



## ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO RIO DE ONDAS, ESTADO DA BAHIA

*Thamilin Costa Nakamura*<sup>1</sup>; *Pedro Henrique Bagnara Fistarol*<sup>2</sup>; *Rhaiane de Santana Brandolff*<sup>3</sup>; *José Yure Gomes dos Santos*<sup>4\*</sup>

**Resumo** – Este estudo apresenta a análise da variabilidade espacial da precipitação na Bacia do Rio de Ondas, Estado da Bahia, a partir de parâmetros estatísticos e o auxílio de técnicas de SIG. Para tanto foram utilizados dados de 9 estações pluviométricas, distribuídas no interior e nas proximidades da bacia, para o período de 1978 a 2013. Para o preenchimento de falhas mensais foi utilizado o método da ponderação regional e para a interpolação espacial da precipitação, que possibilitou a análise da variabilidade espacial da precipitação, foi utilizado o método da Krigagem ordinária. A partir dos dados observados, constatou-se que a distribuição da precipitação pluviométrica ao longo dos anos se mostra com significativa variação pluviométrica interanual, com uma média histórica anual de 1.083,7 mm, uma máxima de 1.557,9 mm, registrada no ano de 1985, e uma mínima de 706,9 mm, registrada no ano de 1990. Em relação à variabilidade espacial da precipitação, constatou-se que ela aumenta na direção de leste para oeste, devido à atuação dos Sistemas Frontais, que atuam nesse sentido, as Zonas de Convergência do Atlântico Sul e a diferença do padrão climático, que é predominantemente úmido na porção oeste da bacia e subúmido seco na porção leste.

**Palavras-Chave** – pluviometria; variabilidade espacial; interpolação espacial.

## ANALYSIS OF THE RAINFALL SPATIAL VARIABILITY IN ONDAS RIVER BASIN, BAHIA STATE

**Abstract** – This study presents the analysis of the rainfall spatial variability in Ondas River Basin, Bahia State, using statistical parameters and the help of GIS techniques. Therefore, we used data from nine rainfall stations distributed in and near the basin from the period of 1978 to 2013. For the filling of monthly failures, we used the method of regional balance and for the rainfall spatial interpolation, which allowed the analysis of the rainfall spatial variability, we used the method of ordinary kriging. Considering the observed data, it was found that the distribution of rainfall over the years showed significant year-on-year variation, with an historical annual average of 1083.7 mm. The highest variation, 1557.9 mm, was recorded in the year of 1985 and the lowest, 706.9 mm, was recorded in 1990. Regarding the rainfall spatial variability, it was found that it increases in the east-west direction, due to the actions of Frontal Systems, which act accordingly, to the South Atlantic Convergence Zone and to the difference in weather pattern, which is predominantly wet in the basin's western portion and dry sub-humid in the eastern portion.

**Keywords** – rainfall; spatial variability; spatial interpolation.

<sup>1</sup> Aluna do curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – UFOB, Barreiras – BA. E-mail: thamilintcn@hotmail.com.

<sup>2</sup> Aluno do curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – UFOB, Barreiras – BA. E-mail: pepéfista@hotmail.com.

<sup>3</sup> Aluna do curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – UFOB, Barreiras – BA. E-mail: rhaiane\_brandolff@hotmail.com.

<sup>4</sup> Professor Assistente do Centro das Humanidades – UFOB, Barreiras – BA. E-mail: joseyure.santos@ufob.edu.br.

\* Autor Correspondente



## **INTRODUÇÃO**

A mesorregião do Extremo Oeste Baiano tornou-se a principal fronteira agrícola do Estado da Bahia. Mendonça (2006) afirma que nas décadas de 80 e 90, a região iniciou sua expansão agropecuária sem precedentes, e devido ao acréscimo significativo nas áreas de grãos, cultivos perenes e na agricultura irrigada, produziram-se importantes transformações, principalmente no que se refere ao uso e ocupação da terra.

Coincidentemente, por volta da década de 70, tem-se registrado dados sobre a ocorrência e disposição das precipitações na região Oeste da Bahia, conforme visto na análise de dezenas de estações nessa região. A vinda dos diversos imigrantes, principalmente do sul do país, foi motivada pelo resultado dos promissores dados obtidos, onde constatou-se que a região possui clima com estações definidas, uma bacia hidrográfica de extraordinário suporte para projetos de irrigação, composta por rios perenes e de volume d'água suficiente para desenvolvimento das atividades agropecuárias.

Neste contexto de disponibilidade hídrica, tem-se a sub-bacia do Rio de Ondas, objeto desse estudo, que integra a Bacia do Rio Grande, que por sua vez é importante contribuinte da Bacia do Rio São Francisco. Os municípios de Barreiras e Luís Eduardo Magalhães, destaques no cenário agropecuário, encontram-se inseridos nesta sub-bacia, e por consequência, dependem do comportamento das precipitações para obter resultados satisfatórios no desenvolvimento das suas atividades.

Há diversos estudos que analisam a variabilidade espacial das precipitações em bacias hidrográficas (NERY *et al.*, 1998; ANDRADE *et al.*, 1999; KELLER *et al.*, 2005; NERY e ALVES, 2009; SILVA *et al.*, 2010), visto que a mensuração de precipitação é essencial para um melhor entendimento do ciclo hidrológico, para o manejo adequado de uma bacia hidrográfica, no controle do uso dos recursos naturais, para o abastecimento urbano, para embasar projetos de hidráulica e irrigação. Contudo, considerável número dos postos brasileiros de registros de dados hidrológicos possui séries hidrológicas caracterizadas por ausência de dados, assim, para não ser fazer uma análise errônea e tendenciosa utilizou-se apenas nove estações pluviométricas no presente estudo, visto que somente estas não apresentam considerável períodos com ausência de dados.

Estudar a variabilidade da precipitação é atualmente um aspecto provocante na área de recursos hídricos, visto à grande relevância sobre as implicações da disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas. O estudo do comportamento espacial da precipitação em uma bacia hidrográfica é fundamental para o mapeamento de áreas de aptidão para agricultura, bem como para o planejamento das atividades agrícolas e, sobretudo para o gerenciamento dos recursos hídricos.

Almeja-se, portanto, com o presente trabalho, analisar a variabilidade espacial da precipitação na Bacia do Rio de Ondas, a partir de parâmetros estatísticos e o auxílio de técnicas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Caracterização geral da área de estudo**

A Bacia do Rio de Ondas possui uma área de drenagem de aproximadamente 5.465 km<sup>2</sup> (FISTAROL *et al.*, 2015), o que corresponde a 7,3 % da área de drenagem da Bacia do Rio Grande. Está localizada na região extremo oeste do Estado da Bahia, entre as coordenadas de 11°55' e 12°34' de latitude sul e 46°23' e 45°0' de longitude oeste, conforme apresenta a Figura 1.

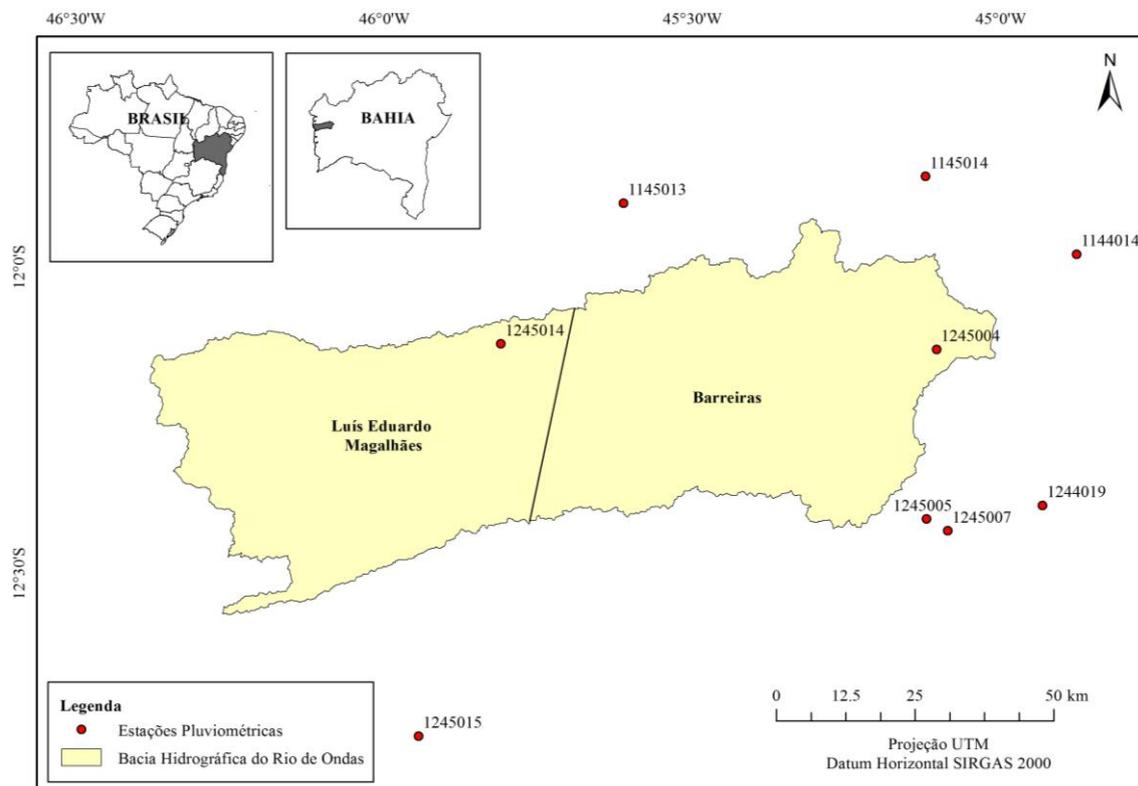


Figura 1 – Mapa de localização da Bacia do Rio de Ondas e das estações pluviométricas utilizadas.

Os municípios contidos na Bacia do Rio de Ondas são Barreiras e Luís Eduardo Magalhães (Figura 1), importantes polos agropecuários do Nordeste Brasileiro. O Município de Barreiras possui uma população de 137.427 habitantes e o Município de Luís Eduardo Magalhães, 60.105 habitantes. O Município de Barreiras, além de ser um importante polo agropecuário, é o principal centro urbano, político, educacional, tecnológico, econômico, turístico e cultural da região Oeste da Bahia (FISTAROL *et al.*, 2015).

## Dados utilizados no estudo

Foram utilizados dados de precipitação mensal de 9 estações pluviométricas distribuídas de acordo com a Figura 1. Com base na Figura 1, observa-se que a maioria das estações estão concentradas a leste da bacia, deixando uma grande porção da área da bacia descoberta, sobretudo a sua porção oeste. A má distribuição dos postos pluviométricos na bacia decorre principalmente da desativação de algumas estações ao longo dos anos. Na área da bacia ainda localizam-se estações que foram instaladas recentemente, e que por isso possuem uma série histórica curta de dados, o que impossibilita a sua utilização para períodos mais longos de análise. Ressalta-se que na bacia há somente 2 estações pluviométricas, o que não oferece confiabilidade na análise quando comparada a realidade, por isso, fez-se necessário a utilização de estações localizadas próximas à bacia.

Os dados pluviométricos utilizados correspondem ao período de 1978 a 2013, excluindo-se os dados do ano de 2009 por falta de dados em todas as estações no mês de maio. Os dados pluviométricos foram obtidos no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da Agência Nacional de Águas (ANA), disponível no endereço: <http://hidroweb.ana.gov.br/>.

As informações das estações pluviométricas utilizadas para este estudo estão descritas na Tabela 1.



Tabela 1 – Descrição das estações pluviométricas utilizadas.

Código	Posto	Município	Responsável	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1144014	São Sebastião	Angical	ANA	-11:58:46	-44:52:38	447
1145013	Ponte Serafim	Barreiras	ANA	-11:53:46	-45:36:43	713
1145014	Nova Vida	Barreiras	ANA	-11:51:9	-45:07:20	458
1244019	Fazenda Coqueiro	São Desidério	ANA	-12:23:21	-44:55:56	502
1245004	Fazenda Redenção	Barreiras	ANA	12:08:05	-45:06:15	490
1245005	Derocal	São Desidério	ANA	-12:24:41	-45:07:13	502
1245007	Sítio Grande	São Desidério	ANA	-12:25:50	-45:05:09	512
1245014	Fazenda Johá	Barreiras	ANA	-12:07:32	-45:48:39	725
1245015	Roda Velha	São Desidério	ANA	-12:45:55	-45:56:38	761

A Tabela 2 dispõe os períodos de falhas das estações pluviométricas utilizadas neste estudo entre o período de 1978 a 2013, com exceção do ano de 2009.

Tabela 2 – Descrição dos períodos de falhas das estações pluviométricas entre 1978 e 2013.

Código	Posto	Número de falhas	% de falhas	Período de falhas
1144014	São Sebastião	2	0,48	abr/2011; nov/2012
1145013	Ponte Serafim	0	-	-
1145014	Nova Vida	3	0,71	set a nov/2008
1244019	Fazenda Coqueiro	0	-	-
1245004	Fazenda Redenção	1	0,24	out/2012
1245005	Derocal	1	0,24	out/2011
1245007	Sítio Grande	0	-	-
1245014	Fazenda Johá	78	18,57	jan/1978 a jun/1984
1245015	Roda Velha	86	20,48	jan/1978 a dez/1984; abr/2007; ago/2008

Deu-se preferência à utilização de dados de precipitação consistidos (pela própria ANA), sendo utilizados dados brutos na ausência do anterior. Quando havia ausência dos dois, fez-se necessário a realização de preenchimento de falhas mensais dos postos pluviométricos, pelo método da ponderação regional.

### Método da ponderação regional

Para o preenchimento de falhas mensais das estações pluviométricas foi utilizado o método da ponderação regional (Equação 1):

$$P_x = \frac{1}{3} \left( \frac{M_x}{M_a} \times P_a + \frac{M_x}{M_b} \times P_b + \frac{M_x}{M_c} \times P_c \right) \quad (1)$$

sendo  $P_x$  a variável que guardará os dados corrigidos,  $M_x$  a média aritmética da estação com falha,  $M_a$ ,  $M_b$  e  $M_c$  a média aritmética das estações vizinhas, e  $P_a$ ,  $P_b$  e  $P_c$  são os dados das estações vizinhas a estação com falha, do mesmo ano que utilizamos para preencher a falha.

O método da ponderação regional consiste no preenchimento das falhas de uma estação através de uma ponderação com base nos dados de pelo menos três estações vizinhas, que devem ser de regiões climatológicas semelhantes à da estação em estudo e possuir uma série de dados de no mínimo 10 anos. Esta técnica é bastante utilizada para cobrir as falhas de séries mensais e anuais, entretanto, pode mascarar a variabilidade da precipitação, dependendo do intervalo a ser parametrizado (SILVA *et al.*, 2010).



## Método de interpolação espacial: Krigagem ordinária

Para analisar a variabilidade espacial da precipitação na Bacia do Rio de Ondas foi utilizado o método de interpolação de Krigagem ordinária. Este método foi escolhido por ser um dos mais eficientes e utilizados em estudos sobre interpolação de dados espaciais (MELLO *et al.*, 2003; REMACRE *et al.*, 2008 e SILVA *et al.*, 2010).

Matheron (1963) explica que o estimador de krigagem é obtido por meio da Equação 2:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

onde  $Z^*(x_0)$  é atributo da variável estimado no ponto;  $\lambda_i$  são os ponderadores de krigagem;  $Z(x_i)$  é o valor observado da variável Z no i-ésimo ponto.

O método da Krigagem fornece meios para interpolar valores para os pontos amostrados, usando o conhecimento sobre as relações de base espacial de um determinado conjunto de dados (SILVA, 2003 e LOUREIRO & LISBOA, 2011) e é baseado numa função contínua que explica o comportamento de uma variável nas distintas direções de um espaço geográfico.

Em ambiente SIG foram inseridos os dados hidrológicos contendo as informações da precipitação média anual das estações, para tal utilizou-se o software ArcGis 9.3. Com o uso da ferramenta *Kriging*, em *Spatial Analyst Tools – Interpolation*, gerou-se o mapa da distribuição da precipitação pelo o método de Krigagem ordinária.

Neste método, o processo assemelha-se ao da interpolação por média ponderada (IDW), diferenciando-se do IDW pelos pesos, em que são determinados a partir de uma análise espacial, baseado no semi-variograma (SOUZA *et al.*, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 é apresentada a evolução anual da precipitação média da Bacia do Rio de Ondas, bem como a média histórica anual (1.083,7 mm). Observa-se significativa variação pluviométrica interanual no decorrer da série histórica. Essa discrepância foi maior no período de 1985 até início da década de 90, onde no ano de 1989, a média anual foi de 1.441,7 mm, enquanto que no ano seguinte a média foi consideravelmente inferior, na ordem de 706,9 mm.

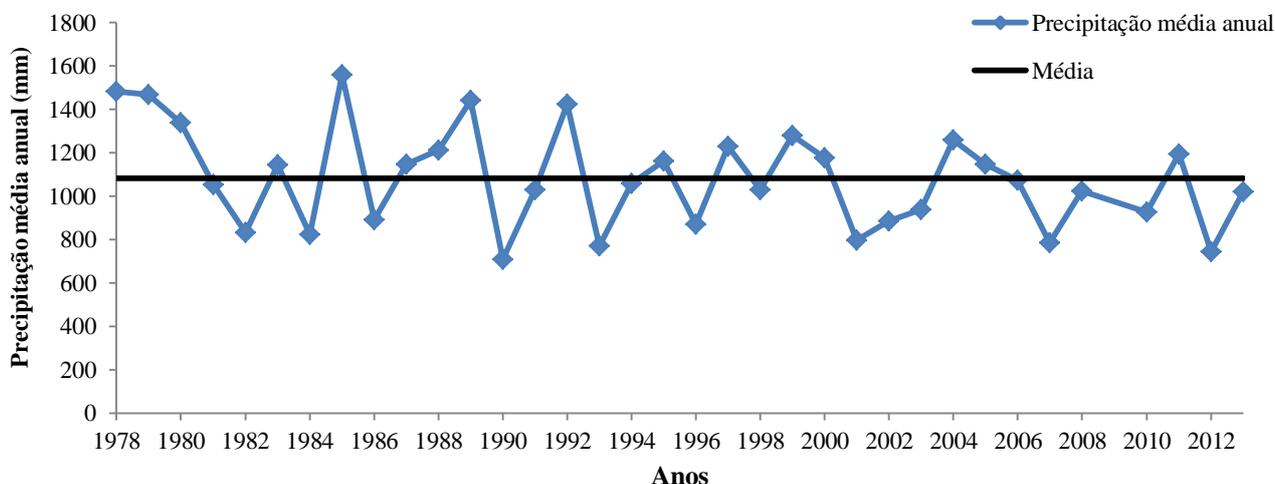


Figura 2 – Evolução anual da precipitação média pluvial da Bacia do Rio de Ondas.

A variabilidade anual e interanual podem ser explicadas no ponto de vista da climatologia como estando associados à influência dos eventos El Niño e La Niña, que influenciam na temperatura da superfície do mar e alteram o padrão de precipitação na região do Nordeste brasileiro (SILVA *et al.* 2010), contudo por meio da análise dos anos em que ocorreram o El Niño, não observou-se diminuição da pluviosidade. Segundo INEMA (2011), algumas áreas como sul e oeste do Nordeste não são afetadas significativamente pelo mesmo. Com relação aos anos de ocorrência da La Niña, também não houve uniformidade nos dados que pudessem caracterizar uma influência direta sobre a pluviosidade na bacia estudada (INEMA, 2011).

Ainda sobre a Figura 2, destacam-se os anos de 1978 a 1980 e de 1987 a 1989 como períodos de pluviosidade acima da média, com destaque para o ano de 1985, que apresentou o maior índice pluviométrico de toda a série histórica (1.557,9 mm). Também pode-se observar que os períodos de 2001 a 2003 e 2007 a 2010 foram abaixo da média histórica, com destaque para o ano de 1990, que apresentou o menor índice pluviométrico da série histórica analisada (706,9 mm).

A Figura 3 apresentada a espacialização da precipitação média anual para o período analisado, podendo-se observar que os índices pluviométricos aumentam na direção de leste para oeste, com índices que variam de 972 mm a leste, até 1.215 mm a oeste, o que representa um aumento de 25% da precipitação na porção oeste da bacia, quando comparado com a porção leste. E é na porção oeste da Bacia do Rio de Ondas que se concentram as atividades ligadas a agricultura mecanizada, conforme constatado por Almeida (2010).

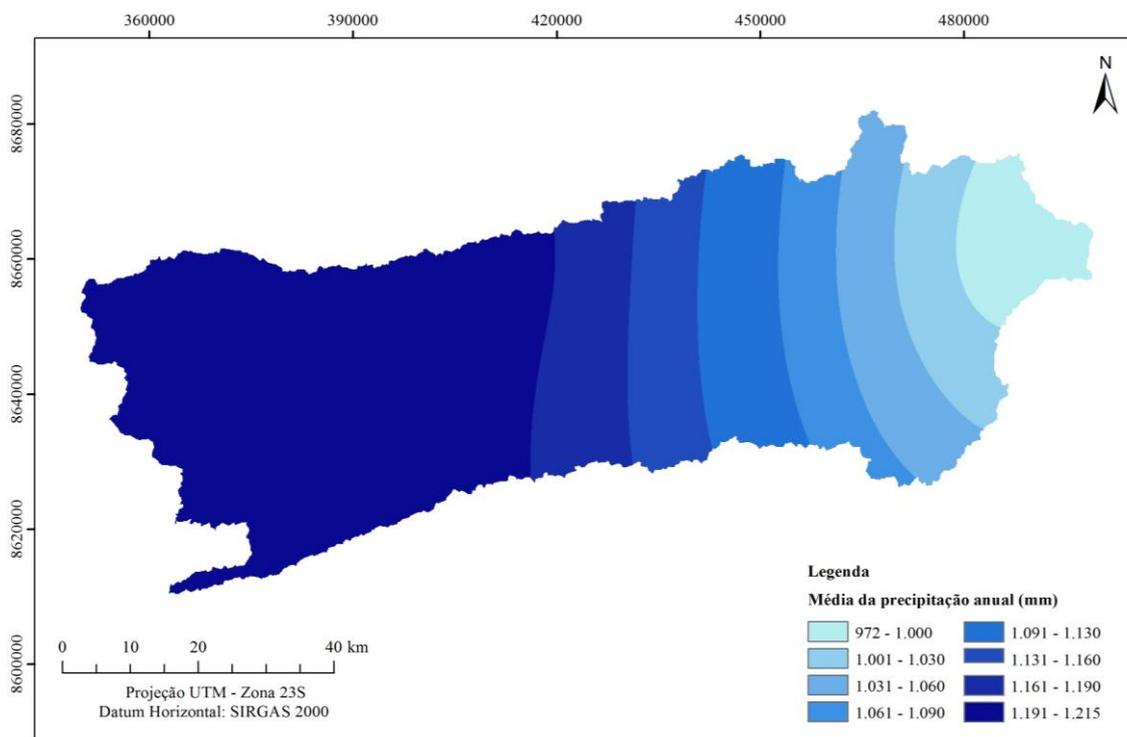


Figura 3 – Variabilidade espacial da precipitação média anual da Bacia do Rio de Ondas no período de 1978 a 2013.

Dourado *et al.* (2013) também afirma que a parte ocidental do Oeste da Bahia, onde está inserida a Bacia do Rio de Ondas, possui o segundo maior volume pluviométrico do Estado e, sobre esta região, atuam os Sistemas Frontais e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Andrade (2005) explica que os Sistemas Frontais se deslocam de oeste para leste, e ao penetrar no Brasil seus remanescentes têm influência na precipitação do sul da Região Nordeste, podendo



causar chuvas intensas. Por sua vez, Chaves (1999) explica que o padrão chuvoso está relacionado com o deslocamento da ZCAS para norte, enquanto que o padrão seco associa-se com o posicionamento da ZCAS em latitudes mais o sul e o cavado do Nordeste sobre ou próximo ao continente.

De acordo com Moreira (2010), além da atuação dos Sistemas Frontais e as ZCAS, a variabilidade pluviométrica, observada na Bacia do Rio de Ondas, se dá devido à porção oeste possuir clima predominantemente úmido, enquanto que a porção leste possui clima predominantemente subúmido seco. Esse comportamento da pluviometria na Bacia do Rio de Ondas necessita de mais análises de caráter científico, subsidiadas por um melhor monitoramento pluviométrico da bacia, pois dentre as cerca de 60 estações pluviométricas (localizadas no interior e nas proximidades da Bacia do Rio de Ondas), existentes no banco de dados da plataforma HidroWeb, apenas 9 estações não apresentam consideráveis períodos com ausência de dados no período compreendido entre 1978 e 2013.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Bacia do Rio de Ondas sofre constantes pressões devido ser de fundamental importância para a Região Oeste da Bahia, que depende do comportamento das precipitações para alcançar resultados satisfatórios no desenvolvimento da agropecuária. Contudo, ainda que a mensuração da precipitação seja essencial para se ter o gerenciamento adequado dos recursos hídricos e planejamento das atividades agrícolas, a referida bacia apresenta uma pequena quantidade e uma má distribuição de postos pluviométricos, necessitando da ampliação da rede de monitoramento.

A distribuição da precipitação pluviométrica ao longo dos anos se mostra com significativa variação pluviométrica interanual, não tendo relação com os fenômenos El Niño ou La Niña.

A bacia apresentou uma pluviometria média histórica anual de 1.083,7 mm, com uma máxima de 1.557,9 mm, registrada no ano de 1985, e uma mínima de 706,9 mm, registrada no ano de 1990. Os maiores índices pluviométricos foram registrados nos anos de 1978, 1979, 1985, 1989 e 1992. Já os anos mais secos foram os de 1990, 1993, 2001, 2007 e 2012.

Analisando-se a variabilidade espacial da precipitação média anual, na Bacia do Rio de Ondas, constatou-se que ela aumenta na direção de leste para oeste, devido à atuação dos Sistemas Frontais, que atuam nesse sentido, as Zonas de Convergência do Atlântico Sul e a diferença do padrão climático, que é predominantemente úmido na porção oeste da bacia e subúmido seco na porção leste.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R.S. (2010). *Mudanças no uso e cobertura do solo na Bacia do Rio de Ondas no período de 1984 a 2009*. Monografia de Graduação (Licenciatura em Geografia), Universidade Federal da Bahia, Barreiras, 86 p.

ANDRADE, A.R.; BALDO, M.C.; NERY, J.T. (1999). Variabilidade sazonal da precipitação pluviométrica de Santa Catarina. *Acta Scientiarum*, 21(4), pp. 923-928.

CHAVES, R. R. (1999). Variabilidade da precipitação na Região Sul do Nordeste e sua associação com padrões atmosféricos. *Revista Brasileira de Geofísica*, 17(2-3), pp. 220.



DOURADO, C.S.; OLIVEIRA, S.R.M.; AVILA, A.M.H. (2013). Análise de zonas homogêneas em séries temporais de precipitação no Estado da Bahia. *Bragantia*, 72(2), pp.192-198.

FISTAROL, P.H.B.; BRANDOLFF, R.S.; SANTOS, J.Y.G. (2015). Análise Fisiográfica da Bacia do Rio de Ondas – BA. In *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, João Pessoa-PB, INPE, pp. 5469-5476.

INEMA – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2011). Monitoramento: El Niño e La Niña. Disponível em: <<http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2011/11/Informa%C3%A7%C3%B5es-do-La-Ni%C3%BA.pdf>>. Acesso em: 27 de maio de 2015.

KELLER, T.; ASSAD, E.D.; SCHUBNELL, P.R. (2005). Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(4), pp. 311-322.

LOUREIRO, G.E.; LISBOA, É.G. (2011). Comparação dos métodos de interpolação espacial aplicados a dados pluviométricos da região hidrográfica Tocantins – Araguaia. In *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Maceió-AL, ABRH, pp. 1-20.

MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M.; MELLO J.M.; OLIVEIRA, M.S. (2003). Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27(9), pp. 925-933.

MENDONÇA, J.O.O. (2006). Potencial crescimento da produção de grãos do Oeste da Bahia. *Bahia Agrícola*, 7(2), pp. 38-46.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D.D. *Atlas Hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio Grande*. (2010). Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz. 41p.

NERY, J.T.; FACHINI, M.P.; TANAKA, L.K.; PAIOLA, L.M., MARTINS, M.L.O.F.; BARRETO, L.E.G.S., TANAKA, I. (1998). Caracterização das precipitações pluviométricas mensais para os Estados de Alagoas, Pernambuco e Sergipe. *Acta Scientiarum*, 20(4), pp. 515-522.

NERY, J.T.; ALVES, R.T. (2009). Variabilidade da precipitação pluvial na UGRH do Médio Paranapanema, Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum*, 31(1), pp. 93-102.

REMACRE, A.Z.; NORMANDO, M.N.; SANCEVERO, S.S. (2008) Krigagem das proporções utilizando a krigagem da média: uma ferramenta auxiliar na modelagem de reservatórios. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(1), pp. 82-87.

SILVA, R.M.; SILVA, L.P.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SANTOS, C.A.G. (2010). Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da precipitação na Bacia do Rio Tapacurá, Pernambuco. *Sociedade & Natureza*, Edição 22 (2), pp 357-372.

SOUZA, J.L.L.L.; GOMES, T.S.; DIAS, R.S.; OLIVEIRA, G.M.A.; SANTOS, R.L. (2011). Avaliação de métodos de interpolação aplicados à espacialização das chuvas no território identidade Portal do Sertão/Bahia. In *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Curitiba: INPE, pp.4295-4302.