

CHUVAS EXTREMAS DURANTE O EL NIÑO DE 2015/2016 E SEUS EFEITOS GEOSISTÊMICOS NO NORTE DO PARANÁ

Otávio Cristiano MONTANHER¹

Cíntia MINAKI²

Eduardo Souza de MORAIS³

Juliana de Paula SILVA⁴

RESUMO

O episódio El Niño entre setembro/2015 e fevereiro/2016 ocasionou chuvas abundantes no estado do Paraná. Neste artigo os objetivos foram identificar os limites espaciais de maior magnitude deste evento climático e as respectivas respostas geossistêmicas na paisagem. Para isso, foram analisadas 32 séries de precipitação (1981 e 2016). O parâmetro temporal mais indicativo de evento extremo das chuvas durante o período de El Niño foi a precipitação acumulada em seis meses. O tempo de retorno (TR) deste parâmetro foi calculado e espacializado por meio de krigagem. Os resultados mostram que uma faixa longitudinal de 450 por 140 km teve chuvas com TR > 30 anos, atingindo máximos maiores do que 150 anos. Levantamentos feitos em campo, via imagens orbitais, por meio de fontes oficiais e da imprensa, mostram uma grande diversidade de efeitos causados pelas chuvas, como a interdição de estradas, interrupção no fornecimento de água e energia, erosões em áreas urbanas e rurais. Conclui-se que a estabilidade dos geossistemas regionais foi rompida em decorrência dos valores extremos de chuva, de modo que a região Noroeste do Paraná teve menor resiliência em relação ao Norte Central e Norte Pioneiro, devido às diferenças entre as litologias e coberturas superficiais dessas regiões.

Palavras-chave: Erosão. Inundação. Resiliência. Tempo de retorno. Conectividade.

¹ Professor na Universidade Estadual de Maringá (UEM).

² Professora na Universidade Estadual de Maringá (UEM).

³ Professor na Universidade Estadual de Maringá (UEM).

⁴ Professora na Universidade Estadual de Maringá (UEM).

EXTREME RAINFALL DURING EL NIÑO 2015/2016 AND ITS GEOSYSTEMIC EFFECTS IN THE NORTHERN PARANÁ STATE, BRAZIL

ABSTRACT

The occurrence of an El Niño episode between September/2015 and February/2016 caused rainfall increase in the state of Paraná, Brazil. In this paper, the aims were to analyse the spatial limit of this climatic event and the geosystemic responses in the landscape. We evaluated 32 precipitation series (1981 and 2016). The temporal parameter most indicative of an extreme rainfall event during the El Niño period was identified with the precipitation accumulated in six months. The return period (RP) of this parameter was calculated and spatialized using kriging. The results show that a longitudinal strip of 450 by 140 km had rainfall with RP > 30 years, reaching maximums higher than 150 years. Surveys from fieldworks, remote sensing, official documents and the newspapers show a diversity of disturbances, for instance: road closures, interruption in water and energy supply and erosion in urban and rural areas. We argue that the extraordinary rains affected many functionalities geosystemic, and that the Northwest region of Paraná had less resilience than the North Central and North Pioneer regions, due to the differences between the lithology and superficial cover of these regions.

Keywords: Erosion. Flooding. Resilience. Return period. Connectivity.

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de chuvas extremas no último quadrimestre do ano de 2015 e no primeiro bimestre de 2016 foram particularmente problemáticas em decorrência das consequências destes eventos para a população de áreas do norte central e do noroeste do Paraná. O episódio de El Niño deste período, classificado como “forte” pelos valores do Índice Oceânico Niño (ONI) e por autores como L’Heureux et al. (2017) e L’Heureux et al. (2019), ocasionou chuvas abundantes por meses consecutivos (MARTÍNEZ et al., 2017; PEREIRA et al., 2017; MINAKI; MONTANHER, 2019), com impactos em diversas esferas do geossistema.

O objetivo deste artigo é analisar as conexões entre a ocorrência climática El Niño, mais especificamente o episódio de 2015/2016 (EN 15-16), com as respectivas respostas geossistêmicas na região Norte do Paraná. Para atender ao objetivo geral, foram pautados os seguintes objetivos específicos: i) caracterizar o episódio El Niño; ii) avaliar bases de dados de precipitação para o período do episódio, buscando determinar qual estatística (ou quais) reflete a intensidade do processo; iii) calcular tempos de retorno para as chuvas observadas, como meio de determinar pela sua frequência, a condição de raridade; iv) mapear a distribuição dessas chuvas extremas; v) exemplificar alguns distúrbios provocados aos componentes do geossistema, a partir de diversas fontes.

De forma simplificada, entende-se um sistema como um todo organizado, composto por várias partes ou variáveis que interagem entre si, de modo que o todo é diferente da soma entre as partes. Os fundamentos da Teoria Geral dos Sistemas podem ser consultados em Bertalanffy (2015), e considerados os exemplos de Charlton (2008) e Stevaux e Latrubesse (2017).

No estrato geográfico (GRIGORIEV, 1993), muitas variáveis atendem à dinâmica sistêmica e podem ser divididas em três grandes conjuntos: elementos abióticos, bióticos e sociedade humana, - ou nos termos de Bertrand (2004): potencial ecológico, exploração biológica e ação antrópica - estando a última separada do meio biótico por sua elevada complexidade. Cada conjunto pode ser subdividido, sendo que o meio abiótico, a exemplo, seria composto por atmosfera, hidrosfera e litosfera. Adicionalmente, cada subconjunto pode ser pormenorizado, e neste caso, a litosfera se subdividiria em rochas, solos e sedimentos, além de suas formas (relevo) e seus processos formadores, e assim sucessivamente.

Os exemplos mencionados demonstram a abrangência dos geossistemas, de modo que

existem muitas possibilidades de interação entre as variáveis e os diversos mecanismos sistêmicos, como a retroalimentação, por exemplo. Com base nessas considerações, há dois princípios sistêmicos específicos que sustentam a hipótese estabelecida no desenvolvimento deste trabalho - a hierarquia entre as variáveis e o conceito de limiar (*Threshold*). Este último atinente à resiliência de componentes da paisagem, que se refere à capacidade de experimentar um evento adverso e auto reestabelecer as características (formas, estruturas) e funções (NAYLOR et al., 2017). Neste estudo, estabeleceu-se a hipótese de que uma variação expressiva no estado de uma das variáveis controladoras (clima) durante o EN 15-16 levou a uma série de ajustes em variáveis-resposta da paisagem.

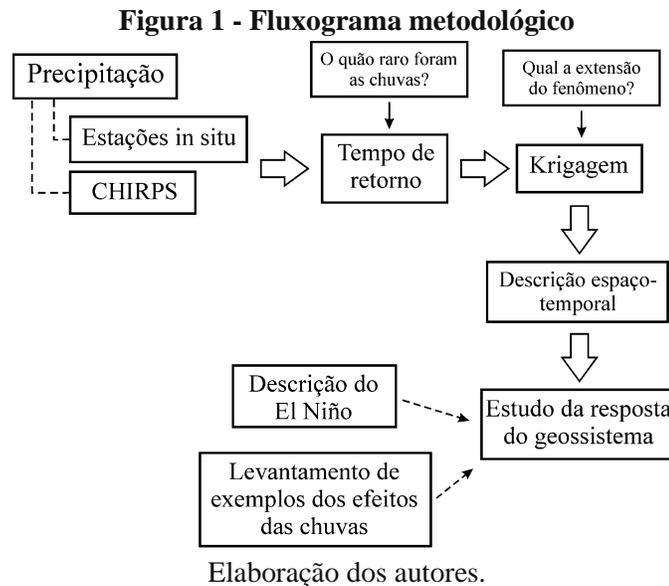
Além da organização hierárquica, pressupõe-se que um limiar do geossistema foi ultrapassado, uma vez que a entrada (*input*) de água no sistema por meio do volume e intensidade da precipitação, alteraram muitas variáveis do geossistema de modo que, sem a ação antrópica, tais mudanças seriam irreversíveis. Essa pressuposição parte do princípio de que as variáveis estariam em condições de relativa estabilidade, em uma escala temporal entre o tempo estável e o tempo dinâmico (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O resumo dos procedimentos realizados neste trabalho pode ser observado na Figura 1. Os dados de precipitação foram obtidos a partir de duas fontes – estações pluviométricas *in situ* e estimativas globais CHIRPS. Após a organização e análise inicial dos dados de precipitação, foi calculado o tempo de retorno (TR) do evento para cada estação, via modelos de probabilidade. Tendo-se os tempos de retorno, essa variável foi espacializada por meio de interpolação (krigagem). Assim, como principal resultado das modelagens realizadas, obteve-se uma descrição espaço-temporal detalhada das chuvas que ocorreram entre setembro/2015 e fevereiro/2016.

Além da modelagem da precipitação, fez-se uma descrição do EN 15-16 com base no índice climático Oscilação-Sul (SOI). Por fim, realizou-se um levantamento a partir de fontes primárias e secundárias dos efeitos que as chuvas do período trouxeram para componentes do geossistema. Essas três camadas de informação serviram como base para as discussões sobre os efeitos do EN 15-16 sobre o geossistema na região Norte do Paraná. A seguir, a área de estudo será apresentada

e as etapas metodológicas serão descritas detalhadamente.

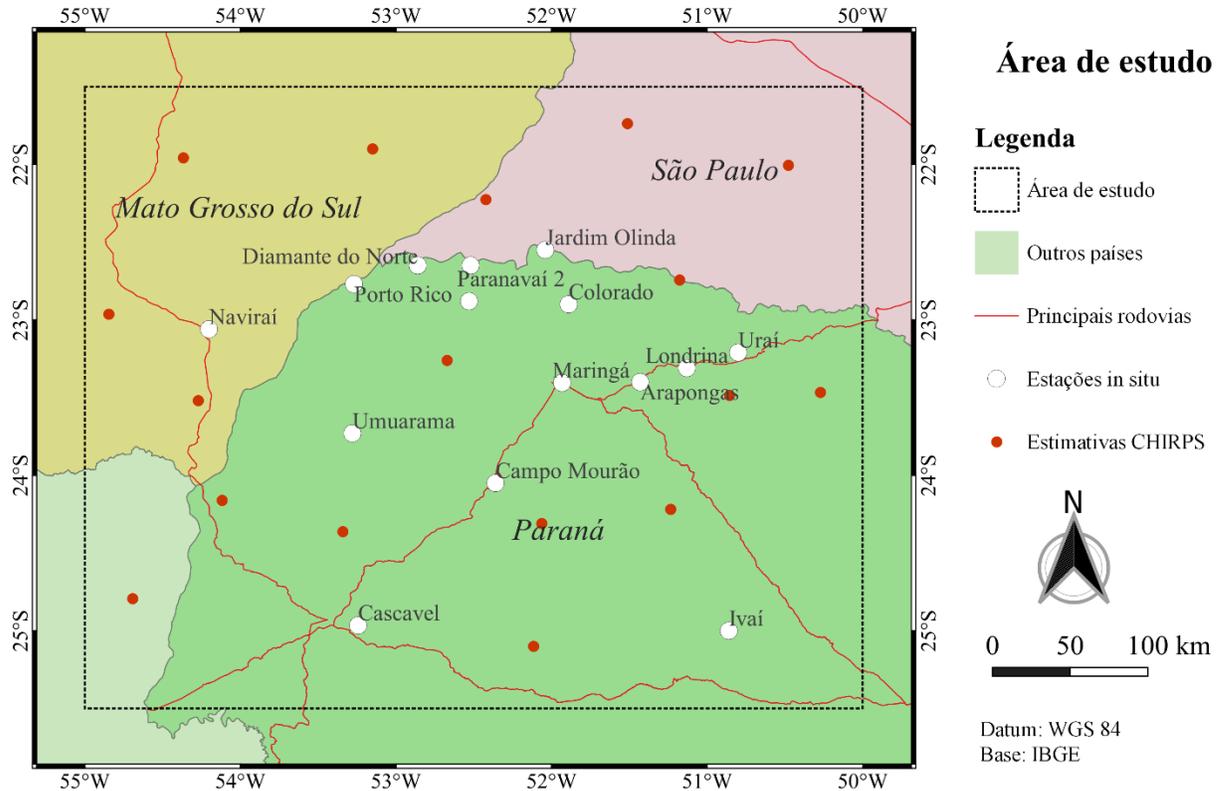


A determinação da área de estudo ocorreu durante a aquisição e o processamento dos dados, visto que *a priori* não era conhecida a extensão espacial de ocorrência das chuvas volumosas, tomando-se como base o período entre setembro/2015 e fevereiro/2016 (a definição desse período será esclarecida no tópico 2.1). Assim, foi realizada uma busca por dados, partindo-se da região centro-norte do Paraná até que o fenômeno das chuvas expressivas não fosse mais encontrado. O resultado desse procedimento foi uma área que contempla grande parte do interior do Paraná, partes dos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul e uma pequena parte do Paraguai (Figura 2). Essa área é determinada pelas longitudes 50°O a 55°O e pelas latitudes 21,5°S a 25,5°S.

A designação das regiões paranaenses, ao se determinar a atuação e os efeitos da ocorrência climática em análise, não se equipara integralmente à divisão regional proposta pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1990). A Figura 9, inserida em etapa final desta pesquisa, pode ser utilizada para ilustrar que suas porções oeste, central e leste foram consideradas dentro do estado, como regiões Noroeste, Norte Central e Norte Pioneiro, respectivamente – aqui também consideradas como representativas de dois geossistemas (sendo a região Noroeste uma unidade e as outras duas regiões formando uma segunda), conforme descrição deste táxon de unidades de paisagem por Troppmair e Galina (2006).

Para a descrição do EN 15-16 realizou-se uma consulta à bibliografia especializada sobre o tema, com vistas a identificar quais condições atmosféricas levaram à formação das chuvas abundantes durante o período avaliado. Adicionalmente, dados do Índice Oscilação-Sul (SOI) foram obtidos a partir de NOAA (2022) para delimitar temporalmente o episódio.

Figura 2 - Área de estudo



Fonte dos dados: Limites estaduais: IBGE; Estações *in situ*: ANA (2022). Organização dos autores.

2.1 ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO

Os dados de precipitação foram obtidos em duas fontes: dados medidos (ou *in situ*) e a partir de uma base global de valores estimados. Deu-se prioridade para as medições *in situ*, cujos dados foram fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2022). No entanto, como as análises demandaram séries históricas contínuas e sem falhas para o período abrangido pelo EN 15-16, muitas delas foram pré-avaliadas e descartadas. Assim, para obtenção de uma malha de pontos que permitisse a avaliação espacial do fenômeno, utilizou-se dados do projeto CHIRPS, que apresenta uma base de estimativas globais com resolução de 0,05°, gerada a partir de medições convencionais

e por observações via satélite (UNIVERSITY OF CALIFORNIA, 2022). A localização dos pontos está descrita na Figura 2, sendo que 15 séries foram provenientes de medições *in situ* e 17 foram obtidas pelo projeto CHIRPS; a Tabela 1 apresenta as estações cujos dados *in situ* foram utilizados. Para testar inicialmente a hipótese das intensas mudanças na paisagem com a precipitação durante o EM 15-16 considerou-se a análise de dados diários, dados mensais e acumulados dos últimos seis meses de precipitação. O acumulado de seis meses foi a estatística selecionada, de modo que os resultados dessa análise exploratória estão apresentados na seção de resultados.

Tabela 1 – Estações convencionais utilizadas para a obtenção de séries de precipitação – medições *in situ*

Município/UF	Responsável	Código	Longitude	Latitude	Altitude (m)
Maringá/PR	INMET	83767	-51,932	-23,405	549
Colorado/PR	ÁGUAS PARANÁ	2251033	-51,89	-22,9	490
Umuarama/PR	IAPAR	2353008	-53,28	-23,73	400
Jardim Olinda/PR	ÁGUAS PARANÁ	2252013	-52,04	-22,55	260
Campo Mourão/PR	INMET	83783	-52,36	-24,05	616,4
Londrina/PR	INMET E IAPAR	83766 e 2351003	-51,13	-23,31	566
Ivaí/PR	INMET E ÁGUAS PARANÁ	83811 e 2550006	-50,86	-25	808
Arapongas/PR	ÁGUAS PARANÁ	2351048	-51,43	-23,4	810
Uraí/PR	ÁGUAS PARANÁ	2350023	-50,8	-23,21	440
Paranavaí/PR	ÁGUAS PARANÁ	2252027	-52,53	-22,88	510
Paranavaí/PR	ÁGUAS PARANÁ	2252017	-52,52	-22,65	345
Diamante do Norte/PR	ÁGUAS PARANÁ	2252015	-52,86	-22,65	340
Porto Rico/PR	ÁGUAS PARANÁ	2253002	-53,27	-22,77	250
Naviraí/MS	ANA	2354000	-54,19	-23,06	345
Cascavel/PR	ÁGUAS PARANÁ	2453056	-53,24	-24,96	680

Organização: Os autores.

Para se calcular o quão raro foram os acumulados de seis meses de precipitação, partindo-se do pressuposto da excepcionalidade observada no período, realizou-se uma análise probabilística, na qual as séries históricas serviram para o ajuste de distribuições estatísticas. Após o ajuste da distribuição, seus parâmetros foram aplicados para o cálculo da probabilidade de um evento igual ou maior do que aquele observado em fevereiro/2016, para cada série. Depois de

alguns testes, notou-se que a distribuição gama foi a que melhor se adequou, logo foi necessário obter os parâmetros de forma (γ) e escala (β) (específicos para cada série). Maiores detalhes sobre esses procedimentos podem ser consultados em Montanher e Minaki (2020).

Também é necessário esclarecer que, após a verificação da extensão de todas as séries históricas e da existência de falhas, o período definido para este trabalho limitou-se entre janeiro/1981 e dezembro/2016 (36 anos completos). Após o cálculo da probabilidade para cada uma das 32 séries históricas, o TR, em anos, foi calculado com base na equação 1 (o valor 12 é para conversão de meses para anos):

$$TR = \frac{1}{\frac{p}{12}} \quad (1)$$

Em que:

TR = Tempo de retorno (anos);

p = probabilidade.

2.2 ESPACIALIZAÇÃO DO FENÔMENO

Os valores de TR e suas respectivas coordenadas foram utilizados para geração de uma superfície contínua do TR das chuvas ocorridas entre setembro/2015 e fevereiro/2016. O método de interpolação utilizado foi o geoestatístico, que parte de uma série de pressuposições, como a distribuição dos dados e da variância espacialmente homogênea. Para análise variográfica e ajuste de modelos espaciais de autocorrelação utilizou-se o pacote gstat (PEBESMA, 2019), operacional em ambiente R (R CORE TEAM, 2017). Após o ajuste dos variogramas experimentais, a krigagem foi executada no *software* SAGA (CONRAD et al., 2015).

Para o atendimento dos pressupostos da krigagem, inicialmente transformou-se a variável dependente TR por seu logaritmo natural. Posteriormente, dada a existência de tendência espacial, os dados foram ajustados por meio de regressão polinomial. Os resíduos dessa regressão formaram a base de dados para a krigagem, que adotou o seguinte modelo:

$$a + b \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{h}{b}\right)^2} \right] \quad (2)$$

Em que:

a = efeito pepita: 0,12088;

b = alcance: 0,828789;

h = distância (graus).

Após a krigagem dos resíduos da regressão, essa superfície foi somada à superfície resultante da interpolação polinomial inicial. Ressalta-se que o efeito pepita observado foi relativamente expressivo, ou seja, houve uma grande variabilidade local, não explicada pela estrutura espacial de autocorrelação.

2.3 LEVANTAMENTO DE EXEMPLOS

Realizou-se uma busca em noticiários e fontes oficiais sobre acontecimentos decorrentes das chuvas durante o EN 15-16 para o Paraná; também se utilizou de registros fotográficos obtidos pelos autores em trabalhos de campo. Aproveitou-se ainda de imagens orbitais de alta resolução espacial para a comparação da paisagem em condições anteriores e posteriores ao evento. Após a análise desses exemplos, elaborou-se um esquema conceitual das variáveis, processos e inter-relações envolvidas, a partir de uma visão sistêmica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 O EL NIÑO DE 2015-2016

O El Niño-Oscilação Sul (ENOS) consiste na principal fonte de variabilidade interanual global (GRIMM, 2021, p. 96). Os diferentes sinais de anomalias de precipitação e de temperatura observados, além da área de aquecimento do oceano Pacífico, refletem a dimensão de sua interferência nas condições atmosféricas. Na América do Sul, tais anomalias estão associadas principalmente a fatores como o deslocamento da Célula de Walker, o fortalecimento do jato subtropical e de um trem de ondas do Pacífico até o sul da América do Sul (CAVALCANTI, 1996).

O episódio El Niño que ocorreu nos anos de 2015 e 2016 (EN 15-16) desde sua previsão, teve sua intensidade comparada com os eventos mais fortes do século XX (L'HEUREUX et al., 2017). Considerando os valores de precipitação, para o trimestre Setembro-Outubro-Novembro, as anomalias negativas (chuvas abaixo da média) sobre a porção norte da América do Sul (Amazônia e regiões Nordeste e Centro-Oeste do Brasil) foram mais intensas do que os episódios de El-Niño dos anos de 1982 e 1997 (PEREIRA et al., 2017). Ainda segundo os mesmos autores, nesse trimestre, as anomalias positivas (chuvas acima da média) na região sudeste da América do Sul não foram espacialmente tão expressivas quanto nos episódios anteriores mencionados.

Apesar das diferenças entre o episódio EN 15-16 e outros também considerados fortes, no último houve uma maior frequência na formação de ciclones em latitudes subtropicais do oceano Atlântico, levando à convergência de umidade sobre o sudeste da América do Sul. A ciclogênese também contribuiu para a canalização do jato de baixos níveis a leste dos Andes, aumentando o transporte de umidade da região tropical para a subtropical. Por fim, Pereira et al. (2017) ainda mencionam que no EN 15-16 houve uma anomalia positiva da circulação da atmosfera, de altura geopotencial no oceano Pacífico, nas proximidades da América do Sul, considerada importante para as anomalias positivas de precipitação no sudeste da América do Sul.

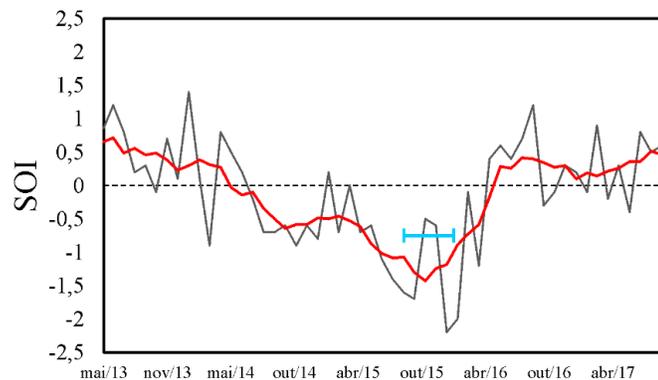
Observando-se os dados do Índice Oscilação-Sul (NOAA, 2022) nota-se a evolução do EN 15-16, cujo componente da circulação atmosférica, associado ao aquecimento diferencial das águas do oceano Pacífico equatorial, evoluiu de valores positivos para negativos, desde maio/2013, chegando em valores mais baixos principalmente após março/2015 (Figura 3). Como pode ser observado nessa mesma ilustração, o período entre setembro/2015 e fevereiro/2016 foi o de maior intensidade do ENOS, em sua fase negativa do SOI, período que coincidiu com as chuvas abundantes na região Norte do Paraná.

3.2 ANÁLISE DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO

A análise dos dados diários de precipitação demonstrou que o maior valor da série histórica de Maringá (1980-2017) ocorreu no dia 11/01/2016. No entanto, em uma análise comparativa com o restante da série, o evento de 11/01/2016 (168,4 mm) foi apenas 7,26% maior do que a ocorrência verificada em 19/06/2012 (157 mm), e outros registros de chuvas diárias tiveram magnitudes

similares (Figura 4A). A ocorrência deste evento também tem um contexto espacial, pois apesar da chuva diária ter sido a maior da série histórica de Maringá, isso não foi reportado em outras séries avaliadas. Logo, embora o registro de 11/01/2016 foi localmente relevante, a chuva diária nessa data não foi tão expressiva para toda a região Norte do Estado. Uma comparação equivalente à apresentada na Figura 4 pode ser consultada em Santos et al. (2021), para a estação de Alto Alegre (código 2251033), situada no município de Colorado (PR), na qual, considerando o mesmo período avaliado neste trabalho, as precipitações diárias e mensais não foram extraordinárias, mas o acumulado de seis meses apresentou um TR maior do que 100 anos.

Figura 3 - Índice Oscilação-Sul (SOI) para o período entre maio/2013 e out/2017. A linha vermelha representa uma média móvel de sete meses. A linha azul indica o período entre setembro/2015 a fevereiro/2016



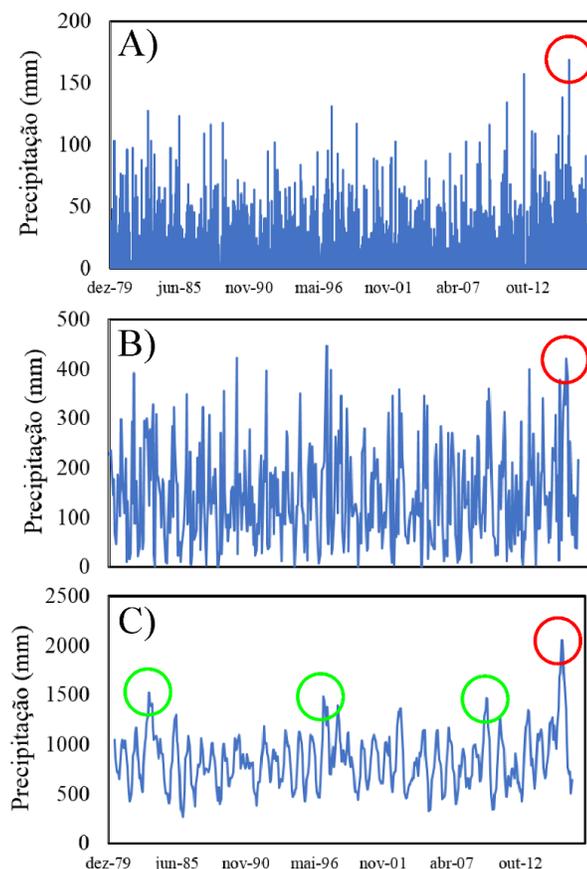
Fonte dos dados: NOAA (2022). Organização dos autores.

Com a análise dos valores mensais (Figura 4B) observamos que o mês de janeiro/2016 foi o terceiro mais chuvoso da série histórica (419,8 mm), estando atrás de fevereiro/1997 (446 mm) e janeiro/1990 (421,6 mm). Analisando-se a série histórica, em vários outros momentos houve meses com precipitação acima de 350 mm. Assim, os valores mensais interpretados isoladamente parecem não ter sido relevantes durante o EN 15-16.

Com base na série de valores mensais analisaram-se períodos chuvosos consecutivos, de modo que para o EN 15-16 observou-se a seguinte sequência: 09/2015: 236,7 mm; 10/2015: 312,2 mm; 11/2015: 369,6 mm; 12/2015: 327 mm; 01/2016: 419,8 mm e 02/2016: 382,1 mm. Nestes seis meses, a precipitação acumulada foi de 2.049,4 mm. Dessa forma, gerou-se uma estatística de soma do valor de precipitação do mês atual mais os cinco meses anteriores, resultando na série temporal da Figura 4C. Considerando essa soma, percebe-se que desde o ano de 1980 não houve nenhum

evento semelhante, de modo que o segundo maior evento ocorreu em 1983 (diferença de 524,1 mm: -34,36%) e o terceiro em 1997 (diferença de 563,1 mm: -37,88%), ambos períodos que também estavam sob influência de El Niño. Outra forma de demonstrar o quanto a soma de 2049,4 mm em 02/2016 foi expressiva é que ela esteve 4,43 desvio-padrão acima da média, com base no período de 1980-2017.

Figura 4 - Precipitação em Maringá/PR: 1980-2017. A) Chuvas diárias; B) Chuvas mensais; C) Chuva acumulada (seis meses). O círculo vermelho indica o EN 15-16 e os círculos verdes em C) indicam os anos de 1983, 1997 e 2010



Fonte dos dados: ECPM/INMET. Organização dos autores.

Ao se analisar séries históricas de outros locais, conforme a Tabela 1, observaram-se padrões semelhantes, em que as chuvas diárias e mensais isoladas não pareciam mostrar um evento extraordinário, mas ao se realizar a soma desses seis meses, as séries indicavam picos similares ao apresentado na Figura 4C. Assim, a soma da precipitação para seis meses foi tomada como a variável que representa as chuvas extraordinárias decorrentes do EN 15-16.

3.3 DESCRIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO

A Tabela 2 apresenta os locais onde o TR observado foi maior do que 30 anos, com destaque para as estações de Maringá, Londrina, Colorado e Arapongas, com valores maiores do que 100 anos. A maior precipitação acumulada no período entre setembro/2015 e fevereiro/2016 ocorreu em Londrina (2092,1 mm) e a segunda maior em Maringá (2049,4 mm). É preciso mencionar que, apesar do valor absoluto ter sido maior em Londrina, como o cálculo do TR leva em conta a distribuição ajustada a cada série histórica, não necessariamente um valor maior de precipitação acumulada leva a um TR maior.

A comparação entre os dados da Tabela 2 e a distribuição dos pontos (Figura 2) mostra que os locais onde os maiores tempos de retorno foram obtidos, estão situados na porção central do Norte do Paraná (entre os municípios de Maringá e Londrina). Essa é a área onde as chuvas foram mais volumosas, estando identificada na Figura 5 pela cor avermelhada, mais especificamente no interior da isolinha de 150 anos de TR.

Tabela 2 – Estações em que o tempo de retorno da precipitação acumulada foi maior do que 30 anos

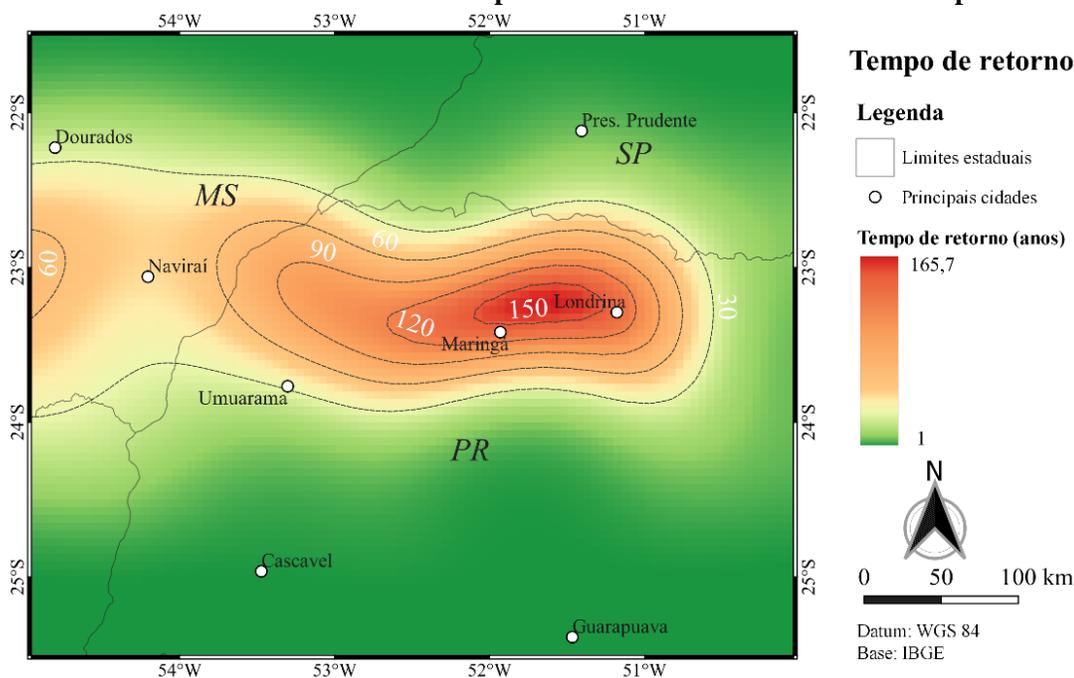
Município/UF	Código	Precipitação acumulada (mm)	TR (anos)
Maringá/PR	83767	2.049,4	178,38
Londrina/PR	83766 e 2351003	2.092,1	148,31
Colorado/PR	2251033	1.767,7	106,6
Arapongas/PR	2351048	1.957	103,9
Porto Rico/PR	2253002	1.445	70,8
Paranavaí/PR	2252027	1.573,7	43,69
Naviraí/MS	2354000	1.725,5	43,68
Umuarama/PR	2353008	1.712,3	41,56
Diamante do Norte/PR	2252015	1.527,5	39,33

Organização: Os autores.

Além dessa área-core onde as chuvas foram mais volumosas ($TR > 150$ anos), levando-se em conta acumulados com $TR > 30$ anos, foi observada uma área longitudinal, cuja borda oriental se inicia a cerca de 60 km a leste do município de Londrina, estendendo-se para oeste, até a borda da área de estudo, no sul do Mato Grosso do Sul. Latitudinalmente a área se estende entre o rio Paranapanema e o limite do município de Umuarama, respectivamente norte e sul. Assim, considerando essa faixa, a área onde as chuvas foram extraordinárias ($TR > 30$ anos) possui cerca

de 450 km de extensão longitudinal e de 140 km de extensão latitudinal. A borda norte dessa área coincide aproximadamente com o limite entre os estados do Paraná e de São Paulo, adentrando-se no estado do Mato Grosso do Sul a oeste. Já a borda sul está aproximadamente a norte do município de Umuarama/PR. Essa delimitação espacial exemplifica a conectividade funcional (WAINWRIGHT et al., 2011; HECKMANN et al., 2018; ZANANDREA et al. 2020); caracterizada pela identificação temporal de processo responsável pela transferência de água e sedimentos com notória repercussão na paisagem (BRIERLEY et al., 2006).

Figura 5 - Distribuição espacial do tempo de retorno da precipitação acumulada entre setembro/2015 e fevereiro/2016. As linhas pontilhadas indicam isolinhas de tempo de retorno



Elaboração dos autores.

3.4 DISTÚRBIOS NA PAISAGEM

Conforme descrito, o período entre setembro/2015 e fevereiro/2016 se caracterizou por chuvas volumosas consecutivas. Estando o solo já em condições próximas da saturação de água, as chuvas diárias extremas que ocorreram no centro-norte do Paraná na primeira quinzena de janeiro/2016 levaram a um escoamento superficial intenso sobre as vertentes, causando enchentes nos cursos fluviais da região. Problemas sociais decorreram a partir disso, e um dos mais

Geoinf.: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia Maringá, v. 15, n. 1, p. 4-29, 2023. Edição Especial GEMA 35 anos ISSN 2175-862X (on-line)

impactantes foi a interrupção do fornecimento de água em muitos municípios da região, incluindo os dois mais populosos: Maringá e Londrina.

Essa interrupção ocorreu, em alguns casos, em decorrência da inundação da infraestrutura do sistema de captação público de abastecimento urbano. Em Maringá, cerca de 350.000 habitantes (aproximadamente 85% da população) ficaram sem o fornecimento de água (G1 NORTE E NOROESTE, 2016a). Segundo dados da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR, 2022), a interrupção da captação no rio Pirapó foi no dia 12/01/2016, e a normalização do abastecimento em Maringá ocorreu apenas no dia 22/01/2016.

Ainda segundo o noticiário da época (G1 NORTE E NOROESTE, 2016a), em 13/01/2016, 36 municípios paranaenses tiveram casos de enxurradas, movimentos de massa e alagamentos, com registros de pessoas desalojadas, desabrigadas e feridas. Em Londrina foi decretada situação de emergência no dia 12/01/2016, sendo que 64 casas, quatro escolas e oito unidades básicas de saúde tiveram problemas estruturais com as chuvas. No município, também foram registradas interdições de cinco pontes e 2.675 imóveis sem o fornecimento de energia elétrica. Em decorrência da interrupção de vias devido à erosão, queda de pontes e alagamentos, a coleta de lixo foi suspensa em Londrina e houve a interrupção temporária do transporte coletivo para muitos distritos do município. Com relação ao abastecimento de água, a captação operou com apenas 30% da capacidade, devido à elevação do nível d'água do rio Tibagi (G1 NORTE E NOROESTE, 2016b), manancial local.

As chuvas do EN 15-16 também causaram a interdição (total ou parcial) do tráfego em diversas estradas municipais, estaduais e federais, por motivos como a subida do nível d'água dos rios, a erosão causada pelo escoamento superficial, a queda de pontes e os movimentos de massa. Na primeira situação, as interdições foram passageiras, sendo reestabelecido o tráfego após a diminuição da vazão dos rios. No entanto, em outras situações o tráfego demorou entre semanas e meses para ser normalizado, devido à combinação entre a necessidade de obras emergenciais e a continuação das chuvas, que impossibilitou a ação rápida do estado e de concessionárias.

Sobre a distribuição espacial das interdições é interessante mencionar que a região Noroeste do Paraná já apresentava diversos pontos em novembro/2015 (GAZETA DO POVO, 2015), enquanto as regiões do Norte Central e Pioneiro tiveram problemas dessa ordem principalmente após as chuvas intensas do início de janeiro/2016 (G1 PARANÁ RPC, 2016a; 2016b). Possivelmente, a razão para essa diferença se deve às características dos solos dessas regiões, pois

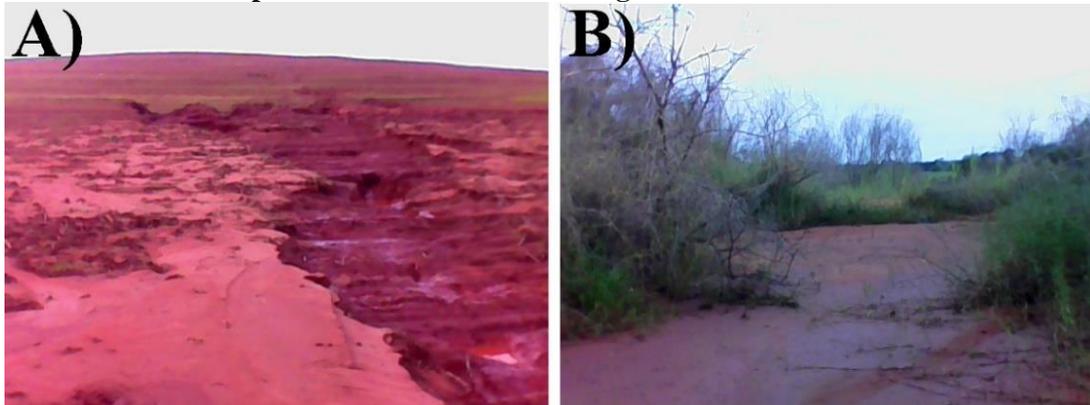
no Noroeste ocorrem formações sedimentares (principalmente arenitos), cujos solos possuem maior fração arenosa e são mais friáveis quando comparados aos solos desenvolvidos sobre as formações ígneas das outras porções do norte paranaense. Assim, a resiliência (ADGER, 2000 deste componente do geossistema, enquanto unidade espacial – sensu Troppmair e Galina (2006) – do noroeste do estado é menor quando comparada ao geossistema do norte do estado. Apesar disso ambas as regiões apresentaram funções geossistêmicas comprometidas com a ocorrência destes eventos extremos, mas em condições diferentes.

A erosão decorrente do excesso de escoamento superficial em áreas rurais foi outro efeito das chuvas volumosas e acumuladas ao longo do período avaliado. Nos casos em que o sistema de terraceamento não suportou esse volume de água, feições erosivas se desenvolveram. Um local onde houve o desenvolvimento de erosões de grande porte, em áreas de plantio de cana-de-açúcar, foi nas proximidades do município de Nossa Senhora das Graças (PR) (Figuras 6 e 7), em que o TR do acumulado de chuvas entre setembro/2015 e fevereiro/2016 foi próximo de 92 anos (Figura 5).

As erosões, que em alguns casos, ultrapassaram 700 m de extensão linear, desencadearam didáticas demonstrações de conectividade lateral, longitudinal e vertical. Inicialmente, a intensidade das precipitações causou a conectividade lateral em trechos da vertente com o transporte de sedimentos para o canal, seguida pela conectividade longitudinal que resultou em volumoso fluxo de sedimentos depositados tanto na planície de inundação como também para o rio Santo Inácio. A deposição de sedimentos (até 3m) soterrou reservatórios (piscicultura) e estruturas de suinocultura (Figuras 6 e 7). Com o grande volume de sedimentos, e sucessivo incremento da conectividade vertical, com a elevação no nível freático, as inundações causaram também a morte da vegetação ripária (Figura 6B).

Na Figura 7 há duas comparações por meio de imagens orbitais obtidas em julho/2013 (pré-EN 15-16) e abril/2016 (pós-EN 15-16). No quadro superior é possível observar uma área em que no período se desenvolveram numerosas feições erosivas de grande porte, e no quadro inferior foi dado foco no setor de jusante da mesma bacia, onde é possível notar os sedimentos expostos ao longo da planície fluvial.

Figura 6 - A) Erosão linear desenvolvida em área de cultivo de cana-de-açúcar próxima ao município de Nossa Senhora das Graças/PR. B) Área de deposição de sedimentos à jusante, na mesma bacia da erosão observada. Nota-se a vegetação morta entre os sedimentos e a margem da planície fluvial. Data das fotografias: 23/05/2017



Fonte das fotografias: Os autores.

Figura 7 - Comparações pré e pós EN 15-16 para uma área rural de Nossa Senhora das Graças (PR). As imagens superiores apresentam o setor de montante, onde se desenvolveram erosões lineares extensas e profundas (quadrado amarelo: uso cana-de-açúcar). O quadrado branco indica o curso fluvial que recebeu os sedimentos gerados na vertente. As imagens inferiores apresentam um setor de jusante da mesma bacia, onde houve o predomínio do processo de deposição



Fonte: *Google Earth*. Organização dos autores.

Outro local onde se desenvolveu um processo erosivo expressivo, mas originado em uma área urbana, foi no município de Umuarama (PR) (Figura 8). Trata-se de um centro esportivo, o qual já apresentava problemas com processos erosivos desde o ano de 2013, conforme se observa nas imagens orbitais. No entanto, com as chuvas extremas concentradas no EN 15-16 tais erosões avançaram muito rapidamente, expandindo-se para além dos limites do centro esportivo e atingindo

ruas e avenidas laterais, o que levou ao fechamento das vias.

Umuarama é um município situado em uma região onde processos erosivos de grande porte em áreas urbanas são históricos (Noroeste do Paraná). No entanto, em 2013 os processos erosivos mais antigos já estavam estabilizados na bacia hidrográfica do córrego Pinhalzinho II, onde se localiza o centro esportivo mencionado. Assim, todo o sistema fluvial à jusante, que possuía margens vegetadas e estáveis (MONTANHER, 2013), retornou a uma dinâmica expressiva de erosão marginal e mobilidade de canal, devido ao novo aporte de sedimentos (Figura 8).

As mudanças no meio físico, por sua vez, causam transformações nas variáveis bióticas, como a qualidade da água, e mudanças no habitat aquático, nas margens e na planície fluvial adjacentes. Em termos de impactos socioeconômicos, o fechamento das vias alterou o modo de vida da população residente nas proximidades da erosão, e as obras para contenção dos processos erosivos, drenagem e recuperação das estruturas destruídas tiveram um grande impacto financeiro.

Com base nos exemplos observados em campo, em SANEPAR (2022) e nos noticiários consultados, fez-se uma compilação cartográfica dos efeitos que as chuvas volumosas consecutivas causaram no Norte do Paraná (Figura 9). Nessa compilação foram categorizados os processos em interdição de rodovias, os processos geomorfológicos e a interrupção no abastecimento de água. Observa-se que no Norte Central ocorreram muitos problemas de falta de água, principalmente em janeiro/2016. Também é possível notar que as interdições foram numerosas nas proximidades de Colorado, Paranaíba e entre Umuarama e Cianorte. Embora em outras áreas também tenham ocorrido interdições, ressalta-se o papel das diferenças entre as características dos solos entre o Noroeste e o Norte Central do Paraná. O levantamento apresentado na Figura 9 ainda mostra que outras áreas do Norte Paranaense foram atingidas, especialmente pelas chuvas do início de 2016, como a região de Wenceslau Braz, no Norte Pioneiro, já no segundo planalto paranaense.

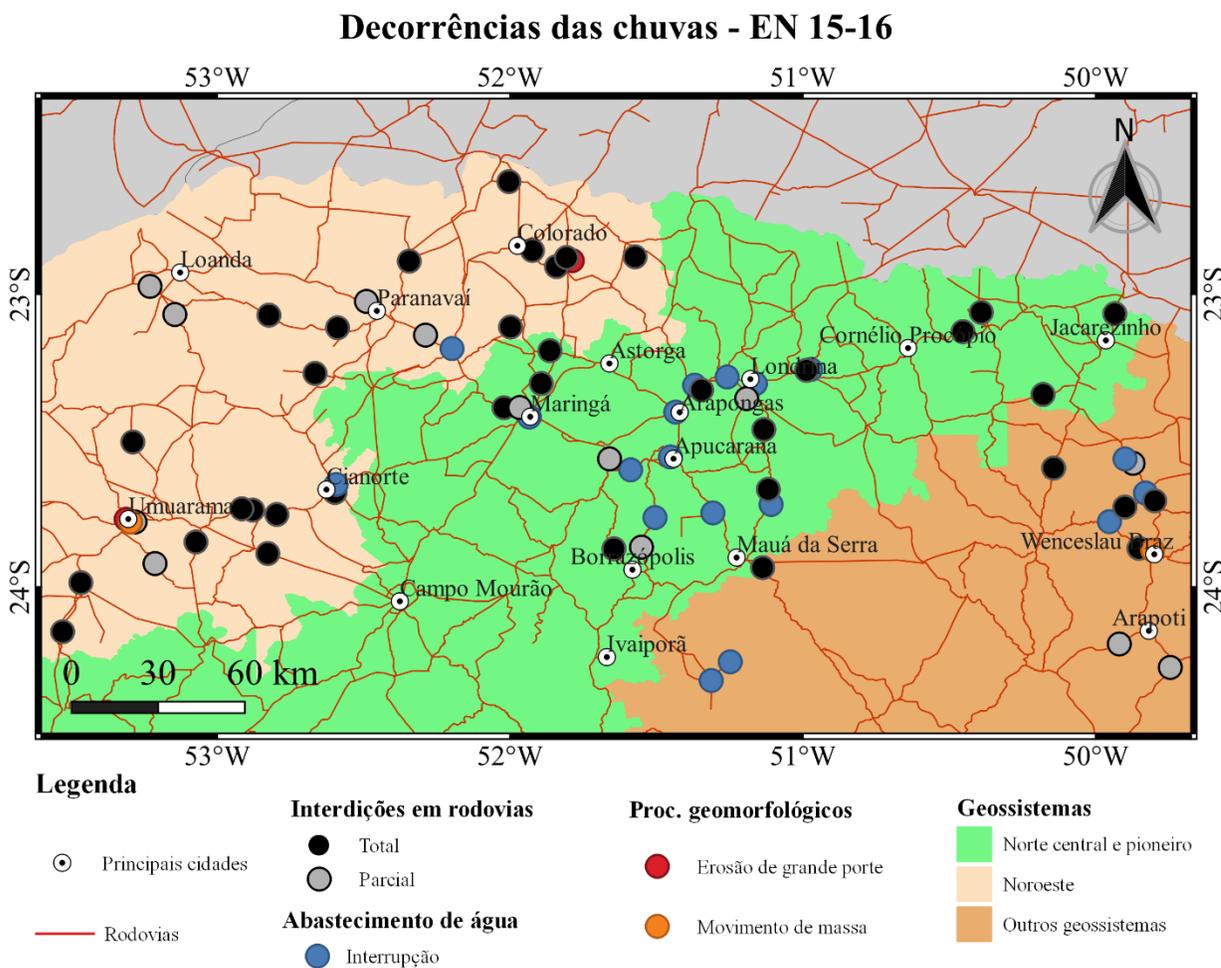
Com base nos exemplos e análises apresentadas, propõe-se um esquema conceitual simplificado (via fluxograma) das variáveis relacionadas aos efeitos do EN 15-16 no Norte do Paraná, bem como a hierarquia entre elas (Figura 10). Nesse esquema seguiu-se uma ordem espectral, em que as variáveis de maior hierarquia estão em cores quentes (vermelho) e as de menor hierarquia estão em cores frias (azul e violeta).

Figura 8 - Fotografia superior: obtida no município de Umuarama em 12/10/2015. As imagens orbitais de alta resolução espacial se referem a dois locais também em Umuarama, obtidas em maio/2013 e junho/2016. O círculo amarelo indica a erosão fotografada em campo. O círculo vermelho indica barras arenosas que surgiram no canal fluvial que recebeu os sedimentos provenientes da erosão descrita



Fonte: Fotografia: Os autores. Imagens orbitais: *Google Earth*. Organização dos autores.

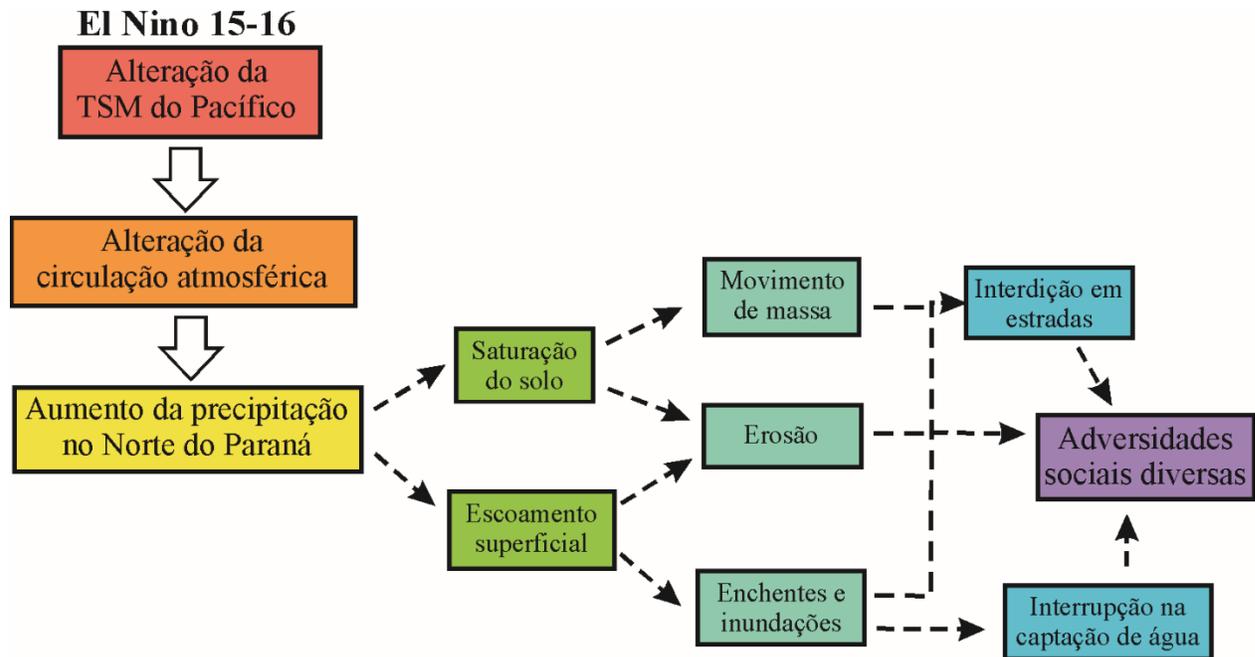
Figura 9 - Compilação dos processos decorrentes das chuvas expressivas – EN 15-16



Fonte: Limites estaduais e rodovias: IBGE. Organização dos autores.

Considerando os vários índices pelos quais se avalia o ENOS (SOUZA; REBOITA, 2021), tem-se que a variação da distribuição da temperatura de superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico Equatorial, ou seja, a fase positiva do fenômeno ENOS representou a variável controladora de maior ordem. Alterações na circulação atmosférica, por sua vez, derivam das mudanças de padrão da TSM no Oceano Pacífico. Uma das consequências dessas alterações é o aumento da precipitação na área de estudo. A partir da caixa amarela (Figura 10), as variáveis e processos representados de escala global (oceanos e atmosfera) são inter-relacionados com a escala regional (bacia hidrográfica).

Figura 10 - Fluxograma conceitual da hierarquia das variáveis relacionadas aos efeitos geossistêmicos durante o EN 15-16



Elaboração dos autores.

O efeito do aumento da precipitação desencadeia processos hidrológicos como a saturação de água, limite dependente da capacidade de armazenamento de cada solo, e a diminuição da infiltração. A primeira condição contribui para as ocorrências dos movimentos de massa, enquanto em decorrência de ambas as condições se potencializou o escoamento superficial, que por sua vez, leva ao carreamento de partículas (erosão) e ao aumento da vazão dos cursos fluviais. Tomando-se primeiramente a erosão, esse processo causou a interrupção do tráfego em vários trechos de rodovias, a formação de voçorocas em áreas urbanas e o desgaste do solo com a perda de nutrientes e produtividade em áreas rurais.

As inundações também provocaram interdições em estradas, mas o diferencial em relação aos efeitos das erosões é que a inundação em áreas de captação de água, em mananciais de abastecimento público, levou à interrupção da captação e do fornecimento de água. Assim, impactos sociais decorreram a partir desse mecanismo. Em alguns locais, o excesso de saturação de água do solo fez com que alguns aterros de estradas sofressem movimentos de massa, o que também levou à interdição, aos problemas logísticos e às perdas econômicas mencionados

anteriormente. Todas essas decorrências causaram adversidades sociais, como os problemas logísticos e as perdas econômicas.

4 CONCLUSÃO

A ocorrência de distúrbios pouco frequentes sugere a ausência de resiliência em componentes da paisagem do Noroeste e Norte do Paraná com as chuvas com tempo de retorno expressivo (> 30 anos, e > 150 anos em alguns locais) durante o EN 15-16. Com base na distribuição espacial dos distúrbios na paisagem, notou-se inicialmente o colapso de componentes do geossistema no Noroeste (novembro/2015), enquanto no Norte Central e no Norte Pioneiro foi necessária a combinação entre uma série de meses consecutivos com chuvas volumosas e um período curto com precipitações diárias extremas (início de janeiro/2016). Ressalta-se, o papel da diferença entre as litologias e as coberturas superficiais e até mesmo as características dos climas locais existentes, que associados ao contexto climático regional fomentaram os distúrbios na paisagem.

5 REFERÊNCIAS

ADGER, N. W. Social and ecological resilience: are they related? **Progress in Human Geography**, v. 24, p. 347–364, 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **HIDROWEB v3.2.6**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 05 ago. 2022.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. Tradução: Francisco M. Guimarães. 8 ed. Petrópolis: Vozes. 2015.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. Tradução: Olga Cruz. **RAÍÇA**, n. 8, p. 141-152, 2004.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K.; JAIN, V. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications. **Area**, v. 38, p. 165-174, 2006.

CAVALCANTI, I. F. A. Episódios de El Niño/Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências no Brasil. **Climanálise**, São José dos Campos, 1996. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/nino.html>. Acesso em: 14 ago. 2022.

CHARLTON, R. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. Abingdon: Routledge, 2008. 234 p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ – SANEPAR. **Histórico de paradas**. 2022. Disponível em: https://site.sanepar.com.br/historico-paradas-programadas?field__dt_dm_value%5Bvalue%5D%5Byear%5D=2016&field__dt_dm_value%5Bvalue%5D%5Bmonth%5D=1. Acesso em: 08 ago. 2022.

CONRAD, O.; BECHTEL, B.; BOCK, M.; DIETRICH, H.; FISCHER, E.; GERLITZ, L.; WEHBERG, J.; WICHMANN, V.; BÖHNER, J. System for Automated. Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. **Geoscientific Model Development**, v. 8, p. 1991-2007, 2015.

GAZETA DO POVO. **Sobe para seis número de bloqueios em estradas no Paraná**. 27, novembro de 2015. 2015. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/sobe-para-seis-numero-de-bloqueios-em-estradas-no-parana4jq9ekyb1c6b1t3k1b5edtdfr/>. Acesso em: 09 ago. 2022.

GRIGORIEV, A. A. Os fundamentos teóricos da moderna geografia física. Tradução: João Lima Sant'Anna Neto. **Caderno Prudentino de Geografia**. v. 1, n. 15, p. 71 – 82. 1993.

GRIMM, A. M. Variabilidade climática interanual. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J. (org.). **Clima das regiões brasileiras e variabilidade climática**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 96-113, 2021.

G1 NORTE E NOROESTE. **Abastecimento é suspenso, e 85% da população de Maringá fica sem água**. 13, janeiro de 2016. 2016a. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/norte-noroeste/noticia/2016/01/abastecimento-e-suspenso-e-85-da-populacao-de-maringa-fica-sem-agua.html#:~:text=Cerca%20de%20350%20mil%20moradores,Rio%20Pirap%C3%B3%20subir%20oito%20metros>. Acesso em: 08 ago. 2022.

G1 NORTE E NOROESTE. **Prefeitura de Londrina decreta situação de emergência após chuvas**. 12, janeiro de 2016. 2016b. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/norte-noroeste/noticia/2016/01/prefeitura-de-londrina-decreta-situacao-de-emergencia-apos-chuvas.html>. Acesso em: 08 ago. 2022.

G1 PARANÁ RPC. **Estradas continuam interditadas em vários trechos no interior do Paraná.** 19, janeiro de 2016. 2016a. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2016/01/estradas-continuas-interditadas-em-varios-trechos-no-interior-do-parana.html>. Acesso em: 08 ago. 2022.

G1 PARANÁ RPC. **Sobe para 19 o número de rodovias interditadas pela chuva no Paraná.** 23, fevereiro de 2016. 2016b. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2016/02/sobe-para-19-o-numero-de-rodovias-interditadas-pela-chuva-no-parana.html>. Acesso em: 08 ago. 2022.

HECKMANN, T.; CAVALLI, M.; CERDAN, O.; FOERSTER, S.; JAVAUX, M.; LODÉ, E.; SMETANOVÁ, A., VERICAT, D.; BRARDINONI, F. Indices of sediment connectivity: opportunities, challenges and limitations. **Earth-Science Reviews**, v. 187, 2018.

IBGE. **Divisão do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas.** Rio de Janeiro: IBGE, 1990. 135 p.

L'HEUREUX, M. L.; TAKAHASHI, K.; WATKINS, A. B.; BARNSTON, A. G.; BECKER, E. J.; DI LIBERTO, T. E.; GAMBLE, F.; GOTTSCHALCK, J.; HALPERT, M. S.; HUANG, B.; MOSQUERA-VÁSQUEZ, K.; WITTENBERG, A. T. Observing and predicting the 2015/16 El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, n. 98, p. 1367-1381, jul. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0009.1>. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/98/7/bams-d-16-0009.1.xml>. Acesso em: 06 ago. 2022.

L'HEUREUX, M. L.; TIPPETT, M. K.; TAKAHASHI, K.; BARNSTON, A. G.; BECKER, E. J.; BELL, G. D.; DI LIBERTO, T. E.; GOTTSCHALCK, J.; HALPERT, M. S.; HU, Z. Z.; JOHNSON, N. C.; XUE, Y.; WANG, W. Strength outlooks for the El Niño-Southern Oscillation. **Weather and Forecasting**, v. 34, p. 165-175, fev. 2019. DOI: 10.1175/WAF-D-18-0126.1. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/330658337_Strength_Outlooks_for_the_El_Nino-Southern_Oscillation/link/5c4e1faa92851c22a395d148/download. Acesso em: 06 ago. 2022.

MARTÍNEZ, R.; ZAMBRANO, E.; JOSÉ NIETO, J.; HERNÁNDEZ, J.; COSTA, F. Evolución, vulnerabilidade e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina. **Investigaciones Geográficas**, n. 68, p. 65-78, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.04>. Disponível em: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/72010/1/Investigaciones_Geograficas_68_04.pdf. Acesso em: 05 ago. 2022.

MINAKI, C.; MONTANHER, O. C. Influência do El Niño-Oscilação Sul na precipitação em Maringá-PR, no período de 1980 a 2016. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 20, n. 69, p. 266-281, mar. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/RCG206941220>. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/41220/26389/204666>. Acesso em: 07 ago. 2022.

MONTANHER, O. C. Ciclos de erosão e sedimentação em bacias hidrográficas urbanas do noroeste paranaense e suas implicações no ajuste de sistemas fluviais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 14, n. 4, p. 319 - 325, 2013.

MONTANHER, O. C.; MINAKI, C. Precipitação em Maringá-PR: estatísticas descritivas, tendência de longo prazo e probabilidade de eventos extremos diários. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 39, p.138 - 153, 2020.

NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION - NOAA. **Southern Oscillation Index (SOI)**. 2022. Disponível em: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso/soi>. Acesso em: 04 ago. 2022.

NAYLOR, L.; SPENCER, T.; LANE, S. N.; DARBY, S. E.; MAGILLIGAN, F. J.; MACKLIN, M. G.; MÖLLER, I. Stormy Geomorphology: geomorphic contributions in an age of climate extremes. **Earth Surface Processes and Landforms**. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.4062>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/esp.4062>. Acesso em: 04 ago. 2022.

PEBESMA E. **Gstat User's Manual**. Disponível em: <http://www.gstat.org/manual/>. Acesso em: 15 jan. 2019.

PEREIRA, H. R.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T. Características da Atmosfera na Primavera Austral durante o El Niño de 2015/2016. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 293-310, 2017.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2017. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 09 jan. 2019.

SANTOS, M. V.; MORAIS, E. S.; MONTANHER, O. C.; FRAGAL, E. H.; GASPARETTO, N. L. Fatores desencadeadores e predição de processos erosivos em uma bacia hidrográfica de segunda ordem no noroeste do Paraná. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA,

13., 2021, Juiz de Fora. **Anais** [...]. Juiz de Fora, 2021.

SOUZA, C. A.; REBOITA, M. S. Ferramenta para o monitoramento dos padrões de teleconexão na América do Sul. **Terrae Didactica**, Campinas, SP, v. 17, p. 1-13 2021. DOI: 10.20396/td.v17i00.8663474. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8663474>. Acesso em: 04 ago. 2022.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos. 2017

TROPPEMAIR, H.; GALINA, M. H. Geossistemas. **Mercator**, Fortaleza, v. 5, n. 10, p. 79-90, 2006. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/69>. Acesso em: 05 ago. 2022.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA. **CHIRPS: Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations**. 2022. Disponível em: <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>. Acesso em: 05 ago. 2022.

WAINWRIGHT, J.; TURNBULL, L.; IBRAHIM, T.G.; LEXARTZA-ARTZA, I.; THORNTON, S.F.; BRAZIER, R. E. Linking environmental regimes, space and time: interpretations of structural and functional connectivity. **Geomorphology**, 126, 387–404, 2011.

ZANANDREA, F; PAUL, L.; MICHEL, G.; KOBAYAMA, M.; ZANINI, A.; ABATTI, B. Conectividade dos sedimentos: conceitos, princípios e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 21, p. 435-459, 2020.

Data de recebimento: 08 de setembro de 2022.

Data de aceite: 13 de dezembro de 2022.