DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DA BAÍA DA ILHA GRANDE - RJ

FERNANDA SILVA SOARES¹, CRISTIANE NUNES FRANCISCO², MÔNICA CARNEIRO ALVES SENNA²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil e Doutorado do Programa de Pós Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, Brasil.

²UFF, Instituto de Geociências, Departamento de Análise Geoambiental, Niterói, RJ, Brasil

fernanda.soares@ifrj.edu.br, crisnf@vm.uff.br, monicasenna@id.uff.br

Recebido Maio de 2011 - Aceito Junho de 2013

RESUMO

O estado do Rio de Janeiro possui alto índice pluviométrico anual e distribuição espacial de precipitação heterogênea. No sul do estado, onde se localiza a Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande (RHBIG), a conjugação dos fatores dinâmicos e das características fisiográficas locais, principalmente a presença das escarpas da Serra do Mar, possibilita a ocorrência de um dos mais elevados índices pluviométricos anuais do território fluminense. O objetivo do presente trabalho é avaliar a distribuição espacial da precipitação na faixa continental da RHBIG através da interpolação de dados de 31 estações pluviométricas localizadas na área de estudo e em seu entorno. Com vistas a avaliar a dependência dos fatores estáticos (relevo e posicional) na distribuição de chuvas na área de estudo, foi efetuada uma análise de correlação entre a distribuição da precipitação e dados de declividade, orientação de vertentes, proximidade do litoral e altimetria. Os resultados indicaram que dos fatores fisiográficos utilizados como variáveis explicativas do padrão espacial de chuvas, a distância do litoral e a altitude apresentaram maiores correlações, indicando que a distribuição espacial da precipitação anual, sazonal e mensal é fortemente influenciada pela topografia e pela distância do litoral.

Palavras-Chave: precipitação, MNT, SIG, Baía da Ilha Grande

ABSTRACT: SPATIO-TEMPORAL PRECIPITATION DISTRIBUTION IN ILHA GRANDE BAY HYDROGRAPHIC REGION – RIO DE JANEIRO

The Rio de Janeiro state has a high annual rainfall and a heterogeneous spatial distribution of precipitation. In the south of the state, where Ilha Grande Bay Hydrographic Region (RHBIG) is located, the combination of dynamic factors and local physiographic characteristics, especially the presence of Serra do Mar, causes the occurrence of the highest annual rainfall in Rio de Janeiro. The aim of this study is to evaluate the spatial distribution of precipitation in the RHBIG, through the interpolation of rainfall data from 31 pluviometric stations located in the study area and nearby. To figure out the dependence of the static factors (topography and location) on the distribution of rainfall over the study area, correlation of the rainfall data and terrain slope, aspect, coast proximity and altimetry of the study area was done. The results showed that the altitude and distance from the coast presented higher correlations with the spatial pattern of rainfall, indicating that the annual, seasonal and monthly spatial distribution of rainfall is strongly influenced by topography and distance from the coast.

Keywords: precipitation, DTM, GIS, Ilha Grande Bay

1. INTRODUÇÃO

O sudeste do Brasil é uma região com grandes contrastes pluviométricos devido à sua localização geográfica, topografia e aspectos dinâmicos da atmosfera (Minuzzi *et al.*, 2007). O estado do Rio de Janeiro possui um alto índice pluviométrico anual, de cerca de 1500 mm (Reboita *et al.*, 2010), com distribuição espacial de precipitação heterogênea (Nimer, 1979; Dereczynski *et al.*, 2009). No sul do estado, onde se localiza a Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande (RHBIG), e na área contínua, no estado de São Paulo, onde a Serra do Mar aproxima-se do litoral, o índice pluviométrico anual passa dos 2.500mm em alguns locais (Davis e Naghettini, 2000) (Figura 1).

Com 1,8 mil km², a faixa continental da RHBIG está situada no sul do estado do Rio de Janeiro e é constituída pelos municípios de Angra dos Reis e Parati (Figura 2). Ao norte, está localizado o Planalto da Bocaina, onde nascem as duas maiores bacias hidrográficas da região: Mambucaba (740km²) e Bracuí (185km²), nos municípios de Cunha, São José do Barreiro e Bananal, já em território paulista. Ao sul, a baía da Ilha Grande recebe os rios que drenam a faixa continental e insular. Com o divisor de águas próximo ao litoral, não há a formação de grandes bacias hidrográficas, mas dezenas de bacias, de dimensões diversas, que nascem na Serra do Mar e no Planalto da Bocaina e deságuam na baía da Ilha Grande.

O conhecimento da distribuição espacial e temporal da precipitação é de fundamental importância para subsidiar

políticas públicas de utilização dos recursos naturais na região. Entre elas, destacam-se as informações ao entendimento da disponibilidade hídrica e de cenários de demanda, essenciais aos comitês de bacias hidrográficas para elaboração dos planos de bacias hidrográficas (Lei nº 9433/97), o monitoramento sobre a instabilidade de encostas, e o suporte a diversas atividades econômicas, entre elas o turismo.

Segundo Nimer (1979), existem diversos fatores que atuam na magnitude e distribuição da precipitação na RHBIG, os quais podem ser classificados em estáticos e dinâmicos. Dentre os fatores estáticos, relacionados às condições geográficas da área, destacam-se: 1) a posição latitudinal, que propicia melhores condições à evaporação, pois a zona tropical recebe forte radiação solar; 2) a posição na borda ocidental do oceano, pois a existência de superfícies líquidas é outra pré-condição do processo de evaporação. Além disso, a proximidade marítima facilita a existência de núcleos de condensação formados por sais higroscópicos, favorecendo a formação de nuvens; e 3) a topografia bem acidentada - orientada no sentido WSW-ENE - aumentando a turbulência do ar, pela ascendência orográfica, principalmente durante a passagem de perturbações atmosféricas.

Os fatores dinâmicos são mecanismos atmosféricos que interferem nos fatores estáticos. Na região, os principais são: 1) a atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que durante o inverno alcança o sudeste do Brasil (Reboita *et al.*, 2010), inibindo movimentos ascendentes do ar, e portanto, a formação de nuvens e precipitação; 2) os eventos causadores

Figura 1 - Precipitação média anual para o estado do Rio de Janeiro. Fonte: Adaptado de Davis e Naghettini (2000).

de precipitação como a Zona de Convergência de Atlântico Sul (ZCAS), os sistemas frontais (SF), as linhas de instabilidade (LI), os complexos convectivos de mesoescala (CCM) e as brisas.

A ZCAS é um importante fenômeno que ocorre durante o verão na RHBIG, favorecendo episódios de enchentes e deslizamentos. Esse fenômeno é caracterizado por uma banda de nebulosidade no sentido NW/SE, estendendo-se desde a Amazônia até o Oceano Atlântico Sul, associada a uma zona de convergência de umidade que se prolonga até a média troposfera. A ZCAS pode surgir da interação da convecção tropical com SF de caráter estacionário (Kousky, 1988; Quadro, 1994; Carvalho *et al.*, 2004).

O deslocamento de SF está associado ao escoamento de grande escala, e as regiões sul e sudeste do Brasil são consideradas frontogenéticas, pois as frentes podem se formar ou se intensificar (Satyamurty e Mattos, 1989). Os SF frios podem causar precipitação atuando na região, ou, indiretamente, criando condições para o desenvolvimento de LI (Reboita *et al.*, 2010).

As LI são formadas por nuvens cumulonimbus de diversos tamanhos, organizadas em linha reta ou curva. São caracterizadas por ventos fortes, chuvas intensas e localizadas (Silva Dias, 1987).

Os CCM são conjuntos de nuvens cumulonimbus cobertos por uma densa camada de cirrus, com aparência aproximadamente circular quando vistos em imagens de satélite, possuem um crescimento vigoroso num intervalo de 6 a 12 horas e associam-se, frequentemente, a precipitação intensa e fortes rajadas de vento (Velasco e Fritsch, 1987).

Além disso, na RHBIG há atuação de sistemas de circulação locais, como as brisas, que se originam do aquecimento diferenciado entre continente e oceano, gerando uma célula de circulação (Atikson, 1981). Essa circulação local pode fornecer umidade extra para outros sistemas e intensificar a precipitação (Pereira Filho *et al.*, 2002; Morales *et al.*, 2010).

A conjugação destes fatores dinâmicos alia-se às características físicas das escarpas da Serra do Mar, com suas grandes altitudes, que ultrapassam 1.000 m, quase perpendiculares ao escoamento médio da baixa troposfera, criando microclimas locais, e produzindo, na RHBIG, um dos maiores índices pluviométricos anuais do território fluminense.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho é avaliar a distribuição espacial da precipitação na faixa continental da RHBIG através da interpolação de dados de 31 estações pluviométricas localizadas na área de estudo e em seu entorno. Com vistas a avaliar o grau de importância dos fatores estáticos (relevo e posicional) na distribuição de chuvas na área de estudo, foi efetuada uma análise de correlação entre a distribuição da precipitação e dados de declividade, orientação de vertentes, proximidade do litoral e altimetria.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas e avaliadas 31 estações pluviométricas que se localizam na área de estudo e entorno,

Figura 2 - Região hidrográfica da Baía da Ilha Grande, RJ.

situadas na Serra do Mar e no Planalto da Bocaina, entre os municípios de Mangaratiba (RJ) e Caraguatatuba (SP) (Figura 3). Os dados pluviométricos, coletados no DAEE - SP (Divisão de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo) e na ANA (Agência Nacional de Águas), abrangem o período entre 1970 e

1999. Das estações avaliadas, 45% possuíam 30 anos de dados, 26% entre 24 e 30 anos, 22% menos de dezoito anos, havendo apenas três estações com dez anos, o que resultou numa média de 24 anos. Considerando a extrema importância destes dados raros e truncados, já que as estações localizam-se em áreas onde

Figura 3 - Estações pluviométricas situadas na Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande e entorno.

não há outras que pudessem substituí-las, foram utilizados os dados de todas as estações.

O passo seguinte consistiu no preenchimento dos meses sem dados pela média pluviométrica mensal do período disponível da própria estação. Preferiu-se utilizar este método a outros que consideram estações vizinhas, como o método da ponderação regional e o método da regressão linear, entre outros, conforme listado em ANA (2012), porque o relevo da área de estudo é bastante acidentado, resultando numa grande variação da distribuição de chuvas, inclusive em estações muito próximas.

Posteriormente, foi realizada uma análise de consistência dos dados, pela metodologia convencional: 1) comparação entre o total pluviométrico anual acumulado em cada estação (eixo das abscissas) e a média do total pluviométrico anual acumulado de todas as estações (eixo das ordenadas) para avaliar a estacionariedade dos dados (Tucci, 2001); e 2) comparação entre o total pluviométrico anual das estações próximas para avaliar a tendência do comportamento de chuvas no tempo, através da comparação dos dados das estações entre si, e para investigar a existência de algum dado espúrio (Figura 4). Em seguida foi calculado o total pluviométrico mensal, sazonal (outubro a março e abril a setembro) e anual para cada estação, considerando todo o período de dados disponível.

A rede de estações pluviométricas utilizadas neste estudo encontra-se irregularmente distribuída no espaço (Figura 3), e através da aplicação de algoritmos, é possível atribuir valores estimados para locais não levantados. A estimativa de superfícies de precipitação interpoladas a partir de pontos pode ser realizada através de algoritmos interpoladores, e o resultado desta interpolação é denominado Modelo Numérico de Terreno (MNT) ou Modelo Digital de Terreno (MDT). Estes consistem na representação matemática computacional, em uma superfície contínua, de uma grandeza que varia continuamente no espaço,

através da interpolação de amostras ou isolinhas, com uma distribuição espacial representativa (Câmara *et al.*, 1996; Assad e Sano, 1998; Felgueiras, 2001).

Para a elaboração da distribuição espacial da precipitação total anual, sazonal e mensal na RHBIG, foram utilizados algoritmos interpoladores disponíveis na extensão *Spatial Analyst* do Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS 9.1. Foram testados dois interpoladores, o *Spline Tension* e o IDW (*Inverse Distance Weighting*).

O interpolador *Spline* (Curvatura Mínima) utiliza polinômios para ajustar uma superfície com a curvatura mínima passando por todas amostras, resultando em uma superfície suavizada. Cálculos de derivação são repetidamente efetuados até que uma diferença (convergência ou tolerância), especificada pelo usuário, seja alcançada entre os valores amostrados e os estimados, ou até que um número máximo de interações seja alcançado (Landim, 2000). Esta técnica de aproximação consiste em dividir o intervalo de interesse em subintervalos e interpolar com polinômios de grau pequeno da forma mais suave possível. O ArcGIS oferece dois métodos de interpolação *Spline*. A opção *Tension*, utilizada neste trabalho, controla a rigidez da superfície de acordo com o comportamento do fenômeno interpolado, criando uma superfície menos suavizada com valores próximos ao intervalo dos dados amostrados (ESRI, 2004).

O interpolador IDW assume que a área de influência de cada amostra diminui com o aumento da distância em relação a outra amostra. Durante a interpolação, a ponderação diminui conforme aumenta a distância entre a amostra e o nó da grade a ser estimado, assim os pontos amostrados, próximos ao nó a ser estimado, recebem peso maior do que os pontos amostrados de localização mais distante. Ao calcular o valor de um nó, a soma de todos os pesos atribuídos aos pontos amostrados vizinhos é igual a 1,0, ou seja, é atribuído um peso proporcional à contribuição de cada ponto vizinho (Landim, 2000).

Figura 4 - Análise de consistência de total pluviométrico anual acumulado da estação Paraty.

Com o objetivo de analisar os fatores de relevo e posicional que influenciam na distribuição espacial das chuvas da RHBIG, foi gerado um Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir das curvas de nível e hidrografia das cartas topográficas do IBGE em escala 1:50.000. A partir deste modelo, foram gerados mapas de declividade, e de orientação de vertentes. A declividade corresponde à inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal, sendo expressa em graus (de 0° a 90°) ou em porcentagem (de 0% a infinito). A orientação de vertentes é definida como o ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno no sentido descendente e é expressa em graus (0° a 360°). Para avaliar a distância do litoral na distribuição de chuvas, foi elaborado um mapa onde cada pixel contém a distância entre a sua posição e o litoral.

Cada mapa foi representado por uma matriz com 21 mil pixels e resolução espacial de 500 m. As matrizes foram convertidas em uma tabela, onde as linhas representavam os pixels e as colunas os atributos, correspondendo a altimetria, declividade, orientação de vertentes e distância do litoral, representando as variáveis independentes e, o total pluviométrico anual, a variável dependente. Foi feita, então, a análise de correlação de Pearson entre o total pluviométrico e cada uma das variáveis independentes, conforme a equação abaixo:

$$r_{XY} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \cdot \sum Y}{n}}{(n-1) \cdot s_X \cdot s_Y},$$

onde: r_{XY} é o coeficiente de correlação, X os valores de precipitação, Y os valores da variável independente, n o número de amostras de X e Y, e s_X e s_Y os desvios padrões de X e Y, respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Consistência dos dados

A análise de consistência dos dados de precipitação indicou que os dados das estações são consistentes, pois os valores acumulados observados em cada estação são proporcionais aos acumulados de toda a região. A Figura 4 ilustra esse comportamento para a estação Parati.

A Figura 5 indica que as estações pluviométricas localizadas no litoral da RHBIG apresentam um comportamento temporal similar da precipitação, onde se destaca a estação Parati, com valores totais anuais inferiores às demais estações do litoral em quase todos os anos. Maiores detalhes sobre esse comportamento serão descritos adiante.

3.2 Distribuição espacial da precipitação na RHBIG

A distribuição espacial da precipitação foi obtida com o uso de dois diferentes interpoladores, o IDW e o *Spline Tension* (Figura 6). O uso do IDW mostrou-se inadequado para análise pluviométrica, pois o modelo resultou na presença de “vórtices” correspondendo à concentração de chuvas em torno de estações, em função da ponderação ser dada pelo inverso distância entre as estações, o que não condiz com a distribuição espacial de chuvas, pois o volume pluviométrico de um local nem sempre apresenta relação evidente com a distância entre as estações, principalmente em regiões de relevo escarpado e adjacente a litoral recortado. Valeriano *et al.* (2002) testaram três interpoladores para o mapeamento pluviométrico no estado de São Paulo, entre eles o Inverso do Quadrado da Distância, a opção IDW com expoente 2 de ponderação, que causou o aparecimento de numerosas formas

Figura 5 - Análise de consistência do total pluviométrico anual das estações pluviométricas localizadas no litoral.

concêntricas em torno dos postos de coleta com fundo médio de valor relativamente constante.

O interpolador *Spline Tension* mostrou-se mais adequado por captar com maior precisão as particularidades locais, devido à sua flexibilidade de ajuste aos pontos de medição. De acordo com Landim (2000) a superfície estimada por este algoritmo é a mais suave entre as geradas por interpolação, sendo absolutamente fiel aos dados originais se houver apenas um valor amostrado por célula, gerando assim contornos fiéis aos dados originais. Souza *et al.* (2011) concluíram, em trabalho visando avaliar o desempenho de interpoladores na elaboração de carta de isoietas anual, que *Spline* está entre os de melhor desempenho. Resultados semelhantes foram alcançados por

Deus *et al.* (2010), Ostendorf *et al.* (2004), Silva (2009) e Nicolau (2002).

Na análise da distribuição espacial de precipitação total anual, sazonal e mensal, identificou-se três áreas com comportamento pluviométrico similar, que são influenciadas pela topografia e pelo recorte e distância do litoral. Uma área identificada corresponde aos locais de maior pluviosidade situados à barlavento da escarpa da Serra do Mar, devido às frentes frias serem barradas pelo relevo, que força o ar úmido a se elevar, resfriar e condensar, favorecendo a formação de nuvens e produzindo os valores máximos de precipitação, como ocorre no litoral de São Paulo e na região do Bracuí (respectivamente, local A e B, Figura 7), onde o total anual de chuvas atinge 2300 mm.

Figura 6 - Modelo de Distribuição Espacial de Precipitação gerado pelo interpolador (1) IDW (*Inverse Distance Weighted*) e pelo interpolador (2) *Spline Tension*.

Figura 7 - Total pluviométrico anual da bacia de drenagem contribuinte da RHBIG, RJ.

Após a ocorrência de precipitação à barlavento da escarpa, o ar torna-se mais seco e desce a barreira orográfica sendo comprimido e aquecido, inibindo a formação de nuvens e de precipitação. Portanto, as áreas à sotavento das barreiras topográficas locais apresentam índices mais modestos de precipitação, abaixo de 2000 mm, como ocorre na área continental no reverso da Ilha Grande (local C, Figura 7). Caso semelhante ocorre na cidade de Parati (local D, Figura 7), que apresenta índice pluviométrico anual de cerca de 1600 mm, pois se encontra rodeada por barreiras topográficas. Os locais C e D pertencem à segunda área com comportamento pluviométrico similar.

A região do planalto (local E, Figura 7), considerada a terceira área, localiza-se no reverso da Serra do Mar, com altitudes superiores a 1.000 m, apresentando os menores índices pluviométricos da área em estudo, entre 1300 e 1800 mm. Isto ocorre porque o ar já perdeu grande parte da sua umidade ao atingir esta área.

Deve-se destacar a estação Bocaina (Estação 2244136, Figura 3) localizada também no planalto, com índice pluviométrico anual de 2000 mm, destoando das estações localizadas nesta unidade geomorfológica. A presença da estação permitiu a identificação de um total pluviométrico mais elevado avançando para o interior da bacia do rio Bracuí, o que pode ser explicado possivelmente pelo avanço das chuvas para o interior da bacia, em função da inexistência de uma barreira topográfica. Este dado é corroborado pelo valor da vazão específica desta bacia, 60 L.s/km², maior do que apresentado por outras bacias da região em estudo, com valores entre 35 e 55 L.s/km² (Francisco, 2004).

Os meses de outubro a março concentram cerca de 70% do índice pluviométrico anual. Nos postos pluviométricos

localizados no litoral, a precipitação no período de abril a setembro representa entre 30 a 40% do total anual, enquanto, para os postos localizados no planalto, este valor reduz para 20 a 30%. Devido a alta variabilidade sazonal da precipitação, este regime caracteriza-se como um sistema de monção. As características do sistema de monção sul-americano são descritas em Zhou e Lau (1998), Gan *et al.* (2004), Grimm *et al.* (2005) e Vera *et al.* (2006).

A distribuição espacial sazonal da precipitação se comporta de modo semelhante à distribuição espacial anual, com exceção do volume de precipitação (Figura 8). No período de abril a setembro, o volume máximo é de 800 mm na área de Bracuí e na área A. Estes valores decrescem à medida que as estações avançam para o interior, chegando a um mínimo de 300 mm em algumas áreas localizadas a sotavento do divisor de águas. A cidade de Parati apresenta volume de precipitação inferior a 400 mm no período. É importante salientar que esse padrão espacial da precipitação é explicado pelos sistemas frontais em deslocamento normalmente de sul para norte, produzindo máximos de precipitação à barlavento da serra e mínimos à sotavento, Dereczynski *et al.* (2009) também obtiveram resultados semelhantes para o município do Rio de Janeiro.

No período entre outubro e março, o volume de precipitação mais elevado se entende para o interior, atingindo áreas a sotavento do divisor de águas. Ocorre volume máximo na Bocaina, com 1600 mm, e nas proximidades de Bracuí, com 1500 mm. A área do litoral apresenta valores que variam de 1400 a 1500 mm. Parati continua com seu comportamento singular, com valores de 1100 a 1000 mm. Neste período com temperaturas do ar mais elevadas, o comportamento espacial da precipitação é relacionado ao maior aquecimento

Figura 8 - Distribuição espacial sazonal da precipitação na RHBIG, RJ.

local, favorecendo a precipitação de caráter convectivo, e à intensificação da brisa marítima, que aumenta a convergência de umidade para o interior da RHBIG (Dereczynski *et al.*, 2009). Além disso, a ocorrência do fenômeno ZCAS, principal mecanismo responsável por períodos prolongados de precipitação, é maior nos meses de outubro a março (Carvalho *et al.*, 2004).

Para facilitar a análise da distribuição mensal agrupou-se a precipitação em trimestres: dezembro a fevereiro; março a maio; junho a agosto; setembro a novembro (Figura 9). O trimestre de dezembro a fevereiro é o mais chuvoso e é aquele em que os valores mais elevados da precipitação alcançam o interior, apresentando valores máximos de 350 mm no mês de janeiro. Observa-se que nos meses com maior índice pluviométrico a área mais chuvosa é a Bocaina. O padrão pontual de Parati singular, com intensidade bem menor.

No trimestre de março a maio, há um decréscimo significativo do volume de precipitação. Neste trimestre, o padrão pontual de Parati desaparece, pois nas áreas do entorno pode-se observar uma diminuição conjunta dos índices pluviométricos.

De junho a agosto, ocorre o menor volume pluviométrico do ano. O padrão pontual de Parati retorna a aparecer no mês de junho, mas desaparece novamente no mês de julho. Os índices

pluviométricos têm uma queda significativa ficando em torno de 50 mm. Pode-se observar uma menor variação espacial da pluviosidade.

Nos meses de setembro a novembro, há transição dos meses mais secos para os mais úmidos. Não se observa o padrão pontual de Parati. O máximo de chuvas ocorre na área de Bracuí e na área A, com 200 mm. A variação espacial da precipitação começa a aumentar para atingir seu máximo no trimestre seguinte.

3.3 Fatores fisiográficos e a distribuição espacial da precipitação na RHBIG

Os elevados índices pluviométricos da área em estudo e a sua distribuição espacial são decorrentes da conjugação entre os mecanismos dinâmicos, que têm influência regional, e os fatores estáticos, de influência local. Para Franco *et al.* (2003), a configuração do relevo, na área de estudo, é um fator decisivo para a distribuição espacial das chuvas e determinante para os processos termodinâmicos. A área apresenta um relevo montanhoso a escarpado, devido à presença da Serra do Mar, que se aproxima do litoral nesta faixa continental, chegando à linha de costa de forma abrupta, com esparsas e estreitas planícies costeiras, onde a amplitude altimétrica pode alcançar mais de 1.000 m, em menos de 10 km.

Figura 9 - Distribuição espacial trimestral da precipitação na RHBIG, RJ.

A distância do litoral (Figura 10) foi a variável que apresentou a melhor associação com a chuva, entre os fatores analisados, com um forte coeficiente de correlação igual a -0,70, ou seja, quanto mais distante do litoral, menor o índice pluviométrico anual. Uma baixa correlação foi encontrada entre a precipitação e as variáveis altimetria (Figura 11) e declividade (Figura 12), cujos coeficientes foram -0,29 e 0,22, respectivamente. A orientação de vertentes (Figura 13) apresentou um coeficiente de correlação desprezível igual a 0,09.

Estas relações entre os fatores fisiográficos e a distribuição espacial de precipitação na região corroboram com os resultados de Franco *et al.* (2003), visto que a advecção do ar úmido do oceano não atinge grandes distâncias, pois encontra um relevo escarpado próximo ao litoral onde é forçado a ascender. Se a condição termodinâmica for favorável, ocorre a condensação e a precipitação próximo ao litoral, restando a advecção de ar mais seco para o interior da região, diminuindo, portanto, a quantidade da precipitação.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho analisou a distribuição espaço-temporal da precipitação da Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande (RHBIG) através da interpolação de dados de 31 estações

pluviométricas no período de 1970 a 1999. Além disso, avaliou como a distância do litoral, altitude, declividade e orientação das vertentes se relacionam com a distribuição espacial da precipitação.

Os dados de precipitação eram consistentes e o algoritmo interpolador que demonstrou uma maior habilidade na espacialização da precipitação foi o *Spline Tension*, disponível no SIG Arc View 3.1.

As análises indicaram que a distribuição espacial da precipitação anual, sazonal e mensal é fortemente influenciada pela topografia e pela distância do litoral. Os máximos de precipitação ocorrem à barlavento da Serra do Mar, como em Bracuí, e os mínimos à sotavento, como em Parati. As regiões mais distantes do litoral se encontram a grandes altitudes e possuem menores índices pluviométricos já que o ar perdeu boa parte da sua umidade ao chegar até essa área.

O período mais chuvoso da RHBIG ocorre nos meses de outubro a março, compreendendo cerca de 70% da precipitação anual, e o período mais seco ocorre de abril a setembro. Alguns autores sugerem que essa alta variabilidade sazonal de precipitação caracteriza-se como um sistema de monção sul-americana.

Os sistemas meteorológicos causadores de precipitação na região são essencialmente distintos nos períodos de abril a setembro e de outubro a março. No primeiro período, a

Figura 10 - Mapa de distância do litoral da RHBIG, RJ.

Figura 11 - Mapa de altimetria da RHBIG, RJ.

Figura 12 - Mapa de declividade da RHBIG, RJ.

Figura 13 -Mapa de orientação de vertentes da RHBIG, RJ.

distribuição espacial da precipitação é relacionada à passagem de sistemas frontais, evidenciando as diferenças de totais acumulados à barlavento e à sotavento da Serra do Mar. No segundo período, o padrão espacial observado é explicado por precipitações convectivas geradas pelo maior aquecimento local, pela intensificação da brisa marítima que eleva a quantidade de ar úmido no interior da RHBIG, e pela ocorrência de ZCAS.

Dos fatores fisiográficos utilizados como variáveis explicativas do padrão espacial de chuvas, a distância do litoral e a altitude apresentaram maiores correlações, mostrando que a configuração do relevo montanhoso da RHBIG, onde a Serra do Mar se aproxima do litoral, é um fator importante para a distribuição espacial da precipitação na região.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. **Orientações para consistência de dados fluviométricos**. Brasília: ANA/SGH, 2012. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/OrientacoesParaConsistenciaDadosFluviometricos-VersaoJul12.pdf>>. Acesso em: 10/04/2013.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (orgs.) **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: Embrapa –SPI/Embrapa– CPAC, 1998, 434 p.
- ATKINSON, B. W. **Mesoscale Atmospheric Circulations**. London Academic Press, 1981, 495 p.
- CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Ed. UNICAMP, 1996, 197 p.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88–108, 2004.
- DAVIS, E. G.; NAGHETTINI, M. C. **Estudo de chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro**. 2ª ed. revista e ampliada. CD-Rom. Brasília: CPRM, 2000.
- DERECZYNSKI, C. P.; OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, C. O. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.1, p.24-38, 2009.
- DEUS, B. V.; ZEILHOFER, P.; ARAUJO, G. C.; SANTOS, A. S. L. Interpolação pluviométrica na bacia do alto e médio rio Teles Pires: uma análise de séries históricas e interpoladores. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, PE. 2010. **Anais eletrônicos**. Recife: CTG/UFPE. 2010.
- ESRI. Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. **ArcUser**, Julho–Setembro, 2004. Disponível em: <http://>

- www.esri.com/news/arcuser/0704/files/interpolating.pdf. Acesso em: 07 abril 2013.
- FELGUEIRAS, C. A. Modelagem Numérica de Terreno. In: FUKS, S. D., CARVALHO, M. S., CÂMARA, G., MONTEIRO, A. M. V. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/index.html>>. Acesso em: 08 nov. 2001.
- FRANCISCO, C. N. **Subsídios à gestão sustentável dos recursos hídricos no âmbito municipal – O caso de Angra dos Reis, RJ**. 2002. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica, Niterói, RJ. 2004.
- FRANCO, N. J. N. *et al.* A Influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) no Transporte de Radionuclídeos na Região de Angra dos Reis, usando Modelagem Numérica. In: III CONGRESSO INTERAMERICANO DE QUALIDADE DO AR, AIDIS. 2003, Canoas (RS). **Anais eletrônicos**. Canoas: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2003.
- GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROUPELEWSKI, C. F. The South America Monsoon Rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 47-66, 2004.
- GRIMM, A. M.; VERA, C. S.; MECHOSO, C. R. The South American Monsoon System. In: CHANG, C.-P.; WANG, B.; LAU, N.-C. G. (Org.). **The Global Monsoon System: Research and Forecast**, WMO/TD No 1266 (TMRP Report No 70) Report of the International Committee of the Third International Workshop on Monsoons (IWMIII), 2–6 November 2004, Hangzhou, China, p. 219–238, 2005.
- KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. 3, p. 217-231, 1988.
- LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Laboratório de Geomatemática, Texto Didático 02, 20 pp. 2000. Disponível em < <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/textodi.html> >. Acesso em: 10/04/2013.
- MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; BARBOSA, E. M.; MELO JÚNIOR, J. C. F. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.3, p.338-344, 2007.
- MORALES, C. A. R. ; DA ROCHA, R. P. ; BOMBARDI, R. On the development of summer thunderstorms in the city of São Paulo: Mean meteorological characteristics and pollution effect. **Atmospheric Research**, v. 96, p. 477-488, 2010.
- NICOLAU, M. R. R. C. **Modelação e Distribuição Espacial de Precipitação uma Aplicação a Portugal Continental**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia do Ambiente). Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Lisboa, 2002.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979, 422 p.
- OSTENDORF, B.; BRADFORD, M. G.; HILBERT, D. W. Regional analysis of forest biomass at the rainforest/sclerophyll boundary in Northern Queensland, Australia. **Tropical Ecology**, 45(1): 31-41, 2004.
- PEREIRA FILHO, A. J.; HAAS, R.; AMBRIZZI, T. Caracterização de eventos de enchentes na bacia do Alto Tietê por meio do radar meteorológico e da modelagem numérica de mesoescala. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 12, Foz do Iguaçu, PR, CD-ROM, 2002.
- QUADRO, M. F. de L. **Estudo de Episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul ZCAS sobre a América do Sul**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE, 1994.
- REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, p.185-204, 2010.
- SATYAMURTY, P.; MATTOS, L. F. Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. **Monthly Weather Review**, v. 117, n. 6, p. 1355-1364, 1989.
- SILVA, V. A. **Evolução da ocupação e da perda de solo numa pequena sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Sado**. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, 2009.
- SILVA DIAS, M. A. F. Sistemas de Mesoescala e Previsão de Tempo a Curto Prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p. 133-150, 1987.
- 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: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, 2011. **Anais**. São José Dos Campos: INPE, p.4295-4302. 2011.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2001, 943p.
- VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. Meso-scale Convective Complexes in the Americas. **Journal of Geophysical Research**, v. 92, D8, p. 959-9613, 1987.
- VERA, C.; HIGGINS, W.; AMBRIZZI, T.; AMADOR, J.; GARREAUD, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C. R.; NOGUES-PAEGLE, J. SILVA DIAS, P. L.; ZHANG, C. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. **Journal of Climate**, v. 19, p. 4977-5000, 2006.
- VALERIANO, M. M.; PICINI, A. G.; MELLO, M.H.A. Estratificação de efeitos anisotrópicos do relevo na geração

de mapas pluviométricos por geoprocessamento. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 1, p. 167-177, 2002.

ZHOU, J.; LAU, K. M. Does a Monsoon Climate Exist Over South America? **Journal of Climate**, v.11, n.5, p.1020-1040, 1998.