

## Variabilidade espaço temporal da Evaporação Potencial no submédio do rio São Francisco utilizando a análise fatorial em componentes principais

Temporal variability of space potential evapotranspiration in submedeo São Francisco river using the factor analysis in principal components

Nixdali Freire de Oliveira<sup>\*1</sup>, Madson Tavares Silva<sup>2</sup>, Átilla Alex dos Santos Gonçalves<sup>3</sup>  
e Renata Montoril de Souza Araújo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil

<sup>2</sup> Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil

<sup>3</sup> Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil

### Resumo

*A evapotranspiração é uma dos processos mais importantes do ciclo hidrológico, consistindo na ligação entre energia, clima e disponibilidade hídrica. Sendo assim o objetivo desse trabalho foi aplicar à técnica de estatística multivariada, através da análise fatorial em componentes principais (ACP), em séries de evapotranspiração potencial (ETP) mensal na região do Submédio do Vale do rio São Francisco. Optou-se por essa região porque ela está inserida no semiárido brasileiro, que é uma das áreas do país mais susceptíveis aos efeitos das mudanças climáticas, tanto sob o aspecto físico como socioeconômico. Os dados utilizados são séries temporais (1960-1990) da temperatura média do ar (Tmed) espacializado em grades com resolução de 0,5° x 0,5° oriundos do modelo Providing Regional Climates for Impacts Studies (PRECIS) do Hadley Center. Para determinação da ETP foi escolhido o método de Thornthwaite e Mather (1955). A análise fatorial foi aplicada no modo espaço-temporal para os dados de ETP, utilizando o software SPSS. Foi observado o valor médio 1.386 mm para série anual de ETP na área de estudo. Para o período estudado de 1960-1990 o conjunto de dados analisados pode ser representado por três fatores que juntos explicam 96,7% da variabilidade dos dados estudados. O complemento de (3,3%) estão associados aos ruídos. A explicação do primeiro fator é influenciada diretamente por variáveis ligadas a disponibilidade energética e hídrica. O segundo fator pode está associado à incidência de sistemas produtores de precipitação, tais como Vórtice Ciclônicos e a ZCIT, e a influência da ocupação do solo - cultivos irrigados. Por fim o terceiro e ultimo fator tem uma relação direta à mudança de estação seca para chuvosa, e possivelmente ao tipo de solo da região.*

**Palavras-chave:** Estatística multivariada, variabilidade climática, demanda hídrica.

### Abstract

*Evapotranspiration is one of the most important processes of the hydrological cycle, consisting of the link between energy, climate and water availability. Therefore the aim of this work was to apply multivariate statistics, factor analysis by principal components (PCA) in monthly series of potential evapotranspiration (ETP) in the Lower Basin of the Valley of the São Francisco region. We chose this region because it is embedded in the Brazilian semiarid region, which is one of the areas of the country more susceptible to the effects of climate change, both in the physical aspect as socioeconomic. The data used are time series (1960-1990) average air temperature (Tmed) expanding in grids with a resolution of 0.5 ° x 0.5 ° derived from the Regional Climates for Impacts Studies Providing ( PRECIS ) the Hadley Centre model. To determine the ETP was chosen the method of Thornthwaite and Mather (1955). Factor analysis was applied to the spatio-temporal mode for ETP data using SPSS software. The average value of 1.386 mm was observed for annual series of ETP in the study area. For the study period of 1960-1990 the set of analyzed data can be represented by three factors together explain 96.7 % of the variability of the data studied. The addition of ( 3.3% ) are associated with noise. The explanation of the first factor is directly influenced by variables related to water availability and energetic. The second factor can is associated with incidence of rainfall producing systems, such as Tropospheric Cyclonic Vortex and the ITCZ, and the influence of land use - irrigated crops . Finally the third and last factor has a direct relation to the change of dry to wet, and possibly soil type of the region.*

**Keywords:** Multivariate statistics, climate variability, water demand.

\* nixdalifreire@hotmail.com

## 1 Introdução

O semiárido brasileiro é um dos maiores e mais populosos do mundo. Segundo Cirilo et al. (2007) ele se estende por uma área que abrange a maior parte de todos os Estados da região Nordeste (86,46%), a parte setentrional do Estado de Minas Gerais (11,01%) e o norte do Espírito Santo (2,51%); e ocupa uma área total de 974.752 km<sup>2</sup>. Essa extensa região apresenta vegetação rasteira como tipo de cobertura predominante, proporcionando uma alta taxa de escoamento superficial, acelerando o processo de evaporação. Com a associação das características edáficas dessa região que possui em algumas áreas do semiárido a predominância de solo argiloso não há muita infiltração e em consequência disso dificilmente tem a recarga dos aquíferos (Amaral, 2003). Outro fator natural é a proximidade da linha do Equador, pois as baixas latitudes condicionam à região temperaturas elevadas e o número alto de fotoperíodo, em virtude da maior incidência perpendicular dos raios solares sobre a superfície do solo, havendo um índice elevado de evaporação (Amaral, 2003). A deficiência hídrica causa uma forte dependência da intervenção do homem no sentido de garantir, por meio de obras de infraestrutura hidráulica, o armazenamento de água para abastecimento humano e demais usos produtivos, como açudes, poços artesianos dentre outros (Izique, 2005).

Segundo Anderson (1984), existem, basicamente, duas formas de classificar as análises multivariadas: as que permitem extrair informações a respeito da independência entre as variáveis que caracterizam cada elemento, tais como análise fatorial, análise de agrupamento, análise canônica, análise de ordenamento multidimensional e análise de componentes principais; e as que permitem extrair informações a respeito da dependência entre uma ou mais variáveis ou uma com relação à outra, tais como análise de regressão multivariada, análise de contingência múltipla, análise discriminante e análise de variância multivariada.

Segundo Weare & Nasstrom (1982), os pontos mais importantes da utilização do método da Análise de Componentes Principais (ACP) são: (i) a descrição satisfatória das variações de um campo complexo a partir de um número relativamente pequeno de funções, associando a coeficientes temporais; (ii) o fato de que as funções empíricas derivadas desta técnica são favoráveis para interpretações físicas; (iii) a ACP é adequada para campos espaciais em grades regulares ou não. Este método estatístico tornou-se mais popular em ciências atmosféricas a partir do trabalho de Lorenz (1956), que chamava a técnica de funções ortogonais empíricas, em inglês "empirical orthogonal function" (EOF). De acordo com Wilks (1995), ambos os nomes são usados e se referem ao mesmo conjunto de procedimentos.

Portanto, no presente trabalho utilizou-se técnicas de análise multivariada para reduzir a dimensão do

conjunto de dados de ETP, procurando manter a maior parte da variabilidade existente no conjunto original. Assim, através destas técnicas será possível identificar os principais componentes de variabilidade da ETP na região do submédio e obter um novo conjunto de dados, com um número reduzido de variáveis que possibilitarão a regionalização dos fatores intervenientes nos processos evaporativos sobre as superfícies vegetadas e superfícies de água livre tanto para análise temporal quanto espacial.

## 2 Material e métodos

O Submédio do Vale do rio São Francisco abrange áreas dos Estados da Bahia e Pernambuco, estendendo-se da cidade de Remanso até a cidade de Paulo Afonso ambas no Estado da Bahia (Figura 1), com 110.446,00 km<sup>2</sup>, ou 17% da área da Bacia do rio São Francisco. Ele tem 440 km de extensão e a sua população é de 1,944 milhões de habitantes. A região é composta pelas sub-bacias dos rios Pontal, Garças, Brígida, Pajeú, Moxotó e Xingó, pela margem esquerda; enquanto na margem direita ficam as sub-bacias de Tourão, Salgado, Vargem, Curaçá, Macuru e Poço Comprido (CODEVASF, 1999). O clima predominante da região é o Semiárido, com temperatura média anual de 27 °C, classificado como BSwh por Koeppen. Em função das características de clima e temperatura associadas à localização geográfica intertropical e à limpidez atmosférica na maior parte do ano, a evapotranspiração potencial é muito alta, sobretudo na parte norte do Vale, sendo da ordem de 3.000 mm anuais CODEVASF (1999). A insolação é alta e a umidade relativa do ar é baixa. O período seco é predominante, com cerca de 6 a 8 meses, podendo atingir até 11 meses nas áreas de maior aridez CODEVASF, (1999). A precipitação pluviométrica média anual é da ordem de 400 a 650 mm, que ocorre de forma irregular e concentrada em 2 a 3 meses do ano, podendo ocorrer chuvas intensas (120 a 130 mm) num período de 24 horas CODEVASF, (1999).

Para realizar a regionalização da evapotranspiração potencial (ETP) foram utilizados valores mensais da temperatura média do ar (Tmed) com série histórica compreendida entre os anos de 1960-1990, oriundos do modelo climático regional Providing Regional Climates for Impacts Studies (PRECIS), desenvolvido pelo centro de estudos meteorológicos Hadley Center. Os dados do modelo PRECIS foram processados pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) em grade regular de 0,5° x 0,5°, cobrindo todo o território brasileiro. De posse dos dados mensais de Tmed para região fisiográfica do submédio do Rio São Francisco foi possível realizar a estimativa da evapotranspiração potencial mensal utilizando o método de Thorntwaite & Mather (1955), dado pela Equação (1):

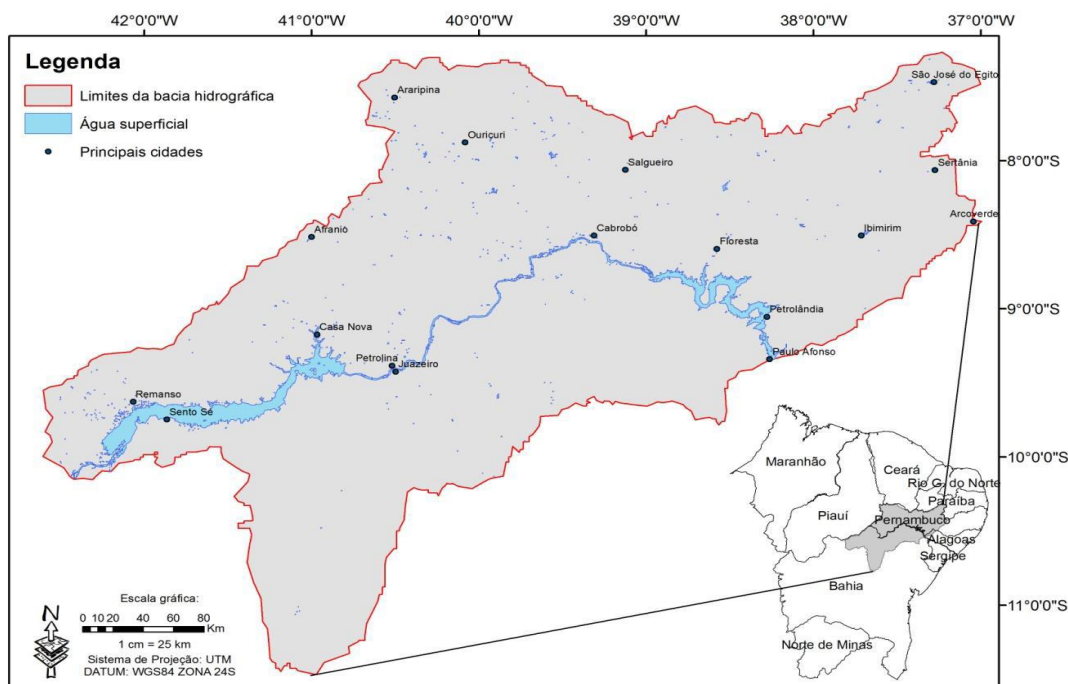


Figura 1. Localização da área de estudo.

$$ET_p = 0,533C_j \left( \frac{10\overline{T_a}}{I} \right)^{a_i} \quad (1)$$

Em que:  $ET_p$  é a evapotranspiração potencial ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $C_j$  é o fator de correção, que varia em função do número de dias do mês considerado;  $a_i$  é a função cúbica do índice anual de calor e  $I$  é o índice de calor obtido pela soma dos 12 índices mensais ( $i$ ).

### 2.1 Análise estatística

As análises da variabilidade espacial e temporal da ETP para região do submédio do rio São Francisco foram feitas através da análise fatorial (AF). Os dados analisados neste trabalho foram organizados a partir de uma matriz de dados  $n \times p$ , onde cada linha ( $n$ ) representa um ponto de grade da área de estudo ( $p$ ) os meses de cada ano. Primeiramente, a matriz de dados foi padronizada onde subtrai-se cada valor da média da respectiva variável e divide-se pelo desvio padrão das mesmas. Estas variáveis foram trabalhadas de forma mensal no período de janeiro a dezembro, com valores médios de cada mês para o período compreendido entre os anos de 1960-1990. A técnica consiste em transformar o conjunto de dados originais em um novo conjunto, isto é, em escores, onde os fatores preservam a variabilidade e os mesmos não são correlacionados entre si, facilitando a separação espacial das oscilações temporais. A técnica é fundamentada na relação de que, uma matriz quadrática

simétrica (Storch & Zwiers, 2000) pode ser decomposta em outras matrizes que preservam a variabilidade.

Neste estudo é usada a matriz correlação, a qual mostra o grau de associação entre duas variáveis aleatórias  $X$  e  $Y$  e é expresso pela Equação (2):

$$\text{Cor}_{(X,Y)} = \frac{\text{Cov}_{(X,Y)}}{\sqrt{\text{Var}(X) \text{Var}(Y)}} \quad (2)$$

Em que,  $\text{Cov}(X,Y)$  é a covariância das variáveis  $X$  e  $Y$  (Equação 3), e  $\text{Var}(X)$  (Equação 4) e  $\text{Var}(Y)$  (Equação 5) são as variâncias:

$$\text{Cov}_{(X,Y)} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n - 1} \quad (3)$$

$$\text{Var}_{(X)} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} \quad (4)$$

$$\text{Var}_{(Y)} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n - 1} \quad (5)$$

As matrizes resultantes da decomposição da matriz correlação fornecem os autovalores e os autovetores que

são obtidos pela Equação (6):

$$M = \underline{V} \underline{\Lambda} \underline{V}^T \quad (6)$$

Em que,  $M$  é matriz correlação dos dados originais  $p \times p$ ,  $V$  a matriz com os autovetores  $p \times p$ ,  $\Lambda$  a matriz diagonal com os autovalores  $p \times p$  e  $V^T$  a matriz transposta com os autovetores  $p \times p$ .

Os autovetores normalizados (pesos individuais da variação em cada posição) associados a cada autovalor (peso coletivo de todas as posições) é definido de Padrão de Oscilação Principal, cuja função é identificar áreas de maior importância na explicação parcial de cada autovalor. A combinação dos autovetores  $V$  derivados da matriz  $M$  e os dados originais padronizados  $Y$  produzem novas variáveis, definidas de escores dos componentes principais que são obtidos pela Equação (7):

$$\underline{Z} = \underline{V}^T \underline{Y} \quad (7)$$

Por fim os escores representam a combinação da dispersão espacial dos dados originais em cada tempo, sendo não correlacionados entre si. Assim, foi possível correlacionar todos os escores das variáveis da ETP, de forma a verificar as relações mais evidentes. A cada autovalor não nulo corresponde uma componente com poder explanatório de informações expresso em percentual de variância total.

## 2.2 Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise Fatorial (AF)

Em estudos que usam grandes quantidades de variáveis é bastante comum a existência de dados redundantes por estarem medindo a mesma coisa. Neste sentido a técnica estatística multivariada com base na matriz de correlação pelo método da Análise de Componente Principais (ACP) permite a redução no número de variáveis e as coordenadas são reescritas em um sistema de eixos mais apropriado permitindo análises mais concisas. As novas coordenadas provêm de combinações lineares entre os autovetores normalizados e as variáveis originais.

A enorme quantidade de informação simultânea das várias variáveis coletadas explica a natureza multivariada do estudo. A tecnologia computacional disponível nos dias de hoje permite avanços extraordinários na análise de dados o que seria impensável algumas décadas atrás. O uso conjunto de programas estatísticos e computadores potentes gera, com relativa facilidade, grande quantidade de informações sobre problemas considerados fisicamente complexos.

A Análise Fatorial (AF) assim como a ACP é uma técnica estatística que busca, através da avaliação de um conjunto de variáveis, a identificação de dimensões

de variabilidade comuns existentes em um conjunto de fenômenos; o intuito é desvendar estruturas existentes, mas não observáveis diretamente. Cada uma dessas dimensões de variabilidade comum recebe o nome de fator. Parte-se do pressuposto de que a correlação entre as variáveis surge porque as variáveis compartilham ou estão relacionadas pelo mesmo fator.

Embora seja bastante comum na literatura encontrar a mesma denominação para resultados de análises feitas com ACP e AF, de acordo com Manly (2008), existe uma diferença entre os dois métodos. Esta diferença ocorre em função da análise de componentes principais não ser baseada em um modelo estatístico particular, enquanto que a análise de fatores é baseada em um modelo.

Em geral, a primeira solução obtida com a aplicação da ACP não fornece fatores que tenham a interpretação física mais adequada. Para aumentar o poder explicativo dos fatores na análise efetuou-se o procedimento de rotação de fatores através do método Varimax proposto por Kaiser (1958). O processo de rotação de fatores gera resultados melhores em relação à sua interpretação.

O método de rotação Varimax é um tipo de rotação ortogonal (mantém os fatores perpendiculares entre si, isto é, sem correlação entre eles) e tem como característica o fato de minimizar a ocorrência de uma variável ter altas cargas fatoriais para diferentes fatores, permitindo que uma variável seja facilmente identificada como um único fator (Corrar et al., 2007).

Na escolha do número de fatores adequados ao estudo foi utilizado o critério desenvolvido por Kaiser, (Garayalde et al., 1986). Na aplicação deste critério são excluídos os fatores com autovalores menores que um. Além disso, foram aplicados testes de significância aos dados, o de esfericidade de Bartlett, que indica se existe relação suficiente entre as variáveis para aplicação da AF, a análise é válida se os valores do teste forem menores que 0,05. O teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) que mede o grau de correlação parcial entre as variáveis indicam que quanto mais próximos os valores forem de 1 maiores serão as correlações entre as variáveis. Um grau de explicação menor que 0,5, significa que os fatores encontrados na AF não conseguem descrever satisfatoriamente as variações dos dados originais.

## 3 Resultados e discussões

### 3.1 Evapotranspiração potencial

A evapotranspiração potencial (ETP) é alta na região fisiográfica do submédio quando comparada as demais regiões do Brasil, fator esse justificado pelas características do clima semiárido que somada a elevada disponibilidade energética, na forma de radiação solar direta atenua a demanda evapotranspirativa da região. Tal oferta energética condiciona o ambiente onde se inseri a bacia hidrográfica do submédio rio São Francisco

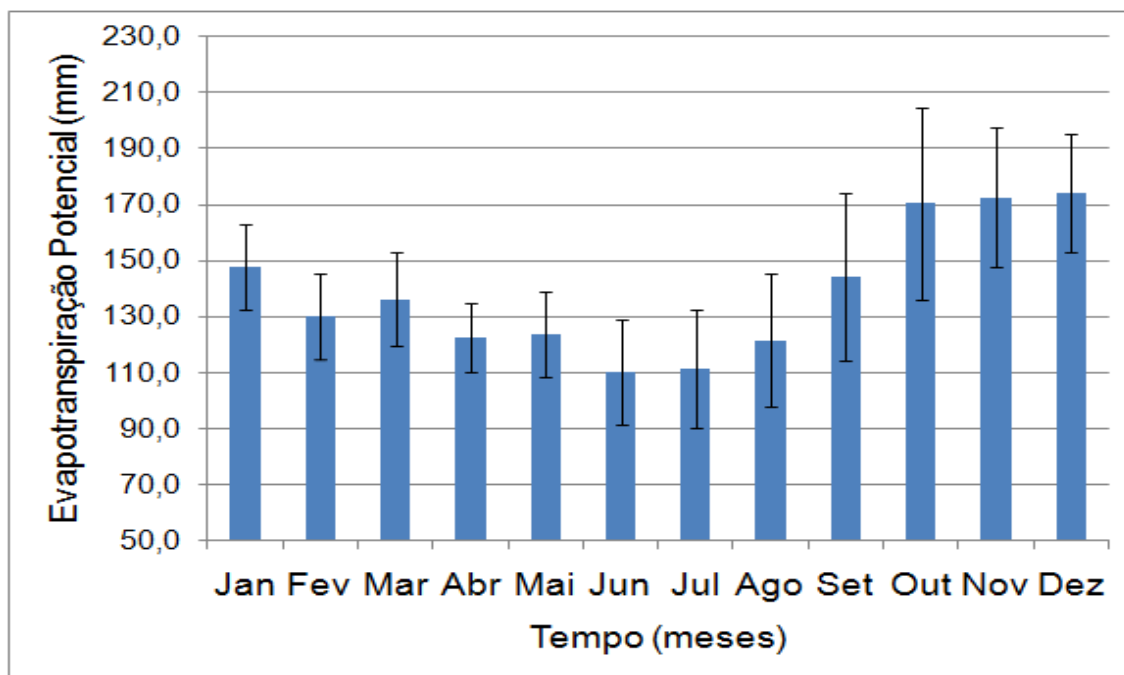


Figura 2. Variabilidade média mensal da evapotranspiração potencial para região do submédio do rio São Francisco.

uma pequena oferta hídrica, dependente dos períodos irregulares de precipitação pluvial (P), verifica-se ainda que a relação ( $P-ETP < 0$ ) é identificada praticamente para todos os meses do ano, sendo reduzida e apresentando valores de ( $P-ETP > 0$ ) apenas para os meses inseridos na quadra chuvosa compreendida no período de JAN-ABR.

Sabe-se que a evapotranspiração é o próprio processo de transferência da água no estado líquido para a atmosfera na forma de vapor (Tucci, 1998), sendo caracterizada pela perda de água por evaporação e transpiração, de uma superfície extensa completamente coberta de vegetação rasteira e bem suprida de água.

Nesse contexto, a Figura 2 exibe a variabilidade média mensal da evapotranspiração potencial para região do submédio do rio São Francisco no período de 1960-1990. É possível observar que o acumulado anual foi de 1.386 mm, sendo o mês de outubro o de maior variabilidade, com média de 170 mm, e junho o menor, com média de 110 mm. Os meses de maiores evapotranspiração foram outubro, novembro, dezembro e janeiro, pois estão inseridos no período de maiores temperaturas e incidência de raios solares. Já os menores registros foram verificados nos meses de junho, julho e agosto, pertencentes ao período de inverno, o qual apresenta menor disponibilidade energética, e menores temperaturas.

### 3.2 Análise fatorial

A aplicação dos testes de Kaiser e Bartlett permitiu avaliar a adequação dos dados para a realização da

análise fatorial. Os altos valores obtidos com o teste indicam que as amostras selecionadas são apropriadas para aplicação da técnica. O teste de significância de Bartlett apresentou valores inferiores a 0,05 validando a análise (Hair et al., 1995; Corrar et al., 2007).

Cada fator representa um conjunto de variáveis que caracteriza a ETP na região do submédio da bacia do rio São Francisco. A análise indica que a variabilidade dos dados pode ser explicada pelos três primeiros fatores, mais significativas, que possuem os autovalores maiores ou próximos de 1.

O autovalor é a variância total explicada por cada fator do estudo. A AF indicou que a variabilidade dos dados é explicada por três fatores, com características elementares básicas que representam cerca de 100% dos dados analisados. A partir da Tabela 1 é possível verificar que a porcentagem total da variância explicada pelos três fatores.

Embora pelo critério de Kaiser sejam retidos apenas 3 fatores, fisicamente se destacam os padrões encontrados nos três primeiros descrevem quase que na totalidade a variabilidade dos dados de ETP.

Os autovalores obtidos na AF foram submetidos à rotação Varimax com o objetivo de detectar quais variáveis representam melhor a variabilidade dos dados originais e com isso facilitar a interpretação dos resultados. Assim, as análises apresentadas no texto foram concentradas nos três primeiros fatores que, na maioria dos casos, explicam mais de 100% da variabilidade dos dados originais da ETP mensal para região fisiográfica

Tabela 1. Sequência dos autovalores na ordem decrescente e a contribuição da variância total dos dados rotacionados.

Fatores	Condições iniciais			Fatores Rotacionados (rotação Varimax)		
	Autovalores	% da Variância Total	% da Variância Acumulada	Autovalores	% da Variância Total	% da Variância Acumulada
1	6,3	52,2	52,2	6,0	50,1	50,1
2	4,3	35,5	87,8	3,3	27,6	77,7
3	1,1	9,0	96,7	2,3	19,1	96,7

do submédio rio São Francisco, ou seja, 50,1%, 27,6% e 19,1; respectivamente.

### 3.2.1 Análise temporal

Para facilitar a identificação de comportamentos similares e ilustrar melhor o grau de relação entre as variáveis e os fatores optou-se por apresentar os resultados por meio do gráfico de correlação entre os fatores e a variação temporal (Figura 3).

Assim, o primeiro fator com rotação dos dados explica 50,1% da variância e apresenta maiores valores entre os meses de junho a novembro. O segundo fator explica 27,6% da variância total dos dados e tem maiores contribuições nos meses de dezembro a março, e o terceiro fator engloba 19,1%, e tem os maiores valores de março a maio, como observado na Figura 3.

De maneira geral e independente do mês analisado é possível identificar um padrão de comportamento associado ao primeiro fator (F1) definido pela presença de dois grupos de variáveis: um deles formado pelas características do processo de aporte de energia e aquecimento do ar próximo a superfície terrestre. E outro formado pela disponibilidade hídrica da região. A combinação entre essas variáveis predominantemente presente no primeiro fator reflete características marcantes das condições atmosféricas da região semiárida associadas normalmente com altas temperaturas do ar e grande variabilidade dos componentes de disponibilidade hídrica (Figuras 4a a 4e). Tal figura trás informações associadas a variação mensal da temperatura média do ar (4a), da precipitação pluvial (4b), da diferença de P-ETP (4c), do armazenamento de água no solo (4d) e da deficiência hídrica (4e) na região fisiográfica do submédio Rio São

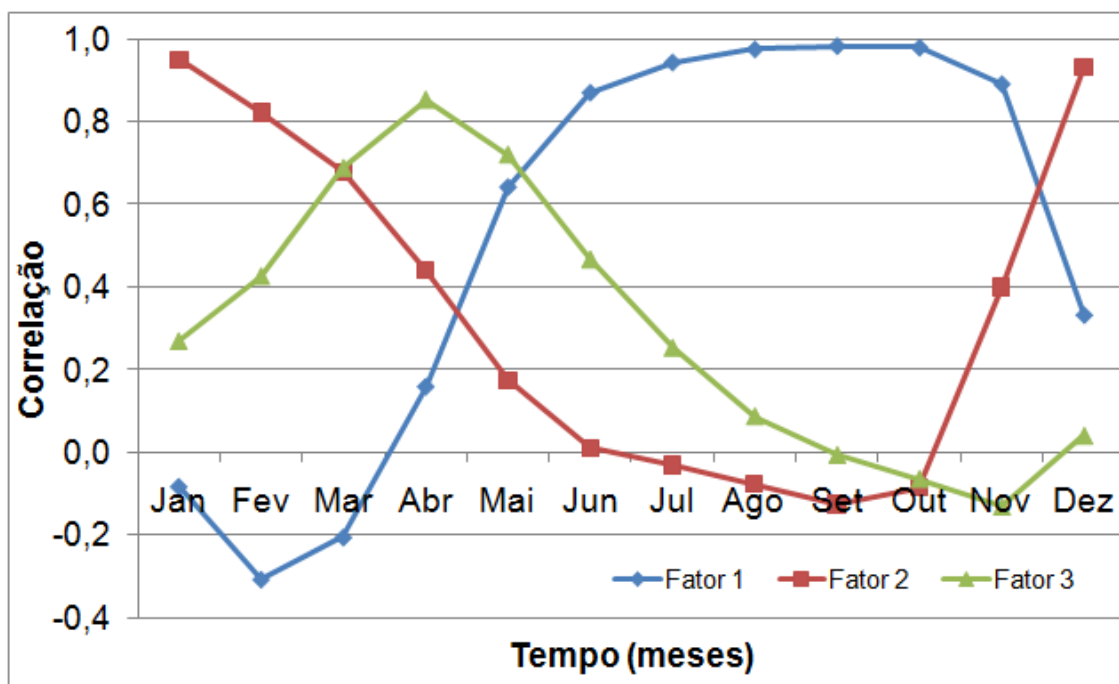


Figura 3. Contribuição dos três fatores, variação temporal.

Francisco.

As temperaturas médias mensais (Figura 4a) apresentam comportamento cíclico ao longo do ano, com períodos de aumento e decréscimo. As variações da temperatura relacionadas a disponibilidade hídrica são bastante pronunciadas. Pois no período de junho a dezembro em que o fator (F1) apresenta sua maior contribuição tais variáveis comportam-se relativamente proporcionais, pois aumentando a temperatura, a diferença de P-ETP também aumenta (Figura 4c), e por consequência a deficiência hídrica (Figura 4e) apresenta seus maiores registros, tais forçantes estão associadas diretamente com a demanda evapotranspirativa do ambiente, tendo em vista que a disponibilidade de energia é presente praticamente o ano todo. Como observado pela Figura 4b a precipitação pluvial é tipicamente irregular, confirmando a característica regional e no período em

questão apresenta a menor contribuição anual, fazendo com que praticamente o armazenamento de água no solo (Figura 4d) não apresente registros.

Para o período compreendido entre os meses de dezembro a março no qual o fator 2 possui suas maiores contribuições, observa-se o período de maior incidência pluviométrica (Figura 4b), entretanto as temperaturas não sofrem grandes reduções, fazendo com que as relações de P-ETP (Figura 4c) ainda sejam negativas, com exceção do mês de março em que apresenta  $P-ETP > 0$ , e valores acumulados da ordem de 5 mm de armazenamento de água no solo (Figura 4d) sejam observados, tal mês é o único a não apresentar deficiência hídrica na área de estudo.

O terceiro fator (F3) tem os maiores valores de contribuição registrados entre os meses de março a maio. A justificativa para presença do mês de março com grande

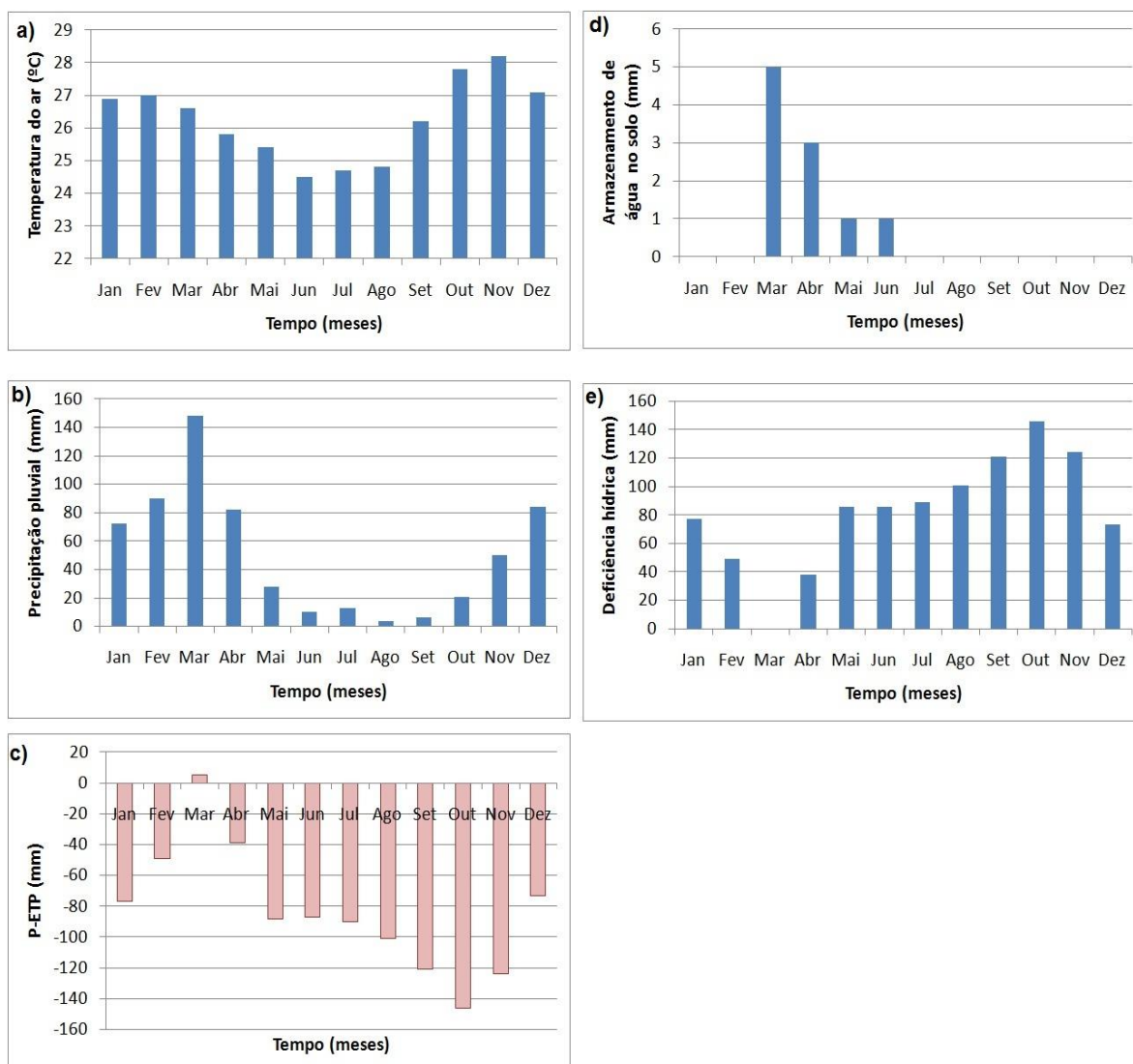


Figura 4. Variação mensal da temperatura média do ar (a), da precipitação pluvial (b), da diferença de P-ETP (c), do armazenamento de água no solo (d) e da deficiência hídrica (e) na região fisiográfica do submédio Rio São Francisco.

correlação para 2 fatores (F2 e F3) pode está associado ao período de transição de seco para chuvoso, como também a presença de umidade do solo e tendência na redução da temperatura. Destaque para o F3 está relacionado ao período de maior armazenamento de água no solo, o que atenua o déficit hídrico.

### 3.2.2 Análise espacial

A distribuição espacial do primeiro fator (F1) retido é apresentada na Figura 5 configurando contribuições elevadas (valores maiores que 0,8) na parte central do submédio São Francisco.

O padrão espacial associado ao F1 mostra contribuições (escores) baixas e negativas inferiores a 0,4 em todo nordeste e leste da bacia hidrográfica do submédio SF. Os valores positivos aumentam gradativamente na direção central, atingindo seus máximos superiores a 0,8 nas proximidades do município de Cabrobó-PE. A distribuição espacial deste fator, com as maiores correlações de junho a dezembro, está em associado com as maiores períodos de deficiência hídrica e presença da relação  $P-ETP < 0$  mais presente.

É importante ressaltar que apesar da evapotranspiração potencial representar a demanda do ambiente em retirar água disponível na forma de superfícies

vegetadas e do solo úmido, em condições específicas da vegetação como na presença de cultivos irrigados a evapotranspiração potencial (ETP) = evapotranspiração real (ETR), ou seja, o que realmente é evaporado para atmosfera. De acordo com a Figura 6, que representa a cobertura da área de estudo, é possível observar que cultivos irrigados e a caatinga sub-arbustiva e arbórea apresentam-se como dominantes na paisagem.

O segundo fator (Figura 7) apresenta padrões espaciais com contribuições positivas significativas (escores maiores que 0,8) sobre a região sudeste, e valores negativos altos (maiores que -1,0) no noroeste da bacia hidrográfica. Este fator pode estar associado a tipos de ocupação de solo, ou seja, a presença de caatinga nas formas arbóreas e sub-arbustivas, como também o início do período chuvoso na região, com incidência de sistemas produtores de precipitação, tais como Vórtice Ciclônicos de Ar Superior - VCAN e a Zona de Convergência Inter Tropical - ZCIT Gan & Kousky (1986). A distribuição espacial deste fator, com as maiores correlações de dezembro a março, está em consonância com os maiores registros de precipitações nesses meses na região sudeste.

O terceiro fator (Figura 8) apresenta padrões espaciais com contribuições positivas significativas (escores maiores que 0,8) sobre a região do lago de Sobradinho, e valores negativos altos (maiores que -1,0) no norte-

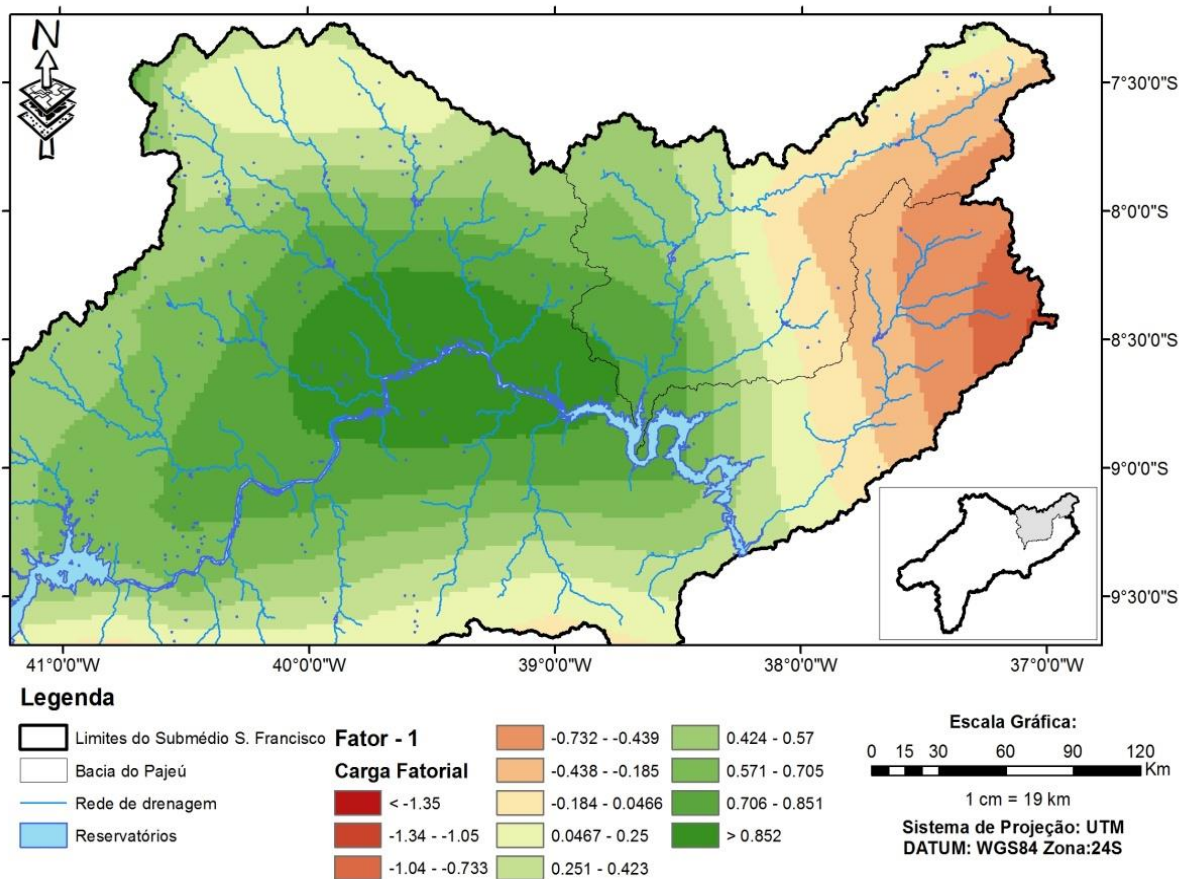


Figura 5. Distribuição espacial do primeiro fator (escore).



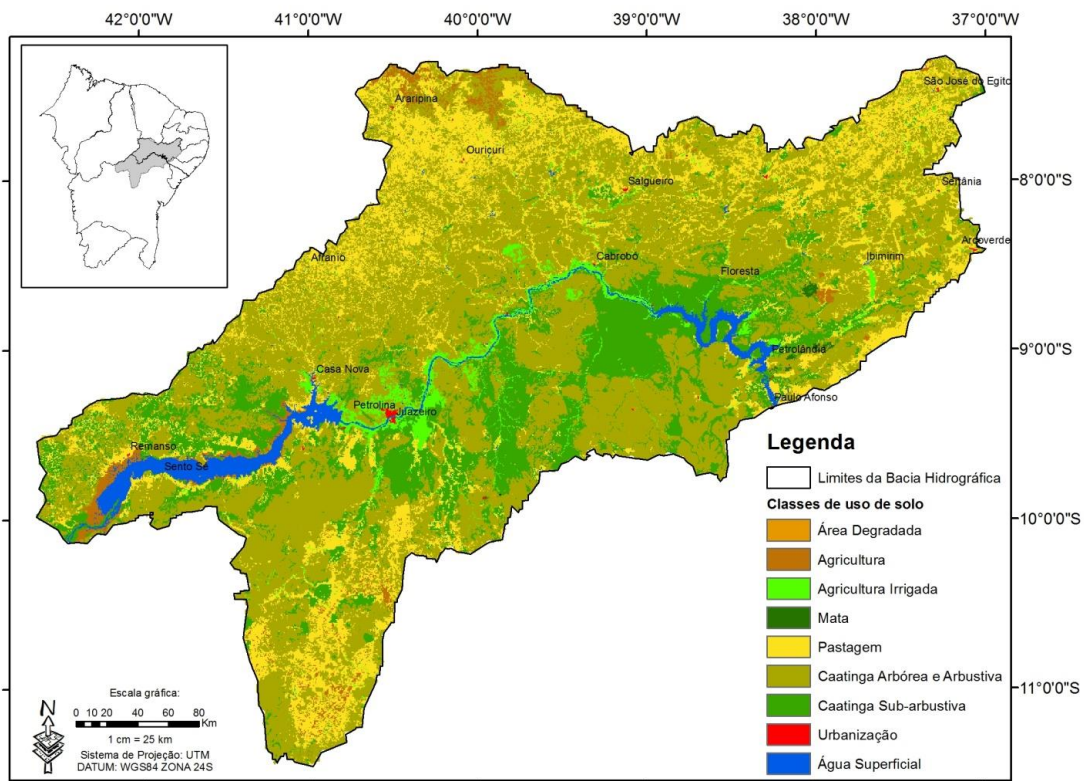


Figura 6. Distribuição do uso e ocupação dos solos na região fisiográfica do submédio Rio São Francisco.

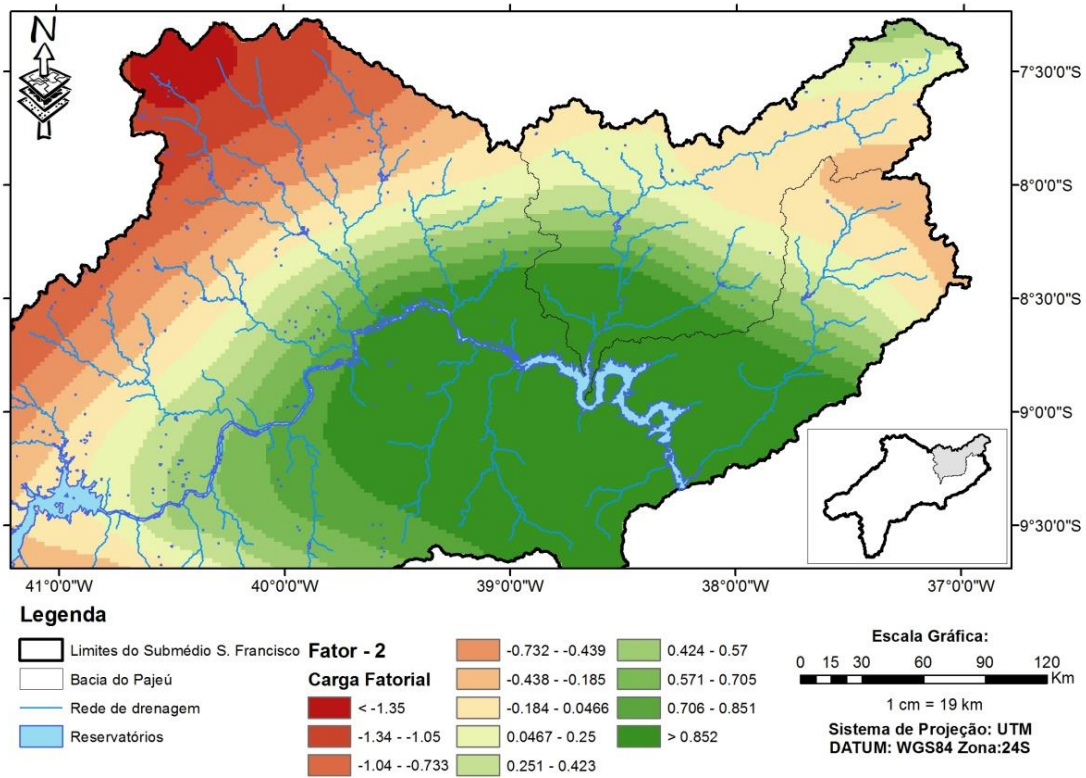


Figura 7. Distribuição espacial do segundo fator (escore).

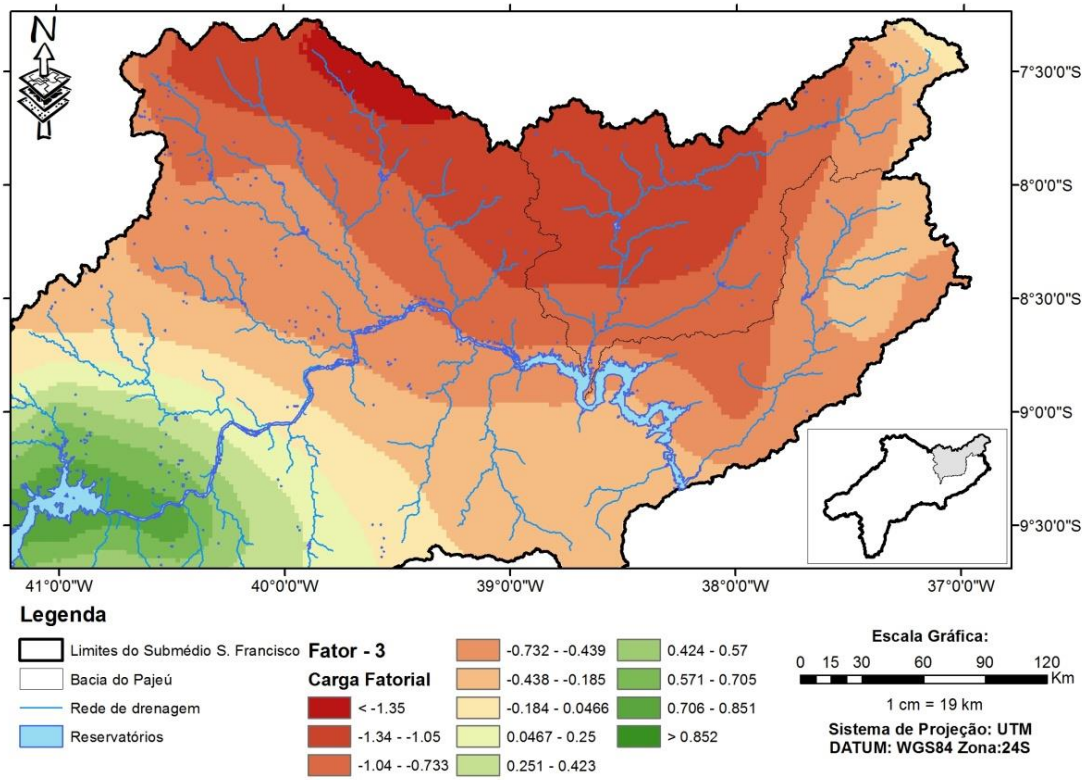


Figura 8. Distribuição espacial do terceiro fator (escore).

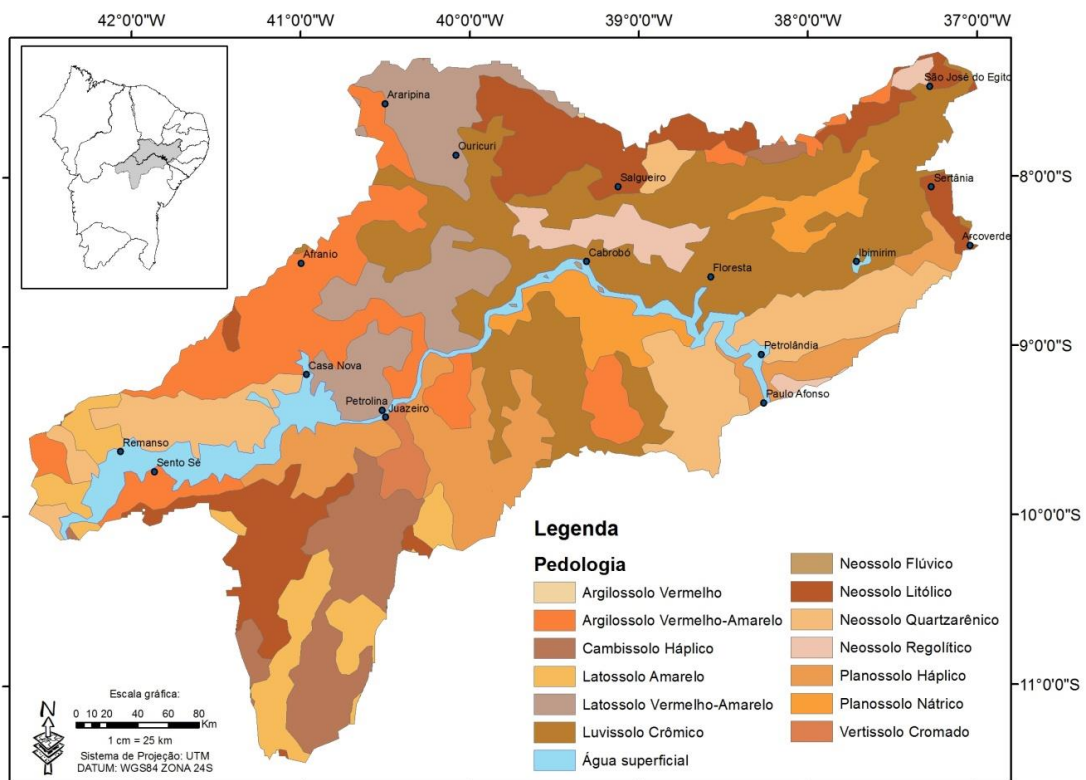


Figura 9. Distribuição espacial dos solos na região fisiográfica do submédio Rio São Francisco.

norooeste da bacia hidrográfica. A distribuição espacial deste fator, com as maiores correlações de março a maio, está em conformidade com os maiores registros de precipitações ocorridas no período de dezembro a março, e por consequência maior disponibilidade hídrica e armazenamento de água no solo.

Este fator pode estar associado ao tipo de solo da região do submédio (Figura 9), ou seja, a capacidade de armazenamento disponível – CAD, é função das características granulométricas de cada tipo de solo e da profundidade efetiva do sistema radicular da vegetação inserido no local.

A presença de solos litólicos caracteriza a baixa capacidade de armazenamento de água por serem solos pouco desenvolvidos, rasos a muito rasos, possuindo, apenas, um horizonte A assente, diretamente, sobre a rocha (R), ou sobre materiais desta rocha em grau mais adiantado de intemperização, constituindo um horizonte C, com muito material primário e blocos de rocha semintemperizados, de diversos tamanhos, sobre a rocha subjacente, muito pouco intemperizada ou compacta (R) (Bertoni & Lombardi Neto, 1998).

#### 4 Conclusões

A análise fatorial em componentes principais foi capaz de descrever padrões de evapotranspiração potencial para região, possibilitando uma melhor compreensão dos aspectos físicos responsáveis pela variabilidade temporal e espacial da área estudada.

Para o período estudado de 1960-1990 o conjunto de dados analisados pode ser representado por três fatores que juntos explicam 96,7% da variabilidade dos dados estudados. O complemento de (3,3%) estão associados aos ruídos.

A explicação do primeiro fator é influenciada diretamente por variáveis ligadas a disponibilidade energética e hídrica. O segundo fator pode estar associado a incidência de sistemas produtores de precipitação, tais como Vórtice Ciclônicos e a ZCIT, e a influência da ocupação do solo - cultivos irrigados. Por fim o terceiro e último fator tem uma relação direta à mudança de estação seca para chuvosa, e possivelmente ao tipo de solo da região do submédio.

De modo geral o uso da técnica de AF mostrou grande potencial no estudo da variabilidade temporal dos dados de ETP tendo em vista a demanda evapotranspirativa da região tais ferramentas são de grande auxílio para gestão dos recursos hídricos seja no âmbito do abastecimento como também para grandes cultivos irrigados.

#### Referências

- ANDERSON, T. W. An introduction to multivariate statistical analysis, New York: J. Wiley & Sons, 1984. 675 p.
- AMARAL, J. F. Reformas estruturais e economia política dos recursos hídricos no Ceará, Fortaleza. In: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE, 2003. Disponível em: < <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/artigos> >. Acessado em: 15 jun.2012.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355 p.
- CIRILO, J. A.; CAMPELLO NETTO, M. S. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ASFORA, M. C. Caracterização do Semi-Árido Brasileiro. In: Cirilo, J. A.; Cabral, J. J. S. P.; FERREIRA, J. P. C. L.; OLIVEIRA, M. J. P. M.; LEITÃO, T. E.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; GÓES, V. C. O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semi-áridas. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2007. p. 33-60.
- CODEVASF - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA. Inventário de projetos. Brasília: Rev. atual. 3. ed. 1999. 223p.
- CORRAR, L. J.; PAULO, E.; FILHO, J. M. D. Análise Multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia. V.1, Editora: Atlas, São Paulo, 2007. 568 p.
- GAN, M. A. ; KOUSKY, V. E. . Vórtices ciclônicos da alta troposfera no Oceano Atlântico Sul. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v. 1, p. 19-28, 1986.
- GARAYALDE, E. J. G.; SILVA, M. G. A. da; TAVARES, SÁ A. de. Classificação mesoclimática da região sul do Brasil pela análise de Componentes Principais. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1, CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1986, Brasília. Anais..., v.1, p.119-124, 1986.
- IZIQUÉ, C. As águas vão rolar: transposição do rio São Francisco divide opiniões e instiga polêmica entre governo e pesquisadores. Pesquisa FAPESP, São Paulo, n. 112, p. 26-29, jun. 2005. Disponível em: < <http://www.universia.com.br> >. Acessado em: 15 jul.2012.

- MANLY, B. J. F. Métodos estatísticos multivariados: uma introdução. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, p.105-115, 2008.
- STORCH, H. V; ZWIERS, F. W. Statistical analysis in climate research. New York-NY: Cambridge University Press, 2000. 484p.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J.R. The water balance. In Climatology Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.
- TUCCI, CARLOS E. M. "Modelos Hidrológicos" Editora: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1998. 669p.
- WEARE, B. C.; NASSTROM, J.S. Examples of Empirical Orthogonal Function Analyses, Monthly Weather Review, v.110,p. 481-485.1982.
- WILKS, D. S. Statistical methods in the Atmospheric Sciences: an introduction. San Diego: Academic Press, 1995. 467p.
- WILKS, D. S. Statistical methods in the Atmospheric Sciences. 2. Ed. California: Elsevier Science & Technology Books, Academic Press, 2006.