestruturas de captação de água⁵⁰.

47 <https://econojournal.com.ar/2021/07/sequia-historica-del-parana-yacyreta-al-50-problemas-en-usinas-termicas-y-contingencia-en-atucha-para-garantizar-la-toma-de-agua-de-centrales-nucleares/>.

48 <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2021-07-25/brasil-sufre-la-peor-sequia-en-casi-un-siglo.html>.

49 <https://www.infobae.com/sociedad/2021/07/20/historica-bajante-del-rio-parana-piden-limitar-el-consumo-de-agua-en-7-provincias/>.

50 <https://www.perfil.com/noticias/politica/gobierno-crea-fondo-emergencia-hidrica-1000-millones-pesos-zonas-afectadas-bajante-rio-parana.phtml>.

5.8 Saúde humana

A população potencialmente exposta a diferentes níveis de risco de seca representa o número de pessoas que podem ser diretamente afetadas pela seca. Este número é calculado como a sobreposição entre o índice de risco de seca (RDri-Agri, Figura 17) e as camadas da população, e os valores comunicados referem-se à população total de cada país. Durante os segundos 10 dias de setembro de 2021, mais de 11 milhões de habitantes na Argentina, 2 milhões na Bolívia, 41 milhões no Brasil e mais de 2 milhões no Paraguai viveram em zonas com algum nível de risco de impacto negativo por secas (quadro 1). É impressionante constatar que, durante este período, cerca de 1,2 milhões de pessoas estavam localizadas em zonas com elevado risco de seca.

Quadro 1. Número de pessoas potencialmente expostas a um risco de seca (RDri-Agri) baixo, médio e elevado durante os segundos 10 dias de setembro de 2021 em cada país. Os números da população exposta a cada categoria de risco são expressos em milhares de pessoas e, entre parênteses, na percentagem da população total exposta em cada país.

	Baixo	Médio	Elevado	Total
Argentina	8 947 (22 %)	2 293 (6 %)	5,6 (0 %)	11 246 (28 %)
Bolívia	869 (9 %)	1 220 (12 %)	198 (2 %)	2 288 (23 %)
Brasil	22 575 (12 %)	17 778 (9 %)	842 (1 %)	41 196 (22 %)
Paraguai	349 (5 %)	2 073 (32 %)	172 (3 %)	2 594 (40 %)

Embora geralmente subestimada, a seca pode causar danos físicos e mesmo a morte a idosos e a populações vulneráveis devido a impactos diretos associados à falta de água e a vagas de calor (UNDRR, 2021). Os impactos podem também ser sentidos indiretamente através da quebra da produção agrícola ou da alteração dos padrões dos vetores de doenças, o que pode dar origem a malnutrição ou surtos de doenças (IPCC, 2014). As populações mais vulneráveis podem também estar sujeitas a um risco ainda maior devido a fatores socioeconómicos, como a pobreza, que podem forçar as pessoas a viver em terras com baixa fertilidade dos solos ou em ecossistemas já propensos à seca (Van Lanen *et al.*, 2017).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, (2012), os vastos impactos da seca na saúde podem ser classificados em cinco classes principais: desnutrição; doenças transmitidas pela água; doenças transmitidas por vetores; doenças transmitidas por via aérea e saúde mental, incluindo a angústia e outras consequências emocionais. Durante esta seca plurianual, houve alguns relatos que destacam os testemunhos de habitantes locais diretamente afetados, manifestando incerteza, medo e ansiedade sobre a situação⁵¹.

51 <https://ar.radiocut.fm/audiocut/parana-seco-drama-familias-pescador-s-del-litoral-roxana-russo/>.

6 Conclusões

Uma seca plurianual tem vindo a afetar a bacia de La Plata desde meados de 2019. A falta de precipitação, principalmente na parte superior da bacia, conduziu a uma diminuição considerável dos caudais dos rios Paraguai e Paraná.

Devido à sua duração e gravidade prolongadas, esta seca já teve muitos impactos em vários setores socioeconómicos diferentes e também afetou gravemente os ecossistemas. Estes impactos incluem perturbações no abastecimento de água, incêndios florestais, redução dos rendimentos agrícolas, diminuição do transporte fluvial nos rios Paraguai e Paraná, e uma redução considerável da produção de energia hidroelétrica. Graves são os efeitos regionais nos ecossistemas e na biodiversidade, particularmente graves no Pantanal, uma das maiores zonas húmidas das Américas.

No que respeita às perspetivas de precipitação, a maioria dos sistemas de previsão globais prevê um cenário de défice de precipitação para o período de outubro-dezembro de 2021 na parte média e inferior da bacia do Paraná, incluindo o sul do Brasil, o Uruguai, o nordeste da Argentina e o leste do Paraguai nas zonas a montante da bacia hidrográfica do Paraná. Devido à humidade do solo extremamente baixa (resultante da atual estação seca e da precipitação inferior à média durante a estação das chuvas nos últimos anos), vai demorar algum tempo até que a pluviosidade dê contributos significativos para o caudal do rio e o armazenamento do reservatório. Além disso, é muito provável que o fenómeno La Niña, nos últimos meses de 2021, afete negativamente a precipitação nos cursos médio e baixo do Paraná. Consequentemente, o cenário mais provável para outubro-dezembro de 2021 é a continuação da situação de seca, tanto do ponto de vista pluviométrico como hidrológico.

Referências

- Abelen, S., Seitz, F., Abarca-del-Rio, R., Güntner, A., 2015. Droughts and floods in the La Plata basin in soil moisture data and GRACE. *Remote Sensing* 7, 7324–7349.
- Baigún, C.R.M., Minotti, P.G., 2021. Conserving the Paraguay-Paraná Fluvial Corridor in the XXI Century: Conflicts, Threats, and Challenges. *Sustainability* 13, 5198.
- Barbosa, P., Magni, D., Vogt, J., Spinoni, J., Masante, D., De Jager, A., Naumann, G., Cammalleri, C., Mazzeschi, M., McCormick, N., Arias Muñoz, C., 2021. Droughts in Europe and worldwide 2019-2020. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Barros, V., Clarke, R., Dias, P.S., 2006. Climate Change In The La Plata Basin. Publication of the Inter-American Institute for Global Change Research (IAI), São José dos Campos, Brazil.
- Bert, F., de Estrada, M., Naumann, G., Negri, R., Podestá, G., de los Milagros Skansi, M., Spennemann, P., Quesada, M., 2021. The 2017-18 drought in the Argentine Pampas—Impacts on Agriculture, in: United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2021). GAR Special Report on Drought 2021. Geneva.
- Boulanger, J.-P., Carril, A.F., Sanchez, E., 2016. CLARIS-La Plata Basin: regional hydroclimate variability, uncertainties and climate change scenarios. *Climate Research* 68, 93–94.
- Cai, W., McPhaden, M.J., Grimm, A.M., Rodrigues, R.R., Taschetto, A.S., Garreaud, R.D., Dewitte, B., Poveda, G., Ham, Y.-G., Santoso, A., 2020. Climate impacts of the El Niño–southern oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Environment* 1, 215–231.
- Cammalleri, C., Barbosa, P., Vogt, J.V., 2020. Evaluating simulated daily discharge for operational hydrological drought monitoring in the Global Drought Observatory (GDO). *Hydrological Sciences Journal* 65, 1316–1325.
- Cammalleri, C., Barbosa, P., Vogt, J.V., 2019. Analysing the relationship between multiple-timescale SPI and GRACE terrestrial water storage in the framework of drought monitoring. *Water* 11, 1672.
- Cavalcanti, I.F.A., Carril, A.F., Penalba, O.C., Grimm, A.M., Menéndez, C.G., Sanchez, E., Cherchi, A., Sörensson, A., Robledo, F., Rivera, J., 2015. Precipitation extremes over La Plata Basin—Review and new results from observations and climate simulations. *Journal of Hydrology* 523, 211–230.
- Chen, J.L., Wilson, C.R., Tapley, B.D., Longuevergne, L., Yang, Z.L., Scanlon, B.R., 2010. Recent La Plata basin drought conditions observed by satellite gravimetry. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 115. D22108, doi:10.1029/2010JD014689.
- Coelho, C.A., de Oliveira, C.P., Ambrizzi, T., Reboita, M.S., Carpenedo, C.B., Campos, J.L.P.S., Tomaziello, A.C.N., Pampuch, L.A., de Souza Custódio, M., Dutra, L.M.M., 2016. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Climate Dynamics* 46, 3737–3752.
- Coelho, C.A.S., Uvo, C.B., Ambrizzi, T., 2002. Exploring the impacts of the tropical Pacific SST on the precipitation patterns over South America during ENSO periods. *Theoretical and Applied Climatology* 71, 185–197.
- Collischonn, W., Tucci, C.E.M., Clarke, R.T., 2001. Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change? *Journal of Hydrology* 245, 218–238.
- Couto Garcia, L., Szabo, J.K., de Oliveira Roque, F., Pereira, A. de M.M., da Cunha, C.N., Damasceno-Júnior, G.A., Morato, R.G., Tomas, W.M., Libonati, R., Ribeiro, D.B., 2021. Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: Integrative fire management is urgently needed for both biodiversity and humans. *Journal of Environmental Management* 293, 112870.
- Cunha, A.P., Zeri, M., Deusdará Leal, K., Costa, L., Cuartas, L.A., Marengo, J.A., Tomasella, J., Vieira, R.M., Barbosa, A.A., Cunningham, C., 2019. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere* 10, 642.
- Davey, M.K., Brookshaw, A., Ineson, S., 2014. The probability of the impact of ENSO on precipitation and near-surface temperature. *Climate Risk Management* 1, 5–24.
- Díaz, E., García, M., Rodríguez, A., Dölling, O., Ochoa, S., Bertoni, J., 2018. Temporal evolution of hydrological drought in Argentina and its relationship with macroclimatic indicators. *Tecnología y ciencias del agua* 9, 1–32.
- Dollar, E., Edwards, F., Stratford, C., May, L., Biggs, J., Laize, C., Acreman, M., Blake, J., Carvalho, L., Elliott, A., Gunn, I., Hinsley, S., Mountford, O., Nunn, M., Preston, C., Sayer, E., Schonrogge, K., Spears, B., Spurgeon, D., Winfield, I., Wood, P., 2013. Monitoring and assessment of environmental impacts of droughts: literature synthesis. Environment Agency, Horizon House, Deanery Road, Bristol, BS1 5AH, United Kingdom.
- Ely, P., Fantin-Cruz, I., Tritico, H.M., Girard, P., Kaplan, D., 2020. Dam-induced hydrologic alterations in the rivers feeding the Pantanal. *Frontiers in Environmental Science* 8, 256.
- FAO, 2016. Transboundary River Basin Overview – La Plata, FAO AQUASTAT Report. FAO, Rome, Italy.

- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data* 2, 1–21.
- Grimm, A.M., 2011. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 25, 537–554.
- Grimm, A.M., Tedeschi, R.G., 2009. ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate* 22, 1589–1609.
- Haylock, M.R., Peterson, T.C., Alves, L.M., Ambrizzi, T., Anunciação, Y.M.T., Baez, J., Barros, V.R., Berlato, M.A., Bidegain, M., Coronel, G., Corradi, V., Garcia, V.J., Grimm, A.M., Karoly, D., Marengo, J.A., Marino, M.B., Moncunill, D.F., Nechet, D., Quintana, J., Rebello, E., Rusticucci, M., Santos, J.L., Trebejo, I., Vincent, L.A., 2006. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. *Journal of Climate* 19, 1490–1512. <https://doi.org/10.1175/JCLI3695.1>
- Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M., 2012. The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 109, 3232–3237.
- INA, 2021. BAJANTE EXTRAORDINARIA. Reporte de Situación y Perspectiva. Instituto Nacional del Agua. https://www.ina.gov.ar/archivos/alerta/Situacion_Bajante_2021Ago13_report.pdf.
- IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- IPCC, 2014. Climate change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Papers I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva.
- Iturbide, M., Gutiérrez, J.M., Alves, L.M., Bedia, J., Cerezo-Mota, R., Cimadevilla, E., Cofiño, A.S., Di Luca, A., Faria, S.H., Gorodetskaya, I.V., Hauser, M., Herrera, S., Hennessy, K., Hewitt, H.T., Jones, R.G., Kravovska, S., Manzanas, R., Martínez-Castro, D., Narisma, G.T., Nurhati, I.S., Pinto, I., Seneviratne, S.I., van den Hurk, B., Vera, C.S., 2020. An update of IPCC climate reference regions for subcontinental analysis of climate model data: definition and aggregated datasets. *Earth System Science Data* 12, 2959–2970.
- Jacques-Coper, M., Garreaud, R.D., 2015. Characterization of the 1970s climate shift in South America. *International Journal of Climatology* 35, 2164–2179.
- Kooperberg, C., Stone, C.J., 1991. A study of logspline density estimation. *Computational Statistics & Data Analysis* 12, 327–347.
- Landerer, F.W., Swenson, S.C., 2012. Accuracy of scaled GRACE terrestrial water storage estimates. *Water Resources Research* 48.
- Leal Filho, W., Azeiteiro, U.M., Salvia, A.L., Fritzen, B., Libonati, R., 2021. Fire in Paradise: Why the Pantanal is burning. *Environmental Science & Policy* 123, 31–34.
- Libonati, R., DaCamara, C.C., Peres, L.F., de Carvalho, L.A.S., Garcia, L.C., 2020. Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands. *Nature* 588, 217–219.
- Lovino, M.A., Müller, O.V., Müller, G.V., Sgroi, L.C., Baethgen, W.E., 2018. Interannual-to-multidecadal hydroclimate variability and its sectoral impacts in northeastern Argentina. *Hydrology and Earth System Sciences* 22, 3155–3174.
- Marengo, J.A., Ambrizzi, T., Barreto, N., Cunha, A.P., Ramos, A.M., Skansi, M., Carpio, J.M., Salinas, R., 2021a. The heat wave of October 2020 in central South America. *International Journal of Climatology*.
- Marengo, J.A., Cunha, A.P., Cuartas, L.A., Deusdará Leal, K.R., Broedel, E., Seluchi, M.E., Michelin, C.M., De Praga Baião, C.F., Chuchón Ângulo, E., Almeida, E.K., 2021b. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, Causes, and Impacts. *Frontiers in Water* 3, 13.
- Mo, K.C., Berbery, E.H., 2011. Drought and persistent wet spells over South America based on observations and the US CLIVAR drought experiments. *Journal of Climate* 24, 1801–1820.
- Naumann, G., Vargas, W.M., Barbosa, P., Blauthut, V., Spinoni, J., Vogt, J.V., 2019. Dynamics of socioeconomic exposure, vulnerability and impacts of recent droughts in Argentina. *Geosciences* 9, 39.
- Oliveira, V.A. de, Mello, C.R. de, Viola, M.R., Srinivasan, R., 2018. Land-use change impacts on the hydrology of the upper Grande river basin, Brazil. *Cerne* 24, 334–343.
- Popescu, I., Brandimarte, L., Perera, M.S.U., Peviani, M., 2012. Assessing residual hydropower potential of the La Plata Basin accounting for future user demands. *Hydrology and Earth System Sciences* 16, 2813–2823.
- Popescu, I., Brandimarte, L., Peviani, M., 2014. Effects of climate change over energy production in La Plata Basin. *International Journal of River Basin Management* 12, 319–327.
- Prieto, M. del R., 2007. ENSO signals in South America: rains and floods in the Paraná River region during colonial times. *Climatic Change* 83, 39–54.

- Rivera, J.A., Penalba, O.C., 2014. Trends and spatial patterns of drought affected area in Southern South America. *Climate* 2, 264–278.
- Rudnick, H., Barroso, L.A., Mocarquer, S., Bezerra, B., 2008. A delicate balance in South America. *IEEE Power and Energy Magazine* 6, 22–35.
- Santos, E.B., de Freitas, E.D., Rafee, S.A.A., Fujita, T., Rudke, A.P., Martins, L.D., Ferreira de Souza, R.A., Martins, J.A., 2021. Spatio-temporal variability of wet and drought events in the Paraná River basin—Brazil and its association with the El Niño—Southern oscillation phenomenon. *International Journal of Climatology* 41, 4879–4897. <https://doi.org/10.1002/joc.7104>
- Saurral, R.I., Barros, V.R., Lettenmaier, D.P., 2008. Land use impact on the Uruguay River discharge. *Geophysical Research Letters* 35, L12401, doi:10.1029/2008GL033707 .
- Seager, R., Naik, N., Baethgen, W., Robertson, A., Kushnir, Y., Nakamura, J., Jurburg, S., 2010. Tropical Oceanic Causes of Interannual to Multidecadal Precipitation Variability in Southeast South America over the Past Century. *Journal of Climate* 23, 5517–5539. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3578.1>
- Spinoni, J., Barbosa, P., De Jager, A., McCormick, N., Naumann, G., Vogt, J.V., Magni, D., Masante, D., Mazzeschi, M., 2019. A new global database of meteorological drought events from 1951 to 2016. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 22, 100593.
- Stevaux, J.C., Martins, D.P., Meurer, M., 2009. Changes in a large regulated tropical river: The Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil. *Geomorphology* 113, 230–238.
- Svoboda, M., LeComte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., Rippey, B., Tinker, R., Palecki, M., Stooksbury, D., 2002. The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83, 1181–1190.
- Tucci, C.E., 2003. Flood flow forecasting. *Bulletin of the World Meteorological Organization* 52, 46–52.
- UNDRR, 2021. GAR Special Report on Drought 2021. UNDRR, Geneva.
- Van Lanen, H.A.J., Vogt, J.V., Andreu, J., Carrão, H., De Stefano, L., Dutra, E., Feyen, L., Forzieri, G., Hayes, M., Iglesias, A., Naumann, G., Pulwarty, R., Spinoni, J., Stahl, K., Stefanski, R., Stilianakis, N., Svoboda, M., Tallaksen, L., 2017. Climatological risk: droughts, in: *Science for Disaster Risk Management*. pp. 271–293.
- Vogt, J., Naumann, G., Masante, D., Spinoni, J., Cammalleri, C., Erian, W., Pischke, F., Pulwarty, R., Marinho Ferreira Barbosa, P., 2018. Drought Risk Assessment and Management. (EUR - Scientific and Technical Research Reports). Publications Office of the European Union.
- World Health Organization, (WHO), 2012. *Atlas of health and climate*, WMO. WMO, Geneva.

Lista de abreviaturas e definições

ANOA	Administração Nacional Oceanográfica e Atmosférica
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CH	Central hidroelétrica
CHIRPS	Precipitação Infravermelha com Estação do Climate Hazards Group (Grupo de Perigos Climáticos)
EBY	Entidade Binacional de Yacyretá
ENSO	Oscilação Meridional-El Niño
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FOB	Franco a bordo
FAPAR	Fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida
GPCC	<i>Global Precipitation Climatology Center</i> (Centro de Climatologia Global por Precipitação)
GRACE	<i>Gravity Recovery and Climate Experiment</i> (Experiência de Recuperação de Gravidade e Clima)
GWIS	Sistema Global de Informação sobre Incêndios Florestais
INA	Instituto Nacional del Agua (Instituto Nacional da Água)
INTA	Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária
IRI	Instituto Internacional de Investigação para o Clima e a Sociedade – Columbia Climate School
JRC	Centro Comum de Investigação da Comissão Europeia
MODIS	Espetrorradiômetro de imagens de resolução moderada
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico – Brasil
SISSA	Sistema de informação sobre secas para o sul da América do Sul (Sistema de Información sobre Sequías para el Sur de Sudamérica)
SMN	Servicio Meteorológico Nacional (Serviço Meteorológico Nacional) – Argentina
SPEI	Índice normalizado de precipitação-evaporação
SPI	Índice normalizado de precipitação
SSFI	Índice normalizado de caudais
Suomi NPP	<i>Suomi National Polar-orbiting Partnership</i> (Parceria Nacional de Órbita Polar Suomi)
TWS	Armazenamento de água total
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
VIIIRS	<i>Visible Infrared Imaging Radiometer Suite</i> (Conjunto de imagens de radiômetros de infravermelhos visíveis)

Lista de figuras

- Figura 1.** Mapa da bacia de La Plata, incluindo as principais barragens hidroelétricas. As zonas verdes escuras representam zonas de desenvolvimento da irrigação. Fonte: FAO, (2016). 4
- Figura 2.** Séries cronológicas da precipitação total mensal (barras azuis) e anomalias de precipitação cumulativas (barras vermelhas) dos últimos 5 anos (setembro de 2016 – setembro de 2021). São apresentadas séries para: a) uma região próxima de Santa Fé do Sul ($20,3^{\circ}\text{S}$, 51°W) no estado de São Paulo para ilustrar as condições próximas do sistema de abastecimento de água de Cantareira; b) a zona húmida do Pantanal nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul ($16,7^{\circ}\text{S}$, $57,5^{\circ}\text{W}$). Ambos os painéis mostram igualmente a média mensal de 1981-2010 da precipitação total (linhas sólidas) e o intervalo de variabilidade estimado dado pelo desvio-padrão (linhas a tracejado). Os painéis inferiores mostram a média mensal de 1981-2010 (linhas sólidas) e o intervalo de variabilidade estimado dado pelo desvio-padrão (linhas a tracejado) das anomalias de precipitação cumulativas ao longo dos últimos 5 anos. 8
- Figura 3.** Séries cronológicas do SPI (janeiro de 1981 – setembro de 2021) para três escalas temporais diferentes: 3, 6 e 12 meses (de cima para baixo) para um local próximo de Santa Fé do Sul ($20,3^{\circ}\text{S}$, 51°W) no estado de São Paulo para ilustrar as condições do sistema de abastecimento de água de Cantareira. 9
- Figura 4.** Séries cronológicas do SPI (janeiro de 1981 – setembro de 2021) para três escalas temporais diferentes: 3, 6 e 12 meses (de cima para baixo) para um local na zona húmida do Pantanal nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul ($16,7^{\circ}\text{S}$, $57,5^{\circ}\text{W}$). 10
- Figura 5.** Categorias de seca para a bacia de La Plata derivadas de anomalias de precipitação CHIRPS do SPI-6 entre 15 de março de 2019 e 30 de setembro de 2021. Fonte: SISSA..... 11
- Figura 6.** Percentagem de superfície da BLP em cada uma das cinco categorias de seca utilizadas na Fig. 5, de acordo com o SPI-6 de março de 2019 a setembro de 2021. As superfícies foram derivadas de anomalias de precipitação do CHIRPS. Para a escala e cores, ver a Fig. 5. Fonte: SISSA 12
- Figura 7.** Anomalia de humidade do solo para o primeiro período de dez dias de setembro de 2021 (painel superior) e Anomalia de armazenamento total de água (TWS) do Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE), julho de 2021 (painel inferior). 13
- Figura 8.** Índice de baixo caudal (LFI) para o primeiro período de dez dias de setembro de 2021. Um índice de baixo caudal de 0 corresponde à ausência de seca e um valor de 1 ao maior risco de seca..... 14
- Figura 9.** Índice normalizado de caudais (SSFI) em escalas temporais de 12 (painel esquerdo) e de 24 meses (painel direito), para as sub-bacias hidrográficas das CH de Emborcação, Furnas, Jurumirim, Foz do Areia e Itaipu. (Fonte: CEMADEN). 15
- Figura 10.** Anomalias de fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (FAPAR) para o segundo período de 10 dias de setembro de 2021. As anomalias FAPAR representam o impacto do stress ambiental no crescimento e na produtividade da vegetação, especialmente o stress hídrico das plantas devido à seca contínua. 16
- Figura 11.** Pluma de anomalia da temperatura da superfície do mar (SST) publicada em 6 de outubro de 2021. A linha sólida preta mostra as anomalias observadas recentemente e as linhas vermelha e azul mostram as anomalias SST agrupadas previstas no modelo GFS.V2 nas regiões da região NIÑO3.4 ($5\text{N}-5\text{S}$, $170\text{W}-120\text{W}$). A linha preta a tracejado mostra a média do conjunto. As anomalias são reveladas em relação ao clima de 1991-2020. Fonte: NOAA. 18

- Figura 12.** Séries cronológicas do SPI-12 e do SPI-24 calculadas utilizando a pluviosidade estimada pelo Global Precipitation Climatology Center (Centro de Climatologia Global por Precipitação) para a bacia hidrográfica do Paraná entre 1900 e 2021. (Fonte: CEMADEN) ... 21
- Figura 13.** Evolução anual comparativa dos níveis hidrométricos diários do rio Paraná ao largo de Corrientes, Argentina. As séries cronológicas são apresentadas para 2021 (linha preta a tracejado) e para os cinco eventos de baixo caudal mais intensos na história registada. Fonte: INA (2021), publicado em 13 de agosto de 2021..... 22
- Figura 14.** Duas imagens obtidas por um dos satélites do Sentinel-2 do Copernicus em 6 de julho de 2019 (painel esquerdo) e 10 de julho de 2021 (painel direito). As imagens mostram claramente a seca que afeta o rio Paraná, na Argentina, perto do porto de Rosário. Os bancos de areia expostos e as zonas húmidas secas aparecem na imagem da direita. Crédito: União Europeia, imagens do Sentinel-2 do Copernicus..... 25
- Figura 15:** Esta imagem, obtida por um dos satélites Sentinel-2 do Copernicus em 14 de agosto de 2020, mostra incêndios florestais no Parque Nacional do Pantanal *Matogrossense* (estado de Mato Grosso). Crédito: União Europeia, imagens do Sentinel-2 do Copernicus... 26
- Figura 16.** Sistema Global de Informação sobre Incêndios Florestais, GWIS. Previsão de perigo de incêndio para 6 de outubro de 2021, expressa pelo índice clima de incêndio publicado no mesmo dia. Fonte: Sistema Global de Informação sobre Incêndios Florestais do JRC https://gwis.jrc.ec.europa.eu/apps/gwis_current_situation/. 27
- Figura 17.** Risco de impacto da seca na agricultura (RDrl-Agri) para o segundo período de 10 dias de setembro de 2021. O indicador RDrl-Agri é calculado como a combinação das camadas dinâmicas de perigo de seca, exposição e vulnerabilidade. Um risco mais elevado significa que as zonas afetadas serão as mais suscetíveis de comunicar impactos devido a secas. 29
- Figura 18.** Evolução temporal dos níveis hidrométricos do rio Paraná perto de Rosário, de dezembro de 2019 a agosto de 2021. a) Adaptada do relatório anual de 2020 do JRC (Barbosa et al., 2021) e b) elaborada utilizando dados de outubro de 2020 a agosto de 2021 fornecidos pela Universidad Nacional del Litoral em Santa Fé, Argentina. Nota: as escalas podem não coincidir exatamente entre os dois painéis. 31
- Figura 19.** Média mensal da energia produzida diariamente durante o período 2017-2021 na central hidroelétrica de Yacyretá. Fonte: Ente Binacional Yacyretá..... 34

Lista de quadros

Quadro 1. Número de pessoas potencialmente expostas a um risco de seca (RDRI-Agri) baixo, médio e elevado durante os segundos 10 dias de setembro de 2021 em cada país. Os números da população exposta a cada categoria de risco são expressos em milhares de pessoas e, entre parênteses, na percentagem da população total exposta em cada país..... 35

Anexos

Anexo 1. Descrição dos indicadores de seca utilizados no presente relatório

O presente anexo contém uma lista não exaustiva com uma breve descrição dos principais indicadores de seca utilizados no presente relatório. A monitorização das secas baseia-se na análise de uma série de indicadores que representam diferentes componentes do ciclo hidrológico (por exemplo, precipitação, humidade do solo, níveis dos reservatórios, caudal dos rios, níveis das águas subterrâneas) ou impactos específicos (por exemplo, stress hídrico da vegetação) associados a um tipo específico de seca.

Para mais informações, consultar a secção das fichas informativas do Observatório Europeu e Mundial da Seca^{52,53}. O Observatório Mundial da seca (GDO) é um serviço gerido pelo Centro Comum de Investigação da Comissão Europeia. O portal GDO contém informações, gráficos e séries cronológicas sobre seca a nível mundial. Atualmente, todos os indicadores de seca estão disponíveis ao público, sendo possível aceder e descarregar os mesmos a partir da página específica do GDO⁵⁴.

Índice normalizado de precipitação (SPI)

O episódio de seca em curso na bacia de La Plata é caracterizado e descrito a partir da análise dos padrões de precipitação com foco no índice normalizado de precipitação (SPI). O SPI é um dos indicadores mais utilizados e comuns para a análise e avaliação da seca e mede as anomalias da precipitação, comparando a precipitação total observada de um período de acumulação definido com dados históricos a longo prazo para o mesmo período. O SPI é um índice estatístico que compara a precipitação total recebida num determinado local durante um período de n meses com a distribuição da precipitação a longo prazo para o mesmo período de tempo nesse local (o período de referência é 1981-2010). Os períodos de acumulação mensais (n) são de 1, 3, 6, 9, 12, 24 ou 48 meses. Os SPI correspondentes são indicados no presente relatório como SPI-1, SPI-3, SPI-6 e SPI-12.

Cada período de acumulação descreve um aspeto diferente da seca e dos seus potenciais impactos. Os SPI para períodos de acumulação curtos (por exemplo, SPI-1 a SPI-3) são indicadores de impactos imediatos como a redução da humidade do solo, o manto de neve e o caudal em riachos mais pequenos. Os SPI para períodos de acumulação médios (por exemplo, SPI-3 a SPI-12) são indicadores de redução do caudal e do armazenamento do reservatório. Os SPI para longos períodos de acumulação (SPI-12 a SPI-48) são indicadores de redução da recarga do reservatório e das águas subterrâneas, por exemplo. A relação exata entre o período de acumulação e o impacto depende do ambiente natural (por exemplo, geologia, solos) e da interferência humana (por exemplo, existência de sistemas de irrigação). Mais informações em McKee, T.B., Doesken, N.J. e Kleist, J., 1993, janeiro. *The relationship of drought frequency and duration to time scales (A relação entre a frequência e a duração da seca e as escalas temporais)*. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology (Em atas da 8.ª Conferência sobre Climatologia Aplicada)* (Vol. 17, n.º 22, pp. 179-183).

52 <https://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1101>.

53 <https://edo.jrc.ec.europa.eu/gdo/php/index.php?id=2101>.

54 <https://edo.jrc.ec.europa.eu/gdo/php/index.php?id=2112>.

Anomalias da humidade do solo

As anomalias da humidade do solo são calculadas num período móvel de 30 dias, com uma resolução espacial de 0,1 graus decimais, e atualizadas a cada 10 dias. O índice é calculado como uma média ponderada de três variáveis normalizadas: 1) a humidade do solo da zona radicular do LISFLOOD, 2) a Temperatura da Superfície Terrestre do MODIS e 3) a deteção remota da humidade superficial do solo da ESA e do JRC. As três variáveis são normalizadas no mesmo período de referência 2001-2016 e os fatores de ponderação são calculados como descrito em *Cammalleri, C., Vogt, J. V., Bisselink, B., e de Roo, A. (2017). Comparing soil moisture anomalies from multiple independent sources over different regions across the globe (Comparar anomalias da humidade do solo provenientes de múltiplas fontes independentes em diferentes regiões do globo).* *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(12), 6329.

O conjunto completo dos três modelos é fornecido até ao penúltimo período de 10 dias, ao passo que o último período de 10 dias é uma estimativa «preliminar» baseada apenas nos dados LISFLOOD e MODIS LST.

Anomalia de armazenamento total de água GRACE

A anomalia de armazenamento total de água (TWS) é calculada como desvio-padrão do equivalente de água líquida do satélite GRACE (*JPL TELLUS, Level 3 release 6.0, https://grace.jpl.nasa.gov/*) a partir da base de referência 2002-2017. O conjunto de dados é mensal com resolução de 1 grau. Os pormenores sobre a relação entre este indicador e os índices de seca meteorológica clássicos (por exemplo, SPI) podem ser consultados em *Cammalleri, C.; Barbosa, P.; Vogt, J.V. (2019). Analysing the Relationship between Multiple-Timescale SPI and GRACE Terrestrial Water Storage in the Framework of Drought Monitoring (Análise da relação entre o SPI de múltiplos prazos e o armazenamento de águas terrestres no âmbito da monitorização da seca do GRACE).* *Water* 2019, 11, 1672.

Fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (FRFAa)

O indicador Anomalia FRFAa, que é implementado no Observatório Mundial da Seca do Copernicus (GDO), é utilizado para detetar e monitorizar os impactos dos fatores de *stress* ambiental no crescimento e produtividade da vegetação, especialmente o *stress* hídrico das plantas devido à seca. O indicador Anomalia FRFAa é calculado como desvios da variável biofísica medida por satélite da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (FRFAa, por vezes escrita como fAPAR ou FPAR), composta por intervalos de 10 dias, em relação aos seus valores médios a longo prazo. A FRFAa é uma das 50 chamadas «variáveis climáticas essenciais» (VCE), que foram definidas pelo sistema mundial de observação do clima como sendo viáveis para a observação do clima mundial e importante para apoiar o trabalho da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas e do Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas. (Das 50 VCE, 26 estão enumeradas como estando significativamente dependentes das observações por satélite). Os valores FRFAa e as suas anomalias revelaram-se bons indicadores para detetar e avaliar os impactos da seca nas canópias das plantas, como as culturas agrícolas e a vegetação natural, fornecendo, assim, informações potencialmente úteis para fins de gestão da água e da agricultura. Podem ser consultadas mais informações em *Gobron N., B. Pinty, F. Mélin, M. Taberner, M. M. Verstraete, A. Belward, T. Lavergne e J.-L. WIDLOWSKI. 2005. The state of vegetation in Europe following the 2003 drought (O estado da vegetação na Europa após a seca de 2003).* *International Journal of Remote Sensing*, 26 (9): 2013-2020.

Índice de baixo caudal

O indicador do índice de baixo caudal (LFI) é utilizado para a monitorização operacional, em tempo quase real, da seca hidrológica (ou seja, dos caudais) na Europa. A nível mundial, o LFI é um produto experimental. O indicador LFI explora os resultados simulados diários das descargas de água fluviais do modelo hidrológico LISFLOOD, a fim de captar períodos consecutivos de caudais anormalmente baixos e compara o consequente défice hídrico durante esses períodos com as condições climatológicas históricas, a fim de determinar a gravidade dos eventos. Uma das principais vantagens do indicador LFI, em comparação, por exemplo, com o índice normalizado de escoamento (*Standard Run-off Index*) (SRI) amplamente utilizado, é que o indicador LFI explora diretamente os valores do caudal diário, permitindo uma atualização quase em tempo real do índice em intervalos de tempo regulares. Podem ser consultadas mais informações em *Cammalleri, C., Vogt, J. e Salamon, P., (2017): Development of an operational low-flow index for hydrological drought monitoring over Europe (Desenvolvimento de um índice operacional de baixo caudal para a monitorização da seca hidrológica na Europa). Hydrological Sciences Journal, 62 (3), pp. 346-358, e Cammalleri, C., P., Barbosa, J.V., Vogt (2020). Evaluating simulated daily discharge for operational hydrological drought monitoring in the Global Drought Observatory (GDO) (Avaliação das descargas diárias simuladas para monitorização operacional da seca hidrológica no Observatório Mundial da Seca) Hydrological Sciences Journal 65 (8), 1316-1325.*

Risco de impactos da seca para a agricultura (RDrl-Agri)

O indicador do risco de impactos da seca para a agricultura (RDrl-Agri), aplicado no Observatório Mundial da Seca, é utilizado para determinar a área mais suscetível de ser afetada por secas. O indicador RDrl-Agri é calculado como a combinação das camadas dinâmicas de risco de seca, exposição e vulnerabilidade. Um risco mais elevado significa que as zonas afetadas serão as mais suscetíveis de comunicar impactos devido a secas.

Os mapas do RDrl-Agri fornecem informações sobre a distribuição espacial do risco de impactos da seca a nível mundial e a sua evolução ao longo do tempo. Os mapas do indicador RDrl-Agri podem ser utilizados como um indicador alternativo da presença de potenciais impactos devido às secas em curso. Devido à complexidade da propagação da seca através do ciclo hidrológico e dos diferentes setores socioeconómicos, bem como aos efeitos em cascata, estes impactos podem ser observados muito mais tarde. Podem ser consultadas mais informações em *Carrão, H., Naumann, G. e Barbosa, P., 2016. Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability (Mapeamento dos padrões mundiais de risco de seca: um quadro empírico baseado em estimativas subnacionais dos riscos, da exposição e da vulnerabilidade). Global Environmental Change, 39, pp. 108-112.*

CONTACTAR A UE

Pessoalmente

Em toda a União Europeia há centenas de centros de informação Europe Direct. Poderá encontrar o endereço do centro mais próximo em: https://europa.eu/european-union/contact_pt.

Por telefone ou correio eletrónico

O Europe Direct é um serviço que responde às suas perguntas sobre a União Europeia. Pode contactar este serviço: através do número verde: 00 800 6 7 8 9 10 11 (alguns operadores podem cobrar estas chamadas), através do número: +32 22999696, ou por correio eletrónico através do endereço: https://europa.eu/european-union/contact_pt.

ENCONTRAR INFORMAÇÕES SOBRE A UE

Em linha

Estão disponíveis informações sobre a União Europeia, em todas as línguas oficiais da UE, no sítio Web Europa: https://europa.eu/european-union/index_pt.

Publicações da UE

Pode descargar ou encomendar publicações da UE gratuitas ou pagas em: <https://publications.europa.eu/pt/publications>. Pode obter vários exemplares de publicações gratuitas contactando o serviço Europe Direct ou o seu centro de informação local (consultar https://europa.eu/european-union/contact_pt).

The European Commission's
science and knowledge service
Joint Research Centre

JRC Mission

As the science and knowledge service of the European Commission, the Joint Research Centre's mission is to support EU policies with independent evidence throughout the whole policy cycle.



EU Science Hub

ec.europa.eu/jrc



@EU_ScienceHub



EU Science Hub - Joint Research Centre



EU Science, Research and Innovation



EU Science Hub



Serviço das Publicações
da União Europeia

doi:10.2760/972605
ISBN 978-92-76-47670-2