

Estudo Temporal e Espacialização Mensal e Anual das Chuvas na Parte Brasileira da Bacia do Rio Paraguai

Murilo Raphael Dias Cardoso¹
Francisco Fernando Noronha Marcuzzo²

¹Universidade Federal de Goiás.
Instituto de Estudos Sócio-Ambientais
Campus Samambaia (Campus II) Caixa Postal: 131-
CEP: 74001-970131 – Goiânia – GO - Brasil
murilo.cardoso@me.com

²SGB / CPRM – Ministério de Minas e Energia
Rua Banco da Província, 105 – CEP: 90840-030
Santa Teresa - Porto Alegre - RS – Brasil
francisco.marcuzzo@cprm.gov.br

Resumo. A bacia do rio Paraguai está localizada em uma importante região onde estão inseridas parte significativa do Aquífero Guarani bem como todo o bioma do Pantanal, maior planície alagável do mundo. Por esse viés, o estudo das chuvas nessa região, bem como sua dinâmica espacial, se torna importante. O objetivo desse estudo foi analisar a espacialização da precipitação das chuvas na parte brasileira da bacia do rio Paraguai. Para chegar aos resultados desse estudo foram utilizados dados de 47 estações pluviométricas distribuídas dentro e nos arredores da área de estudo. Para espacialização dos dados foi utilizado o método de interpolação Topo to Raster manipulados em um programa de SIG. Nesse processo, os dados foram especializados e apresentados na forma de mapas. Para auxiliar na interpretação dos resultados foram utilizados dados de radar providos do SRTM. Os resultados apresentaram que o ano hidrológico na bacia do Rio Paraguai começa em setembro e termina em agosto. O mês mais seco é o de julho e o mês mais úmido o de janeiro. As regiões onde estão localizados os maiores volumes de chuva são as de maior altitude dentro da bacia. Enquanto as de menor volume precipitado estão próximas à região da Alta da Bolívia onde a alta pressão dificulta a formação de nuvens de chuva.

Palavras-chave: Precipitação pluviométrica, Topo to raster, Geotecnologias no estudo do clima, SRTM e Hietograma

Abstract. The Paraguay River basin is located in an important region where they operate significant part of the Guarani Aquifer as well as all of the Pantanal biome, the largest floodplain in the world. For this bias, the study of rainfall in this region, as well as its spatial dynamics, becomes important. The aim of this study was to analyze the spatial distribution of rainfall in the Brazilian rain basin of the Paraguay River. To get to the results of this study we used data from 47 rainfall stations distributed in and around the study area. For spatial data, the method of interpolation Topo to Raster manipulated in a GIS program. In this process, the specialized data were presented in the form of maps. To assist in interpreting the results were used radar data provided by SRTM. The results showed that the hydrological year in the basin of the Paraguay River begins and ends in September and August. The driest month is July and the wettest month of January. The regions are located where the largest volumes of rain are higher elevation within the basin. While the lower volume are precipitated near the region of the Bolivian high where high pressure hinders the formation of rain clouds.

Keywords: Rainfall, Top to raster, Geo-climate studies, SRTM, Hietogramy

1. Introdução

A bacia do rio Paraguai está localizada em uma importante área no que diz respeito ao estudo e abastecimento de recursos hídricos. Em suas delimitações está presente parte significativa do maior manancial de água doce subterrânea transfronteiriço do mundo, o Aquífero Guarani. Além de ter dentro de sua área, integralmente, o bioma Pantanal, a maior área inundável do planeta. As águas das chuvas são os principais abastecedores dos lençóis freáticos, como o do Aquífero Guarani, bem como, são diretamente responsáveis pelo regime de cheias no bioma Pantanal. Contudo, o estudo temporal e da espacialização das chuvas nessa região são de grande importância.

A precipitação está diretamente ligada às dinâmicas das massas de ar. Algumas massas de ar têm por características serem portadoras de muita umidade, como é o caso das massas de ar formadas em regiões equatoriais. Contudo, essas massas de ar podem sofrer interferência de relevos de extremidades agudas, tendo sua circulação por uma região interrompida, ou tendo suas características amenizadas (Ayoade, 1983).

Segundo Cardoso e Marcuzzo (2010), a região onde se encontra a bacia do rio Paraguai apresentam dois períodos distintos em relação à precipitação. Um período seco, que vai de junho a agosto e um período úmido, de setembro a maio, sendo que pode-se considerar os meses de setembro e maio como meses de transição, onde se enquadrariam em um meio termo, não sendo nem seco nem úmido.

Os programas de aplicação em SIG têm a capacidade de manipular, armazenar e analisar dados geográficos. É diferente dos demais (aplicáveis em cartografia digital) por possuir estruturas que permitem definir as relações espaciais e estatísticas entre todos os elementos dos dados (geo-objetos). Esta convenção conhecida como topologia dos dados, vai além da mera descrição da localização e geometria cartográfica, por permitirem fazer cruzamentos de dados e desenvolver cenários, daí sua importância na utilização do planejamento territorial e gestão do meio ambiente, particularmente gestão de bacias hidrográficas (Ferreira *et al.* 2005). Existem diferentes modos de se mapear a variabilidade espacial de um atributo em um SIG. Porém, nem todos os modelos inferenciais propostos respondem a questões básicas relacionadas com a forma, tamanho e orientação do domínio a ser considerado na interpolação, além de não fornecer informações sobre incertezas em relação aos valores estimados espacialmente (Burrough et al., 1998). Em se tratando da precipitação como fenômeno de importante variabilidade espacial, tendo uma influência direta na fitofisionomia natural e em atividades biológicas, os programas de SIG podem também auxiliar nesse tipo de estudo.

2. Objetivo

O objetivo desse trabalho é fornecer informações sólidas sobre a espacialização e a dinâmica das chuvas na parte brasileira da bacia do Rio Paraguai utilizando uma base de dados com um período de 30 anos de observações. Com isso, os resultados desse artigo serão base para qualquer estudo que necessite de informações pluviométricas da região.

3. Material e Métodos

3.1 – Caracterização da área de estudos

A bacia do Alto Paraguai está localizada no entrave formado pelos estados brasileiros do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, e pelos países sul-americanos, Paraguai e Bolívia. Possui como principal expoente o Rio Paraguai que nasce em território Brasileiro e se estende em direção a bacia do Prata, do qual representa um dos principais tributários. Desconsiderando a região do Chaco, por ser uma área endorréica, a Bacia do Alto Paraguai abrange uma área de aproximadamente 400.000 km² (Agência Nacional das Águas, 2008, p. 06). Em território brasileiro a bacia do Alto Paraguai representa uma área aproximada de 362284,70 km².

Cabe destacar para a Bacia do Paraguai a importância do bioma do Pantanal, uma vez que a área que correspondente ao bioma encontra-se inteiramente inserido na bacia. O Pantanal brasileiro abrange uma área de 147.629 km² e possui na própria nomenclatura referência a uma de suas principais características: "região baixa, localizada no centro da bacia, onde os rios inundam as planícies e alimentam um intrincado sistema de drenagem que inclui lagos extensos, cursos d'água divergentes e áreas de escoamento e inundação sazonal" (Agência Nacional das Águas, 2008, p. 06). Por esses fatores é considerada a maior área úmida do mundo.

O Pantanal, considerado nas definições de Ab'Sáber (2003) como uma área de transição entre os domínios morfoclimáticos - principalmente com o Cerrado -, guarda elementos de semelhança com outros biomas. Por suas características únicas e pela riqueza no que confere a fauna e a flora local, as pesquisas, o debate e as ações coletivas são importantes para a sua conservação.

3.2. Dados utilizados no estudo

Foram utilizados, neste estudo, dados de precipitação mensal de 43 estações pluviométricas, com algumas falhas que foram dissolvidas dentro do período estudado, distribuídas no território da bacia do Rio Paraguai e 4 estações de fora das limitações da área de estudos para auxiliar na interpolação de dados em uma área carente de estações pluviométricas. Na parte Sul-Mato-Grossense estão instaladas 17 estações pluviométricas e na parte Mato-Grossense, existem 30 estações. No total são 47 estações pluviométricas com 30 anos de monitoramento (Figura 1). Esses dados foram tratados em uma planilha eletrônica para se obter as médias mensais e anuais desse estudo. Nessa parte é onde se consiste a maior dificuldade desse tipo de estudo por existirem uma quantidade relativamente alta de dados a serem tratados uma vez que os dados são disponibilizados com cotas diárias. Os dados foram obtidos da Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional de Águas (ANA) e o período de dados correspondem a três décadas (1977 à 2006).

Localização, Biomas e Estações Utilizadas no Estudo - Bacia do Rio Paraguai

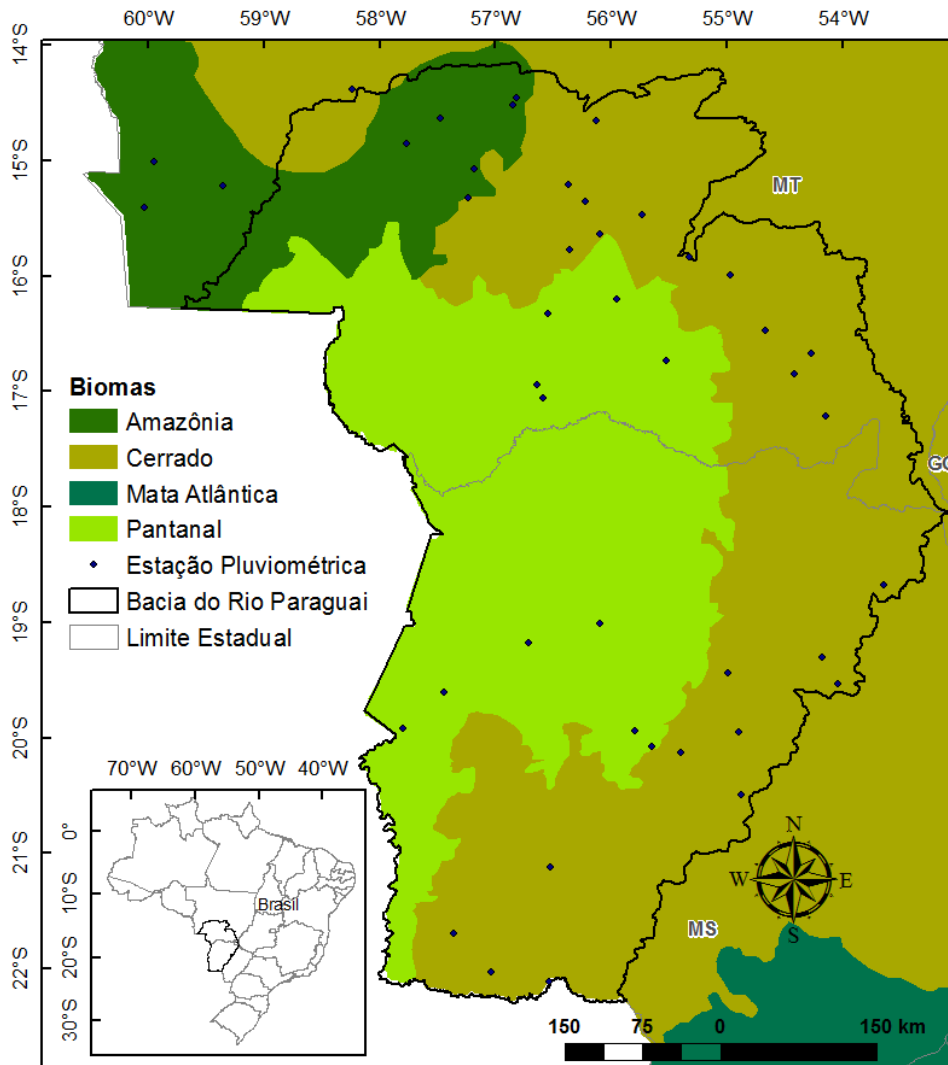


Figura 1. Localização, biomas e estações pluviométricas utilizadas no estudo da parte brasileira da Bacia do Rio Paraguai (Fonte IBGE, ANA e MMA).

3.3. Altimetria e massas de ar da área de estudos

A altitude máxima da bacia do Rio Paraguai é de 1155 metros e o ponto mais baixo é de 24 metros, quase ao nível do mar apesar de estar localizada no meio do continente (Figura 2). As regiões mais baixas formam uma grande depressão na qual se formou e se localiza o bioma Pantanal (Miranda et al, 2005).

A principal massa de ar que exerce influência sobre essa região durante o período de verão é a massa equatorial continental, que é uma massa de ar com característica de ser úmida e quente. Trazendo pra essa região, além das características de sua gênese, umidade da grande região do bioma Amazônia. Durante o inverno, com a perda de força relativa que sofre a mEc, sofrendo influência da massa polar atlântica, que chega a região trazendo ar frio e seco, bem como com a alta pressão da Alta da Bolívia, a umidade da região tende a cair dando ao local características mais secas nessa época do ano (Nimer, 1989).

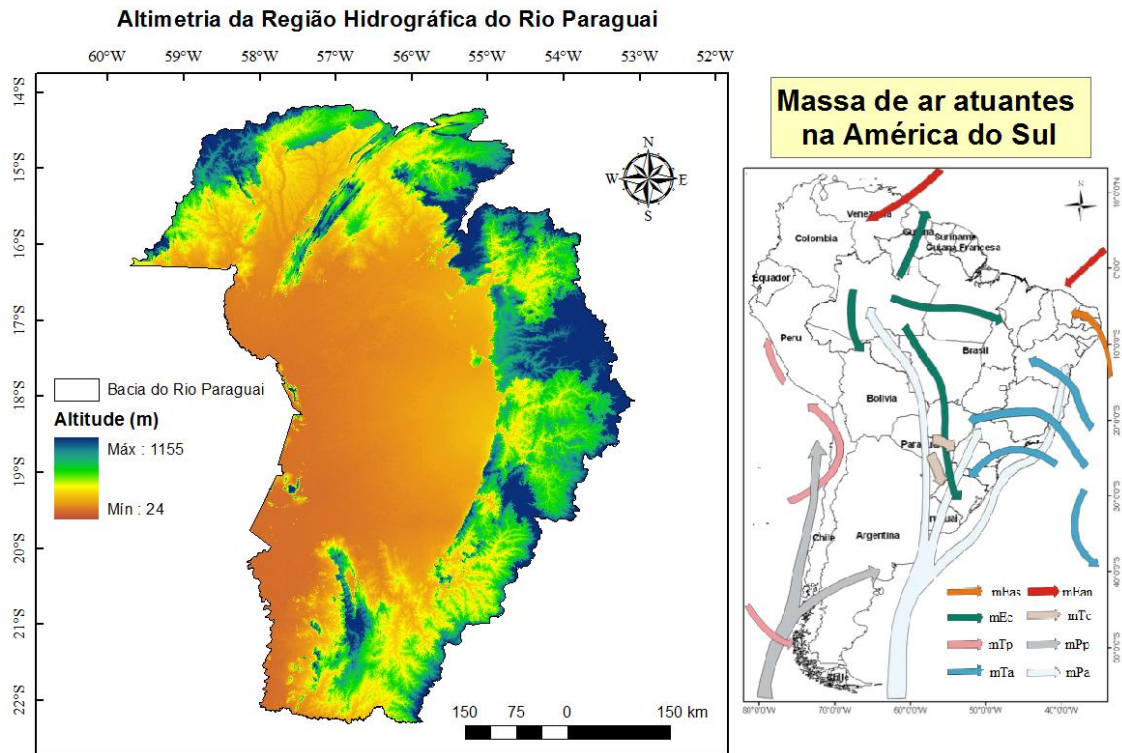


Figura 2. Altimetria e Massas de ar da América do Sul da região da parte brasileira da Bacia do Rio Paraguai (Fonte: EMBRAPA/NASA e Nimer, 1989)

3.4. Interpolação matemática pelo método Topo to Raster

A função Topo to Raster é um método de interpolação baseado no programa ANUDEM desenvolvido por Hutschinson, que foi especificamente feito para a criação de MDE hidrologicamente corretos, contudo alguns estudos o indicam como o melhor para a interpolação de dados climatológicos (Marcuzzo et al., 2011, p.709), onde a interpolação pode ser feita em programas de sistema de informação geográfica.

O programa interpola os dados de clima em uma grade regular, de modo iterativo, gerando grades sucessivamente menores, minimizando a soma de uma de penalização de rugosidade (roughness penalty) e a soma dos quadrados dos resíduos (diferenças das elevações medidas e calculadas pela função).

Cada elevação em um determinado local é dada por:

$$z_i = f(x_i, y_i) + w_i \varepsilon_i \quad (1)$$

em que, $f(x,y)$ é a função de interpolação, definida por uma função B-spline, cada w_i é uma constante positiva que representa o erro de discretização do ponto i e cada ε_i é uma amostra de uma variável aleatória de média zero e desvio padrão igual a um.

Assumindo que cada ponto está localizado aleatoriamente dentro da célula do modelo, a constante w_i é definida por:

$$w_i = \frac{hs_i}{\sqrt{12}} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n [(z_i - f(x_i, y_i)) \div w_i]^2 + \lambda J(f) \quad (3)$$

em que, h é o espaçamento da grade; s_i é a medida de inclinação da célula da grade associada com o ponto (x_i, y_i) . A função $f(x, y)$ é então estimada resolvendo uma aproximação na grade regular via método das diferenças finitas que minimiza a somatória. A constante w_i varia com cada iteração, em uma característica adaptativa local (locally adaptive feature), já que a cada iteração do programa um novo valor de inclinação (s_i) é disponibilizado para cada célula da grade conforme o método iterativo avança.

O programa utiliza o método multi-grid simples para minimizar a equação em resoluções cada vez melhores, começando de uma grade inicial larga até uma grade que tenha resolução definida pelo usuário, respeitando restrições que garantem uma estrutura de drenagem conectada.

3.5. Definição de mês seco

Para algumas regiões que contam com estiagem de chuvas durante determinado período no ano, pode-se classificar alguns meses como secos. Sendo assim, segundo Gausson e Bagnouls (1953), o mês seco é aquele no qual: a) registram-se menos de 10 mm de chuva, a uma temperatura média inferior a 10°C, b) registram-se menos de 25 mm de chuva, a uma temperatura média compreendida entre 10°C a 20°C, c) registram-se menos de 50 mm de chuva, a uma temperatura média compreendida entre 20°C a 30°C e; d) registram-se menos de 75 mm de chuva, a uma temperatura média superior a 30°C. Esta definição descontínua exprime-se, no entanto de forma contínua, por meio de uma reta indicando que mês seco é considerado aquele em que o total mensal das precipitações (quantificada em mm) é igual ou inferior ao dobro da temperatura média (expressa em graus Célsius), ou seja, matematicamente expressa-se como sendo:

$$MS = P \leq 2T \quad (4)$$

em que, MS é o mês seco, P é a precipitação total mensal e T a temperatura anual média do ar em graus célsius.

4. Resultados e Discussão

Como pode ser observado na Figura 3, as chuvas na parte brasileira da bacia Rio Paraguai se distribui de forma assimétrica durante o ano. Sendo que, os maiores volumes de chuvas ficam concentrados entre os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março. Em que janeiro corresponde ao mês mais chuvoso considerando a média dos 30 anos de observações entre 1977 e 2006. Os menores índices de precipitação ficam entre os meses considerados secos que são: junho, julho e agosto. Sendo julho o mês mais seco do ano.

Esses fenômenos de distribuição assimétrica das chuvas na bacia do Rio Paraguai ocorrem principalmente por causa da dinâmica de atuação das massas de ar sobre essa região (Figura 2). Durante o verão, essa região sofre grande influência, principalmente, da massa de ar equatorial continental (mEc) que traz consigo muita umidade advinda da floresta Amazônica, contribuindo para o maior índice de precipitação pluviométrica para essa região durante essa época do ano. Durante o inverno, a mEc além de chegar com menos intensidade a essa região, tem sua ação dificultada por um fenômeno conhecido como Alta da Bolívia, bem como da massa polar atlântica (mPa) que atua sobre essa região e traz consigo o ar seco. É importante ressaltar que a mPa não é uma massa de ar originalmente seca, porém ela perde sua umidade quase que por completo no sul do continente sul-americano chegando seca e fria no interior do continente.

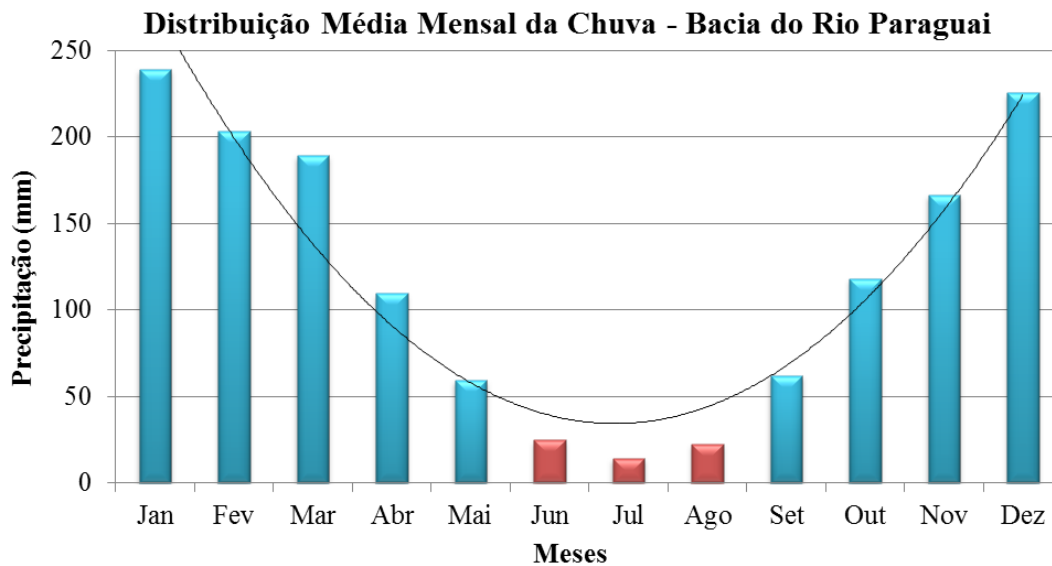


Figura 3. Distribuição média mensal das chuvas na parte brasileira da Bacia do Rio Paraguai (1977 à 2006).

As chuvas na parte brasileira da bacia do Rio Paraguai estão espacilizadas durante o ano relacionadas a dois fatores principais, a dinâmica das massas de ar, como citado anteriormente, e a variação de altitude.

Conforme demonstra a Figura 4, nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março as chuvas tendem a apresentar um volume maior na região do norte da bacia do Rio Paraguai. Isso ocorrer por que é essa a área da bacia que sofre a maior influência da umidade da mEc (Figura 2). Além de ser uma área coberta pela floresta amazônica (Figura 1). A altitude também tem relativa influência nas regiões de maior precipitação durante esse quadriênio, pois se cruzadas as informações altimétrica da Figura 2 observa-se que as área de maior atitude se coincidem as de maior precipitação. Isso ocorre principalmente pelo fato de as grandes altitudes servirem de barreiras naturais para as chuvas fazendo com que a umidade fique retida a essas regiões impossibilitadas de chegar com maior intensidade as outras regiões da bacia do Rio Paraguai. Durante esses quatro meses de maior índice de precipitação o volume varia entre 200 mm e 400 mm.

Durante os meses de abril, maio, setembro, outubro e novembro, as chuvas se distribuem de forma parecida (Figura 4). Com destaque para os volumes um pouco mais altos durante abril, outubro e novembro (Figura 3), que apresentam precipitação entre 150 mm e 250 mm, em relação aos meses que chamamos de meses de transição que apresentam áreas úmidas (>50 mm) e secas (<50 mm).

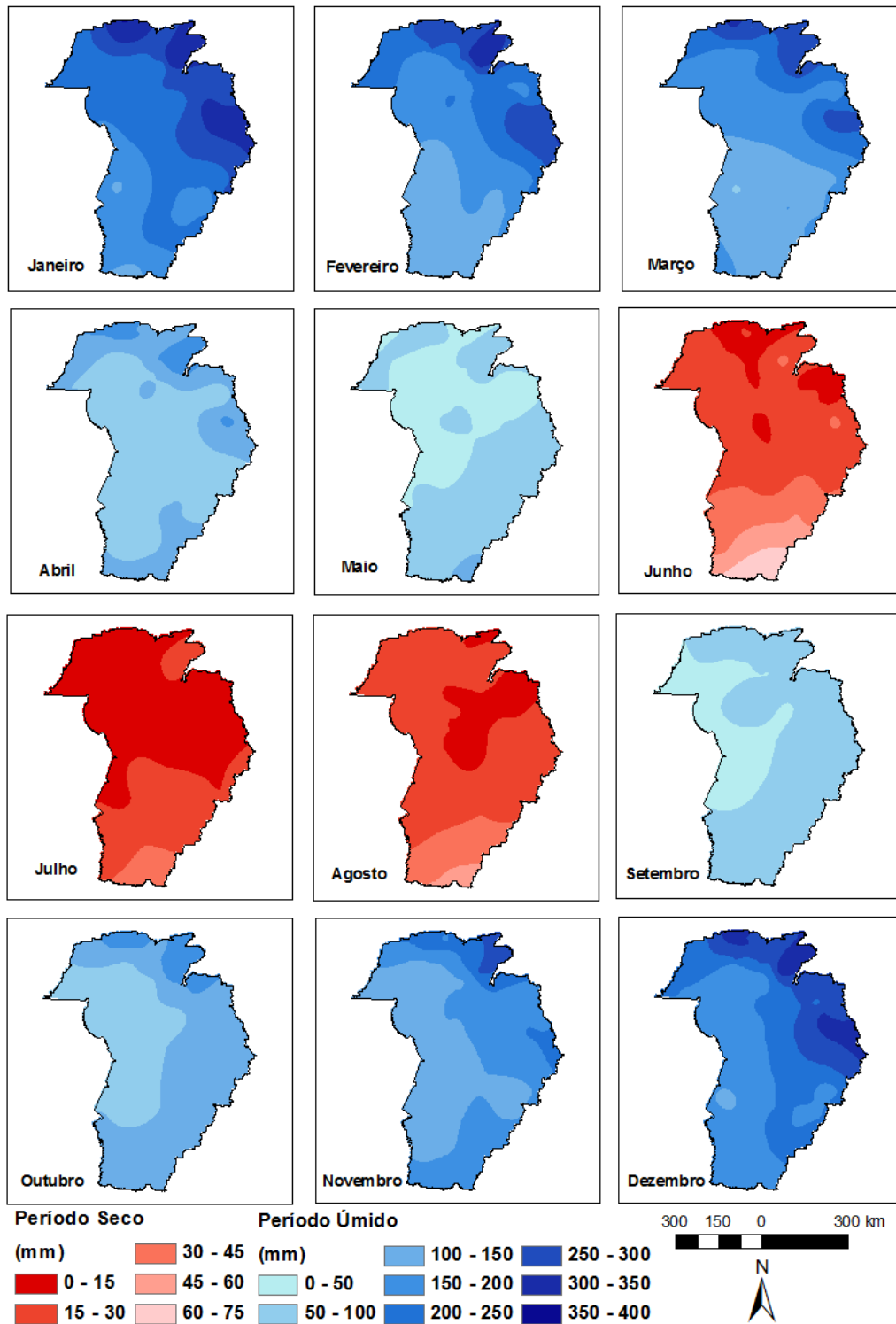


Figura 4. Espacialização média mensal das chuvas na parte brasileira da bacia do Rio Paraguai

Pode-se observar na Figura 5, que os maiores índices de precipitação, considerando o total anual na parte brasileira da bacia do Rio Paraguai, estão localizadas nas regiões de maior altitude da bacia (Figura 2), onde a soma total das médias de precipitação ficam entre 2000 mm e 2400 mm, podendo ser comparadas a algumas regiões do Norte do Brasil, local mais chuvoso do continente. Já a região de menor índice de precipitação

está localizada no oeste da parte brasileira da bacia. Nessa região há a atuação da Alta da Bolívia, onde as pressões elevadas da região dificultam a formação de nuvens dos tipos *cumulus* e *cumulus nimbus* que são as nuvens carregadas de umidade que vêm a precipitar. Nessa região da bacia os volumes de chuvas ficam entre 800 mm e 1000 mm podendo ser comparados aos do semiárido brasileiro, onde se tem os menores índices de precipitação do Brasil.

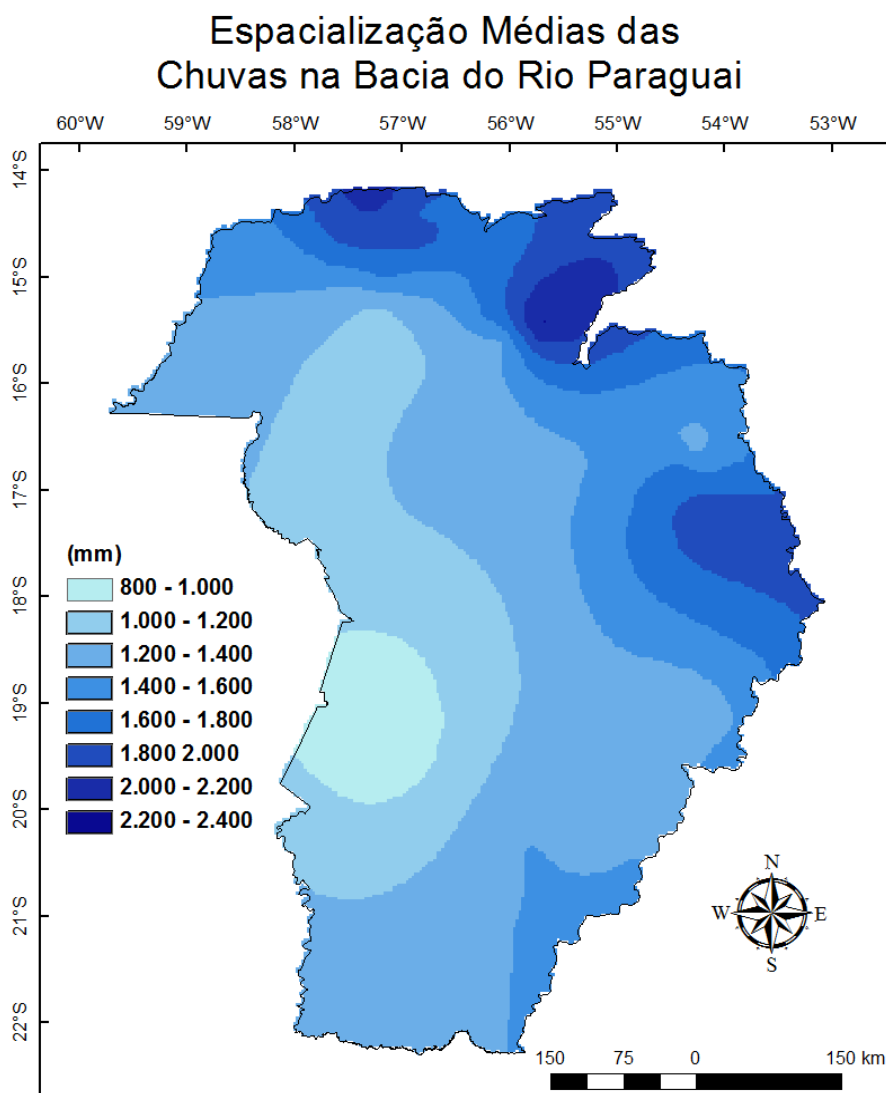


Figura 5. Espacialização média anual das chuvas na parte brasileira da bacia do Rio Paraguai

5. Conclusões

Nesse estudo concluiu-se que as dinâmicas das chuvas na parte brasileira da bacia do Rio Paraguai estão, como na maior parte do planeta, diretamente relacionadas a dinâmica das massas de ar e a variação altimétrica. Contudo, pôde-se determinar nesse estudo que o ano hidrológico nessa região começa no mês de setembro (primeiro mês úmido) e termina em agosto (último mês seco). Os meses referentes ao período úmido são setembro, outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril e maio, enquanto os meses referentes ao período seco são junho, julho e agosto. Em ordem decrescente os meses mais chuvosos são janeiro (239 mm), dezembro (225 mm), fevereiro (203 mm), março (189 mm), novembro (166 mm), outubro (118 mm), abril

(109 mm), setembro (66 mm), maio (59 mm), junho (25 mm), agosto (22 mm) e julho (14 mm).

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil) pelo apoio técnico a pesquisa e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento desse estudo.

7. Referências

Ab'Sáber, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

Agencia Nacional de Águas (BRASIL). **Boletim de monitoramento da Bacia do Alto Paraguai**. v.3, n. 1, jan. 2008.

Ayoade, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. 14ª ed. Rio de Janeiro. Ed. Bertrand Brasil, 2003.

Burrough, P. A.; McDonnel, R. A. **Principles of geographical information systems**. New York: Oxford University Press, p.333 1998.

Cardoso, M. R. D.; Marcuzzo, F. F. N. **Mapeamento de três decênios da precipitação pluviométrica total e sazonal do bioma Pantanal**. Anais 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Cáceres, MT, 16-20 de outubro 2010. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.84 -94.

Ferreira, M. M.; Alves, E. de O.; Menezes, J. M. de, Macieira, M. B.; Silva, H. A. da. **Aplicação de SIG como instrumento de apoio para a tomada de decisões no processo de gestão compartilhada de bacias hidrográficas urbanas- O Caso do Igarapé Belmont - Porto Velho, RO**. Trabalho de PIBIC. Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, 2004.

Gausson, H.; Bagnouls, F. **Saison seche et indice xerothermique**. Toulouse, França: Université de Toulouse, Facultei des Sciences, 1953.

Marcuzzo, F. F. N.; Andrade, L. R.; Melo, D. C. R. **Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso**. Revista Brasileira de Geografia Física, América do Norte, v.4, n.4, p. 696-710, 2011.

Miranda, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 1 jul. 2012.

Nimer, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 422p. 2ed.