Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO PARA ESPACIALIZAÇÃO DE CHUVAS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA CALHA NORTE, PARÁ

FERREIRA FILHO, David Figueiredo – davydferreira@gmail.com
Universidade Federal do Pará / UFPA

BEZERRA, Paulo Eduardo Silva – pauloeduardoea@gmail.com
Universidade Federal do Pará / UFPA

SILVA, Maria de Nazaré Alves da – nazare_alves@hotmail.com
Universidade Federal do Pará / UFPA

RODRIGUES, Rodrigo Silvano Silva – r2rodigo@hotmail.com
Universidade Federal do Pará / UFPA

FIGUEIREDO, Nélio de Moura – neliomfigueiredo@outlook.com
Universidade Federal do Pará / UFPA

RESUMO: O presente estudo tem por objetivo analisar o comportamento hidrológico da média das precipitações pluviométricas, por meio de ferramentas de geoprocessamento e estatística - Krigagem e Interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW). Esses métodos de interpolação são ferramentas usualmente utilizadas para gerar superfícies distribuídas de uma determinada variável a partir de dados pontuais de precipitação. Assim, avaliou-se, comparativamente, dois métodos de interpolação de chuvas para a região hidrográfica Calha Norte, localizada no Estado do Pará. Os dados para a interpolação das médias diárias de chuva foram extraídos na plataforma online Hidroweb, disponível pela Agência Nacional de Águas (ANA). Para análise dos dados foram executadas interpolações, com auxílio do software Arcgis 10.5, em 3 etapas: a primeira com séries históricas com dados entre 31 a 49 anos, a segunda com dados entre 13 a 49 anos e a terceira dados menores que 30 anos. Também, foram elaborados mapas temáticos sobre hipsometria, tipos de solos e vegetação para sobreposição de imagens, uma vez que diversos trabalhos associam estas variáveis com mudanças climáticas. Posteriormente, utilizaram-se 1.500 pontos de controle em toda bacia para verificar a correlação de Pearson entre os métodos geoestatísticos. Os resultados mostraram comportamentos similares na área de estudo, sendo que 4 análises obtiveram uma correlação maior que 0,8 (forte). Portanto, apesar de um número reduzido de estações na área de estudo, os métodos de interpolação foram satisfatórios na análise da distribuição da chuva na região hidrográfica Calha Norte, onde se constatou a predominância de maior ocorrência de precipitação no sentido leste-oeste, em áreas de baixas altitudes, com florestas densas e com duas características de solos (latossolos e podzólicos).

Palavras-chave: Precipitações Pluviométricas, Interpolação, Regiões Hidrográficas, Krigagem, IDW.

APPLICATION OF INTERPOLATION TECHNIQUES FOR SPATIALIZATION OF RAIN FROM CALHA NORTE HYDROGRAPHIC REGION, PARÁ

ABSTRACT: The present study has the objective of analyzing the hydrological behavior of the average rainfall by means of geoprocessing and statistical tools - Kriging and

Interpolation by Inverse Distance Weighting (IDW). These interpolation methods are tools commonly used to generate distributed surfaces of a given variable from punctual precipitation data. Thus, two methods of rain interpolation were evaluated for the North Calha River basin, located in the State of Pará. Data for the interpolation of daily rainfall averages were extracted from the online platform Hidroweb, available from the National Water Agency (ANA). For the analysis of the data, interpolations were performed using the Arcgis 10.5 software, in 3 stages: the first with historical series with data between 31 to 49 years, the second with data between 13 to 49 years and the third data smaller than 30 years. Also, thematic maps were elaborated on hypsometry, soil types and vegetation for overlapping of images, since several studies associate these varivables with climatic changes. Subsequently, 1,500 control points were used in each basin to verify the Pearson correlation between the geostatistical methods. The results showed similar behavior in the study area, and 4 analyzes obtained a correlation higher than 0.8 (strong). Therefore, in spite of a reduced number of stations in the study area, the interpolation methods were satisfactory in the analysis of the rainfall distribution in the Calha Norte hydrographical region, where the predominance of a greater occurrence of precipitation in the east-west direction was verified. areas with low altitudes, with dense forests and with two types of soils (latosols and podzolic).

Keywords: Precipitation, Interpolation, Hydrographic Regions, Kriging, IDW.

1. INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica é uma das variáveis climatológicas mais importantes na manutenção do clima e no desenvolvimento socioeconômico (AMORIM et al., 2008), por estar diretamente ligada ao planejamento e a estruturação do espaço urbano, visto que estes podem ocasionar alagamentos que provocam diversos problemas à sociedade.

A distribuição da precipitação sobre a superfície terrestre é muito mais complexa, quando comparada com outras variáveis como a insolação e/ou a temperatura do ar, devido ao seu padrão de distribuição sobre o globo terrestre depender de diversos fatores, como: topografia, distância de grandes corpos hídricos, direção e caráter das massas de ar predominantes entre outros (AYOADE, 2010).

Marcuzzo et al. (2010) relatam que através dos estudos de precipitações pluviométricas, o tratamento dos dados, bem como sua interpolação são importantes e necessários para áreas onde há poucas informações pluviométricas ou em regiões onde estão irregularmente distribuídas. Dentre os diversos métodos de interpolação, tem-se: Inverso da distância ponderada (IDW), Krigagem (KG) e métodos de vizinhos mais próximos, além dos métodos geoestatísticos.

Entretanto, a literatura não determina um método que se sobressaia ao outro, mas deve-se determinar o melhor método para cada circunstância (LENNON e TUNNER, 1995), uma vez que para cada região um determinado método torna-se o mais apropriado, quando comparado a outro, principalmente, pela variabilidade espacial e sua correlação com outras variáveis.

Gardiman Júnior et al. (2012); Loureiro e Fernandes (2013); Righe e Basso (2016); Anjos et al. (2017); Farias et al. (2017) aplicaram o método da interpolação no estudo da distribuição de precipitações pluviométricas, com aplicação da Kringagem e/ou o inverso da distância ponderada (IDW) em regiões e bacias hidrográficas brasileiras. Esses métodos dependem da similaridade de dados e utilizam funções matemáticas para realizar a

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

interpolação (KEBLOUTI; QUERDACHI; BOUTAGHANE, 2012; FIRDAUS e TALIB, 2014).

Essas técnicas de interpolação, por apresentarem boa precisão e agilidade, permitem desenvolver práticas apropriadas, além de medidas mitigadoras quanto às culturas e atividades implantadas em uma localidade, onde o clima influencia diretamente no desenvolvimento dos vegetais, conforme observado por Gardiman Junior (2012).

Desta forma, o principal objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento hidrológico das precipitações pluviométricas médias diárias, por meio de ferramentas de geoprocessamento e estatística, como Krigagem e interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW) na região hidrográfica Calha Norte, associando estas variáveis hidrológicas a hipsometria, tipos de solos e vegetação compreendendo que estas correlações podem influenciar a dinâmica de mudanças climáticas.

Esta região hidrográfica localiza-se no Estado do Pará, conforme Resoluções nº 30/2003 e nº 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), correspondendo a 21,5% do da área estadual e constituída pelas bacias dos rios Nhamundá, Trombetas, Cuminapanema, Maecurú, Parú e Jarí. Tendo como principais drenagens os rios com mesma denominação das bacias, conforme definição na Lei nº 6.381/2001.

A região se situa em uma área de elevada altitude no estado e possui grandes rios, porém, apesar de sua importância, as informações de fluxo de água são escassas, o que dificulta a concepção de projetos de engenharia, drenagem de canais, bem como os relacionados à conservação do solo e da água, entre outros (TEIXEIRA et al., 2011).

2. ÁREA DE ESTUDO

A região hidrográfica Calha Norte localizada no estado do Pará (Figura 1) é delimitada geograficamente pelo rio Amazonas, desde a sua entrada no estado até sua foz. Ao norte faz fronteira com os estados do Amapá, Roraima, Amazonas e com os países, Guiana, Guiana Francesa e Suriname. Devido a esta característica, possui posição estratégica para a segurança nacional, dada sua riqueza mineral e florestal. Caracteriza-se por concentrar um dos maiores mosaícos de áreas protegidas do estado, divididas entre Terras Indígenas, Florestas Nacionais, Florestas Estaduais, Estações Ecológicas, Áreas de Proteção Ambientais (APA) e Reserva Biológica (ZEE, 2010).

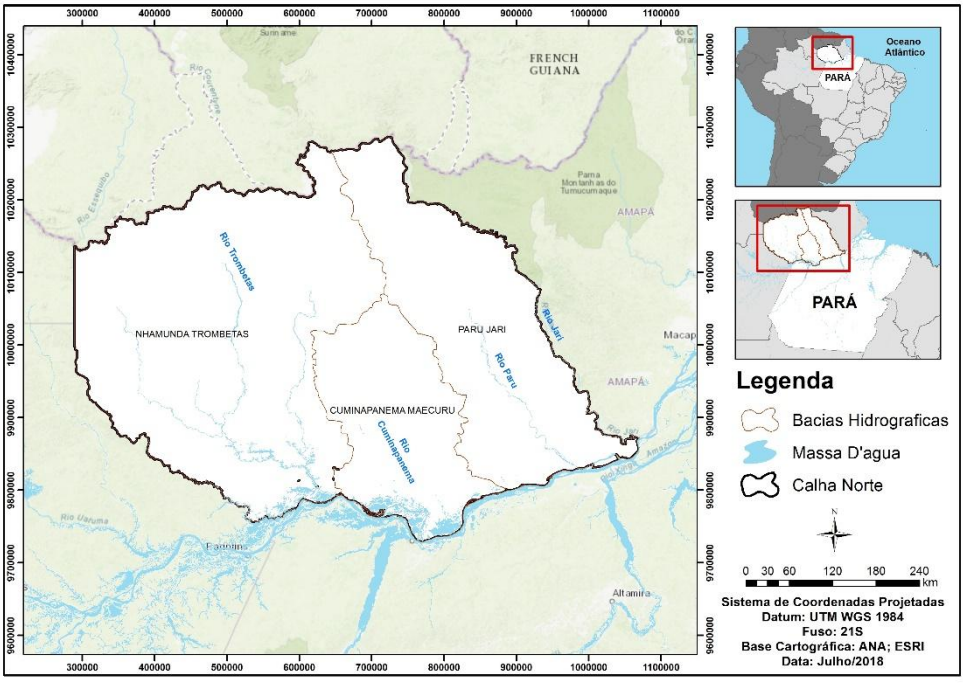

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

Esta região hidrográfica é compreendida por 3 sub-bacias: Nhamundá–Trombetas, Cuminapanema–Maecurú e Parú–Jarí. Integra os municípios de Faro, Terra Santa, Oriximiná, Óbidos, Curuá, Alenquer, Monte Alegre, Prainha e Almerim, compreendendo uma área de 28.026.190 ha e população de 320.558 habitantes (IBGE, 2010). Nessa composição destaca-se o município de Santarém, o qual está parcialmente inserido na região hidrográfica, porém, no estudo sua área foi considerada integralmente na análise dos dados.

3.MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. OBTENÇÃO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Para análise e compreensão da dinâmica da precipitação pluviométrica na região hidrográfica Calha Norte, foram utilizadas as séries históricas das médias diárias de chuva, obtidas de estações com dados disponíveis no sítio web da Agência Nacional de Águas (ANA) por meio da plataforma online Hidroweb.

As estações pluviométricas da região são distribuídas de forma espacial irregulares (Figura 2), dificultando a realização de estudos na região, dessa forma optou-se por interpolar as estações localizadas no interior da região hidrográfica bem como estações externas a Região, porém, pertencentes a mesma bacia hidrográfica, para melhor entender o comportamento pluviométrico. Para tanto, dividiram-se as análises em 3 etapas, cada uma gerando dois subprodutos, permitindo dessa forma, a análise do comportamento da precipitação na área de estudo.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

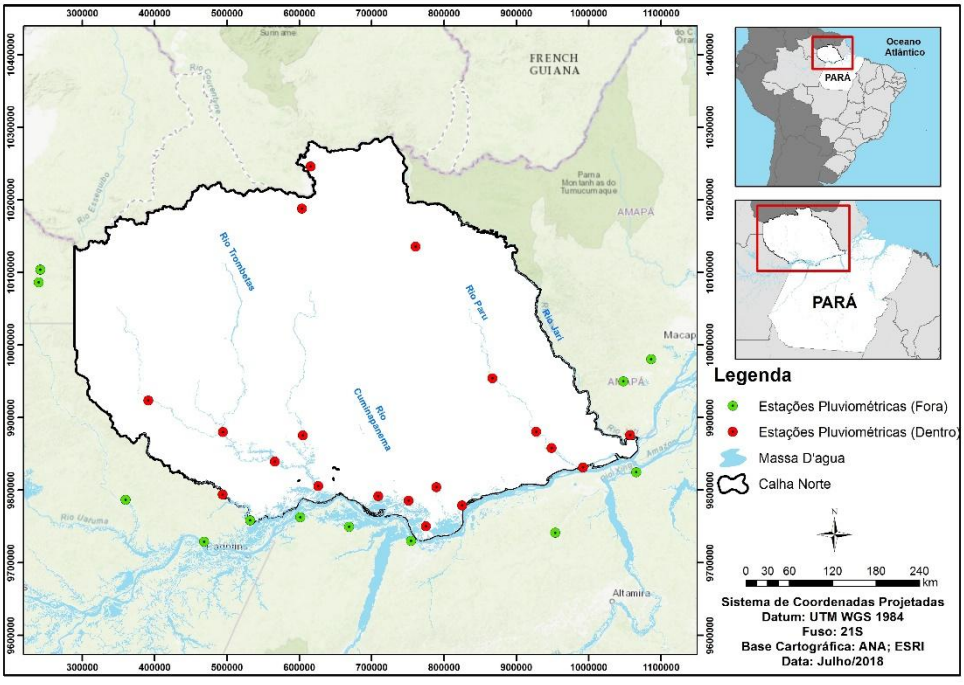

Figura 2 - Mapa de localização das estações pluviométricas.

Ao todo foram identificadas 52 estações disponíveis na região hidrográfica Calha Norte, com extensão de dados variando entre 13 a 49 anos, conforme se apresenta no Quadro 1.

Quadro 1 - Quadro das estações pluviométricas com série histórica entre 13 a 49 anos.

ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRIAS INTERNAS A BACIA HIDRÓGRÁFICA DA CALHA NORTE			
SUB BACIA PARUJARI			
MUNICÍPIOS	**NOME ESTAÇÃO**	**SÉRIE HISTÓRICA**	**DADOS CONSISTIDOS**
Almerim	Almerim	35	1982 – 2006
	Tirios2	34	Não possui
	Apalai	32	1982 – 2006
Monte Alegre	Fazenda Bela Vista	32	1985 – 2006
	Fazenda Paquirá	17	Não possui
	Arapari	45	1972 – 2006
	Monte Alegre	43	Não possui
Prainha	Prainha	37	1980 – 2006
	Santa Cruz	33	1984 - 1997 / 2001 – 2006

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

SUB BACIA TAPAJÓS			
MUNICÍPIOS	**NOME ESTAÇÃO**	**SÉRIE HISTÓRICA**	**DADOS CONSISTIDOS**
Alenquer	Boca do Inferno	42	1975 – 2006
	Jarilândia	37	1980 – 2006
	Alenquer	28	1989 – 2006
	Vila Curuá	23	1994 – 2006
Santarém	Paraná Rio Amazonas*	13	Não possui
SUB BACIA TROMBETAS			
MUNICÍPIOS	**NOME ESTAÇÃO**	**SÉRIE HISTÓRICA**	**DADOS CONSISTIDOS**
Oriximiná	Cachoeira da Porteira	42	1975 – 2006
	Oriximiná	49	1968 – 2006
	Vista Alegre Conj1	40	1977 – 2001
	Aldeia Wai-Wai	26	1993 – 2005
	Porto Trombetas	18	1999/2001/2004-2007
	Kuxaré	13	1999/2001-2006
Faro	Português	27	1989 – 2005
ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS EXTERNAS A BACIA HIDRÓGRÁFICA DA CALHA NORTE			
Municípios	**Nome Estação**	**Série Histórica**	**Dados Consistidos**
Porto de Moz	Itapeua do Pará	31	1986 – 2006
	Carrazedo	28	1989 – 2006
Santarém	Santarém	49	1968 – 2006
	Curuai	28	1989 – 1998
Magazão/AP	São Pedro	20	1997 – 2006
	Vila do Maraca	20	1997 – 2006
Juruti	Juruti	35	1984 – 2006
Nhamundá	Nhamundá	35	1984 – 2006
Parintis/AM	Mocambo	28	1995 – 2006
Caroebe/RR	Sítio Santa Maria	28	1990 – 2007
Urucará/AM	Jatapu	17	Não possui
Rorainópolis/RR	São José	17	2000 – 2006

Fonte: Adaptado da ANA (2018).

Na primeira etapa foram identificadas 17 estações com dados entre 31 a 49 anos, onde 13 estão localizadas na área de estudo e 4 são externas. Após a identificação destas estações, realizaram-se as interpolações dos dados das 13 estações localizadas na área de estudo, gerando o primeiro subproduto. Posteriormente, fez-se novamente o uso das mesmas ferramentas para interpolar os dados, desta vez usando todas as estações internas e externas a área, gerando o segundo subproduto.

Na segunda etapa foram inseridas na análise somente estações pluviométricas com dados entre 13 a 49 anos, compreendendo 33 estações,

onde 21 estão localizadas na área de estudo e 12 são externas, resultando no terceiro e quarto subproduto, para as estações internas e todas as estações, respectivamente.

Na terceira etapa foram interpolados os dados históricos menores que 30 anos, resultando no quinto e sexto subproduto, considerando as estações internas e o total de estações, respectivamente.

A análise dos modelos de distribuição de precipitações pluviométricas médias diárias, na região hidrográfica Calha Norte, foi discutida considerando sua divisão em sub-bacias hidrográficas (Nhamundá–Trombetas, Cuminapanema–Maecurú e Paru-Jari).

3.2. FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO

A elaboração dos mapas das médias diárias de precipitações pluviométricas na região hidrográfica Calha Norte, consistiu na análise geoestatística com auxílio do software Arcgis 10.5 com adoção da projeção Universal Tranversa de Mercator (UTM) datum WGS 1984 e fuso 21 sul. A técnica de geoestatística utilizada foi a interpolação pelos métodos de Krigagem (KG) e Inverso da Distância Ponderada (IDW).

Os dados de entrada foram as coordenadas de localização das estações pluviométricas com os valores das precipitações médias diárias. Assim, foram gerados produtos no formato raster, resultando no valor estimado da precipitação para a área de estudo, resultando em mapas elaborados a partir dos métodos de interpolação, distintos entre as estações pluviométricas internas a área de estudo e as estações totais (internas e externas).

3.2.2 MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO - KRIGAGEM

A técnica da Krigagem pertence ao grupo de interpoladores estocásticos, bem como o IDW, são aplicados de maneira local e global, baseiam-se na hipótese de que a variação espacial de uma variável pode ser expressa como função da distância entre pontos (DRUCK, 2004; FRANCO; UDA, 2015; HUISMAN; BY, 2009; SCHETTINI, 2009).

A Krigagem é um algoritmo que utiliza parâmetros geoestatísticos que, através da construção de um semivariograma, infere no comportamento dos dados (esférico, exponencial, gaussiano etc.), considerando a autocorrelação espacial das variáveis regionalizadas calculada pelo semivariograma (LANDIM, 2000; SOUZA et al., 2011) constitui, assim, um modelo anisotrópico.

Neste método de interpolação cada interpolador é eficaz para ser aplicado a determinado evento analisado e associado as características da área em estudo. Tornando importante verificar se o método de interpolação está adequado ao estudo por meio da comparação dos dados estimados com os observados, assim como na análise da distribuição espacial do evento na superfície interpolada (LANDIM, 2000). Para comparar modelos, tem-se o cálculo de erros, que tem por base as diferenças entre os valores estimados e observados.

Esse método tem como base uma função contínua que explica o comportamento de uma variável nas distintas direções de um espaço

geográfico, e permite associar a variabilidade da estimação com base na distância que existe entre um par de pontos, pelo uso de um semivariograma (GALLARDO, 2006). A determinação experimental do semivariograma para cada valor de h considera todos os pares de amostras z(x) e z(x+h), separadas pelo vetor distância h, a partir da Equação (1):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)^2] \quad (1)$$

Em que:

γ(h): é o semivariograma estimado;

N(h): é o número de pares de valores medidos;

z(x) e z(x+h): separados pelo vetor h.

3.2.3 MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO – IDW

De acordo com Marcuzzo, Andrade e Melo (2011) o IDW é considerado uma das técnicas de interpolação mais usadas para pontos distribuídos espacialmente, além do mais simples método de interpolação por atribuir peso maior ao ponto mais próximo, diminuindo esse peso com o aumento da distância e em função do coeficiente potência α, dada pela Equação (2).

$$\hat{Z}(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n} Z(x_i) \frac{1}{dij^{\propto}}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{dij^{\propto}}} \quad (2)$$

Em que:

z = valores estimados; x = número de amostras; xi = valores conhecidos; di = distâncias entre os valores conhecidos e estimados.

3.2.4 LEVANTAMENTO HIPSOMÉTRICO, PEDOLÓGICO E VEGETAÇÃO

No mapa de elevação da região hidrográfica Calha Norte foram utilizadas 25 imagens de radar Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de resolução espacial de 30 metros disponíveis no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), elaborados com auxílio do software ArcGis 10.5.

A verificação pedológica da região hidrográfica Calha Norte partiu do levantamento de dados de solos disponibilizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) que apresenta mapa de pedologia na escala de 1:5.000.000 para todo território brasileiro (SANTOS et al., 2011). Os dados de vegetação foram extraídos do Projeto RADAMBRASIL (IBGE, 2004).

Estes mapas temáticos auxiliaram o entendimento do comportamento das precipitações pluviométricas médias diárias na região, uma vez que diversos trabalhos associam a dinâmica da biomassa vegetal, tipos de solo com as variáveis climáticas, como nos estudos de Donha et al. (2006), Metcalfe et al. (2008), Aragão et al. (2009), Silva et al. (2009) e Chave et al. (2010).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

3.2.5 VALIDAÇÃO DAS TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO

A validação das interpolações foi desenvolvida com a aplicação do método de Pearson, com a utilização de 1.500 pontos de controle em toda região hidrográfica Calha Norte com objetivo de verificar a correlação entre os métodos geoestatísticos de Krigagem e IDW. Esse método é aplicado para a validação e verificação, avaliando o desempenho dos interpoladores por meio da correlação entre os valores obtidos no método KG e IDW, obtendo-se a precisão dos dados por meio do coeficiente de determinação (R^2) dada pela Equação (3):

$$R^2 = \frac{(\sum \hat{Y} - \overline{Y})^2}{(\sum Y - \overline{Y})^2} \quad (3)$$

Em que: $\hat{Y}$ é a variável estimada; $\overline{Y}$ variável e Y é a variável observada.

O método de Pearson mostra uma relação linear entre duas variáveis com valores situados entre 1 e -1, e quanto mais próximo de 1, a relação é perfeita entre as duas variáveis (positivo ou negativo) (CAMERA et al., 2014).

Dessa forma, no presente estudo considerou-se a classificação de intervalos de correlação em: perfeita (r = 1), forte (1> r >0,75), moderada (0,75> r >0,5), fraca (0< r <0,5) e inexistente (r = 0). Para a análise dos dados utilizou-se um intervalo de confiança de 95% e nível de significância de 5%. Logo duas variáveis que estão perfeitamente correlacionadas positivamente (r=1) movem-se essencialmente na mesma direção, enquanto dois conjuntos que estão perfeitamente correlacionados negativamente movem-se em direções opostas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos modelos de distribuição de precipitações pluviométricas médias diárias, na região hidrográfica Calha Norte, interpolados pelos métodos KG e IDW, evidenciou que as sub-bacias hidrográficas Nhamundá–Trombetas e Cuminapanema–Maecurú apresentaram distribuição significativa para os dois métodos. Enquanto na sub-bacia Paru–Jari pelo método IDW, a precipitação variou de 5 a 5,5 mm em mais de 90% de sua área, porém, no método KG, observou-se uma variabilidade mais expressiva, como apresentado na Figura 3. Nesta análise foram consideradas as estações internas a área de estudo e temporalidade entre 30 a 49 anos.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

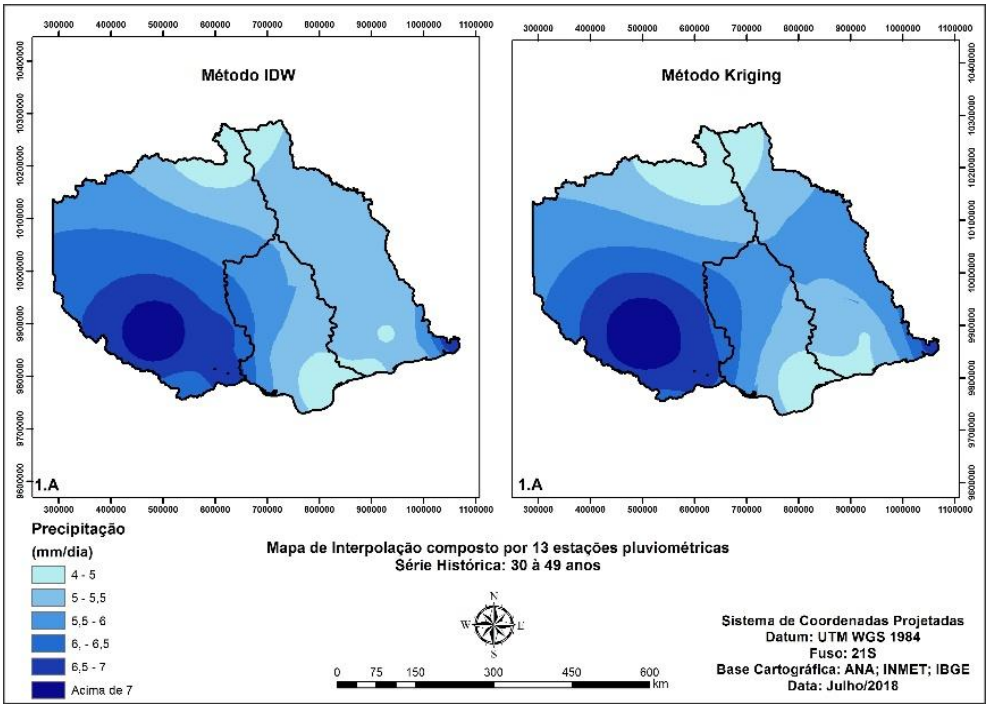

Figura 3 - Distribuição espacial das precipitações pluviométricas na RH Calha Norte – Estações internas a área e temporalidade de 30 a 49 anos.

Ao inserir as estações externas na análise e mantendo a temporalidade, observa-se que no método IDW a precipitação apresentou o mesmo comportamento, enquanto no KG a variação diminuiu, predominando a faixa de 5 a 5,55 mm, Figura 4.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

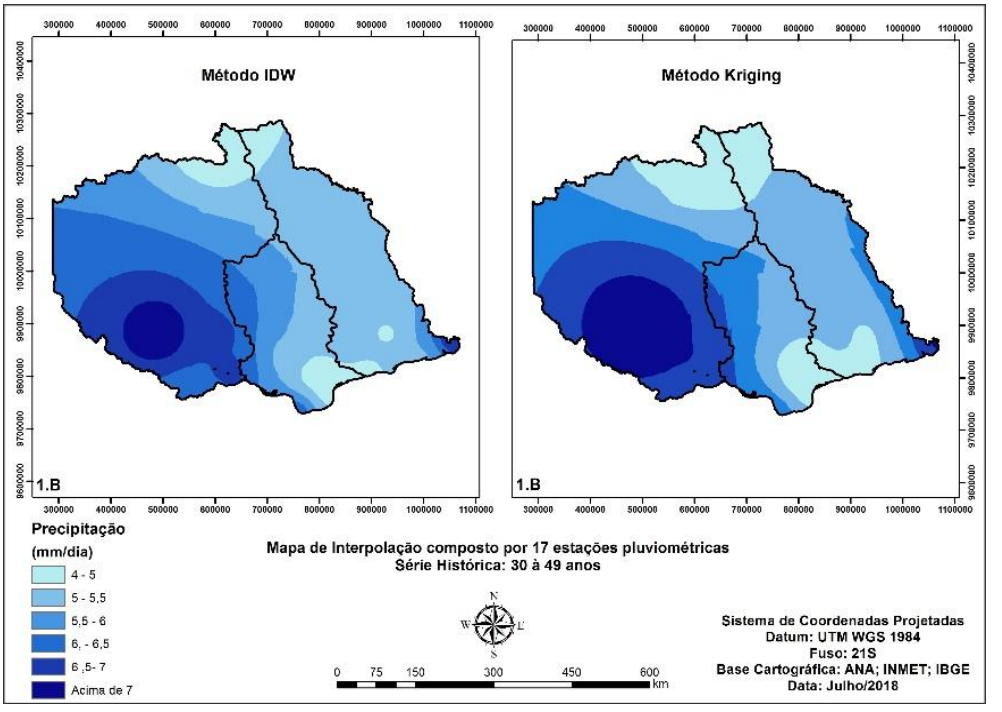

Figura 4 - Distribuição espacial das precipitações pluviométricas na RH da Calha Norte – Estações internas e externas a área e temporalidade de 30 a 40 anos.

Aumentando a temporalidade (13 a 49 anos) e analisando somente as estações internas a área de estudo, a distribuição da precipitação difere consideravelmente da análise anterior, assim como entre os métodos. Observa-se que pelo método KG, na sub-bacia Paru – Jari ocorre um aumento da precipitação entre 5,5 a 6 mm, pelo IDW ela é mais distribuída, Figura 5.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

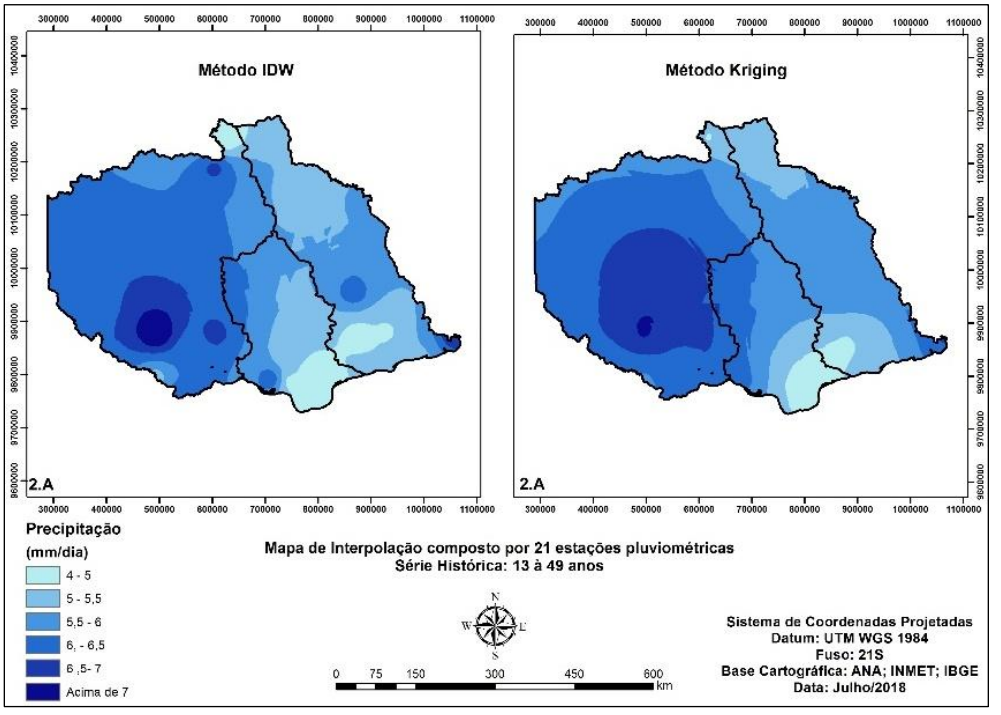

Figura 5 – Distribuição espacial das precipitações pluviométricas na RH da Calha Norte – Estações internas a área.

Inserindo as estações externas a área de estudo e mantendo a temporalidade (13 a 49 anos), observa-se pelo método KG apenas 3 faixas de precipitações, enquanto na análise anterior ocorriam 6 faixas de precipitações na sub-bacia Nhamundá – Trombetas, e nas duas outras sub-bacias o comportamento não alterou significativamente.

Na Figura 6 mostra-se a distribuição espacial da precipitação pluviométrica para os dois métodos de interpolação na Região Hidrográfica.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

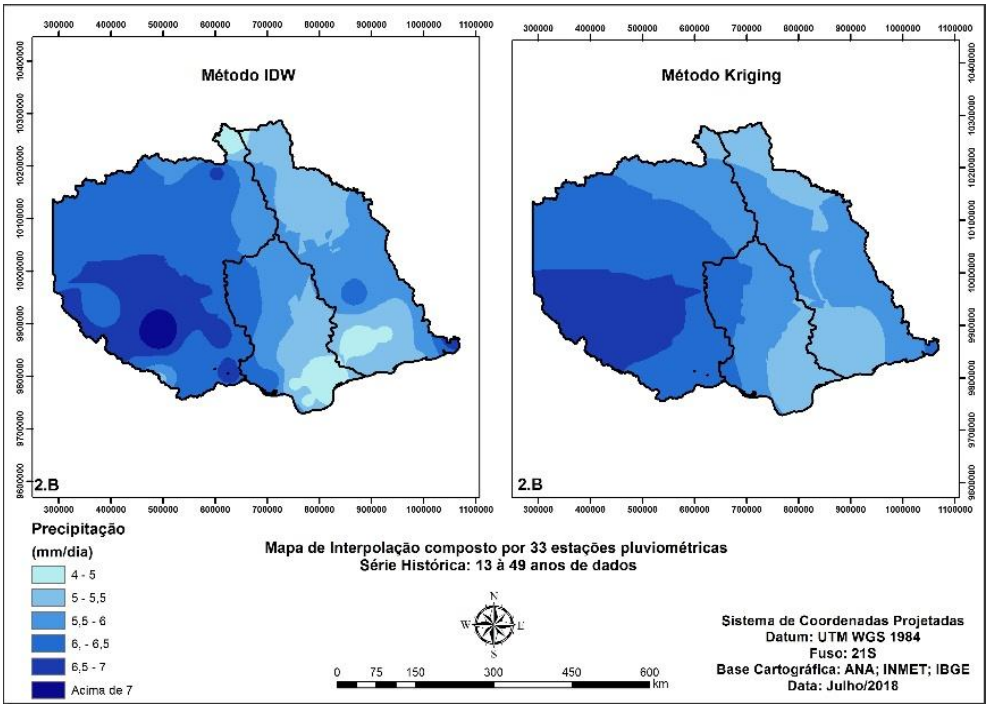

Figura 6 – Distribuição espacial das precipitações pluviométricas na RH da Calha Norte – Estações internas e externas a área de estudo.

Ao diminuir a temporalidade (menor que 30 anos) da precipitação pluviométrica e analisando somente as estações internas a Região Hidrográfica, observa-se que a distribuição das precipitações difere significativamente entre os dois métodos para as três sub-bacias.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

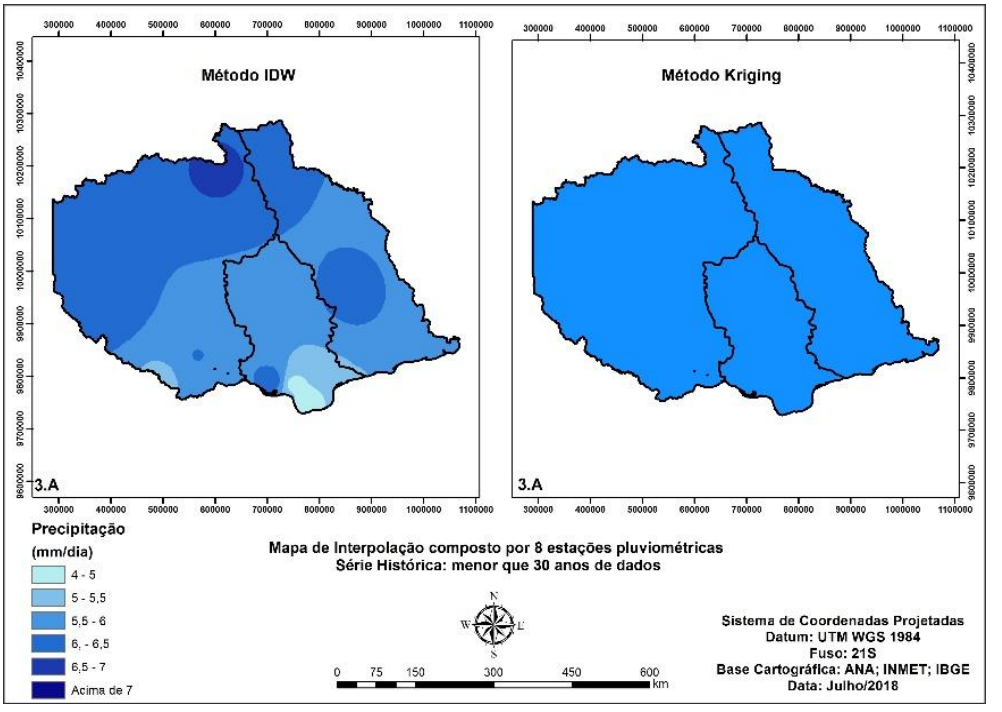

Figura 7 – Distribuição espacial das precipitações pluviométricas na RH da Calha Norte – Estações internas a área.

Considerando tanto as estações internas como as externas a Região Hidrográfica e mantendo a temporalidade menor que 30 anos, a precipitação pelo método IDW não mostrou alteração significativa na distribuição da precipitação. Enquanto no método KG, que além de apresentar distribuição totalmente diferente do IDW, também apresentou alterações significativas para as sub-bacias Cuminapanema – Maecurú e a Paru – Jari, como evidenciado na Figura 8.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

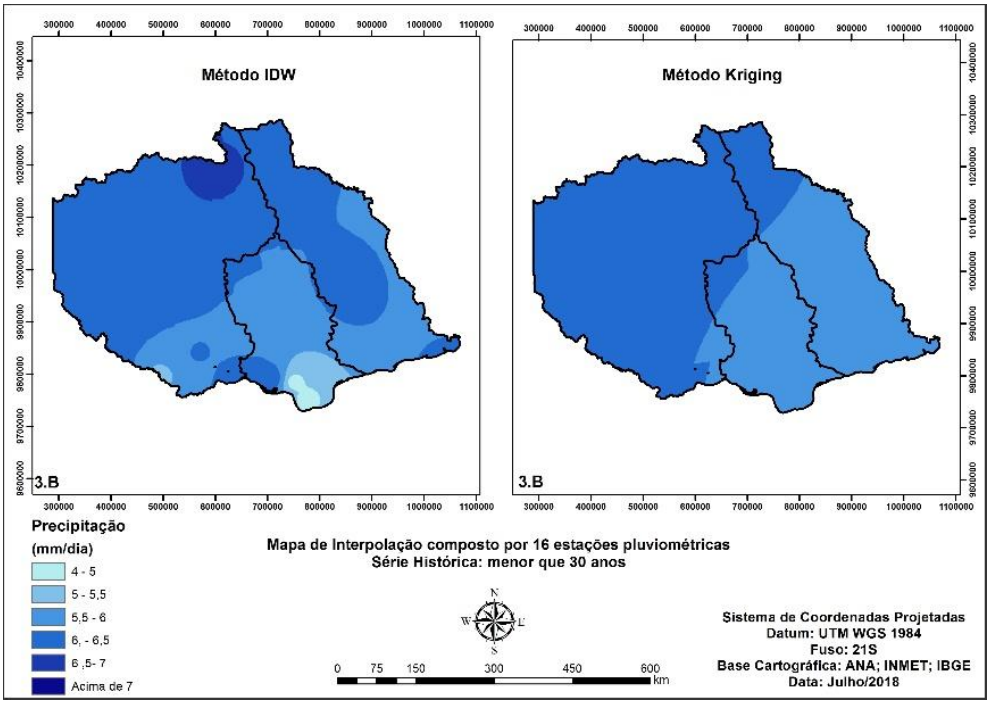

Figura 8 – Distribuição espacial das precipitações pluviométricas na RH da Calha Norte – Estações internas e externas a área de estudo.

Em análise geral, tais comportamentos similares podem ser justificados, em alguns casos, devido à falta de pontos de interpolação suficientes para um entendimento melhor do comportamento das precipitações, especialmente devido à distância entre os pontos, que em teoria, seriam maiores, portanto os dados interpolados não puderam oferecer resultados mais precisos para a análise. Em outro cenário, onde se obteve 33 estações interpoladas, verificou-se um comportamento mais heterogêneo na distribuição espacial das precipitações.

Além disso, a Krigagem é um método geoestatístico com base na Teoria das Variáveis Regionalizadas, na qual diz que a variação espacial de um fenômeno é estatisticamente homogênea em uma determinada área, o que pode justificar alguns erros com relação aos dados. Já no caso do método de IDW, foram observados alguns contornos (ilhas) ao redor dos pontos de amostragem. Uma das justificativas se dá pelo caráter estatístico dos métodos, de forma que a influência de cada ponto tende a ter um raio de ação definido de forma igual em todas as direções, o que possibilita a formação de círculos.

Assim nota-se uma das principais características do método IDW, que é a formação de muitas "ilhas" de dados, áreas pequenas envoltas por áreas maiores de valores diferentes de precipitação. Vale ressaltar que é necessário fazer um estudo acerca dos métodos de interpolação que são eficazes para serem aplicados a um determinado evento estudado, bem como analisar suas características. Portanto, foi necessário fazer uma verificação se os métodos de interpolação estariam adequados ao estudo através da comparação dos dados estimados e os observados (LANDIM, 2000), assim como também verificar a análise da distribuição espacial da interpolação na Região Hidrográfica da Calha

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Norte, assim, para isso foram usados métodos estatísticos que auxiliam e correlacionam as análises feitas.

Ao analisar a correlação dos dados obtidos entre os dois métodos interpoladores, as etapas 1.A e 2.B (1.A: estações internas, temporalidade de 30 a 49 anos e 2.B: estações internas e externas e temporalidade de 30 a 49 anos) apresentaram correlação maior que 0,9, enquanto as etapas 1.B e 2.A (1.B: estações internas e temporalidade de 13 a 49 anos e 2.A: estações internas, externas e temporalidade de 13 a 49 anos), tiveram uma correlação maior que 0,8, e por fim as etapas 3.A e 3.B (3.A: estações internas e temporalidade menor que 30 anos e 3.B: estações internas, externas e temporalidade menor que 30 anos) tiveram uma correlação maior que 0,6, como apresentado na Figura 9.

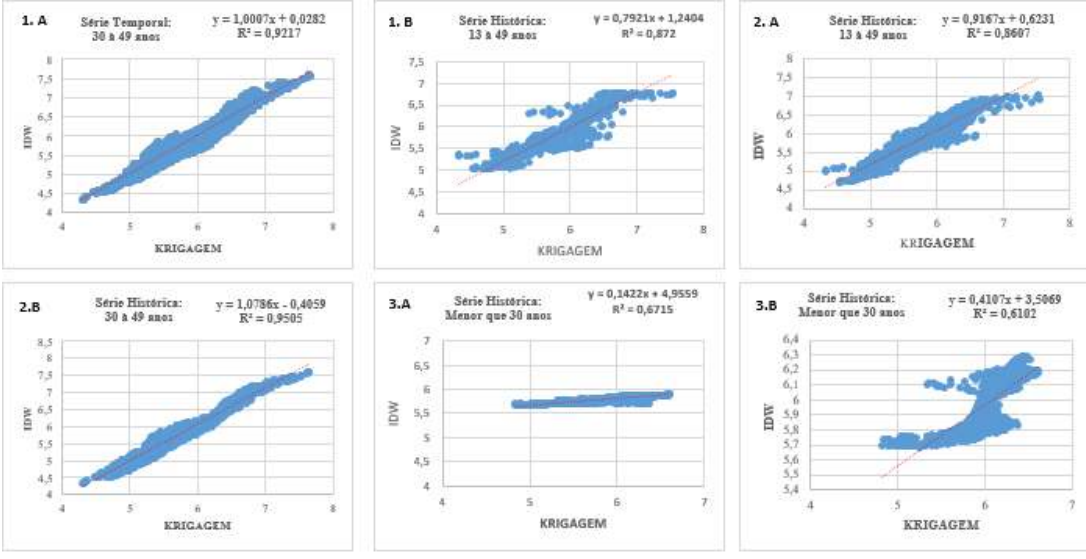

Figura 9 - Correlação entre as Etapas de Geoestatísticas

A correlação maior que 0,9 para as etapas 1.A e 2.B indica uma correlação forte, portanto, para essa análise às duas geoestatísticas obtiveram comportamentos parecidos, sendo assim, representam bem a área de estudo para a variável de dados de precipitação média diária. A correlação maior que 0,8 paras as etapas 1.B e 2.A, também representa uma correlação forte, e ilustra o comportamento da variável precipitação na área de estudo. Para a correlação maior que 0,6 apresentadas nas etapas 3.A e 3.B, considera-se uma correlação moderada.

É importante ressaltar que a diminuição significativa na correlação da precipitação interpolada e observada, deve-se, provavelmente, à distribuição dos pontos pluviométricos, os quais resultam em poucos pontos no semivariograma amostral, dificultando o seu ajuste a um modelo teórico.

Em todos os dados analisados, independentemente do número de estações interpoladas, observou-se que há uma maior predominância de ocorrência de precipitação no sentindo Leste-Oeste da RH da Calha Norte. Tal comportamento pode estar relacionado a diversos fatores na região, como vegetação pouco heterogênea, hipsometria, tipos de solo, dentre outros, não variando significativamente devido à presença de áreas de preservação

ambiental, até mesmo por ser essa Região uma das áreas mais preservadas do estado.

Associando a distribuição das precipitações médias diárias da Região em estudo com as variáveis (hipsometria e cobertura vegetal), viabiliza melhor entendimento da sua distribuição espacial e temporal.

Dessa forma foi realizado o levantamento topográfico da área em que se observa que as maiores médias de precipitações diárias ocorreram em regiões com baixas altitudes (Figura 10) e próximas aos leitos dos rios, onde há uma maior evaporação por conta dos mesmos.

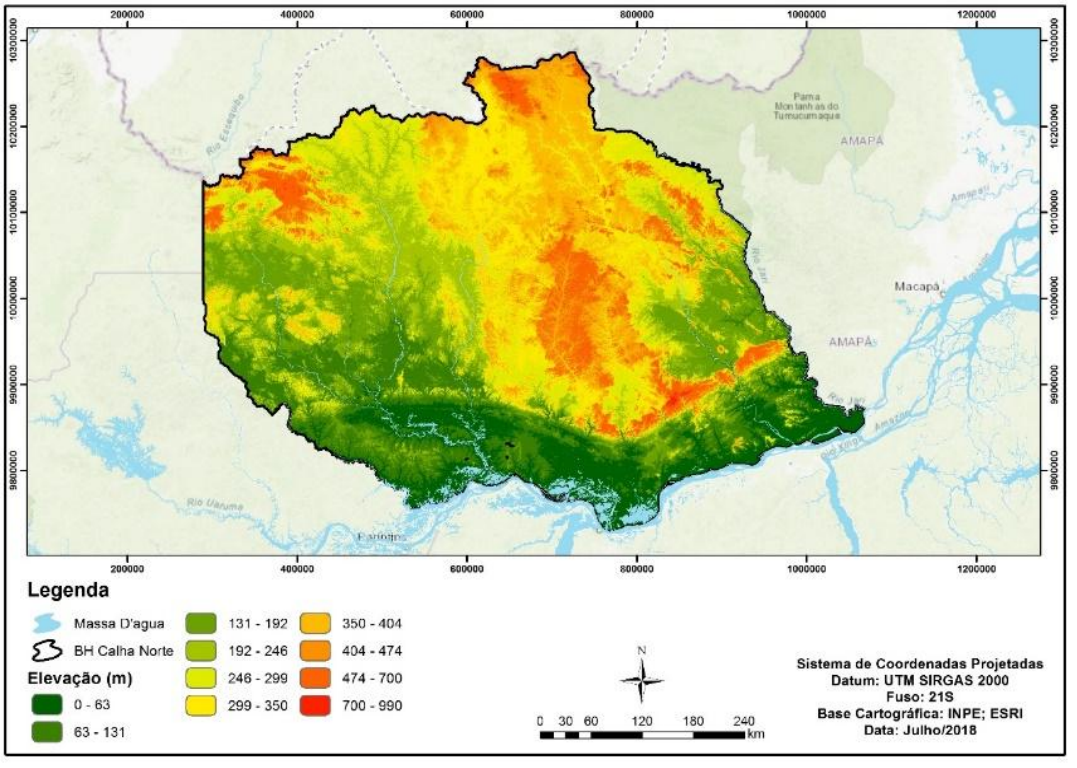

Figura 10 - Mapa Topográfico da RH Calha Norte

Em um estudo realizado por Pessoa (2010) o comportamento da precipitação, estaria também, relacionado com a vegetação densa que a área de estudo possui o que correlaciona a mesma com a baixa altitude (Figura 11). Na Região predomina a floresta ombrófila densa, com fragmentos tipo savana e ombrófila aberta. Como a área possui extensa cobertura vegetal, essa contribui com a elevada umidade e constantes chuvas na Região, além de ser a porção mais baixa da área de estudo, justificando os resultados dos interpoladores.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

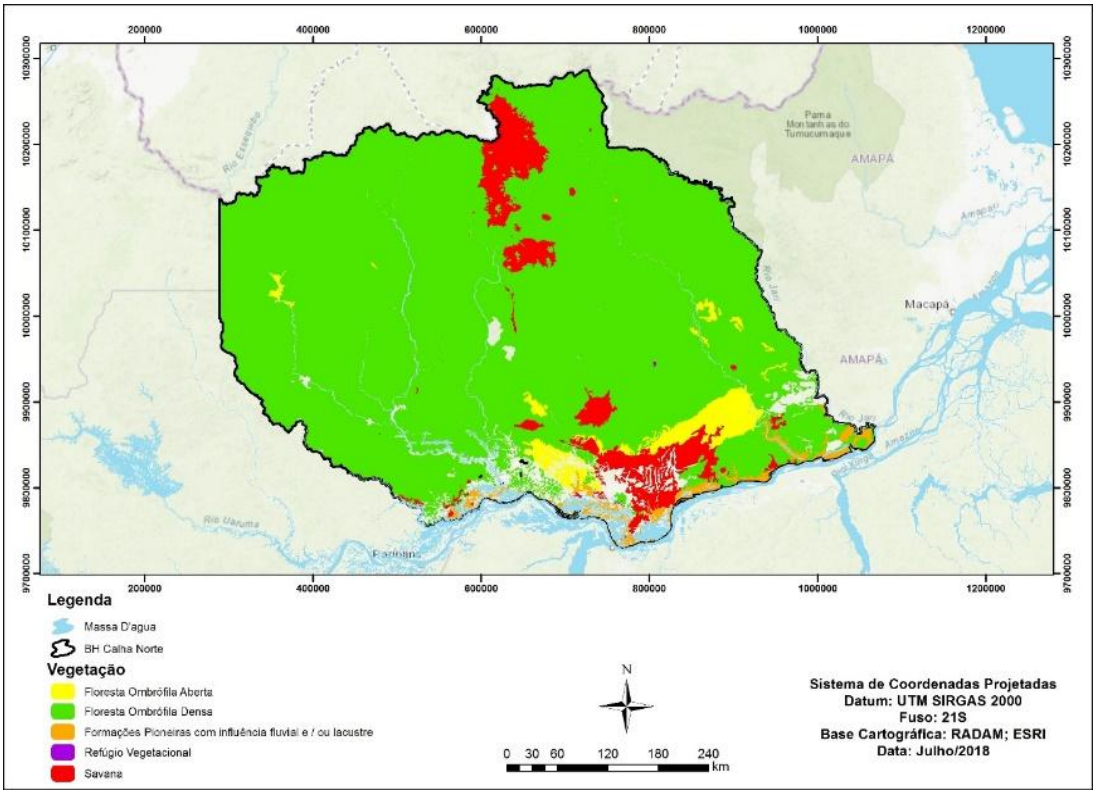

Figura 11 - Mapa de Vegetação da RH Calha Norte.

A Região Hidrográfica Calha Norte é considerada uma região homogênea, onde a vegetação, solo e pedologia são fatores que ajudam a contribuir com tal comportamento. De acordo com Pessoa (2010), fatores como tipo de solo e cobertura vegetal influenciam diretamente no comportamento hidrológico da bacia, pois, controlam boa parte da transformação de chuva em vazão de escoamento.

Como observado na região de estudo a vegetação predominante é de floresta densa, que cobre praticamente todo o território e há também a predominância de dois tipos de solo: os latossolos e os podzólicos (Figura 12). Portanto, essa baixa variação dos fatores encontrados na região reforçam a hipótese de que a região da Calha Norte é hidrologicamente homogênea, porém, apesar de as características serem homogêneas, há uma variação da precipitação, como mostrado nas imagens.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

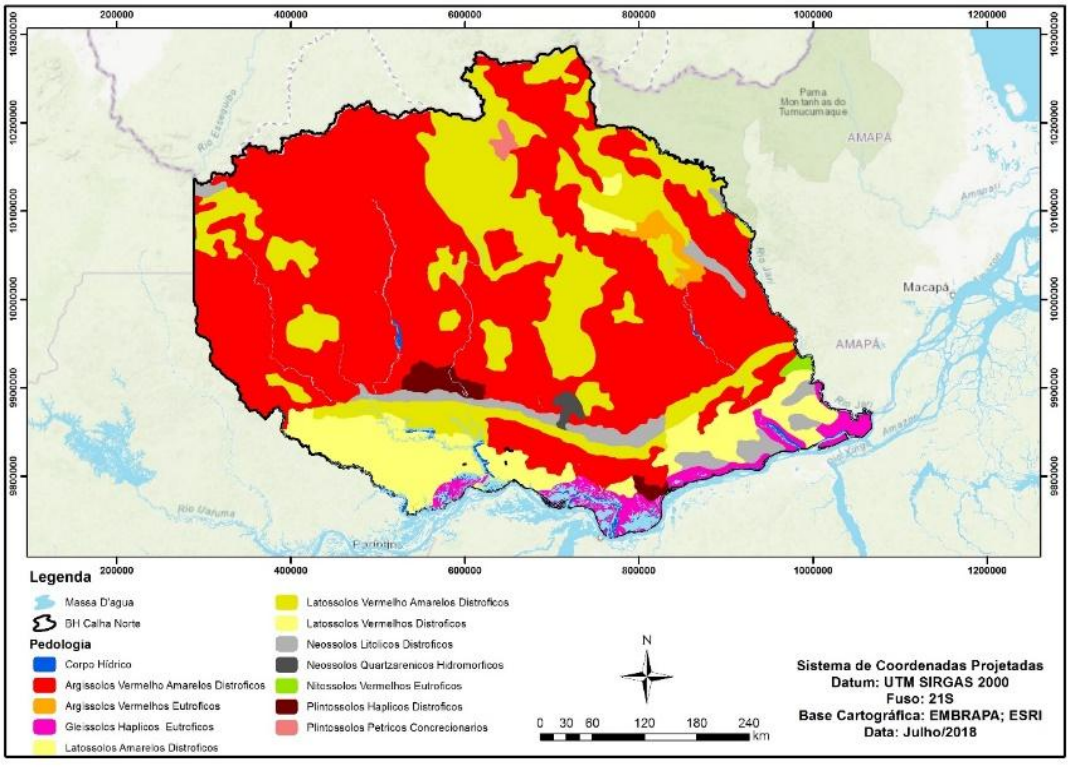

Figura 12 - Pedologia da RH Calha Norte

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho avaliou, através da análise do comportamento espacial da chuva, dois modelos digitais de espacialização pluviométrica, produzidos com base em séries históricas de estações pluviométricas, localizadas na RH da Calha Norte, comparando métodos de interpolação.

De acordo com as análises feitas, a região apesar de apresentar um comportamento hidrologicamente homogêneo, onde fatores como vegetação, hipsometria e tipos de solos influenciam diretamente, percebendo variações na distribuição espacial das chuvas, onde variou de acordo com a quantidade de dados analisados. Pôde-se observar em um primeiro momento um comportamento semelhante em determinadas etapas do trabalho. Com o aumento do número de dados disponíveis e tratados, percebe-se um comportamento mais heterogêneo acerca da espacialização das mesmas.

Por outro lado, se desconsiderar as estações pluviométricas que estão externas a área de estudo, verifica-se uma leve semelhança nas análises dos dados, para isso, é necessário um estudo mais detalhado para entender melhor o comportamento hidrológico da Região.

Com os resultados alcançados no trabalho, pode-se afirmar que o desempenho atingido pelos interpoladores foi influenciado pela homogeneidade da distribuição espacial de chuvas na RH da Calha Norte, e sendo o método KG o mais indicado para a análise da distribuição espacial e temporal das precipitações pluviométricas, quando comparado ao IDW.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, a CAPES pela concessão de bolsa de estudo e a Universidade Federal do Amazonas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, R. C. F.; RIBEIRO, A.; LEITE, C. C.; LEAL, B. G.; SILVA, J. B. G. Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas. Acta Scientiarum. Technology, v. 30, n. 1, p. 87-91, 2008. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226520012>. Acesso: Jun. de 2018.

ANA – Agência Nacional de Águas. Séries Históricas de Estações. Disponível em: < http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf >. Acesso em: Jun. de 2018.

ANJOS, R. S.; CANDEIAS, A. L. B.; NÓBREGA, R. S. Mapeamento da precipitação estimada e observada no semiárido pernambucano e sua relação com a modelagem de dados espaciais. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, N° 69/3, p. 447-462, Mar/2017. Disponível em: < http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/viewFile/1974/1107>. Acesso em: Jun. de 2018.

ARAGÃO, W. M.; RIBEIRO, F. E.; MELO, M. F. V. Cultivares de coqueiro para a produção de coco seco: coqueiro Gigante vs híbridos. In: CINTRA, F. L. D.; FONTES, H. R.; PASSOS, E. E. M.; FERREIRA, J. M. S. Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no Nordeste do Brasil. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. p. 38-60.

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. 14ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 350 p. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/40336369/Introducao-a-Climatologia-Para-Os-Tropicos-Capitulo-I-Introducao>. Acesso em: Jun. de 2018.

BRASIL, 1997. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 06/05/2018.

BRASIL. Resolução nº 30, de 11 de dezembro de 2002 (Publicado DOU em 19/03/2003). Dispõe sobre a codificação das bacias hidrográficas no âmbito nacional. Disponível em: <http://www.cnrh-srh.gov.br/delibera/resolucoes/R030.htm>. Acesso em: Jun. de 2018.

BRASIL. Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003 (publicado no dou em 17/12/2003). Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. Disponível em: < http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2018/02/Resolu%C3%A7%C3%A3o-n%C2%BA-32-de-15-de-Outubro-de-2003-CNRH.pdf>. Jun. de 2018.

BRASÍLIA, EMBRAPA, 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br>. Acesso em: 29/06/2018.

CAMERA, C., A. BRUGGEMAN, P. HADJINICOLAOU, S. PASHIARDIS, and M. A. LANGE (2014), Evaluation of interpolation techniques for the creation of gridded

daily precipitation (1 × 1 km2); Cyprus, 1980–2010, J. Geophys. Res. Atmos., 119, 693–712, Disponível em: <doi:10.1002/2013JD020611>. Acesso: Jun. de 2018.

CHAVE, J.; NAVARRETE, D.; ALMEIDA,S.; ÁLVAREZ, E.; ARAGÃO, L.E.O.C.; BONAL, D.; CHÂTELET, P.; SILVA-ESPEJO, J.E.; GORET, J.Y.; von HILDEBRAND, P.; JIMÉNEZ, E.; PATIÑO, S.; PEÑUELA, M.C.; PHILLIPS, O.L.; STEVENSON, P.; MALHI, Y. Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America. Biogeosciences, v.7, p.43-55, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/bg-7-43-2010>. Acesso: Jun. de 2018.

DONHA, A.G., SOUZA, L.C.P. and SUGAMOSTO, M.L., 2006. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 10, no. 1, pp. 175-181. Disponível em: <http://dx.doi. org/10.1590/S1415-43662006000100026>. Acesso: Jun. de 2018.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CAMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Análise espacial de dados geográficos. Planaltina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2004. 208 pp. ISBN: 85-7883-260-6. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/csp/v21n4/34.pdf>. Acesso em: 12/12/18.

FARIAS, O. G.; FRANCISCO, C. N.; SENNA, M. C. A. Avaliação de métodos de interpolação espacial aplicados à pluviosidade em região montanhosa no litoral sul do estado Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Climatologia. Ano 13 – Vol. 21 – JUL/DEZ 2017. p. 172 – 185.

Disponível em: < DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.52065>. Acesso em: Jun. de 2018.

FIRDAUS, N. N. M. TALIB, S. A. Spatial Interpolation Of of Monthly Precipitation In Selangor, Malaysia – Comparison And Evaluation Of Methods. GlobalIlluminators. GTAR-2015/Full Paper Proceeding,Vol-1,346-357. Disponível em: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/. Acesso: Jun. de 2018.

FRANCO, Ana Clara Lazzari; UDA, Patricia Kazue. Comparação de métodos de espacialização da precipitação na bacia do alto rio Negro, Santa Catarina. In. Anais: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0607.pdf>. Acesso em: 03/07/2018.

GALLARDO, A. Geostadística. Revista Ecossistemas: Revista científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente, Móstoles, v. 3, n. 15, p. 48-58, set. 2006.

GARDIMAN JUNIOR, B. S.; MAGALHÃES, I. A. L.; FREITAS, C. A. A.; CECÍLIO, R. A. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES). Rev. Ambiência Guarapuava (PR), v.8 n.1, p. 61 – 71, Jan./Abr. 2012. Disponível em: < DOI:10.5777/ambiencia.2012.01.05> Acesso em: Jun. de 2018.

HUISMAN, O., BY, R. A. de, Principles of Geographic Information Systems. The International Institute for geo-Information Science and Earth Observation - ITC, Paises Baixos.540 p. 2009. Disponível em: < http://www.itc.nl/library/papers_2009/general/PrinciplesGIS.pdf>. Acesso em: 03/07/2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. RADAM BRASIL. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em. <

ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bcim/>. Acesso em: 20 jun. 2018.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Eventos El niño e La niña. Disponível em: <http://www.inpe.br/>. Acesso em: 17/06/2018.

KEBLOUTI, Mehdi; OUERDACHI, Lahbassi; BOUTAGHANE, Hamouda. Spatial interpolation of annual precipitation in Annaba-Algeria-comparison and evaluation of methods. Energy Procedia, v. 18, p. 468-475, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.058>. Acesso em: 17/06/2018.

LANDIM, P.M.B. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. Rio Claro: UNESP, 2000. 20 p. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>. Acesso em: 17/06/2018.

LENNON, J. J.; TURNER, J. R. G. Predicting the spatial distribution of climate: temperature in Great Britain. Journal of Animal Ecology, v. 64, n.3, 670-392, 1995. Disponível em: < https://www.jstor.org/stable/5898?seq=1#metadata_info_tab_contents>. Acesso em: 17/06/2018.

LOUREIRO, G. E.; FERNANDES, L. L. Variação da precipitação por método de interpolação geoestatística. Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 8, n.2, 2013. Disponível em: < doi: 10.4136/ambi-agua.997>. Acesso em: Jun. de 2018.

MARCUZZO, F. F. N.; CARDOSO, M. R. D.; MELLO, L. T. A. Uso dos Métodos de Krigagem e Spline de Tensão no Mapeamento de Chuvas na Região Metropolitana de Goiânia e Seu Entorno. In: Simpósio Internacional Caminhos Atuais da Cartografia na Geografia, 2., 2010, São Paulo. Anais... São Paulo: EDUSP, 2010. Disponível em: < http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/1057>. Acesso em 10/08/2018.

MARCUZZO, F. F. N; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas no estado do Mato Grosso. Revista Brasileira de Geografia Física, v.4, p.793-804, 2011. Disponível em: < https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232714>. Acesso em: 12/08/2018.

METCALFE, D.; MEIR, P.; ARAGÃO, L.E.O.C.; DA COSTA, A.; ALMEIDA, S.; BRAGA, A.; GONÇALVES, P.; ATHAYDES, J.; MALHI, Y.; WILLIAMS, M. Sample sizes for estimating key ecosystem characteristics in a tropical terra firme rainforest. Forest Ecology and Management, v.255, p.558-566, 2008. Disponível em: < https://portal.research.lu.se/portal/en/publications/sample-sizes-for-estimating-key-ecosystem-characteristics-in-a-tropical-terra-firme-rainforest(d8f528ff-e391-4b9b-91f1-2192d97773a0)/export.html>. Acesso em: 10/08/2018.

PARÁ. Lei nº 6.381 de 25 de julho de 2001. Dispõe Sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, instituí o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: < https://www.semas.pa.gov.br/2001/07/25/9760/>. Acesso em: Jun. de 2018.

PESSOA, F. C. L. Regionalização de curvas de permanência de vazões da região da Calha Norte no Estado do Pará. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – UFPA, 2010. Disponível em:

<http://www.ufpa.br/ppgec/data/producaocientifica/Francisco%20Pessoa.pdf>. Acesso em: 03/07/2018.

RIGHI, E.; BASSO, L. A. Aplicação e análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas. Ambiência Guarapuava (PR). v.12 n.1 p. 101 - 117 Jan./Abr. 2016. Disponível em: < DOI:10.5935/ambiencia.2016.01.06 >. Acesso em: Jun. de 2018.

SANTOS, et al. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada / Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. Dados eletrônicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/920267>. Acesso em: 06/05/2018.

SCHETTINI, C. A. F.; MAZZINI, P. L. F.; Avaliação de metodologias de interpolaçãoespacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase sinóticos. Brazilian Journal of Aquatic Sciences and Technology, v.13, n.1, p. 53-64, 2009.

SILVA, L. da; ALMEIDA, H. A. de. Estimativa do potencial para captação de água de chuva em Quixadá, CE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 7., 2009. Caruaru, PE. Anais...Caruaru: ABCMAC, 2009.

SOUZA, J. L. L. L; GOMES, T. S.; DIAS, R.S.; OLIVEIRA, G. M. A.; SANTOS, R. L. Avaliação de métodos de interpolação aplicados à espacialização das chuvas no território identidade Portal do Sertão / Bahia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 15, 2011, Curitiba. Anais. São José dos Campos: INPE, p 4295-4302. 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266035259>. Acesso em: 06/05/2018.

TEIXEIRA, C.F.A.; DAME, R.C.F.; ROSSKOFF, J.L.C. Intensity-duration-frequency ratios obtained from annual records and partial duration records in the locality of Pelotas - RS, Brazil. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.31, n.4, p.687-694, 2011. Disponível em: <DOI: 10.1590/S0100-69162011000400007>. Acesso em: 06/05/2018.

ZEE - Zoneamento Ecológico-Econômico das Zonas Leste e Calha Norte do Estado do Pará /Editores Técnicos: Carmen Roseli Caldas Menezes, Marcilio de Abreu Monteiro e Igor Maurício Freitas Galvão. Belém, PA: Núcleo de Gerenciamento do Programa Pará Rural, 2010. 3v. xxx pág, 21x30 cm. Disponível em: < https://www.amazonia.cnptia.embrapa.br/publicacoes_estados/Para/Calha%20Norte/ZEE%20V1-Calha%20Norte%20-%20Socioeconomia.pdf>. Acesso em: Jun. de 2018