

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Análise comparativa de secas no Brasil a partir de sensoriamento remoto

Júlia Brusso Rossi¹; Anderson Luis Ruhoff²; Ayan Santos Fleischmann³ & Leonardo Laipelt⁴

RESUMO

Eventos extremos de secas possuem comportamentos distintos em cada região do Brasil, associados à sua intensidade e tempo de duração, gerando diversos efeitos ambientais e socioeconômicos. Este estudo avaliou eventos extremos de secas ocorridos em diferentes regiões do Brasil, sendo estas: a Região Norte – Amazônia (seca de 2010), a Região Nordeste (seca de 2012), a Região Sudeste (seca de 2014), e a Região Sul – Estado do Rio Grande do Sul (seca de 2012). As variáveis (e produtos) analisadas, obtidas por sensoriamento remoto e disponibilizadas na plataforma Google Earth Engine, foram: precipitação (IMERG), temperatura de superfície (MOD11), anomalia no armazenamento total de água (GRACE), evapotranspiração (GLEAM e MOD16) e índices de vegetação NDVI e EVI (MOD13) e produtividade primária bruta (GPP-MOD17). Foi verificado o comportamento das variáveis em cenários com e sem a presença de secas. De forma geral, as regiões identificaram alterações dos valores dos parâmetros durante a ocorrência de secas, sendo verificada, principalmente, grande redução na anomalia do armazenamento total de água. Além disso, observou-se que as secas de maior duração ocorreram nas regiões Nordeste e Sudeste.

ABSTRACT

Extreme drought events have distinct behaviors in each region of Brazil, associated with their intensity and duration, generating environmental and socioeconomic effects. This study assessed extreme drought events that occurred in different regions of Brazil: the North Region - Amazon (2010 drought), the Northeast Region (2012 drought), the Southeast Region (2014 drought), and the South Region - State of Rio Grande do Sul (2012 drought). The variables (and products) analyzed, obtained by remote sensing and available on the Google Earth Engine platform, were precipitation (IMERG), surface temperature (MOD11), total water storage anomaly (GRACE), evapotranspiration (GLEAM and MOD16) and vegetation indices NDVI, EVI (MOD13) and Gross Primary Productivity (GPP - MOD17). It was verified the behavior of the variables in scenarios with and without the presence of droughts. In general, the regions identified changes in the values of the parameters during droughts occurrence, being verified, mainly, great reduction in total water storage anomaly. Furthermore, it was observed that the longest droughts occurred in the Northeast and Southeast regions.

Palavras-Chave – secas, eventos extremos, sensoriamento remoto.

1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS. Email: juliabrusso@gmail.com
2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS. Email: andersonruhoff@gmail.com
3) Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS. Email: ayan.fleischmann@gmail.com
4) Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS. Email: leolaipect@gmail.com

INTRODUÇÃO

A seca surge como consequência da redução natural da quantidade de precipitação recebida durante um longo período de tempo, e sua severidade não depende apenas da duração, intensidade e extensão geográfica de um episódio específico de seca, mas também das demandas para abastecimento de água de uma região (WILHITE, 2000). No Brasil, devido à grande extensão de seu território, os eventos extremos de secas apresentam comportamentos distintos, em termos de intensidade e duração, dependendo da região do país em que ocorrem. O impacto da seca está diretamente relacionado às características climáticas e hidrológicas da região. Neste sentido, observa-se que, no Brasil, a precipitação média anual é de 1.760 mm, sendo que o total anual de chuva varia de menos de 500 mm na região semiárida do Nordeste, a mais de 3.000 mm na região Amazônica (ANA, 2019).

Conforme Van Loon *et al.* (2016), os impactos da seca nos sistemas socioeconômicos e ecológicos são o resultado da falta de água que é causada pela complexa interação de processos naturais e antropogênicos. De modo geral, a crise hídrica é gerada por uma conjunção de fatores que incluem a falta de gerenciamento dos recursos hídricos e a escassez de chuva (Marengo *et al.*, 2015). No Brasil, segundo Relatório da Agência Nacional de Águas (ANA, 2019), em 2018, cerca de 43 milhões de pessoas foram afetadas por eventos de secas e estiagens, 30 vezes mais que por cheias.

Como forma de avaliar o comportamento desses eventos de secas, nas diferentes regiões do país, uma alternativa é o uso de sensoriamento remoto para monitoramento de variáveis ambientais de interesse. Para este tipo de análise, podem ser utilizados dados de satélites, obtidos para uma larga escala espacial e temporal, e disponibilizados em sítios online que favorecem sua obtenção e análise. Assim, o objetivo geral deste estudo foi realizar uma análise comparativa de secas para diferentes regiões do Brasil, através do uso de variáveis ambientais, obtidas por sensoriamento remoto. Para isso, foram utilizados produtos de sensoriamento remoto para obtenção de variáveis hidrológicas, climáticas e índices de vegetação, disponíveis na plataforma online Google Earth Engine, de modo a analisar episódios recentes de secas ocorridos no país.

As regiões de análise foram escolhidas pela sua importância hídrica (no caso da Amazônia) e considerando os cenários mais críticos em eventos de secas extremas, havendo escassez hídrica. Segundo (ANA, 2019), a Região Nordeste apresenta demanda considerável em relação à sua disponibilidade hídrica, a Região Sudeste se destaca pelo uso da água para abastecimento humano, irrigação e na indústria, e a Região Sul tem retirada de água expressiva para irrigação de grandes lavouras de arroz. A duração e intensidade dos eventos hidrológicos extremos foi avaliada a partir da determinação do tempo de resposta e de recuperação de cada variável. Espera-se que este estudo possa auxiliar na melhor compreensão dos efeitos dos eventos de secas extremas no Brasil.

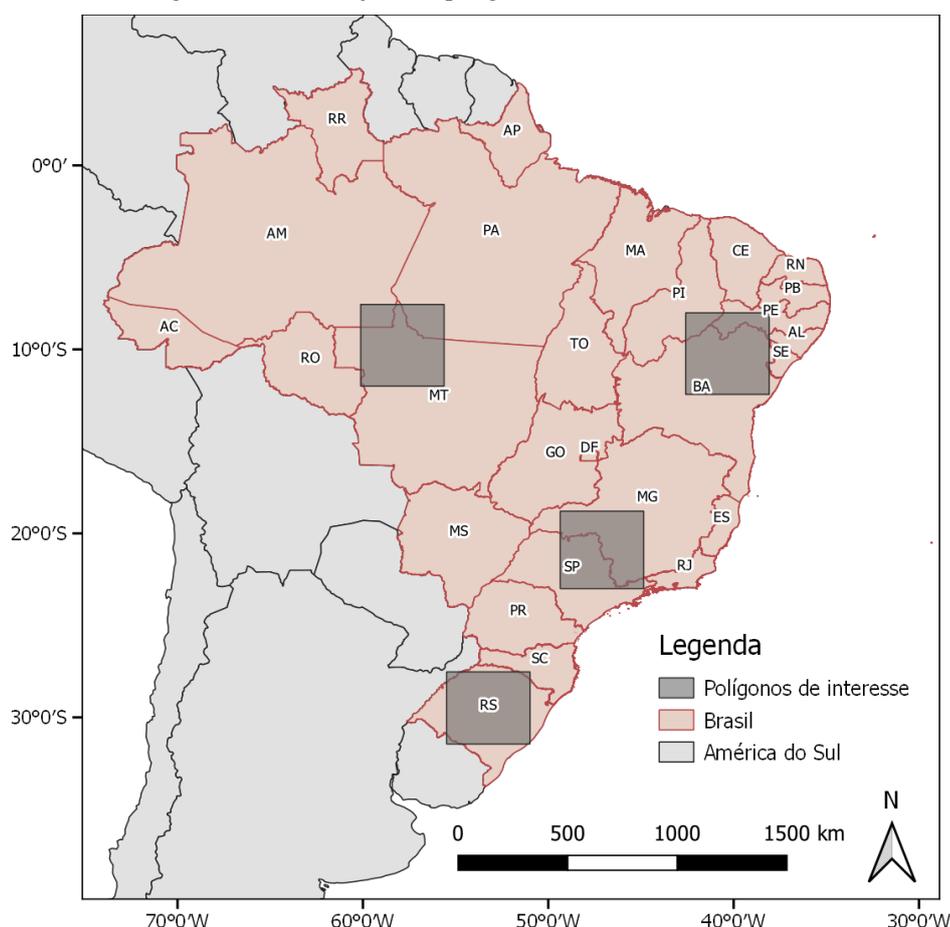
MATERIAIS E MÉTODOS

Áreas e eventos de estudo

A análise de secas abrangeu eventos ocorridos em diferentes regiões do Brasil, que se diferenciarem em questão de clima, posição geográfica, relevo, vegetação, entre outros fatores, sendo estas: Região Norte (Amazônia), Região Nordeste, Região Sudeste, e a Região Sul (Estado do Rio Grande do Sul). Essas áreas foram definidas considerando as regiões Sudeste, Sul e Nordeste em situações mais crítica em termos de secas (ANA, 2019) e, ainda, considerando a importância da Amazônia para a disponibilidade hídrica do país. Para cada região, foi definido um polígono para análise em determinada área de interesse, como mostra a figura 1, e foi determinado o período de estudo, correspondente a um determinado evento de seca recente (tabela 1).

Em 2010, foi registrado um evento de seca severa na Amazônia, relacionado à ocorrência sucessiva de um evento El Niño e um forte aquecimento da temperatura da superfície do mar no Atlântico Norte Tropical, seguido por uma rápida transição a um forte evento de La Niña, entre 2010 e 2011 (Marengo *et al.*, 2011; Panisset *et al.*, 2017). Desse modo, o período analisado para a Amazônia correspondeu à seca de 2010, e o polígono foi definido na parte norte do Estado do Mato Grosso. Lewis *et al.* (2011) aponta os epicentros da seca da Amazônia em 2010 na parte sul da bacia amazônica, estando um destes epicentros localizados sobre o estado do Mato Grosso.

Figura 1 – Localização dos polígonos a serem analisados



Em relação à região nordeste, esta apresenta reduzidos valores de disponibilidade hídrica, em particular na região Semiárida, por conta dos baixos índices de precipitação, da irregularidade do seu regime, de temperaturas elevadas durante todo o ano, da baixa capacidade de armazenamento total de água, entre outros fatores (ANA, 2019). Entre 2010 e 2017, o Nordeste enfrentou um episódio de seca extrema, durante eventos de La Niña em 2011/2012 e de El Niño em 2015/2016 (Marengo *et al.*, 2016; Marengo *et al.*, 2017). Dessa forma, no Nordeste foi definido o polígono sobre a região semiárida, e a seca do ano de 2012.

No final do ano de 2013, a região Sudeste foi afetada por um episódio muito intenso de ZCAS, que gerou precipitação escassa e altas temperaturas na porção sul dessa região, e mesmo após a dissipação da ZCAS no final de dezembro de 2013, a precipitação permaneceu reduzida (Nobre *et al.*, 2016), sendo que em 2014, a região enfrentou um grande episódio de escassez de chuva, principalmente sobre o estado de São Paulo (Marengo *et al.*, 2015). Foi definido o evento de seca de 2014 para análise na região do Sudeste, e o polígono definido para avaliação da seca foi alocado sobre os estados de São Paulo e Minas Gerais.

Para o Rio Grande do Sul, o polígono cobre praticamente todo o estado, estando levemente deslocado para norte e noroeste, pois, segundo Nedel *et al.* (2009), há maior frequência de ocorrência

de secas nas regiões ao norte e noroeste do estado. Definiu-se para análise o episódio de seca de 2012 (Gross, 2015; Nedel *et al.*, 2009).

Tabela 1 – Períodos secos e eventos extremos de secas em cada região de estudo

| Região | Ano de seca analisado | Período seco | Referência |
|-------------------|-----------------------|------------------|------------------------------|
| Amazônia | 2010 | junho a setembro | Marengo e Espinoza (2016) |
| Nordeste | 2012 | junho e novembro | Melati <i>et al.</i> (2019) |
| Sudeste | 2014 | junho a agosto | Marengo <i>et al.</i> (2015) |
| Rio Grande do Sul | 2012 | janeiro a março | Nedel <i>et al.</i> (2009). |

Para as análises, foram considerados intervalos de quatro meses para os períodos secos anuais, em cada região, dessa forma, sendo definido para a Amazônia os meses de junho a setembro (JJAS), para a Região Nordeste, o intervalo de julho e outubro (JASO), para a Região Sudeste, de maio a agosto (MJJA), e para o Rio Grande do Sul, de dezembro a janeiro (DJFM).

Obtenção dos dados

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos a partir de produtos de sensoriamento remoto, disponibilizados na plataforma Google Earth Engine, para o período de janeiro de 2003 a dezembro de 2016. As variáveis analisadas foram temperatura de superfície, precipitação, anomalia no armazenamento total de água, evapotranspiração e índices de vegetação (NDVI, EVI e GPP). Os produtos de sensoriamento remoto utilizados são apresentados na tabela 2, sendo estes: GLEAM, GPM - IMERG, GRACE, MOD11, MOD13, MOD16 e MOD17.

Tabela 2 – Síntese de informações dos produtos de sensoriamento remoto utilizados.

| Variável | Produto | Resolução espacial | Resolução temporal | Unidade | Período disponível | Fonte |
|---|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|------------------------------|
| Precipitação | GPM - IMERG | 0,1° | mensal | mm/mês | 01/06/2000 - atual | Huffman <i>et al.</i> (2019) |
| Anomalia no armazenamento total de água | GRACE | 1° | mensal | cm/mês | 01/04/2002 - 03/02/2017 | Swenson (2012) |
| Temperatura de superfície | MOD11 | 1 km | 8 dias | Kelvin | 05/03/2000 - atual | Wan <i>et al.</i> (2015) |
| Evapotranspiração | GLEAM | 0,25° | mensal | mm/mês | 01/01/2003 - 31/12/2018 | Martens <i>et al.</i> (2017) |
| | MOD16 | 500m | 8 dias | mm/mês | 01/01/2001 - atual | Mu <i>et al.</i> (2011) |
| EVI e NDVI | MOD13 | 1 km | 16 dias | - | 18/02/2000 - atual | Didan (2015) |
| GPP (Produção primária bruta) | MOD17 | 500 m | 8 dias | kgC/m ² | 05/03/2000 - atual | Running <i>et al.</i> (2015) |

Análise dos dados

Foram obtidos dados para todo o período de análise (2003 a 2016), dentro dos quatro polígonos de estudo, sendo que os produtos de sensoriamento remoto foram avaliados em escala mensal, a partir do cálculo das médias dos valores em cada mês.

O comportamento de cada variável, no período de seca de cada região, foi avaliado em relação à média da série temporal (2003 a 2016). Foram elaboradas figuras comparando os valores absolutos dos produtos, com os valores obtidos nos meses de secas em determinada região, e com os valores nos meses de seca no cenário de seca extrema. A evapotranspiração é obtida da média entre o produto MOD16 e o modelo GLEAM.

Ainda, foram verificados os padrões temporais das secas a partir do cálculo das anomalias mensais de cada variável, para toda a série temporal, em cada uma das regiões de estudo. Essa análise permite identificar como cada variável representou determinado evento de seca, além de ser possível observar a abrangência temporal das anomalias, verificando em que período inicia a situação anômala e quanto tempo demora para retornar ao estado de normalidade.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O comportamento das variáveis no período de secas, com destaque para o ano de seca extrema, é apresentado na figura 2, para cada um dos polígonos analisados, em diferentes regiões do país. As maiores alterações em situações de seca, no polígono da Amazônia, ocorrem nos produtos de chuva, evapotranspiração e armazenamento total de água. A chuva no período de JJAS corresponde a aproximadamente 5,9% do valor anual total, e no ano de 2010 esse valor caiu para 3,6%. Os índices NDVI e EVI também sofreram redução em seus valores nos períodos de seca, comparados as médias anuais. A temperatura de superfície e o índice GPP não alteraram seus valores médios em função da seca, para o período analisado.

Para a Região Nordeste, a partir da figura 2, se observa que a média da precipitação total no período seco (JASO) é de 86 mm, sendo que esse valor reduziu para apenas 47 mm em 2012, durante o evento de seca extrema. O comportamento da evapotranspiração foi muito similar ao da precipitação. Por outro lado, a anomalia no armazenamento total de água manteve-se baixa no período de seca, com redução de 23mm, e a temperatura de superfície não se alterou com a presença da seca.

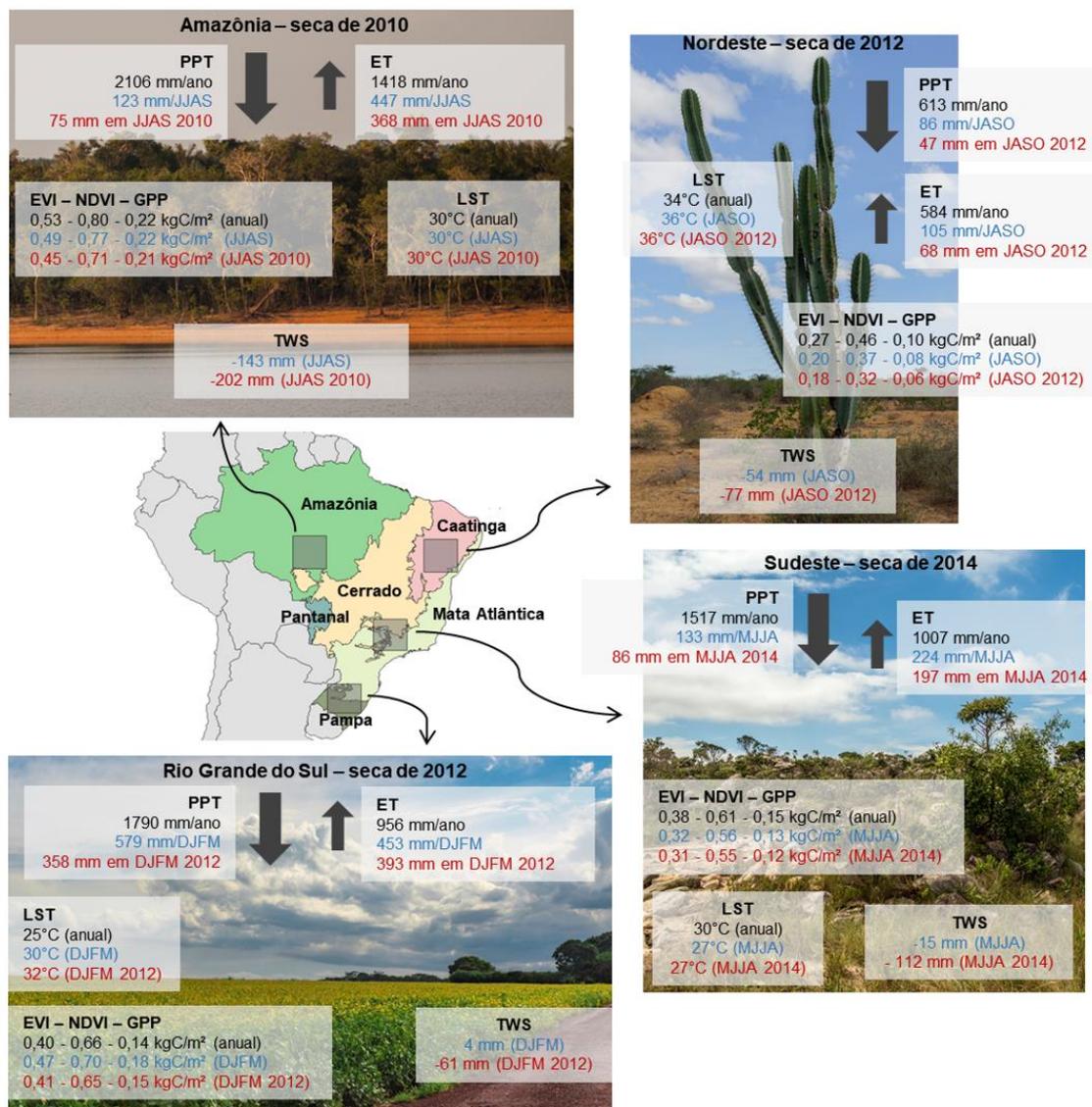
Em relação à Região Sudeste, a precipitação na época de secas (MJJA) é de cerca de apenas 8,8% do total anual, reduzindo para 5,7% no ano de seca de 2014. Da mesma forma, a evapotranspiração na época de secas (MJJA) é de 22,3% do total médio anual, sendo que, este valor reduziu para 19,6% em 2014. A anomalia do armazenamento total de água apresenta grande diferença no período de MJJA, comparando média geral no período (-15 mm) à média em 2014 (-112 mm). Esse valor é ainda mais significativo quando avaliados os meses de agosto a novembro (ASON), que registram valor médio de -95 mm, variando para -203 mm em ASON de 2014. Considerando que a estação seca no Sudeste corresponde aos meses de inverno, a temperatura nesta época é mais baixa que a média anual.

As análises dos polígonos do Nordeste e do Sudeste indicaram redução nos valores dos índices de vegetação na época de secas, quando comparados a média geral. De forma geral, para a Amazônia, Região Nordeste e Região Sudeste, a análise apontou que, no cenário anual a precipitação média é maior que a evapotranspiração, porém, no período de seca, a evapotranspiração é maior que a precipitação.

No polígono do Rio Grande do Sul, as chuvas são bem distribuídas o ano todo, e é registrada grande variação sazonal de temperatura, sendo que a temperatura de superfície em DJFM (verão) é em média 5°C maior que a média anual, chegando a 7°C em DJFM de 2012. Os valores de evapotranspiração registrados no Estado nos meses de secas são mais altos quando comparados aos demais polígonos, sendo bem próximos aos registrados no polígono da Amazônia. Isso ocorre devido à presença de maior radiação líquida neste período (verão), havendo assim, maior disponibilidade de energia para os processos evaporativos.

Esse processo também justifica os maiores valores dos índices de vegetação no período seco, onde há mais energia disponível, o que favorece o crescimento de culturas e as colheitas no Estado. Contudo, com a seca de 2012, a média dos índices de vegetação em DJFM foram menores que a média do período, e próximos a média anual. Conforme Anderson *et al.* (2016), o setor agrícola do Estado sofreu grandes perdas em função da seca de 2012. Isso é evidenciado na análise da anomalia no armazenamento total de água, que apresenta valores positivos na média no período de secas (DJFM), porém, em DJFM de 2012, as médias reduziram para -61 mm.

Figura 2 – Síntese comparativa do comportamento das variáveis durante eventos de secas, em cada uma das regiões de interesse.



Em relação aos padrões temporais das secas, verificados a partir do cálculo de anomalias mensais, durante a seca de 2010 na Amazônia, de forma geral, as variáveis, com exceção da temperatura de superfície, apresentaram alguns dos menores valores de anomalias negativas entre setembro a outubro de 2010. Variáveis como o armazenamento total de água, a evapotranspiração (MOD16), o NDVI e o GPP demonstraram que apenas na metade de 2011, aproximadamente, seus valores retornaram às condições médias normais.

No Nordeste, em 2012, a precipitação foi mais baixa nos meses que antecedem a época de secas na região (JASO), e anomalias negativas seguiram sendo registradas até a metade de 2013. Os

produtos de evapotranspiração tiveram comportamento muito similar, registrando anomalias negativas até 2013, aproximadamente. Os índices de vegetação também indicaram valores negativos de anomalias, até 2014. O armazenamento total de água apresentou médias negativas no período seco (JASO) de 2012, e seguiu registrando anomalias negativas pelos anos seguintes (analisado neste estudo até 2016).

No Sudeste, a precipitação esteve abaixo da média desde o antes do período seco (MJJA) de 2014. De modo geral, a evapotranspiração e os índices de vegetação apresentaram valores de anomalias mais negativos em 2014, com recuperação no ano de 2015. A variação do armazenamento total de água, em 2014 e 2015, registrou anomalias negativas muito altas, que não foram registradas em outro período da série temporal analisada.

No período que antecedeu a seca de 2012 no Estado do Rio Grande do Sul a precipitação já registrava redução em seus valores, seguindo com anomalias negativas entre março e junho de 2012. Também foram registradas anomalias negativas de evapotranspiração no começo de 2012, com recuperação a partir da metade do ano. Foram observadas anomalias muito negativas na variação do armazenamento total de água, em 2012, com registro de valores abaixo da média até 2014. Os índices de vegetação apresentaram anomalias negativas no começo do ano de 2012.

CONCLUSÃO

Este estudo avaliou uma série de variáveis hidrológicas e climáticas, obtidas por produtos de sensoriamento remoto, de forma a caracterizar o comportamento de eventos extremos de secas ocorridos no Brasil, em termos de intensidade e duração. De modo geral, a maioria das secas extremas analisadas estavam relacionadas à ocorrência de eventos de El Niño e La Niña, com exceção da seca na Região Sudeste. Em relação às variáveis de interesse, na Amazônia, a seca de 2010 resultou em grande redução de precipitação, afetando principalmente a evapotranspiração, a anomalia no armazenamento total de água, e alguns índices de vegetação (EVI e NDVI).

Para a Região Nordeste, a precipitação apresentou anomalias negativas até a metade de 2013, e os registros seguiram para a evapotranspiração, os índices de vegetação e o armazenamento total de água, sendo que este último registrou valores anômalos até, pelo menos, o ano de 2016 (último ano analisado). Na Região Sudeste, a anomalia de armazenamento total de água também registrou valores anômalos muito negativos, durante a seca de 2014, e sua recuperação só ocorreu em 2016. O mesmo se repetiu durante a seca de 2012, no Estado do Rio Grande do Sul, onde o armazenamento total de água também registrou anomalias muito negativas.

Assim, ressalta-se que o produto GRACE de anomalia no armazenamento total de água serviu muito bem como medida para representar a duração dos eventos analisados de secas no Brasil. Comparando os eventos de secas, destaca-se que na Amazônia e no Rio Grande do Sul, os eventos analisados tiveram curta duração (menos de um ano), quando comparados as ocorrências de secas extremas nas regiões Nordeste e Sudeste, com durações aproximadas de 5 e 2 anos, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas. “*Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual*”. Brasília. Agência Nacional de Águas (ANA), 2019.

ANDERSON, Martha C.; ZOLIN, Cornelio A.; SENTELHAS, Paulo C.; HAIN, Christopher R.; SEMMENS, Kathryn; TUGRUL YILMAZ, M.; GAO, Feng; OTKIN, Jason A.; TETRAULT, Robert. “*The Evaporative Stress Index as an indicator of agricultural drought in Brazil: An assessment based on crop yield impacts*”. *Remote Sensing of Environment*, v. 174, p. 82–99, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.034>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425715302212>.

DIDAN, K. MOD13A2 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 1km SIN Grid V006NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13A2.006>.

GROSS, J. A. “*Índice de Anomalia de Chuva (IAC) dos Municípios do Rio Grande do Sul Afetados Pelas Estiagens no Período de 1991 A 2012*”. 2015. Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

HUFFMAN, George J. et al. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 06 for the NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG). National Aeronautics and Space Administration, 2019.

LEWIS, Simon L.; BRANDO, Paulo M.; PHILLIPS, Oliver L.; VAN DER HEIJDEN, Geertje M. F.; NEPSTAD, Daniel. “*The 2010 Amazon Drought*”. *Science*, v. 331, n. 6017, p. 554 LP – 554, 2011. DOI: [10.1126/science.1200807](https://doi.org/10.1126/science.1200807). Disponível em: <http://science.sciencemag.org/content/331/6017/554.abstract>.

MARENGO, Jose A.; ALVES, Lincoln M.; ALVALA, Regina C. S.; CUNHA, A. N. A. Paula; BRITO, Sheila; MORAES, Osvaldo L. L. “*Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region*”. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90, p. 1973–1985, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-37652018000501973&nrm=iso.

MARENGO, Jose A.; CUNHA, Ana P.; ALVES, Lincoln M. “*A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico*”. 2016.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. “*Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts*”. *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 3, p. 1033–1050, 2016. DOI: [10.1002/joc.4420](https://doi.org/10.1002/joc.4420). Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.4420>.

MARENGO, José A.; NOBRE, Carlos Afonso; SELUCHI, Marcelo Enrique; CUARTAS, Adriana; ALVES, Lincoln Muniz; MENDIONDO, Eduardo Mario; OBREGÓN, Guillermo; SAMPAIO, Gilvan. “*A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo*”. *Revista USP*, n. 106, p. 31–44, 2015. DOI: [10.11606/issn.2316-9036.v0i106p31-44](https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p31-44). Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/110101>.

MARENGO, Jose A.; TOMASELLA, Javier; ALVES, Lincoln M.; SOARES, Wagner R.; RODRIGUEZ, Daniel A. “*The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region*”. *Geophysical Research Letters*, v. 38, n. 12, 2011. DOI: [10.1029/2011GL047436](https://doi.org/10.1029/2011GL047436). Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2011GL047436>.

MARTENS, B.; MIRALLES, D. G.; LIEVENS, H.; VAN DER SCHALIE, R.; DE JEU, R. A. M.; FERNÁNDEZ-PRIETO, D.; BECK, H. E.; DORIGO, W. A.; VERHOEST, N. E. C. “*GLEAM v3: satellite-based land evaporation and root-zone soil moisture*”. *Geoscientific Model Development*, v.

10, n. 5, p. 1903–1925, 2017. DOI: 10.5194/gmd-10-1903-2017. Disponível em: <https://gmd.copernicus.org/articles/10/1903/2017/>.

MELATI, Maurício D.; FLEISCHMANN, Ayan S.; FAN, Fernando M.; PAIVA, Rodrigo C. D.; ATHAYDE, Gustavo B. “*Estimates of groundwater depletion under extreme drought in the Brazilian semi-arid region using GRACE satellite data: application for a small-scale aquifer*”. *Hydrogeology Journal*, v. 27, n. 8, p. 2789–2802, 2019. DOI: 10.1007/s10040-019-02065-1. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10040-019-02065-1>.

MU, Qiaozhen; ZHAO, Maosheng; RUNNING, Steven W. “*Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm*”. *Remote Sensing of Environment*, v. 115, n. 8, p. 1781–1800, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.019>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425711000691>.

NEDEL, Anderson Spohr; SAUSEN, Tania Maria; SAITO, Silvia Midori. “*Zoneamento dos desastres naturais ocorridos no estado do Rio Grande do Sul no período 2003 – 2009 - Parte I: Seca*”. p. 2003–2007, 2009.

NOBRE, Carlos A.; MARENGO, Jose A.; SELUCHI, Marcelo E.; CUARTAS, L. Adriana; ALVES, Lincoln M. “*Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015*”. p. 252–262, 2016.

PANISSET, Jéssica S.; LIBONATI, Renata; GOUVEIA, Célia Marina P.; MACHADO-SILVA, Fausto; FRANÇA, Daniela A.; FRANÇA, José Ricardo A.; PERES, Leonardo F. “*Contrasting patterns of the extreme drought episodes of 2005, 2010 and 2015 in the Amazon Basin*”. *International Journal of Climatology*, v. 38, n. 2, p. 1096–1104, 2017. DOI: 10.1002/joc.5224. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.5224>.

RUNNING, S.; MU, Q.; ZHAO, M. MOD17A2H MODIS/Terra Gross Primary Productivity 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V006NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2015. Disponível em: Running, S., Mu, Q., Zhao, M. Acesso em: 8 out. 2020.

SWENSON, S. C. *GRACE MONTHLY LAND WATER MASS GRIDS NETCDF RELEASE 5.0* NASA PO.DAAC, 2012. DOI: 10.5067/TELND-NC005. Disponível em: http://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/TELLUS_LAND_NC_RL05.

VAN LOON, Anne F. et al. “*Drought in the Anthropocene*”. *Nature Geoscience*, v. 9, n. 2, p. 89–91, 2016. DOI: 10.1038/ngeo2646. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ngeo2646>.

WAN, Z.; HOOK, S.; HULLEY, G. MOD11A2 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1km SIN Grid V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11A2.006>.

WILHITE, Donald A. “*Drought as a natural hazard: Concepts and definitions*”. *Drought: A Global Assessment*, v. I, p. 3–18, 2000. Disponível em: <http://digitalcommons.unl.edu/droughtfacpub/69>.