

XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ANÁLISE TEMPORAL DO ARMAZENAMENTO D'ÁGUA DE 2003 A 2016 NO RESERVATÓRIO LUIZ GONZAGA (ITAPARICA) UTILIZANDO OBSERVAÇÕES GRACE.

Fábio Vinícius Marley Santos Lima¹; Laisa Mirelle Barreto Morais²; Emylle Adrielly Miranda de Lira³; Carlos Fabricio Assunção da Silva⁴

RESUMO – O presente estudo compreende analisar dados da missão GRACE (*Gravity Recovery And Climate Experiment*), a partir dos *mascons* (*mass concentration*), da resolução do laboratório GSFC - *Goddard Space Flight Center*, vinculado a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), sobre o reservatório Luiz Gonzaga (Itaparica) localizado nos estados brasileiros da Bahia e Pernambuco, com uma área de 828km², situado ao longo do rio São Francisco na região fisiográfica chamada Submédio São Francisco, com uma capacidade de armazenamento de 11 bilhões m³ de água com profundidade máxima de 101m. O objetivo é analisar as variações de armazenamento d'água no período de janeiro de 2003 a julho de 2016, totalizando um estudo de 13 anos. A pesquisa comprova a partir da reta de tendência (regressão linear) a baixa do nível d'água nos anos seguintes até o presente momento em 2018 a partir dos dados obtidos do ONS (Operador Nacional de Energia Elétrica) e informações de precipitação do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

ABSTRACT– The present study comprises analyzing data from the GRACE mission (*Gravity Recovery and Climate Experiment*), from the *mascons* (*mass concentration*), of the resolution of the GSFC - *Goddard Space Flight Center*, linked to NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), on the Luiz Gonzaga Reservoir (Itaparica) located in the Brazilian states of Bahia and Pernambuco with an area of 828km², is located along the São Francisco river in the physiographic region called Submédio São Francisco with a storage capacity of 11 billion m³ of water with a maximum depth of 101m. The objective is to analyze the variations of water storage) from January 2003 to July 2016, totaling a 13-year study. The research proves from the trend line (linear regression) the decrease of the water level in the following years until the present moment in 2018, Based on data obtained from ONS (National Electric Energy Operator) and precipitation information from INMET (National Institute of Meteorology).

Palavras-Chave – Análise Temporal, GRACE, Itaparica.

1) Graduando do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP 50740- 540, e-mail: fabiomarley.edif@gmail.com

2) Graduanda do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP 50740- 540, e-mail: l.barreto94@hotmail.com

3) Graduanda do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP 50740- 540, e-mail: emylle_liira@hotmail.com

4) Graduando do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP 50740- 540, e-mail: carlosfew@outlook.com

INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, a utilização de dados multi-temporais tornou-se uma ferramenta eficaz e cada vez mais necessária para o monitoramento dos recursos naturais da Terra. As análises de tendência temporal possibilitam a avaliação de longas séries de dados, sendo úteis para o acompanhamento e a predição da evolução da qualidade e quantidade da água. Essas análises têm como objetivo subsidiar medidas preventivas, corretivas e emergenciais a serem tomadas para a manutenção do equilíbrio do ecossistema (Christofa et Leão, 2009; Viana, 2011).

Desde 17 de março de 2002, o *Gravity Recovery and Climate Experiment* (GRACE), os satélites gêmeos são utilizados para monitorar o campo de gravidade da Terra nos domínios de espaço e tempo. Wahr et al. (1998) relataram que a maior amplitude e os mais variados sinais dependentes do tempo estão relacionados à variabilidade do armazenamento de água em terra. Ramillien et al. (2008a) concluíram que a gravimetria por satélite GRACE oferece técnica alternativa de sensoriamento remoto interessante para medir mudanças na água total armazenamento em áreas continentais. Isso inclui gelo, neve, águas superficiais, umidade do solo e águas subterrâneas.

Diversos trabalhos evidenciam esse monitoramento e importância, aplicados a diversas localidades no planeta, tais como, Awange et al. (2014), Ahmed et al. (2014) e Ndehedehe et al. (2016) na África, Chen et al. (2016) na Austrália, Molodtsova et al. (2015) nos EUA, Kaixuan et al. (2015) e Xiang et al. (2016) na Ásia, Bonfim & Molina (2009).

No Brasil, Sun et al. (2016) utilizaram dados GRACE, de 2002 a 2015, para avaliar e quantificar a seca em curso na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, Montecino et al. (2016), demonstram outra aplicabilidade do GRACE na América do Sul com enfoque para águas subterrâneas na região norte do Chile.

O objetivo desse trabalho é utilizar os dados GRACE, para entender o comportamento do volume de água no reservatório ao longo desses 13 anos, a partir de uma regressão linear estimar a situação do volume nos próximos anos, e utilizar dados do ONS (Operador Nacional de Energia Elétrica) para comprovar o que aconteceu nos anos decorrentes até o presente momento em 2018, e enfatizar a utilização do satélite GRACE para estudos na área de recursos hídricos.

MATERIAL E MÉTODOS

O reservatório de Itaparica, que passou a se chamar Luiz Gonzaga em homenagem ao "rei do baião nordestino" de mesmo nome. Sua Usina localiza-se no estado de Pernambuco, 25 km a jusante da cidade de Petrolândia/PE. O reservatório foi construído em 1988 e seu funcionamento ocorreu em 1989 com o fechamento das comportas. As águas banham os municípios de Tacaratu, Petrolândia, Floresta, Itacuruba e Belém do São Francisco do lado de Pernambuco (Figura 1). A Usina Luiz Gonzaga está instalada no São Francisco, principal rio da região nordestina, com área de drenagem de 592.479 km², bacia hidrográfica da ordem de 630.000 km², com extensão de 3.200 km, desde sua nascente na Serra da Canastra em Minas Gerais, até sua foz em Piaçabuçu/AL e Brejo Grande/SE. (CHESF, 2018).

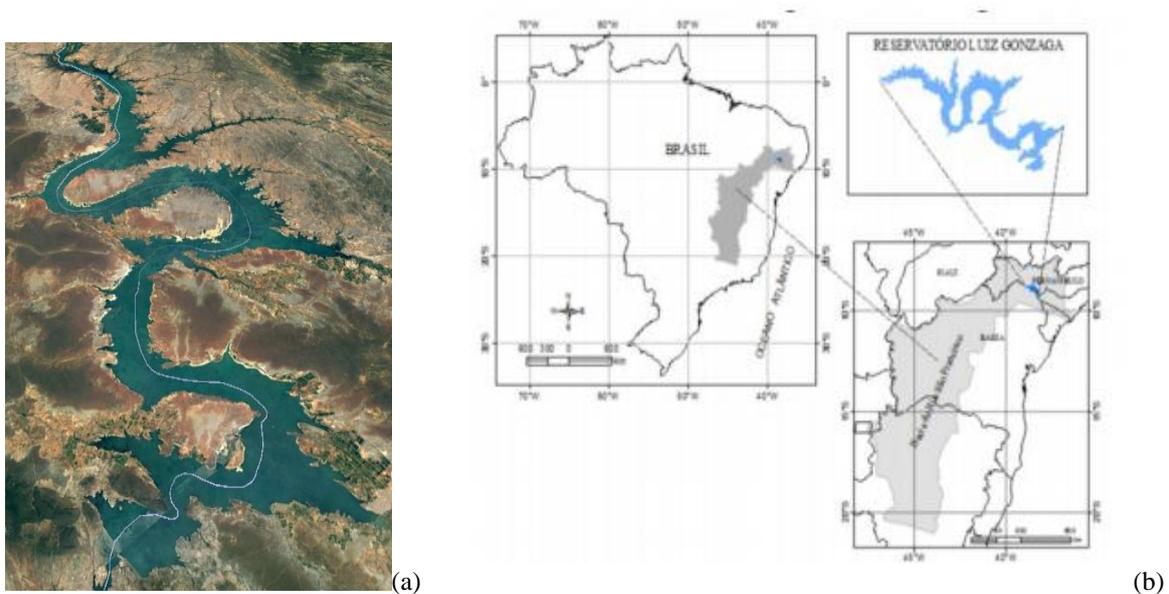


Figura 1 - a) Reservatório de Itaparica (Google Earth 2016). b) Localização do Reservatório. b) Lopes et al. (2013).

Foram utilizados dados de dois *mascons* com numeração #4396, #4397 do laboratório GSFC - *Goddard SpaceFlight Center*, vinculado a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), onde os mesmos englobam toda área do Reservatório em estudo como mostra na figura 3.

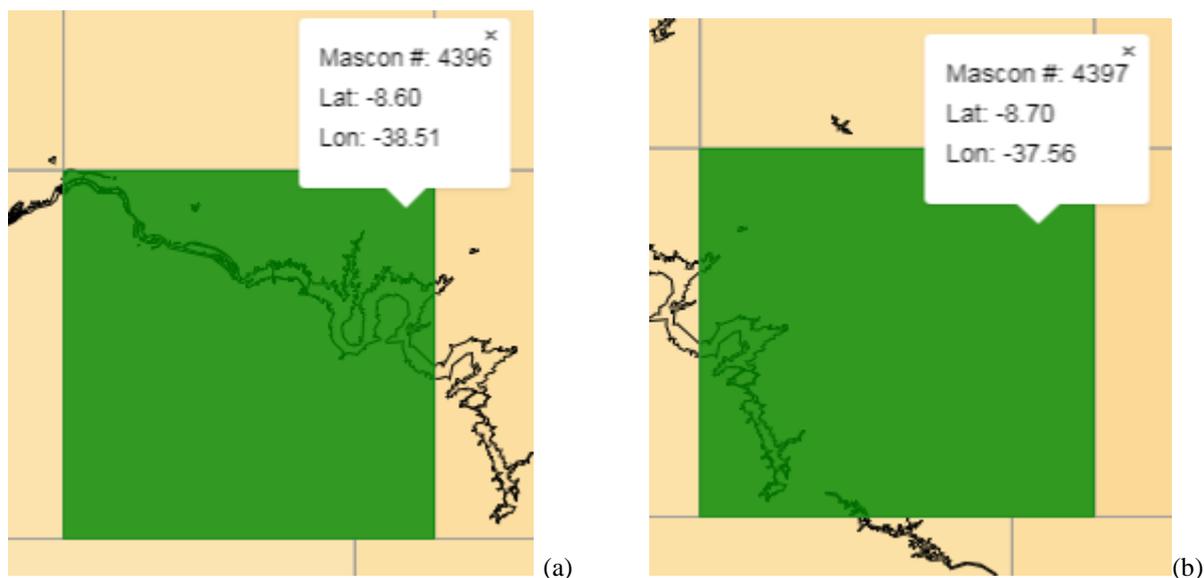


Figura 2: Seleção dos *mascons* envolvendo a área de estudo, (a) *mascon* #4396, (b) *mascon* #4397. Fonte: Autor, 2018.

Os dados foram obtidos gratuitamente pelo site (<http://ccar.colorado.edu/grace/>) cedido pelo centro de pesquisa Astrodinâmica da Universidade do Colorado, localizada em Boulder no estado do Colorado nos Estados Unidos. Sendo assim, os mapas do campo de gravidade terrestre formados a partir do GRACE são mensais (TAPLEY et al., 2004).

Os sensores geodésicos espaciais oferecem uma oportunidade para o monitoramento “espessura de água equivalente” (TWS – Total Water Storage), o TWS é interpretado como a soma de águas subterrâneas, umidade do solo, águas superficiais, neve e gelo (SWENSON et al., 2013), que junto com a água contida na biomassa são os principais componentes de armazenamento de água terrestre (RODELL; FAMIGLIETTI, 2001). Então, os dados GRACE são apresentados como “equivalente à altura d’água” (water equivalent thickness), em unidades de comprimento (cm), que refletem no TWS.

Em 2002 a missão GRACE começa a fornecer observações sobre o campo gravimétrico terrestre, os equipamentos passavam por ajustes ocasionando meses sem dados e somando-se a isso existem certos meses em que a órbita dos satélites possuem um padrão de quase repetição ou sobreposição de outra órbita já percorrida e isto causa erros nos coeficientes das funções harmônicas esféricas maiores, e a partir de 2011 o envelhecimento das baterias ocasiona meses faltantes nas observações, como mostra na tabela 1.

Tabela 1: Meses faltantes de dados da missão GRACE

ANO	MESES FALTANTES
2003	Junho;
2011*	Janeiro, junho;
2012	Maior, outubro;
2013	Março, agosto, setembro;
2014	Fevereiro, julho, dezembro;
2015**	Maior, junho, outubro, novembro.

* Dois processamento em outubro.

** Dois processamento em abril

Além dos dados do GRACE foram obtidas referências hidrológicas do nível d'água em porcentagem (%) do reservatório em análise pelo ONS (Operador Nacional de Sistema Elétrico), são dados gratuitos colhidos pelo *site* (http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados_hidrologicos_volumes.aspx). As informações são em escala mensal sem nenhuma lacuna no decorrer da análise-temporal entre janeiro de 2003 até abril de 2018.

Foram adquiridos dados históricos de precipitação em milímetros (mm) da cidade de Petrolina (onde se localiza o reservatório), são dados gratuitos colhidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), *site* (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>).

A metodologia detalhada segue a partir:

Download de informações GRACE, ONS, INMTE a partir das plataformas CCAR (*Colorado Center For Astrodynamics Research*), Histórico da Operação – ONS e BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa);

Elaboração de estatística descritiva das séries temporais médias anuais dos dados GRACE e ONS, juntamente com os máximos e mínimos da série;

Geração de gráficos da série temporal a partir das médias anuais dos dados GRACE e ONS; Aplicação de Regressão Linear (reta de tendência) no *software* EXCEL;

Comparação entre os gráficos dos resultados do reservatório do ONS com a equivalência total d'água (*WET*) da solução GSFC do GRACE.

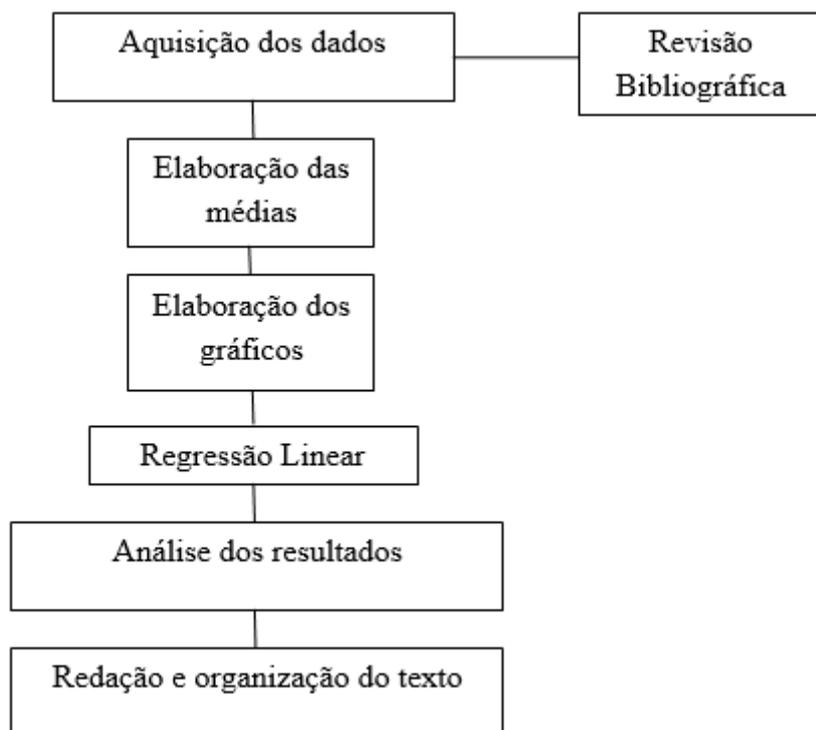


Figura 3: Fluxograma esquemático dos procedimentos metodológicos. Fonte: Autor, 2018.

RESULTADOS E DISCURSÕES

Foram gerados gráficos a partir das médias anuais da equivalência total d'água (Figura 5) e porcentagem de volume útil (Figura 6) do reservatório Luiz Gonzaga (Itaparica), onde nos mesmos foram plotados as retas de tendência junto com sua equação e o coeficiente de determinação.

A solução GSFC, informa a variação total de água, onde se inclui as águas superficiais e subterrâneas, impossibilitando uma comparação volumétrica com os dados obtidos apenas dos reservatórios que equivale a uma parte das águas superficiais da região, deve-se observar as unidades dos gráficos da figuras 05 e 06, onde o gráfico dos dados GRACE a unidade do eixo y é em centímetros, que remete ao valor total de equivalência d'água, e o gráfico dos dados do reservatório pelo ONS a unidade do eixo y é em porcentagem, a partir de uma unidade volumétrica.

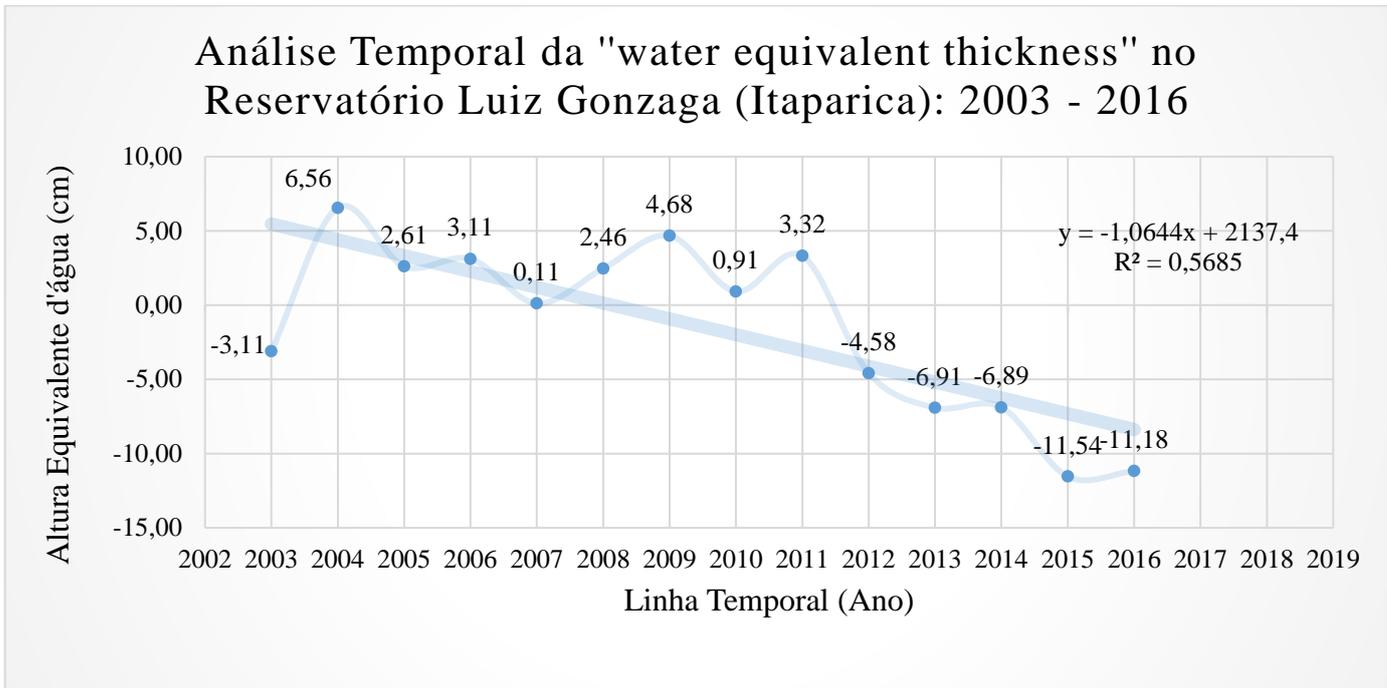


Figura 4: Gráfico de análise temporal a partir de dados da solução GRACE – GSFC. Fonte: Autor, 2018

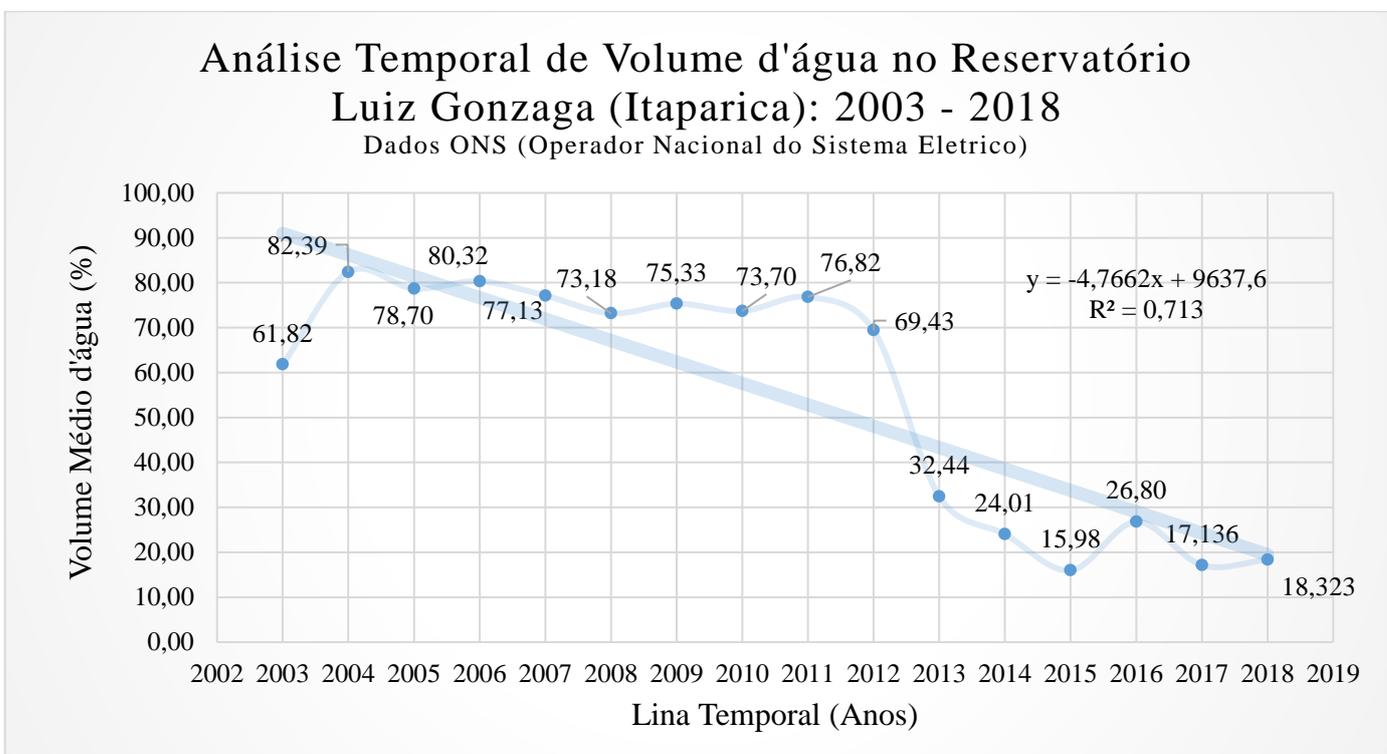


Figura 5: Gráfico de análise temporal a partir de dados do ONS. Fonte: Autor, 2018

Como pode ser visto nos gráficos da figura 05 e 06, existe coerência em ambos bancos de dados, tanto da ONS como do GRACE. Onde indica os anos de declínio e ápice, podendo observar a diminuição do volume de águas na região do reservatório em 2011 para 2012, onde começa a grande seca, e segue até 2016, data da última publicação no (<http://ccar.colorado.edu/grace/>) sobre os dados GRACE.

A tabela 2 condiz com clima da região nordeste do Brasil, como pode ser visto nos meses de maior volume d'água está no primeiro semestre de cada ano, que concorda com a estação chuvosa durante os meses de janeiro a julho.

Tabela 2: Análise de máximos dos dados GRACE, ONS e INMTE. Fonte: Autor, 2018.

Ano	Maior Volume Anual					
	Mês	GRACE WET (cm)	Mês	ONS (%)	Mês	INMTE Precipitação (mm)
2003	Maio	3,55	Julho	91,58	Janeiro	134,40
2004	Fevereiro	13,25	Janeiro	99,75	Janeiro	416,80
2005	Maio	6,49	Abril	98,62	Fevereiro	151,00
2006	Maio	9,53	Abril	99,75	Março	139,90
2007	Maio	12,82	Abril	97,91	Fevereiro	227,80
2008	Maio	12,82	Junho	98,62	Março	275,20
2009	Maio	11,72	Maio	97,91	Abril	181,20
2010	Janeiro	3,88	Junho	95,86	Dezembro	151,20
2011	Maio	8,58	Maio	96,56	Fevereiro	66,40
2012	Janeiro	-0,73	Junho	96,79	Fevereiro	85,20
2013	Julho	-3,34	Janeiro	43,03	Dezembro	155,00
2014	Maio	-1,88	Janeiro	33,28	Abril	179,80
2015	Abril	-6,98	Abril	23,08	Abril	78,20
2016	Fevereiro	-7,18	Janeiro	46,41	Janeiro	281,90
2017	-	-	Janeiro	24,20	Fevereiro	81,50

CONCLUSÕES

O estudo empregado de análise dos dados da missão GRACE, mostrou ser uma alternativa para a avaliação qualitativa e quantitativa da disponibilidade de recursos hídricos. A partir das séries temporais apresentadas foi possível identificar os momentos sazonais de maior disponibilidade hídrica do reservatório Luiz Gonzaga (Itaparica).

A série temporal elaborada e o gráfico anual dos dados processados da missão GRACE foram comparadas qualitativamente e quantitativamente aos dados da ONS e o INMET, mostrando a equivalência qualitativa dos dados GRACE com as demais instituições com dados obtidos *in loco*. As informações dos satélites da missão GRACE vêm a auxiliar na gestão dos recursos hídricos do Brasil e sua potencialidade e divulgação para estudos, onde sua principal vantagem é sua aplicação em locais inacessíveis para levantamento de *in situ*. Já como desvantagens, têm-se que a série temporal ainda é pequena para estudos hidrológicos, pois sua operação, iniciou-se a partir de 2002, e que a sua resolução espacial pode não ser compatível quando se pretende estudar uma pequena bacia hidrográfica ou mesmo um reservatório específico. A missão GRACE foi tão bem-sucedida que seu sucesso *Gravity Recovery e Climate Experiment Follow-On (GRACE-FO)*, lançado em 22 de maio de 2018.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, M.; SULTAN, M; WHAR, J.; YAN, E. The use of GRACE data to monitor natural and anthropogenic induced variations in water availability across Africa. 2014. *Earth-Science Reviews*. v. 136, p. 289-300.

AWANGE, J.L.; GEBREMICHAEL, M.; FOROOTAN, E.; WAKBULCHO, G.; ANYAH, R.; FERREIRA, V.G., ALEMAYEHU, T. Characterization of Ethiopian mega hydrogeological regimes using GRACE, TRMM and GLDAS datasets. *Advances in Water Resources*. 2014. v. 74, p. 64-78

BONFIM, E.P.; MOLINA, E.C. Análise da Variação dos Elementos do Campo de Gravidade na Região do Aquífero Guarani a Partir dos Dados GRACE. *Revista Brasileira de Geofísica*. 2009. v. 27 (1), p. 17-34.

CHEN, J.L.; WILSON, C.R.; TAPLEY, B.D.; SCANLON, B.; GUNTNER, A. Long-term groundwater storage change in Victoria, Australia from satellite gravity and in situ observations. *Global and Planetary Change*. 2016. v. 139, p. 56-65.

CHRISTOFARO, C.; LEÃO, M.M.D. (2009) Caracterização temporal do arsênio nos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, MG, Brasil, ao longo de uma década (1998-2007). *Revista Ambiente e Água: an Interdisciplinar Journal of Applied Science*, v. 4, n. 3, p. 54-66.

KAIXUANA, K; HUIA, L.; PENG, P.; ZHENGBOA, Z. Low-frequency variability of terrestrial water budget in China using GRACE satellite measurements from 2003 to 2010. *Geodesy and Geodynam.* 2015. v. 6 (nº.6): p. 444-452.

MOLODTSOVA, T.; MOLODTSOV, S.; KIRILENKO, A.; ZHANG, X.; VANLOOY, J. Evaluating flood potential with GRACE in the United States. *Natural Hazards and Earth System Sciences, Discussion.* 2015. v. 3: p. 6977-6996.

MONTECINO, H.C.; STAUB, G.; FERREIRA, V.G.; PARRA, L.B. Monitoring Groundwater Storage in Northern Chile Based on Satellite Observations and Data Simulation. *Boletim de Ciências Geodésicas.* 2016. v. 22 (nº1): p. 1-15.

NDEHEDEBE, C.; AWANGE, J.; AGUTU, N.; KUHN, M.; HECK, B. Understanding changes in terrestrial water storage over West Africa between 2002 and 2014. *Advances in Water Resources.* 2016. v. 88: p. 211-230.

RAMILLIEN, G.; FAMIGLIETTI, J. S.; WAHR, J. Detection of Continental Hydrology and Glaciology Signals from GRACE: A Review. *Surveys in Geophysics*, v. 29, n. 4-5, p. 361-374, 7 Nov 2008a.

RODEL L M.; FAMIGLIETTI, J. An Analysis of Terrestrial Water Storage Variations in Illinois with implications for the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE). 2001. *Water Resources Research.* v. 37, Nº 5, p. 1327-1339.

SUN, T.; FERREIRA, V.G.; HE, X.; ANDAM-AKORFUL, S.A. Water Availability of São Francisco River Basin Based on a Space-Borne Geodetic Sensor. 2016. *Water.* v. 8 20 p.

SWENSON, S; NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH STAFF. GRACE: Gravity Recovery and Climate Experiment: Surface mass, total water storage, and derived variables. 2013. *The Climate Data Guide.*

TAPLEY, B. D.; BETTADPUR, S.; WATKINS, M.; REIGBER, C. The Gravity Recovery and Climate Experiment: Mission overview and early results. *Geophys. Res. Lett.* 2004. v. 31. 6 p.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao centro de pesquisa Astrodinâmica da Universidade do Colorado pela disponibilização dos dados GRACE, ao Instituto Nacional de Meteorologia pela disponibilização dos dados de precipitação de Petrolina e ao Operador Nacional de Sistema Elétrico pela disponibilização dos dados volumétricos do reservatório.