



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## **Análise Preliminar dos Padrões Espaciais da Distribuição da Precipitação Sobre a América do Sul**

Éder Leandro Bayer Maier<sup>1</sup>, Jefferson Cardia Simões<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doutorando, Programa de Pós Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, prédio 43136, sala 208 - CEP 91501-970, Porto Alegre, RS Brasil, [eder.maier@ufrgs.br](mailto:eder.maier@ufrgs.br)

<sup>2</sup>Professor Associado, Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, prédio 43136, sala 209 - CEP 91501-970, Porto Alegre, RS Brasil, [jefferson.simoess@ufrgs.br](mailto:jefferson.simoess@ufrgs.br)

Artigo recebido em 11/11/2011 e aceito em 18/07/2012

### **RESUMO**

A climatologia da América do Sul (AS) é diretamente influenciada pela dinâmica monssônica, a qual pode transportar umidade da região equatorial até a foz do rio da Prata influenciando diretamente na taxa de precipitação da bacia hidrográfica do Rio Madeira, Andes Centrais e Sul do Brasil. Amostras oriundas do testemunho de gelo no nevado Illimani (cordilheira do Andes) e das precipitações coletadas na bacia do rio Madeira foram submetidas à análises de isótopos estáveis a fim de monitorar a variabilidade da circulação monssônica e sua relação com o clima da AS. Neste sentido, este estudo tem como objetivo identificar padrões espaciais da precipitação a fim de auxiliar na compreensão da variabilidade das razões isotópicas das amostras. Para tanto, foi utilizado dados diários da precipitação do modelo de reanálise II (NCEP/NCAR) do período entre 1979 a 2010. Como técnica estatística, utilizou-se a Análise das Componentes Principais (ACP), que gerou modelos espaciais dos campos de precipitação. Sendo que esses modelos representam uma pequena porcentagem da variância. Estima-se que essa baixa representatividade dos modelos possui origem nas diferenças entre a formação caótica da precipitação e a linearidade do tratamento estatístico. Para finalizar, propõe-se que se realize a ACP em uma área menor, que abrange o nevado Illimani e a bacia hidrográfica do rio Madeira com médias mensais, bem como, efetue uma análise de clusters.

Palavras-chave: dinâmica monssônica, precipitação, ACP

## **Preliminary Analysis the Spatial Patterns of Precipitation Distribution over South America**

### **ABSTRACT**

The South America (SA) climatology is directly influenced by monsoon dynamics and which can carry moisture from the equatorial region to La Plata river basin, influencing the precipitation on Madeira river area, Nevado Illimani and southern Brazil region. Samples recovered from an ice core in Nevado Illimani (Andes) and from precipitation collected on the Madeira river basin were subjected to analysis of stable isotopes, to monitor the variability of circulation monsoon and their relations with SA climate. This study aims to identify patterns of spatial distribution in precipitation that can be used to better understand variations in the sample isotopic ratios. For this, we used rainfall data from the model reanalysis II, spanning the period between 1979 – 2010. As statistical technique, we applied the Principal Component Analysis (ACP) to generate spatial models of precipitation fields. These models are representative of an low percentage of total variance. These inconsistencies between model and precipitation may have their origins in the chaotic formation of precipitation and in the linearity of analysis statistic. For finalize, we proposed to perform ACP in a smaller area and with monthly mean, which covers Nevado Illimani and Madeira river basin, as well as the cluster analysis.

Keywords: monsoon dynamics, precipitation, PCA.

### **1. Introdução**

Séries temporais das razões isotópicas

do hidrogênio e do oxigênio da água que constitui o testemunho de gelo do nevado Illimani podem indicar a variabilidade

\* E-mail para correspondência: [eder.maier@ufrgs.br](mailto:eder.maier@ufrgs.br)  
(Maier, E. L. B.).

climática da América do Sul no século passado. Pois a água precipitada nos Andes Centrais podem percorrer dois caminhos, um é caracterizado pelo transporte direto da água evaporada no oceano Atlântico equatorial até os Andes e o outro caminho é o percurso de reciclagem da água na bacia amazônica, onde a água evapora e precipita ao longo do percurso.

A razão isotópica possui valor próximo de zero quando a água é oriunda da evaporação oceânica e com os processos de troca de estado físico na reciclagem, esse valor torna-se gradativamente menor (negativo). Assim a série temporal das razões isotópicas pode indicar a variabilidade climática associada ao transporte de umidade realizado pela dinâmica monssônica ao leste dos Andes, a qual é responsável pelas precipitações nessa área.

As séries temporais obtidas do testemunho do nevado Illimani são inferências a dinâmica atmosférica ocorrida no século passado na área ao leste da cordilheira, pois o nevado localiza-se próximo de La Paz, na Bolívia, na margem oriental e o testemunho recuperado possui 130 metros, onde os primeiros 50 metros correspondem às precipitações do último século. No entanto, há uma compreensão limitada da relação entre as variações das razões isotópicas e a variabilidade da dinâmica monssônica, principalmente pelas múltiplas interações de fenômenos atmosféricos que interferem na distribuição espacial da precipitação (Ramirez

et al., 2003).

As interações entre a criosfera e a atmosfera ocorrem em múltiplas escalas temporal e espacial, o que torna sua análise complexa. Porém alguns ciclos naturais e algumas atividades antrópicas causam perturbações que são registrados nos mantos de gelo como, por exemplo, o fenômeno ENSO e as queimadas nas bordas da Amazônia. Assim, alguns identificadores nos testemunhos de gelo podem indicar uma variabilidade climática ou uma mudança ambiental e/ou climática.

Para avançar na compreensão das séries temporais oriundas do testemunho de gelo está ocorrendo coletas de amostras de água precipitadas na bacia do rio Madeira, a fim de obter amostras espacialmente distribuídas em uma área que abrange a margem leste dos Andes até à região central da bacia Amazônica. Neste contexto, esta pesquisa apresentada nesse artigo pretende auxiliar na compreensão das múltiplas relações entre as amostras da precipitação com as razões isotópicas. No entanto, aqui é apresentado a primeira fase desse trabalho, onde foi identificado os principais padrões espaciais e temporais da precipitação por meio da análise das componentes principais.

Visto isso, as possíveis conexões entre os registros coletados com a extração do testemunho de gelo e coletas de água na bacia hidrográfica do rio Madeira com a variabilidade climática da América do Sul podem ocorrer em função da circulação

monsônica que domina essa área predominantemente no verão. Esta circulação é caracterizada pela inversão dos fluxos em superfície de acordo com a estação sazonal. Para exemplificar, no verão os ventos alísios de nordeste transportam grande volume de umidade do oceano Atlântico equatorial para o interior do continente Sul Americano, já no inverno a ZCIT migra para norte e intensifica-se o sistema de alta pressão atmosférica no oceano Atlântico subtropical, assim transportando menor volume de umidade evaporado de águas oceânicas com menor temperatura. (Zhou et al., 1998).

Os jatos de baixos níveis ao leste dos Andes constituem um dos fenômenos mais eficientes no transporte de umidade sobre o continente sul americano, porque são ventos intensos que ocorrem próximo ao limite da camada planetária, onde há grande disponibilidade de umidade na área de início do jato (planície Amazônica). Já a área de saída pode ser região Sul ou no Sudeste do Brasil, onde ocorrem associações com sistemas frontais ou convectivos (Marengo et al., 2004). Segundo Bonner (1968) os jatos são caracterizados por ventos em 850 hPa acima de 12 m/s e com cisalhamento entre os níveis de 850 e 700 hPa maiores que 6 m/s.

A principal perturbação da circulação atmosférica em escala interdecenal é a causada pelo fenômeno ENSO, o qual desloca a célula de Walker para leste na fase quente (El Niño) e para oeste na fase fria (La Nina). Esta variação da célula afeta a disponibilidade

de umidade evaporada na área equatorial e a dinâmica dos ventos sobre o continente sul americano. Para exemplificar, em períodos sob domínio de El Niño ocorre uma intensificação do transporte de umidade equatorial em direção ao sul do Brasil, e quando associado a sistemas frontais estacionários causam índices pluviométricos acima da média na região (Grimm, 2003). Já em fase La Niña, ocorre um predomínio das massas de ar frio e seco no sul e sudeste do Brasil no período de inverno e de primavera, ocasionado pelas passagens mais frequentes dos sistemas frontais pelo sul do Brasil (Grimm, 2004).

No entanto a variabilidade da taxa de precipitação sobre a AS ocorre pela interação de diversas escalas, apresentando uma estrutura caótica, o que torna a análise estatística complexa, em que as incoerências das escalas temporais ou espaciais podem gerar resultados não satisfatórios. Baseado nesta premissa Lorenz (1956) introduziu em estudos climáticos as Funções Ortogonais Empíricas operacionalizadas por meio da Análise das Componentes Principais (ACP), a qual retorna modelos espaciais e temporais dos dados amostrados.

Para finalizar, na sequência serão apresentados resultados da ACP dos totais pluviométricos diários que ocorrem sobre a AS. Visto que essa pesquisa tem por objetivo identificar o número de Componentes Principais (CP) e a representatividade da variância de cada CP. Adicionalmente,

sugere-se novas propostas de trabalho, tendo em vista que esse resultados são oriundos da primeira fase de pesquisa, bem como, há uma alta porcentagem da variabilidade da precipitação diária sobre a AS não é explicada pelas CP.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de estudo

Utilizou-se uma grade com limites longitudinal entre  $-30^{\circ}$  a  $-90^{\circ}$  e latitudinal

entre  $10^{\circ}$  e  $-50^{\circ}$ , abrangendo a América do Sul. Porém as análises possuíram ênfase na área do nevado Illimani e bacia hidrográfica do Rio Madeira. Para isso foram selecionadas duas áreas representadas na Figura 1 pela sigla A1 e A2, respectivamente, um recorte espacial sobre forte influência da dinâmica monssônica, onde há nítida inversão da direção do vento entre o verão e o inverno, e o recorte espacial (A2) abrangendo a bacia hidrografia do Rio Madeira.



**Figura 1.** Área de estudo, com caixas indicando as áreas em que se operacionalizou a seleção dos campos de precipitação. Área (A1) circunscrita pela linha contínua e (A2) pela linha pontilhada.

Esses dois recortes espaciais foram criados para operacionalização dos critérios

de seleção dos campos de precipitação. Na área identificada como A1 foi implementado

o critério de classificação segundo a direção do vento, devido à nítida inversão dos ventos (Zhou et al., 1998). Já na A2 os critérios de seleção são baseados nas anomalias da taxa de precipitação, visto que os extremos positivos e negativos da anomalia dessa amostra causa grande estresse hídrico, conseqüentemente, originando identificadores nos registros glaciais (Ramirez et al., 2003).

## 2.2 Dados

Utilizou-se dados de precipitação e componente meridional do vento disponibilizados pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), os quais são produtos do projeto de Reanálise II. Os dados de precipitação são gerados a partir da modelagem das observações instrumentais e dados do vento são oriundos de modelos e interpolação das observações realizadas sobre a superfície terrestre. Esses dados são disponibilizados em uma grade regular com espaçamento de 2,5 graus de latitude e longitude e com uma resolução temporal de seis horas. Os produtos de Reanálise podem ser classificados em classes de confiabilidade, onde o vento é categorizado na classe “B”, porque produto é oriundo de observações e modelagem, apresentando menor confiabilidade quando comparado a classe “A”, que são os dados amplamente amostrados, já a precipitação integra a classe “C”, apenas modelados (Kistler et al., 2001).

O projeto de Reanálise II NCEP/NCAR

(R2) modela dados a partir do ano de 1979 até o presente momento. O modelo R2 representa com maior fidedignidade os fenômenos atmosféricos, pois a partir de 1979 ocorreu em maior número as amostragens oriundas de estações meteorológicas, bóias de fundeio e a introdução do sensoriamento remoto no monitoramento atmosférico. Adicionalmente, houve ajustes no modelo R2, que envolve a modelagem dos “buracos” na série de dados do hemisfério sul, na quantidade da cobertura de neve e do albedo planetário (Kanamitsu et al., 2002). Baseando-se nessas premissas selecionou-se para esse trabalho o período entre 1979 a 2010, com resolução temporal de 6h e com resolução espacial de 2,5°.

## 2.3 Tratamento estatístico

Utilizou-se da técnica estatística multivariada denominada Análise das Componentes Principais no modo de correlação entre campos (Modo T) para identificar padrões espaciais dos totais diários de precipitação. Calculado a partir das anomalias obtidas pela subtração do dado pela média mensal. Adicionalmente, a matriz foi interpolada linearmente para equiespaçamento dos pontos da grade, tendo como base que a variação da longitude é proporcional ao cosseno da latitude multiplicado pela distância em metros de cada latitude (111.120 metros).

O número de componentes principais (CP) foi determinado por uma análise visual do gráfico em escala logarítmica oriundo do

autovalor da matriz de covariância e da análise do gráfico da correlação das componentes rotacionadas, baseados nos trabalhos de Pla (1986), Johnson (1998) e Manly (2008). No primeiro teste se utilizou trinta e uma rotações, exceto na base de dados selecionado pelo quarto quartil, que totalizam 18 campos. Assim o número possível de CP é igual ao de campos. Estes autovetores são utilizados exclusivamente para análise da correlação, que auxilia na definição do número de CP.

Adotou-se o limiar de correlação de 0,5 e o número máximo de CP igual a sete (Pla, 1986). Baseado nisso gerou-se as componentes principais de cada conjunto de dados. Bem como, foi mensurado variância explicada por cada componente a partir do somatório do coeficiente de cada componente principal (*factor loading*) dividido pelo número de amostras (Manly, 2008).

Os critérios de seleção dos campos de precipitação basearam-se em três parâmetros. Primeiro, a componente meridional do vento na área A1 da Figura 1 deve apresentar valor positivo em pelo menos trinta e três por cento da área, indicando o deslocamento do ar de norte para sul. O segundo e terceiro parâmetros baseiam-se no volume de água precipitado na área A2. Os campos selecionados para representar os campos com precipitação abaixo da normal são as amostras que compõem o primeiro quartil da distribuição de frequência do total pluviométrico diário na área A2 e os campos

selecionados com taxas de precipitação acima da média são os que compõem o quarto quartil (Assis, 1996).

### 3. Resultados

Em uma análise preliminar com a série de trinta e dois anos identificou-se quatro componentes principais para as chuvas ocorridas entre 12 e 18 horas no fuso (Universal Transverso de Mercator) UTM e cinco componentes para as precipitações ocorridas entre as 00 e 06 UTM, não excedendo a representatividade de vinte por cento da variância total dos dados. Observado a baixa representatividade das componentes principais optou-se por selecionar campos de precipitação de acordo com os critérios exposto na metodologia, a fim de melhorar os padrões espaciais e temporais oriundos da ACP diminuindo o número de campos a partir da seleção de fenômenos específicos.

O banco de dados de trinta e dois anos totalizou 46.752 campos, dos quais selecionou-se 13810 campos de precipitação com a classificação da direção do vento na área A1, 3251 campos de precipitação que constituem o primeiro quartil da distribuição de frequência do total pluviométrico da área A2 e 108 campos de precipitação que constituem o quarto quartil da respectiva distribuição de frequência.

Cabe destacar que o número de campos selecionados pelo quarto quartil da taxa de precipitação da área A2 não é representativo estatisticamente, pois 108 campos constituem

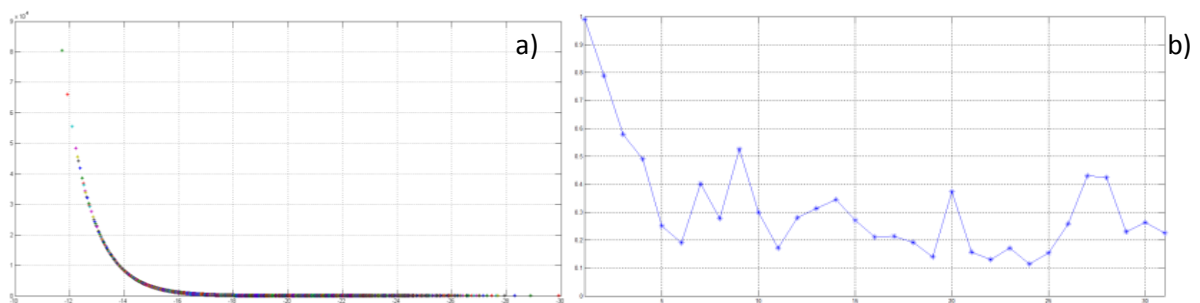
0,2% do período total, bem como se sugere que a Análise das Componentes Principais (ACP) seja realizada com matrizes relativamente proporcionais entre o número de linhas e colunas, sendo que a grade possuem 3.354 pontos; portanto, é recomendado que a mesma tenha uma dimensão temporal semelhante.

A seleção a partir do primeiro quartil classificou campos de precipitação dos períodos que antecedem o início da estação chuvosa, visto que a área A2 está sob regime sazonal. Para exemplificar, o total pluviométrico de dezembro é elevado, mas nos primeiros dias deste mês ainda não ocorreram precipitações abundantes, assim com a subtração da média mensal gera-se as anomalias negativas, mas não necessariamente esta anomalia negativa é indicativo de escassez de água naquele período. Outra evidência desta incongruência é que 62% dos campos selecionados pelo primeiro quartil são dos períodos mais quentes do dia, entre as 12 e 18 horas. Isso porque não há a ocorrência de chuvas

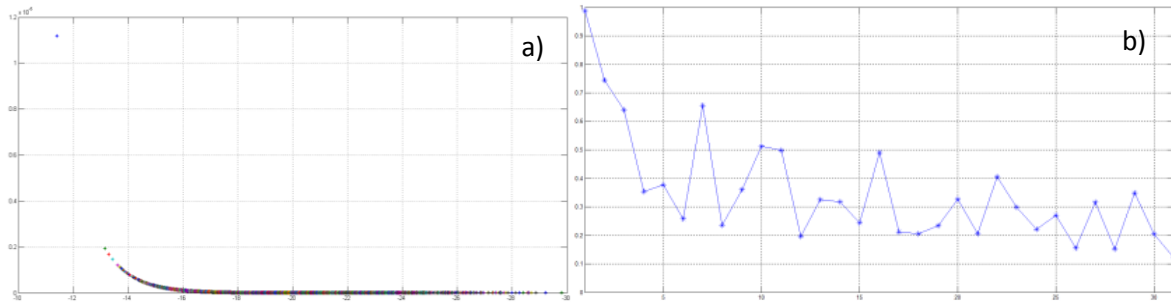
convectivas, que são associadas ao sistema de circulação monsonica.

Os campos de precipitação selecionados foram submetidos a ACP, sendo que a primeira etapa dessa análise estatística é definir o número de componentes principais, partindo do pressuposto que o número de CP pode ser igual a quantidade de campos de precipitação que integram a matriz e que o autovalor de cada CP influência na representatividade do autovetor.

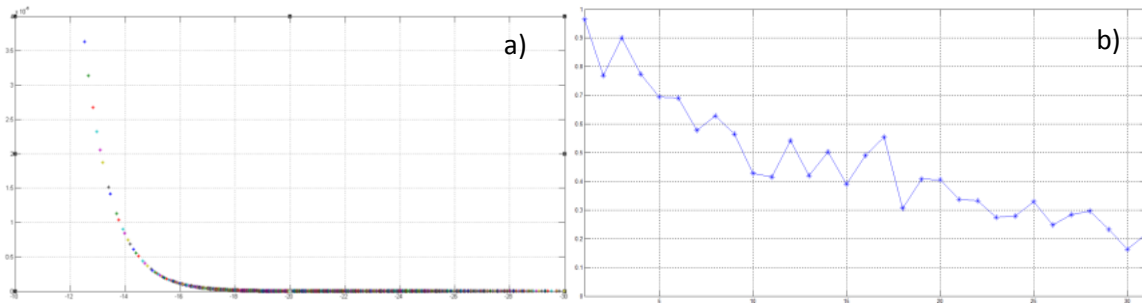
Baseando-se nisso, observa-se nas Figuras 2A, 3A, 6A e 7A ocorre uma descontinuidade das CP com altos valores do autovalor, indicando um número reduzido de CP em função da distribuição da precipitação de forma caótica. Em contra partida, nas Figuras 4A e 5A ocorre uma continuidade de altos valores dos autovalores das CP. Corroborando com essa hipótese, constata-se nas Figuras 2B, 3B, 4B, 5B, 6B e 7B a diminuição da correlação ocorre nas primeiras componentes, onde a primeira CP é destoante na representatividade em comparação as demais.



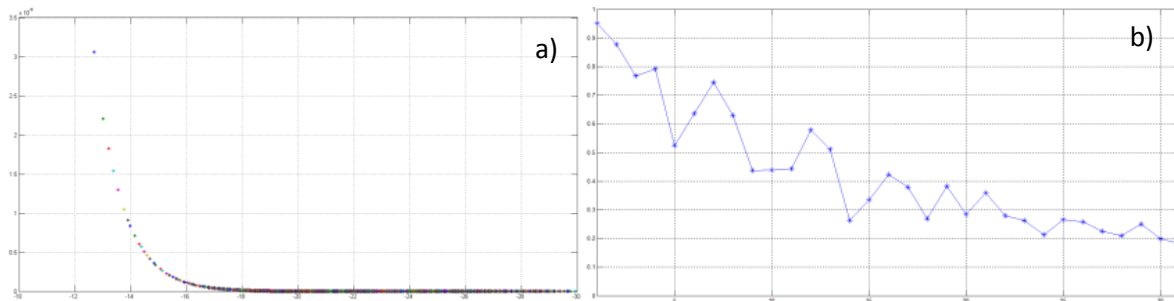
**Figura 2.** Autovalor (eixo vertical) das possíveis ACP (A) e correlação das trinta e uma rotações (B) da taxa de precipitação ocorrida entre 12 e 18 UTM classificada segundo a direção do Vento.



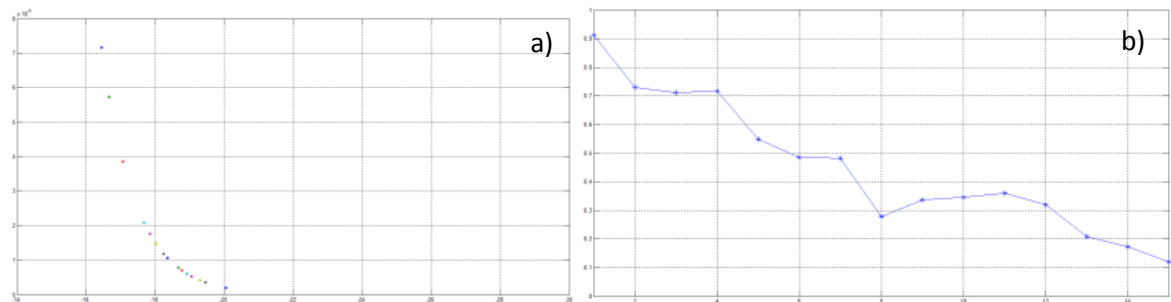
**Figura 3.** Determinante Autovalor (eixo vertical) das possíveis ACP (A) e correlação das trinta e uma rotações (B) da taxa de precipitação ocorrida entre 0 e 6 UTM classificada segundo a direção do Vento.



**Figura 4.** Autovalor (eixo vertical) das possíveis ACP (A) e correlação das trinta e uma rotações (B) da taxa de precipitação ocorrida entre 12 e 18 UTM classificada segundo o primeiro quartil da distribuição de frequência.

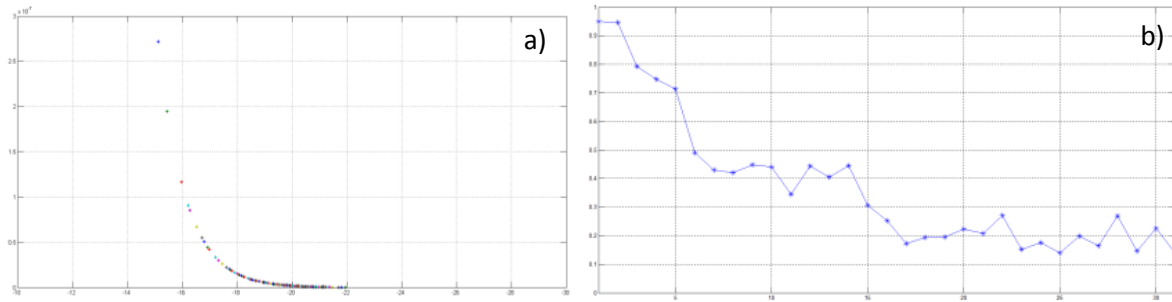


**Figura 5.** Autovalor (eixo vertical) das possíveis ACP (A) e correlação das trinta e uma rotações (B) da taxa de precipitação ocorrida entre 0 e 6 UTM classificada segundo o primeiro quartil da distribuição de frequência.



**Figura 6.** Autovalor (eixo vertical) das possíveis ACP (A) e correlação das trinta e uma rotações (B) da taxa de precipitação ocorrida entre 12 e 18 UTM classificada segundo o quarto quartil da distribuição de frequência.





**Figura 7.** Autovalor (eixo vertical) das possíveis ACP (A) e correlação das trinta e uma rotações (B) da taxa de precipitação ocorrida entre 0 e 6 UTM classificada segundo o quarto quartil da distribuição de frequência.

Analisando os gráficos segundo limites descritos na metodologia definiu-se o número de CP para cada conjunto de dados, conforme exposto na Tabela 1. Adicionalmente, calculou-se a porcentagem da variância

explicada por cada CP, onde se observa comportamento semelhante ao descrito anteriormente, que a primeira CP destoa na representatividade da variância.

**Tabela 1.** Número de componentes principal (CP) e porcentagem da representatividade da variância total.

Critério de seleção	Tempo	Porcentagem da variância explicada							Total
		CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	
Vento	Dia	14	4	4	2				24
	Noite	12	2	2	2				18
Precipitação (-)	Dia	7	5	5	5	5	4	4	35
	Noite	7	6	6	5	5	4	4	37
Precipitação (+)	Dia	16	11	11	10	10	10		68
	Noite	9	9	7	5	5	5		40

Em resumo, constata-se uma baixa representatividade de cada CP frente à variância total dos dados, exceto no caso das CP oriundas dos campos selecionados pelo quarto quartil da distribuição de frequência do total pluviométrico. Porém, esses modelos identificados com 68% da variância explicada não são satisfatórios, pois o número de campos selecionados totaliza 108, que representa apenas 0,2 por cento do período total.

A baixa representatividade das componentes principais pode ser oriunda das incongruências entre o método de cálculo das anomalias mensais, pois identifica anomalias referentes ao adiantamento ou atraso do início da estação chuvosa, mas não necessariamente identificando as anomalias que impactam os totais pluviométricos de uma estação sazonal. Além do mais, a precipitação é um fenômeno caótico, onde diversas escalas interagem na regulação do volume e na distribuição

espacial. Nesse sentido, a utilização da interpolação linear para o equiespaçamento da grade pode tornar a série não representativa.

Observando tais evidências da baixa representatividade das CP frente a complexidade do fenômeno de precipitação sobre a AS, sugere-se que em trabalhos futuros se utilize de totais mensais dispostos em uma grade menor, que se sobreponha o nevado Illimani e a bacia hidrografia do rio Madeira. Bem como, correlacione o índice pluviométrico com demais escalas e variáveis atmosféricas e realize uma análise de cluster com os dados de precipitação.

Tais análises podem fornecer indícios dos fenômenos atmosféricos que controlam as precipitações nas proximidades do nevado Illimani e na bacia hidrográfica do rio Madeira e indicar quais são as áreas que influenciam na regulação hídrica da área de interesse. Sendo que esse trabalho pode contribuir na compreensão da relação entre as razões isotópicas das amostras de gelo e de precipitação e a variabilidade climática da AS.

#### 4. Conclusões

A representatividade das CP geradas a partir da ACP não é significativa frente a variância total dos dados de precipitação sobre a América do Sul. Algumas hipóteses podem ser sugeridas como incongruências entre a análise e o fenômeno. Primeiro, o tamanho da área analisada abrange quase toda a América do Sul e porções oceânicas, desde

latitudes tropicais até o subtropical, o que torna complexo a modelagem, isso porque diversos fenômenos de transporte e de convecção interagem para a formação da precipitação nessa vasta área.

Outra incongruência está relacionada à determinação das anomalias, pois as anomalias positivas e negativas podem ser consequência da subtração do dado representativo ao período que antecede ou posterior ao início da estação chuvosa. Essa maneira de determinação da anomalia pode não representar a estação sazonal com carência ou excesso de chuvas, visto que há variabilidade no início e término da estação chuvosa pode não causar interferências no total pluviométrico. Adicionalmente, a interpolação linear para equiespaçamento dos pontos da grade pode introduzir ruídos no banco de dados, visto que a distribuição da precipitação não segue uma ordem linear.

Visto isto, propõe-se que a continuação da pesquisa baseie-se em outra ordem metodológica de análise estatística, onde aplica-se a PCA em uma área menor utilizando-se médias mensais padronizadas de uma área que sobreponha o nevado Illimani e a bacia hidrografia do rio Madeira, e complementarmente seja realizado uma análise de cluster e de correlação com demais variáveis atmosféricas.

#### 5. Agradecimentos

Ao *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e *National Center for*

*Atmospheric Research* (NCAR) pelo fornecimento gratuito dos dados de Reanálise, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa (DS - demanda social) e aos servidores da instituição de ensino superior na qual possui vínculo como aluno.

## 6. Referências

- Assis, F. N. (1996). Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática. 1º Ed. Pelotas, Editora da Universidade Federal de Pelotas. 161p.
- Bonner, W. D. (1968). Climatology of the low level jet. *Monthly Weather Review*, v. 96, p. 833-850.
- Grimm, A. M. (2003). The El Niño Impact on the Summer Monsoon in Brazil: Regional Processes versus Remote Influences. *Journal of Climate*, V. 16. P. 263-280.
- Grimm, A. M. (2004). How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? *Climate Dynamics*, V. 22, P. 123-138.
- Johnson, D. E. (1998). Applied multivariate methods for data analysts. 1º Ed. Kansas, Duxbury, 567p.
- Kanamitsu, M.; Ebisuzaki, W.; Woollen, J.; Yang, S. K.; Hnilo, J. J.; Fiorino, M. e Potter, G. L. (2002) NCEP–DOE AMIP-II reanalysis (R-2). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, V. 83, p. 1631–1643.
- Kistler, R.; Kalnay, E.; Collins, W. (2001). The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, V.82, P. 247-267.
- Lorenz, E. N. (1956). Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction. *Scientific Report*, V. 1, p. 1- 48.
- Manly, B.J.F. (2008). Métodos estatísticos multivariados: uma introdução. 3ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 229 p.
- Marengo, J. A.; Soares, W. R.; Saulo, C. e Nicolini, M. (2004). Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP–NCAR Reanalysis: Characteristics and Temporal Variability. *Journal of Climate*. v. 17, p. 2261-2280.
- Pla, E. L. (1986). Análisis multivariado: método de componentes principales. 1º Ed. Washington, Organización de los Estados Americanos. 94 p.
- Ramirez, E.; Hoffmann, G.; Taupin, J. D.; Francou, B.; Ribstein, P.; Caillon, N.; Ferron, F. A.; Petit, J. R.; Landais, A.; Simões, J. C. (2003). A new Andean deep ice core from Illimani (6350 m), Bolivia. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 212, p. 337–350.
- Zhou, Jiayu e Lau, K.M. (1998). Does a Monsoon Climate Exist over South America? *Journal of climate*. V. 11, p. 1020-1040.