



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**



**ESTUDO DA ESTRUTURA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA REGIÃO
NORDESTE DO BRASIL UTILIZANDO ESTATÍSTICA MULTIVARIADA**

HAILTON DIAS DA SILVA JÚNIOR



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ORIENTADOR: Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa

CAMPINA GRANDE - PB

Dezembro de 2004

HAILTON DIAS DA SILVA JÚNIOR

**ESTUDO DA ESTRUTURA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA REGIÃO
NORDESTE DO BRASIL UTILIZANDO ESTATÍSTICA MULTIVARIADA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
em Meteorologia da Universidade Federal de
Campina Grande em cumprimento às
exigências para a obtenção do grau de Mestre.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala

Subárea: Climatologia

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa

CAMPINA GRANDE - PB

Dezembro de 2004



S586e Silva Junior, Hailton Dias da
Estudo da estrutura da evapotranspiracao na regio
nordeste do Brasil utilizando estatistica multivariada /
Hailton Dias da Silva Junior. - Campina Grande, 2004.
125 f.

Dissertacao (Mestrado em Meteorologia) - Universidade
Federal de Campina Grande - Centro de Tecnologia e Recursos
Naturais.

1. Evapotranspiracao 2. Dissertacao I. Sousa, Francisco
de Assis Salviano de, Dr. II. Universidade Federal de
Campina Grande - Campina Grande (PB) III. Título

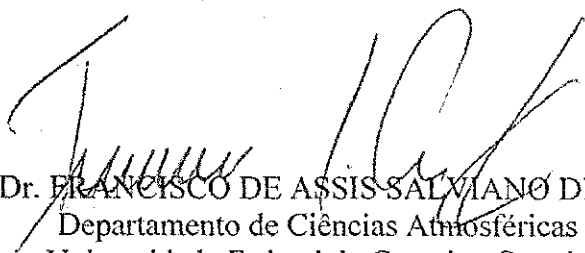
CDU 551.573(043)

HAILTON DIAS DA SILVA JÚNIOR

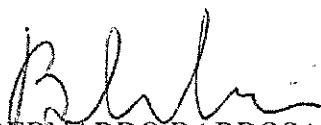
ESTUDO DA ESTRUTURA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA REGIÃO NORDESTE DO
BRASIL UTILIZANDO ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 17/12/2004

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA
Departamento de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA
Departamento de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Departamento de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande

DEDICATÓRIA

Dedico todo esforço necessário à conclusão deste trabalho primeiramente a Deus, que tem me dado forças sempre, não me permitindo vacilar perante as dificuldades. A meus pais Hailton Dias da Silva e Maria de Nilsa Santos da Silva (In Memoriam) e a minha irmã Arabela Santos da Silva pelo incentivo, amor e lições de vida ao longo da caminhada. E a minha esposa Patrícia Maria Ferreira Gomes pela paciência e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

A Deus minha gratidão por chegar até aqui, vitoriosa pela conquista obtida depois de tanta luta, incertezas e dificuldades.

Ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo.

Ao professor Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa pela orientação, dedicação e paciência constante.

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciências Atmosféricas, em especial a Eyres Diana Ventura Silva e Divanete C. Rocha por estarem sempre dispostas a ajudar.

Aos meus familiares e amigos por serem força e paciência e por estarem sempre presentes.

A Joseane Felipe Guedes que me motivou a nunca desistir e sempre persistir na busca das minhas realizações.

Aos meus companheiros de trabalho: Sheilla, Fábio, Cida, Ana Mônica, Francis, Ivanildo, Mary Francis e Rodrigo pela força, e principalmente a Weronica, por escutar forró comigo.

E, finalmente, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este estudo apresenta um critério para identificar e avaliar a importância das variáveis envolvidas no composto da evapotranspiração pelo uso da técnica de estatística multivariada denominada Análise de Componentes Principais. Essa técnica é aplicada com o propósito de identificar a importância relativa das diferentes variáveis envolvidas na evapotranspiração da região do Nordeste do Brasil. As séries históricas foram fornecidas pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos), INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e DCA (Departamento de Ciências Atmosféricas) da Universidade Federal de Campina Grande. A técnica da Análise de Componentes Principais demonstrou que um modelo com duas componentes principais é adequado para representar o processo da evapotranspiração na área estudada. Os resultados revelaram que as variáveis climatológicas investigadas com maior representatividade no processo da evapotranspiração foram: precipitação (P), umidade relativa do ar (UR), evaporação (E), e velocidade do vento (V); enquanto que a temperatura mínima do ar (TMN) apresentou menor influência para a região Nordeste do Brasil.

ABSTRACT

This study presents a criterion to identify and to evaluate the importance of the variables involved in the process of evapotranspiration for the use of the technique of multivariate statistics, Principal Components Analysis. This technique is applied with the intention to identify the relative importance of the different variables involved in the evapotranspiration of the northeast region of Brazil. The historical series had been supplied by the INMET (National Institute of Meteorology), CPTEC (Climatic Center of Forecast of Time and Studies), INPE (National Institute of Space Research) and DCA (Department of Atmospheric Sciences) of the Federal University of Campina Grande. The technique of the Principal Components Analysis demonstrated that a model with two main components is adjusted to represent the process of the evapotranspiration in the studied area. The results had disclosed that the investigated variables climatológicas with bigger representation in the process of the evapotranspiration had been: precipitation (P), relative humidity of air (UR), evaporation (E), and speed of the wind (V); while that the minimum temperature of air (TMN) presented minor influence for the Northeast region of Brazil.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE ANEXOS.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. Análise das Componentes Principais.....	16
2.2. Evapotranspiração.....	24
3. MATERIAL E METODOS.....	30
3.1. Normalização dos dados originais.....	32
3.2. Elaboração da matriz de correlação.....	33
3.3. Adequabilidade do modelo.....	33
3.4. Análise das Componentes Principais.....	34
3.4.1. Sequência de Cálculos.....	37
3.5. Rotação de Componentes Principais.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1. Análise da ACP para o Estado de Alagoas.....	42
4.2. Análise da ACP para o Estado da Bahia.....	48
4.3. Análise da ACP para o Estado do Ceará.....	59
4.4. Análise da ACP para o Estado do Maranhão.....	69

4.5. <i>Análise da ACP para o Estado da Paraíba</i>	77
4.6. <i>Análise da ACP para o Estado de Pernambuco</i>	84
4.7. <i>Análise da ACP para o Estado do Piauí</i>	92
4.8. <i>Análise da ACP para o Estado do Rio Grande do Norte</i>	99
4.9. <i>Análise da ACP para o Estado de Sergipe</i>	106
5. <i>CONCLUSÕES E SUGESTÕES</i>	109
5.1. <i>Conclusões</i>	109
5.2. <i>Sugestões</i>	110
6. <i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	111
<i>ANEXOS</i>	122
<i>Anexo 01. Relação das estações de superfície com dados de temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, precipitação, umidade relativa, insolação, evaporação e velocidade do vento</i>	122

LISTA DE TABELAS

	Pág.
<i>Tabela 01. Intervalo dos testes Kaiser – Meyer - Olkin para se avaliar a aplicação do modelo.....</i>	34
<i>Tabela 02. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado de Alagoas obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.....</i>	43
<i>Tabela 03. Resumo dos resultados para o estado de Alagoas.....</i>	43
<i>Tabela 04. Resultados dos autovalores, variâncias e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado de Alagoas.....</i>	45
<i>Tabela 05. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação, para o estado de Alagoas.....</i>	47
<i>Tabela 06. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado da Bahia obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.....</i>	48
<i>Tabela 07. Resumo dos resultados para o estado da Bahia.....</i>	50
<i>Tabela 08. Resultados dos autovalores, variâncias e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado da Bahia.....</i>	52
<i>Tabela 09. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação, para o estado da Bahia.....</i>	56
<i>Tabela 10. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado do Ceará obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.....</i>	59
<i>Tabela 11. Resumo dos resultados para o estado da Ceará.....</i>	60

<i>Tabela 12. Resultados dos autovalores, variâncias e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado do Ceará.....</i>	62
<i>Tabela 13. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação, para o estado do Ceará.....</i>	65
<i>Tabela 14. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado do Maranhão obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.....</i>	69
<i>Tabela 15. Resumo dos resultados para o estado do Maranhão.....</i>	70
<i>Tabela 16. Resultados dos autovalores, variâncias e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado do Maranhão.....</i>	72
<i>Tabela 17. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação para o estado do Maranhão.....</i>	75
<i>Tabela 18. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado da Paraíba obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.....</i>	77
<i>Tabela 19. Resumo dos resultados para o estado da Paraíba.....</i>	78
<i>Tabela 20. Resultados dos autovalores, variâncias e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado da Paraíba.....</i>	79
<i>Tabela 21. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação, para o estado da Paraíba.....</i>	82
<i>Tabela 22. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado de Pernambuco obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.....</i>	84
<i>Tabela 23. Resumo dos resultados para o estado de Pernambuco.....</i>	85
<i>Tabela 24. Resultados dos autovalores, variâncias e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado de Pernambuco.....</i>	86

<i>Tabela 25. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação, para o estado de Pernambuco.....</i>	89
<i>Tabela 26. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado do Piauí obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.....</i>	92
<i>Tabela 27. Resumo dos resultados para o estado do Piauí.....</i>	93
<i>Tabela 28. Resultados dos autovalores, variâncias e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado do Piauí.....</i>	94
<i>Tabela 29. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação, para o estado do Piauí.....</i>	97
<i>Tabela 30. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado do Rio Grande do Norte obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.....</i>	99
<i>Tabela 31. Resumo dos resultados para o estado do Rio Grande do Norte.....</i>	100
<i>Tabela 32. Resultados dos autovalores, variâncias e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado do Rio Grande do Norte.....</i>	101
<i>Tabela 33. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação, para o estado do Rio Grande do Norte.....</i>	103
<i>Tabela 34. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado de Sergipe obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.....</i>	106
<i>Tabela 35. Resumo dos resultados para o estado de Sergipe.....</i>	107
<i>Tabela 36. Resultados dos autovalores, variâncias e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado de Sergipe.....</i>	107
<i>Tabela 37. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação, para o estado de Sergipe.....</i>	108

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 01. Distribuição espacial das estações de superfície com dados de temperatura máxima e mínima do ar, precipitação, umidade relativa, insolação, evaporação e velocidade do vento.....</i>	30

LISTA DE ANEXOS

Pág.

<i>Anexo 01. Relação das estações de superfície com dados de temperaturas máxima e mínima do ar, precipitação, umidade relativa, insolação, evaporação e velocidade do vento.....</i>	122
---	-----

1. INTRODUÇÃO

A evapotranspiração (ET) é o elemento mais importante para se estimar as necessidades hídricas das plantas. A esta é comumente usada para definir a perda de vapor de água para a atmosfera através de efeito combinado dos processos de evaporação da água da superfície do solo e da planta, e de transpiração pelas folhas das plantas (DOORENBOS & PRUITT, 1977). Sendo aleatória a natureza dos eventos hidrológicos, eles podem ser medidos ou quantificados por variáveis que apresentam uma alta interrelação. A evapotranspiração (ET) é um fenômeno hidrológico multidimensional, uma vez que é afetada por variáveis climáticas como: precipitação, velocidade do vento, insolação, umidade relativa, temperatura máxima e temperatura mínima (MOHAN & ARUMUGAN, 1996). Além dos fatores climáticos, a evapotranspiração é influenciada pela cultura, sendo esta influencia dependente da sua fase fenológica ou do seu nível de desenvolvimento. Esse processo hidrológico também depende de fatores como: fertilidade do solo, qualidade da água de irrigação (ISRAELSEN & HANSEN, 1965; AL-KHAFRAF et al., 1978).

Ter conhecimento dos efeitos relativos das variáveis no processo de evapotranspiração é de fundamental importância dentro do contexto da irrigação, em especial em regiões semi-áridas, visto que ela se caracteriza por um alto déficit hídrico, requerendo, portanto, o uso racional do recurso água.

O gerenciamento da irrigação na área semi-árida do Nordeste do Brasil é prejudicado pela falta de informações do uso de água pelas culturas, pelo desconhecimento setorizado da evapotranspiração da região e pela falta de tecnologia adequada para disseminar esse tipo de informação entre os irrigantes (Brasil, 1998). Há, portanto, a

necessidade de melhor conhecimento das variáveis na estimativa da ET, para, assim, se fazer uma seleção mais adequada do modelo a ser aplicado na região.

A taxa de evaporação ou de evapotranspiração em certa área é determinada por dois fatores principais, sendo o primeiro a disponibilidade de umidade na superfície onde ocorre a evaporação e o segundo a capacidade da atmosfera de vaporizar a água, remover e transportar o vapor (AYODATE, 1996). O primeiro fator dependerá sempre da umidade disponível na superfície onde ocorre a evaporação ou evapotranspiração, e o segundo estará em função de diversos outros fatores climáticos, incluindo a radiação solar, a temperatura, a velocidade do vento e a umidade do ar (PEREIRA et al., 1997).

Com base nos dados da Região Nordeste do Brasil, foi desenvolvido um estudo com objetivo de identificar as variáveis meteorológicas que apresentam maior influência no processo de ET na região. Para tanto, foi aplicada técnica estatística multivariada denominada Análise de Componentes Principais, para investigar sua estrutura multivariada em relação às variações climáticas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Análise das Componentes Principais

A técnica estatística de análise multivariada que tem sido mais amplamente empregada nos estudos atmosféricos é a Análise em Componentes Principais (ACP). Ela tornou-se popular nas análises de dados atmosféricos após LORENZ (1956), que a denominou Funções Ortogonais Empíricas (FOE). Hoje ambos os nomes são comumente usados e referem-se aos mesmos procedimentos. A partir daí, vários pesquisadores fizeram uso de tais técnicas em várias aplicações meteorológicas, como BRAGA (1992), KOUSKY & KAYANO (1994), CEBALLOS & BRAGA (1995) e NERY et al. (1999).

BRAGA (1992) utilizando as médias decendiais dos totais diários de precipitação coletados em 65 postos pluviométricos na Paraíba no período de 1930 a 1981 aplicou o método de análise em componentes principais (ACP) e verificou que as duas primeiras componentes principais explicam 93,2% da variância total da série. Uma análise objetiva utilizando os autovetores mais significativos permitiu classificar a pluviometria do Estado da Paraíba em cinco sub-regiões homogêneas. Desde então, outros pesquisadores tais como LOPES et al. (1996), SILVA (1996) e BRAGA et al. (1998) têm aplicado a mesma metodologia a outros estados do Nordeste do Brasil.

SILVA (1996) utilizou dados de chuva coletados em 68 postos pluviométricos distribuídos no Estado da Paraíba no período 1930-1993. O objetivo do autor na aplicação das técnicas de análise em componentes principais foi identificar sub-regiões pluviometricamente homogêneas e determinar as mudanças que o fenômeno ENOS

provoca na distribuição espacial da precipitação no Estado da Paraíba. A aplicação da análise de componentes principais para o conjunto de dados mostrou que as duas primeiras componentes explicam 96% da variância espacial total. O autor concluiu que o conjunto de dados evidenciou diferenças significativas na distribuição espacial da chuva no Estado da Paraíba entre anos de ENOS fortes e anos climatológicos.

PRATES (1994) aplicou a metodologia da análise de componentes principais em dados de chuva coletados em 128 postos pluviométricos distribuídos no estado de Minas Gerais e regiões limítrofes de Goiás, Espírito Santo e Bahia. O objetivo do autor foi identificar regiões pluviometricamente homogêneas. Foram analisadas as três primeiras componentes principais que explicaram 92,32% da variância total dos dados. O padrão espacial da primeira componente principal, que explicou 86,85% da variância, foi associado à resposta local a mecanismos de grande escala. Os padrões espaciais da segunda e terceira componentes principais, que explicaram 3,55% e 1,92% da variância, respectivamente, podem representar diferenças no regime pluviométrico associadas a efeitos locais, apesar da pequena porcentagem de explicação da variância.

PANDZIC & KISEGI (1990) empregaram a análise de componentes principais para avaliar o campo de precipitação de mesoescala associado à circulação de grande escala. Os autores utilizaram dados de precipitação de 108 estações climatológicas da Croácia, juntamente com dados médios mensais de pressão à superfície e de geopotencial em 500 hpa numa grade de 12x19 pontos que abrangia a região de atuação da grande escala para o período 1961-1980. Encontraram dois grupos distintos: o primeiro relacionado ao curso climático anual dos campos considerados, e o segundo a suas anomalias. Obtiveram, ainda, uma regionalização das regiões de mesoescala e grande escala, dividindo-as em sub-regiões homogêneas, de acordo com o curso climático anual

das variáveis, ficando estabelecida a conexão entre o curso anual da precipitação da Croácia e o campo de pressão de grande escala.

GREEN et al. (1993) aplicaram a análise em componentes principais a séries climatológicas de vento, temperatura e precipitação da região Sul da Califórnia. As cargas fatoriais das componentes principais foram usadas para formar grupos de meses (estações) possuindo padrão espacial similar. O resultado apresentou períodos sazonais (estações) de duração desigual, diferindo das estações convencionais (três meses). As análises de temperatura e vento apresentaram longos períodos de verão e inverno e curtas estações intermediárias, especialmente o outono. Na análise da precipitação o período (estação) novembro-maio é associado a sistemas sinóticos vindos do Pacífico. O período julho-agosto é a estação de tempestades de verão associadas a um fluxo de umidade de sul. Períodos intermediários secos separam essas estações. Os meses agrupados coincidiram para as análises de temperatura e vento, o que sugere uma relação estreita entre essas variáveis conforme assinalado pelos autores, já que efeitos térmicos em mesoescala induzem circulações locais tais como as brisas marítima e terrestre e as circulações em áreas de topografia complexa.

KLINK & WILLMOTT (1989) aplicaram o método de análise de componentes principais a dados de vento à superfície coletada a cada três horas no ano de 1975 em 68 estações dos Estados Unidos. Os autores analisaram separadamente velocidade e direção do vento utilizando a análise de componentes principais vetoriais enquanto que para as componentes zonal e meridional do vento usaram a análise de componentes principais escalares. Os campos da velocidade média do vento, das componentes zonal e meridional juntas (CZMJ) e da direção média são muito similares, mas apresentam algumas diferenças não-triviais, existindo também diferenças entre as componentes principais da velocidade, direção e CZMJ. As três primeiras componentes principais das

CZMJ explicam 45% da variância total no campo do vento. As componentes principais para velocidade e direção explicam 43% e 34% da variância total, respectivamente. Os autores concluíram que o método estatisticamente mais exato para avaliar a variabilidade do vento é a análise de componentes principais vetoriais.

EASTMAN & FULK (1993) realizaram uma análise de componente principal padronizada, com 36 imagens IVDN derivadas de imagens mensais AVHRR do satélite NOAA-9, na África. Segundo os autores, a habilidade da análise de componente principal em descobrir eventos significativos da mudança sobre séries temporais é muito forte. A análise de componente principal mostrou ser uma excelente ferramenta para análises detalhadas de mudanças e de tendências em dados temporais de longos intervalos.

BITENCOURT (2000) utilizou a análise de componente principal padronizada, com imagens da faixa TM-4 do Landsat em duas datas, buscando identificar as áreas onde houve um ganho de vegetação em área do Cerrado de São Paulo. A segunda componente principal resultante foi dividida em três classes: “baixa variância da reflectância do vermelho”, “não variância” e “alta variância de reflectância”, correspondendo respectivamente a ganho, manutenção e perda de área verde. A segunda componente principal utilizada para a mesma faixa espectral, mas em diferentes datas, se mostrou apropriada para estimar variação de vegetação de Cerrado entre o período de seca e de chuva, em qualquer fisionomia deste bioma.

MALDONADO et al. (2000) utilizaram a análise de componente principal para verificar as mudanças na cobertura vegetal em uma mesma região semi-árida em Pernambuco, Brasil. Foram utilizadas duas imagens da faixa TM-3 em duas datas: 1984 e 1996. A segunda componente principal foi dividida em cinco classes, com os limites localizados em 1 e 2 desvios padrão a partir da média. O método se mostrou adequado para

a detecção das mudanças na cobertura vegetal e no uso da terra na área da Caatinga estudada.

SIKKA & PRASAD (1981) analisaram médias mensais de anomalias nos campos de geopotencial em 700 hPa sobre a região asiática para os quatro meses de monções de verão usando a técnica de análise de componentes principais e concluiu que as cinco primeiras componentes explicam mais de 80% da variância total em cada mês considerado.

A análise da componente principal também foi usada por PANDZIC & TRNINIC (1990) para identificar um padrão mensal de descarga, precipitação e balanço de hídrico na bacia do rio KUPA (Iugoslávia). Para cada campo considerado, duas componentes principais são mais significativas e descrevem mais de 85% da variância total dos campos. Uma significativa correlação entre descarga, precipitação e balanço de água foi estabelecida, principalmente na estação do inverno.

PANDIZIC & TRNINIC (1991) também analisaram a relação entre descarga, anomalias em campos em mesoescala (uma área do rio KUPA, Yugoslávia) e anomalias na pressão de superfície pela análise das componentes principais. Foram usados dados mensais de descargas de mesoescala, dados de precipitação e dados de pressão à superfície em pontos de grade de 12 x 19, para o período 1961 – 1980. Os autores chegaram a conclusão de que as duas primeiras componentes principais, descrevem mais de 80% da variância total, e uma significativa correlação entre descarga de mesoescala, anomalias de precipitação e o “índice de seca” de Palmer.

CAVALCANTI & BENTO (1994) usaram o método da análise de componentes principais para identificar os padrões principais no campo do vento à superfície associados aos principais sistemas meteorológicos que atuam no Nordeste do Brasil, utilizando dados do vento à superfície processados por BASTOS et al. (1987).

Foram escolhidos para estudo os meses mais chuvosos dos principais regimes pluviométricos da região: março, maio e dezembro. Eles mostraram a correlação entre as componentes principais (primeira, segunda e terceira) e a componente zonal para os meses de março, maio e dezembro. Sugeriram que a primeira componente, que reflete basicamente a média, está associada aos alísios. As áreas de correlações baixas parecem indicar o efeito da topografia. A segunda componente está associada à atuação da ZCIT e à influência de frentes frias. A terceira componente está associada ao efeito orográfico e (ou) sistemas de leste. A correlação entre as componentes principais e a componente meridional (obtida de forma similar) é associada aos mesmos sistemas. As três primeiras componentes explicam 90% da variância total dos dados.

CORREIA (2000), através das observações horárias de direção e velocidade do vento processado por BASTOS et al. (1987), analisou médias de 10 dias das componentes zonal e meridional do vento à superfície (isoladamente e em conjunto) utilizando métodos de análise multivariada (Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamento), com o objetivo de determinar padrões temporais da variabilidade do vento associando-os com a fisiografia e os fenômenos atmosféricos que atuam no Nordeste do Brasil. Os resultados obtidos mostraram que a circulação de grande escala (anticiclone subtropical do Atlântico Sul) e a fisiografia complexa (principalmente o vale do rio São Francisco) são fatores determinantes no comportamento do vento à superfície no Nordeste do Brasil. Os padrões temporais também são associados a outros fenômenos: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), vórtices ciclônicos de ar superior (VCAS), sistemas frontais austrais, distúrbios de leste, sistemas convectivos de mesoescala e circulações locais.

ANDRADE et al. (2002) identificaram e avaliaram a importância das variáveis envolvidas no processo da evapotranspiração pela análise de componentes

principais. Essa técnica foi aplicada com o propósito de identificar a importância relativa das diferentes variáveis envolvidas na evapotranspiração em bacias hidrográficas da Região Centro Sul do Estado do Ceará. A técnica da análise de componentes principais demonstrou que um modelo com duas componentes é adequado para representar o processo de evapotranspiração na área estudada. Os resultados revelaram que as variáveis climatológicas com maior representatividades no processo de evapotranspiração foram: razão de insolação, velocidade do vento e precipitação; enquanto a temperatura máxima e mínima do ar apresentou menor influência para a região do Centro Sul do Estado do Ceará.

WONG (1979) obteve, através da combinação das análises dimensional e de componentes principais, uma equação dimensionalmente homogênea e estatisticamente ótima, para prever a cheia média anual em uma região úmida. A análise dimensional é efetuada através do uso do Π -teorema. Esse teorema, adaptado ao teorema de BUCKINGHAM (1914) apud WONG (1979) é empregado para obter uma relação funcional, a partir de produtos adimensionais, uma equação indeterminada. Na seqüência, a análise de componentes principais é realizada com base nas séries dos produtos adimensionais, para determinar o grau de intercorrelação existente entre elas.

HEDDINGHAUS & KRUEGER (1981) utilizaram médias mensais de ROL (radiação de onda longa) para caracterizar as variações anuais e interanuais nos trópicos, através da técnica estatística de Funções Ortogonais Empíricas ("Empirical Orthogonal Function" - EOF) que também é conhecida como Análise de Componentes Principais (ACP). Eles constataram que a primeira componente representava o modo verão/inverno do ciclo anual; a segunda descrevia o modo de primavera/outono e a terceira o ciclo semi-anual.

Em estudo também sobre série histórica de ROL (radiação de onda longa), KAYANO et al. (1995) analisaram o impacto de se corrigirem ou não os erros ocasionados

pelos diferentes horários em que o satélite cruza o equador. Através da técnica EOF eles mostraram que a utilização da série não corrigida de ROL induzia a obtenção de uma componente (segunda) sem significado físico. Porém, ao analisarem uma série histórica de anomalia de ROL (1974 a 1996), WALISER & ZHOU (1997) constataram que as três primeiras componentes estão associadas às variações interanuais. A primeira componente destacou os eventos de El Niño de 1975-76, 1982-1983, 1987, 1988-89 e 1992, a segunda os eventos de 1972-73 e 1986-87 e a terceira o evento de 1982-83. A quarta componente revelou as variações de ROL ocasionadas por mudança no horário da passagem do satélite.

A teoria da amostragem de componentes principais não está devidamente desenvolvida, especialmente quando os componentes são extraídos da matriz de correlação, em vez da de covariância. Segundo MARDIA et al. (1979) e DUNTEMAN (1984), na maioria dos casos a seleção sobre quantos componentes reter, é baseada em métodos simples e práticos. MORRISON (1976) sugeriu que só os primeiros quatro ou cinco componentes devem ser extraídos, desde que os restantes sejam difíceis de interpretar o problema fisicamente. Infelizmente, nenhum teste estatístico pode ser usado para determinar o significado de um componente. De modo geral, a literatura sobre a utilização de componentes principais nas diversas áreas de aplicação mostra que, para interpretar dados com sucesso, basta escolher os primeiros componentes que acumulam uma percentagem de variâncias explicada igual ou superior a 70%. Uma regra prática para desconsiderar os componentes principais de menor importância é eliminar aqueles com variância inferior à variância média das variáveis originais.

2.2. Evapotranspiração

Informações quantitativas de evapotranspiração são necessárias nos vários campos científicos que tratam dos numerosos problemas de manejo da água. Os métodos diretos de obtenção da evapotranspiração potencial de determinada área requerem inúmeras medições; para tanto, são necessários tempo, mão-de-obra, infra-estrutura laboratorial e, conseqüentemente, capital, mas nem sempre é possível contar com todos esses fatores para elaboração de medições. Segundo MELLO et al. (1996) existem entre 50 a 60 equações para a simulação da evapotranspiração. Essas equações são baseadas em dados meteorológicos para o cálculo da evapotranspiração potencial.

A obtenção de modelos matemáticos para a estimativa da evapotranspiração de diferentes culturas é de grande importância. A água necessária às culturas está diretamente relacionada ao crescimento vegetal, à produtividade e à qualidade da produção (JONES & TARDIEU, 1998).

BERNARDO (1995) constatou que alguns dos métodos mais precisos são de difícil aplicação, não só pela complexidade dos cálculos, mas também, por exigirem um grande número de dados meteorológicos, nem sempre disponíveis. Nas áreas que possuem dados de temperatura, umidade, vento, insolação e radiação, vários autores sugerem o emprego do método de PENMAN, devido ao fato de apresentar resultados mais precisos para a avaliação dos efeitos do clima sobre a evapotranspiração (ORTOLANI et al., 1966; CHANG, 1968; JENSEN, 1974; SILVA, 1977; DOORENBOS & PRUITT, 1977; BERLATO & MOLION, 1981). Devido às dificuldades na obtenção de dados de parâmetros naturais deve-se, sempre que possível, efetuar a comparação entre dados medidos e simulados, através de modelos matemáticos, como forma de se buscar um método de avaliação que represente, da melhor forma possível, o que ocorre na natureza.

Por meio desses modelos pode-se fazer o acompanhamento dos parâmetros naturais de forma mais simples e com custos mais baixos, além das possibilidades de simular panoramas futuros, o que é fundamental, principalmente no que se refere à gestão dos recursos hídricos.

Segundo SAAD & SCALOPPI (1988) a grande variabilidade de valores assumidos pelos parâmetros calculados da evapotranspiração, sugere uma análise da distribuição de frequência dos valores estimados, para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação. Alguns modelos para dimensionamento de sistemas de irrigação consideram o nível de probabilidade de ocorrência da evapotranspiração.

JENSEN (1974) apresentou um modelo de dimensionamento de sistemas que considera a probabilidade de ocorrência da evapotranspiração e precipitação pluviométrica. O valor esperado da evapotranspiração que servirá de base para o dimensionamento do sistema de irrigação depende da duração do período de máxima exigência hídrica da cultura e do nível de probabilidade desejado para as condições específicas do projeto (PRUITT et al. 1972). Segundo JENSEN (1974) o período de máxima exigência hídrica de culturas anuais pode variar entre duas e três semanas. Para as mesmas culturas, SAAD & SCALOPPI (1988) sugerem, como razoável, admitir-se um período entre 10 e 30 dias.

Segundo DOORENBOS & PRUITT (1977), dentre os mais diversos métodos para se estimar a evapotranspiração, a escolha do método está condicionada a precisão dos dados climáticos medidos durante alguns anos. Em uma avaliação das equações mais comuns para a determinação da evaporação feita pela American Association of Civil Engineers, na qual foram usados dados obtidos em 10 diferentes locais no mundo, concluiu-se que não existe um método, que utilize dados climáticos, que possa ser universalmente adequado em todos os tipos de climas, principalmente nas regiões tropicais

e de altas altitudes e que dispense algum tipo de calibração local ou regional. Os fatores atmosféricos são elementos essenciais na estimativa da evapotranspiração.

SENTELHAS (1998) avaliou os efeitos da utilização de dados meteorológicos obtidas em estações convencionais e automáticas na estimativa diária da evapotranspiração de referência, pelos métodos de PENMAN, PRIESTLEY-TAYLOR e PENMAN-MONTEITH (padrão FAO), em Piracicaba, São Paulo. As melhores estimativas da evapotranspiração foram obtidas a partir dos dados da estação automática, por qualquer método. E, ainda, que o método de PENMAN-MONTEITH foi o que representou melhores resultados no cálculo da evapotranspiração, considerando-se o período integral da análise e que o método de PRIESTLEY-TAYLOR apresentou resultados semelhantes.

TACONET et al. (1986) utilizaram dados de imagens de satélites para estimar a evapotranspiração potencial sobre uma área agrícola. Esses autores desenvolveram uma metodologia que usa a temperatura infravermelha da superfície, estimada com os dados dos canais 4 e 5 do NOAA-7, como dados de entrada em um modelo unidimensional na camada limite sobre a vegetação e solo. O modelo inclui uma parametrização de transferência na cultura, baseado na formulação que permite o uso de um pequeno número de parâmetros de mesoescala característico da vegetação. O objetivo desse modelo é fornecer um prognóstico dos fluxos de superfície e resistência da cultura sobre uma densa vegetação, analisando comparativamente com medidas experimentais do fluxo de superfície. Foram utilizadas três imagens de uma região plana de monocultura, considerando condições de céu aberto.

Em relação ao uso do Modelo Hidrológico (MH) para a estimativa da evapotranspiração no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC / INPE), alguns trabalhos estão sendo desenvolvidos, mas não incorporando informações remotas, apenas utilizando dados de estações de superfície. FERREIRA et al. (1998) utilizaram o

modelo hidrológico desenvolvido por VOROSMARTY et al. (1989) para realizar um estudo sobre a bacia Amazônica, utilizando como dados de entrada no MH, três bases de dados climatológicos (UNESCO, Centro Europeu e Observações de Campo). O objetivo foi comparar os diferentes bancos de dados de entrada e analisar o que melhor representa a climatologia da bacia. Os dados utilizados para a comparação foram do DNAEE (Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica), considerados como referência. Os resultados obtidos mostraram que a saída do modelo (descarga dos rios) utilizando a série de dados do Centro Europeu, representou melhor a climatologia da bacia.

A estimativa da evapotranspiração baseada no método de BOWEN foi testada por FRISTCHEN (1965) para um pequeno período e dados observados, no Arizona (EUA), e comparada com medidas lisimétricas. Os resultados indicaram que as estimativas obtidas pelo método da razão de BOWEN apresentam boa precisão, cujos erros absolutos e relativos encontrados foram de 2% e 5%, respectivamente.

Para SHUTTLEWORTH & CALDER (1979), a rugosidade, devido ao tamanho da vegetação, a distribuição da folhagem por todo dossel, a quantidade de calor trocado entre o ar e as folhas, assim como a advecção de calor sensível, podem ser importantes fontes de energia para o conjunto solo-planta, determinando o processo evaporativo.

LYRA et al. (1994) verificaram que a substituição da floresta por pastagem implicou numa redução da evapotranspiração durante o dia, bem como um aumento no fluxo de calor sensível, o que acarreta um aumento da temperatura.

De acordo com FONTANA (1992), a evapotranspiração pode ser obtida através de estimativas. As medições diretas são feitas utilizando, basicamente, dois grupos de métodos: os métodos baseados na equação do balanço hídrico e os métodos

micrometeorológicos. Em geral, a medição da evapotranspiração é feita em nível experimental, em função de instrumentos e dos manejos práticos. Através desses métodos pode-se determinar a evapotranspiração potencial, máxima e de referência para intervalos de tempo muito curtos, como minutos ou horas.

BOUCHET (1963) afirma que a evapotranspiração real difere da potencial por considerar, por um lado, a diferença da cobertura vegetal e por outro lado, o solo em condições reais de suprimento de água. As necessidades hídricas das culturas são expressas em termos de evapotranspiração (ET), em mm/dia ou mm/período.

Para MATZENAUER (1992), a evapotranspiração real é a perda de água para a atmosfera por evapotranspiração nas condições reais (existentes) de fatores atmosféricos e umidade de solo e pela demanda evaporativa da atmosfera.

É fundamental considerar-se, nas estimativas de evapotranspiração, a energia adicional na forma de advecção, visto que a advecção de calor sensível de superfícies descobertas e secas situadas nas vizinhanças da área em questão, podem constituir-se uma fonte significativa de energia para aumentar as perdas de água por evapotranspiração, especialmente em regiões áridas e semi-áridas (MONTENY, 1972; ROSENBERG, 1972; VILLA NOVA, 1973; LEITÃO, 1989; PRUEGER ET AL., 1996).

Nos últimos anos um grande número de trabalhos têm sido direcionados para o estudo da estimativa da evapotranspiração por meios de modelos; todavia, numa avaliação das equações mais comuns para a determinação da evapotranspiração, feita pela American Association of Civil Engineers, na qual se utilizaram dados climáticos de 11 diferentes localidades do mundo, concluiu-se que não existe um método, que utilize dados climáticos, que possa ser globalmente adequado, sem que exista, também, algum tipo de calibração local ou regional, principalmente em regiões tropicais e regiões altas (JENSEN

et al., 1989). Informação que é validada devido ao fato de que, em condições tropicais, existe uma grande demanda de energia do sistema para o fluxo de calor latente, o que ocorre em menor intensidade em climas úmidos.

A revisão aqui apresentada sugere que a aplicação da metodologia da análise em componentes principais pode trazer novos conhecimentos sobre a evapotranspiração potencial à superfície no Nordeste do Brasil.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido com base em dados de 88 estações meteorológicas distribuídas pela região Nordeste do Brasil (Figura 01), situada entre as latitudes de 1° e 18° sul e as longitudes de 34° e 48° oeste, limitando-se a oeste com áreas de floresta tropical e cerrado, a leste e ao norte com o Oceano Atlântico e ao sul com os estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

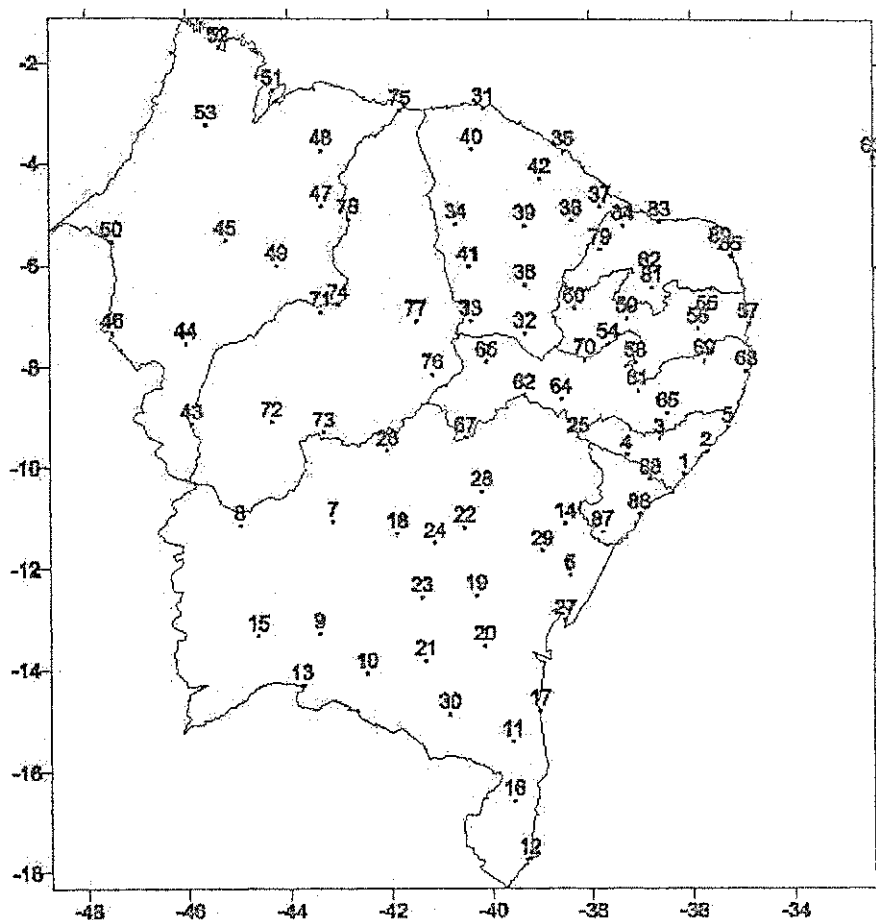


Figura 01. Distribuição espacial das estações de superfície com dados de temperatura máxima e mínima do ar, precipitação, umidade relativa, insolação, evaporação e velocidade do vento.

Para se avaliar a estrutura multivariada da evapotranspiração potencial foram consideradas as seguintes variáveis: temperatura máxima do ar (TMX), temperatura mínima do ar (TMN), precipitação (P), umidade relativa do ar (UR), evaporação (E), insolação (INS) e velocidade do vento (V). Os dados foram fornecidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos), INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e DCA (Departamento de Ciências Atmosféricas) da Universidade Federal de Campina Grande. As séries empregadas são constituídas por dados mensais correspondentes a um período de 30 anos.

A evapotranspiração foi obtida através do modelo de Chistiansen-Hargreaves (1969) com base na seguinte equação:

$$E_{to} = 0,755 E_v C_{T_2} C_{W_2} C_{H_2} C_{S_2} \quad (01)$$

em que E_v é a evaporação do tanque classe A, em mm/dia. Os demais coeficientes são adimensionais.

$$C_{T_2} = 0,862 + 0,179 \left(\frac{T_c}{T_{CO}} \right) - 0,041 \left(\frac{T_c}{T_{CO}} \right)^2 \quad (02)$$

sendo C_{T_2} um parâmetro que representa a contribuição da temperatura na evapotranspiração, donde T_c é a média da temperatura em °C e $T_{CO} = 20^\circ C$.

$$C_{W_2} = 1,189 - 0,240 \left(\frac{W}{W_o} \right) + 0,051 \left(\frac{W}{W_o} \right)^2 \quad (03)$$

com C_{W_2} representando a contribuição da velocidade do vento na evapotranspiração, em que W é a velocidade do vento à 2m acima do nível do solo em km/h e $W_o = 6,7 \text{ km/h}$.

$$C_{H_2} = 0,499 + 0,620 \left(\frac{H_M}{H_{MO}} \right) + 0,119 \left(\frac{H_M}{H_{MO}} \right)^2 \quad (04)$$

donde C_{H_2} representa a contribuição da umidade relativa do ar na evapotranspiração, sendo H_M a umidade relativa média, expressada em decimal, e $H_{MO} = 0,60$.

$$C_{S_2} = 0,904 + 0,0080 \left(\frac{S}{S_o} \right) + 0,088 \left(\frac{S}{S_o} \right)^2 \quad (05)$$

em que C_{S_2} representa a contribuição dos parâmetros energéticos na evapotranspiração, donde S é a porcentagem de luz solar possível (n/N) expressa em decimal, e $S_o = 0,80$.

O estudo para a identificação das variáveis mais importantes para a evapotranspiração fundamentou-se na aplicação de um modelo de estatística multivariada, chamado Análise de Componentes Principais (ACP), através do qual pode-se identificar as variáveis de maior expressão dentro do processo de evapotranspiração. Todas as análises foram computadas pelo programa estatístico SPSS, versão 11. A aplicação do referido modelo foi composto pelas seguintes etapas:

3.1. Normalização dos dados originais

Um dos problemas mais comuns encontrado na aplicação de modelos estatísticos multivariados é que eles são dependentes das unidades e escalas em que as variáveis foram medidas (NATHAN & MCMAHON, 1990). A solução padrão para este problema é a normalização dos dados, ou seja, média igual à zero ($\mu = 0$) e variância igual a um ($\sigma = 1$). Uma vez que, neste estudo, as variáveis apresentavam unidades e escalas distintas, a matriz dos dados originais foi normalizada.

3.2. Elaboração da matriz de correlação

Tendo por base os dados normalizados, foi construída a matriz de correlação [R] (p x p), para p igual a sete. Esta matriz representa a base para a transformação das variáveis ortogonais observadas em componentes. A matriz de correlação foi calculada pela equação:

$$R = \frac{1}{n-1} \left(D^{-\frac{1}{2}} S D^{-\frac{1}{2}} \right) \quad (06)$$

sendo $D^{-\frac{1}{2}}$, uma matriz diagonal (7 x 7) e $S = X'_d X_d$, onde S é a matriz dos quadrados das médias normalizadas; X_d a matriz normalizada dos dados e X'_d e a matriz transposta de X_d .

3.3. Adequabilidade do modelo

Para se testar a validade do modelo de análise de componentes para este estudo, aplicou-se o teste desenvolvido por KAISER (1974) apud NORUSIS (1990). Os intervalos de validade de aplicação do modelo de acordo com o referido teste estão presentes na Tabela 02.

O referido teste fornece um índice utilizado para comparar a magnitude dos coeficientes de correlação simples observados em relação às magnitudes dos coeficientes de correlação parcial. A validade do modelo é computada pela seguinte equação:

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum a_{ij}^2} \quad (07)$$

onde r_{ij} é o coeficiente de correlação simples entre as variáveis i e j , a_{ij} é o coeficiente de correlação parcial entre as variáveis i e j . Se a soma dos coeficientes de correlação parcial ao quadrado entre todos os pares de variáveis for pequena quando comparada à soma dos coeficientes de correlação simples ao quadrado, as medidas de KMO serão próximas de um, indicando não haver nenhuma restrição ao uso do modelo. Valores pequenos de KMO ($< 0,5$) indicam que o modelo de análise de componentes não é uma boa solução para esta base de dados.

Tabela 01, Intervalo dos testes Kaiser -- Meyer - Olkin para se avaliar a aplicação do modelo.

<i>Valor de KMO</i>	<i>Aplicação do modelo</i>
$KMO > 0,9$	<i>Excelente</i>
$0,8 < KMO < 0,9$	<i>Ótima</i>
$0,7 < KMO < 0,8$	<i>Boa</i>
$0,6 < KMO < 0,7$	<i>Regular</i>
$0,5 < KMO < 0,6$	<i>Medíocre</i>
$KMO < 0,5$	<i>Inadequada</i>

3.4. Análise das Componentes Principais

É o mais antigo método de ordenação, o mais conhecido e com vários exemplos de aplicação em meteorologia. A análise de componentes principais nada mais é que o cálculo dos autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de variâncias-covariâncias ou de uma matriz de coeficientes de correlação entre variáveis. Quando as variáveis, devido a escalas diferentes de mensurações empregadas, não podem ser diretamente comparadas, torna-se necessário preliminarmente à padronização, de modo que as variáveis transformadas passem a ter média zero e variância unitária, o que é

conseguido pela transformação "Z". Nesses casos, com variáveis padronizadas, a matriz de variâncias-covariâncias e a de coeficientes de correlação tornam-se idênticas. Como tal padronização acarreta uma forte influência na estrutura da matriz de variâncias-covariâncias e, conseqüentemente, nos resultados da análise, a sua utilização deve ser criteriosa levando sempre em conta a natureza dos dados meteorológicos em estudo e o enfoque que se pretende dar.

A análise de componentes principais não é sinônimo de análise fatorial ou análise dos fatores e essa confusão terminológica deve ser evitada. A primeira análise consiste numa transformação linear de " m " variáveis originais em " m " novas variáveis, de tal modo que a primeira nova variável computada seja responsável pela maior variação possível existente no conjunto de dados, a segunda pela maior variação possível restante e assim por diante até que toda a variação do conjunto tenha sido explicada. Na análise fatorial supõe-se que as relações existentes dentro de um conjunto de " m " variáveis seja o reflexo das correlações de cada uma dessas variáveis com " p " fatores, mutuamente não correlacionáveis entre si, sendo " p " menor que " m ". O extremo cuidado que se deve ter é com relação à especificação do número e, principalmente, do significado dos " p " fatores que emergem a partir dessa análise.

A análise de componentes principais é, portanto, uma técnica de transformação de variáveis. Se cada variável medida pode ser considerada como um eixo de variabilidade, estando usualmente correlacionada com outras variáveis, essa análise transforma os dados de tal modo a descrever a mesma variabilidade total existente, com o mesmo número de eixos originais, porém não mais correlacionados entre si. Graficamente pode ser descrita como a rotação de pontos existentes num espaço multidimensional originando eixos, ou componentes principais, que dispostos num espaço a duas dimensões representem variabilidade suficiente que possa indicar algum padrão a ser interpretado.

A análise de componentes principais inicia com o cálculo dos autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de variâncias-covariâncias ou de correlações entre variáveis e tal procedimento é conhecido como modo "R". O primeiro autovalor a ser determinado corresponderá à maior porcentagem da variabilidade total presente e assim sucessivamente. Geralmente os dois ou três primeiros autovetores encontrados explicarão a maior parte da variabilidade presente. Quando o primeiro autovetor já explica 90 a 95% da variabilidade isso deve ser encarado com cuidado e verificado se não estão presentes variáveis com valores de magnitudes muito maiores que as demais.

Os autovetores correspondem às componentes principais e são resultados das cargas das variáveis originais em cada uma delas. Tais cargas podem ser consideradas como uma medida da relativa importância de cada variável em relação às componentes principais e os respectivos sinais, indicam relações diretamente e inversamente proporcionais.

A matriz das cargas de cada variável nas componentes principais ao ser multiplicada pela matriz original de dados fornecerá a matriz de contagens (*scores*) de cada caso em relação às componentes principais. Esses valores poderão então ser dispostos num diagrama de dispersão, em que os eixos são as duas componentes mais importantes, e mostrar o relacionamento entre os casos condicionados pelas variáveis medidas.

A primeira matriz obtida, resultado das interações entre variáveis pode ser interpretada como um procedimento estatístico no qual os dados seriam amostras de populações multidimensionais. Já a segunda matriz apresenta as interações entre casos ou amostras, no sentido meteorológico, não são usualmente passíveis de serem submetidas a testes estatísticos.

3.4.1. Seqüência de Cálculos

Se A for uma matriz simétrica de variâncias e covariâncias, de dimensões $p \times p$, com termos a_{ij} , de onde os autovalores e os autovetores serão extraídos, V_i o i -ésimo autovetor, cujos termos são v_{ij} e λ_i o i -ésimo autovalor, tal relação pode ser expressa por:

$$(A - \lambda_i I)V_i = 0 \quad (08)$$

onde I é a matriz identidade.

Alternativamente, a relação acima pode ser escrita por:

$$AV_i = V_i \lambda_i \quad (09)$$

onde V_i é uma matriz, $p \times p$, de todos os autovetores e λ_i é uma matriz, $p \times p$, com os autovalores na diagonal principal.

Multiplicando ambos os lados da equação pela transposta de V , V' , tem-se

$$A = V_i \lambda_i V_i' \quad (10)$$

A soma dos autovalores é igual à soma dos termos da diagonal em A , ou seja, a soma das variâncias $\sum \lambda_i = \sum a_{ii}$ e por definição $\lambda_1 > \lambda_2 \dots > \lambda_p$.

Resolvendo a equação acima para λ , as raízes determinadas serão os **autovalores**. Encontrados os autovalores, substituindo-os nas equações simultâneas e resolvendo-as, obtém-se para cada autovalor, **autovetores** correspondentes, ou seja, as componentes principais.

Pode-se definir a variância total existente em um conjunto de dados multivariados pela soma das variâncias de cada uma das variáveis. Numa matriz de variâncias-covariâncias, essas variâncias individuais constituem os elementos da diagonal principal. Basta somá-los, portanto, encontrando o traço da matriz para se obter a variabilidade total, e em seguida a contribuição de cada variável. A soma dos autovalores

de uma matriz, igual ao traço dessa matriz, representa também a variabilidade total da mesma e a contribuição de cada autovalor em termos de variabilidade é determinada. Ao primeiro corresponderá a maior variabilidade possível existente, ao segundo a maior variabilidade possível restante e assim por diante.

Em termos geométricos, o primeiro autovalor representa o eixo principal de maior comprimento; o segundo autovalor, um segundo vetor em comprimento, situado em posição ortogonal em relação ao primeiro e assim sucessivamente.

Os elementos de cada um dos autovetores encontrados são simplesmente coeficientes de equações lineares que transformam os dados originais em contagens (*scores*) indicativas da respectiva carga sobre os eixos correspondentes. Desse modo, utilizando-se da multiplicação da matriz de dados originais pela matriz de autovetores, obtém-se uma matriz de dados transformados que representam projeções dos pontos, num espaço multidimensional, sobre as diversas componentes principais.

$$[S^R] = [X][V] \quad (11)$$

onde: $[X]$ = matriz de dados originais $[n \times m]$

$[V]$ = matriz quadrada $[m \times m]$ contendo os autovetores

$[S^R]$ = matriz $[n \times m]$ das contagens sobre as componentes principais.

3.5. Rotação de Componentes Principais

Quando $p=1$, ou seja, existe mais do que um fator aparecerá uma ambigüidade inerente ao modelo. Seja F uma matriz ortogonal $p \times p$ tal que

$$F.F^T = F^T F = I. \text{ Façamos } A^\# = FA \text{ e, logo, } A^T F^T = (A^\#)^T.$$

Embora $A^\#$ seja diferente de A , ambas geram a mesma matriz de correlações R . Com efeito, a expressão nos diz que $R = A^T A + \psi$, ou ainda, $R = A^T F^T F A + \psi$, e assim:

$$R = (A^\#)^T A^\# + \psi \quad (12)$$

Neste sentido, é impossível, na base das observações feitas sobre X , distinguir as cargas de A das cargas de $A^\#$, sendo que as componentes possuem as mesmas propriedades estatísticas. Assim, A e $A^\# = FA$ fornecem a mesma representação da matriz de correlações R , embora as cargas de A sejam, em geral, diferentes das cargas de $A^\#$. As comunalidades, fornecidas pelos elementos da diagonal de A^T ou pelo produto de $(A^\#)^T A^\#$, não serão afetadas pela escolha de F . Pela expressão $X = YA + E$, e $X^T = A^T Y^T + E^T$ virá, então, $X = YF^T A + E$, e fazendo $Y^\# = YF^T$ tem-se:

$$X = Y^\# A^\# + E \quad (13)$$

Essa ambigüidade proporciona a oportunidade para o uso da rotação de eixos na análise de componentes, dado que matrizes ortogonais correspondem à rotações (e reflexões) do sistema de coordenadas de X . Assim, sempre que as cargas iniciais não possam ser facilmente interpretadas (o que quase sempre é o caso), é prática comum fazer uma rotação dos fatores até que uma estrutura mais simples apareça.

Por outro lado, sabe-se, da álgebra linear, que um conjunto de m vetores gera um espaço de n dimensões quando cada vetor neste espaço puder ser representado como combinações lineares destes m vetores, que formariam a base desse espaço *n-dimensional*. Mas a base para um espaço certamente não é única, existindo infinitas possibilidades para a escolha da mesma. Explica-se, assim, do ponto de vista geométrico, a questão da indeterminação em análise fatorial já aludida anteriormente. A escolha de uma base particular em realidade é o que se entende pela rotação das componentes na análise.

A parcimônia é o que se busca ao selecionar uma determinada solução entre uma infinidade de outras possíveis. Trabalhando com a representação mais simples possível, a de um ponto, a parcimônia aludida pode ser encontrada ao passar um dos eixos pelo ponto. Ao se aproximar deste ideal, pode se observar que quando o sistema de referência for rotacionado até que um dos eixos passe pelo ponto, o produto das duas coordenadas cresce menos. Dentro desta linha de raciocínio pode-se estabelecer que alguma função da soma do produto das coordenadas de um conjunto de pontos colineares seja usada como uma medida do conteúdo de parcimônia associado à descrição destes pontos (HARMAN, 1976).

Saliente-se que os objetivos da extração das componentes diferem daqueles associados à rotação. A técnica de extração é projetada para maximizar fontes independentes de variância na matriz de correlações. Já o objetivo da rotação consiste em delinear os fatores de tal modo que eles correspondam à agrupamentos de variáveis inter-relacionadas, ou seja, as componentes são rotacionadas até que correspondam a uma dimensão separada.

O desenvolvimento dos computadores digitais ensejou o aparecimento de uma série de programas que realizam rotações de eixos tanto ortogonais como oblíquas, empregando critérios como o VARIMAX, o QUARTIMAX e outros descritos na literatura especializada (HARMAN, 1976). Merece ser mencionado que a rotação oblíqua possui dois pontos essenciais:

- A rotação oblíqua permite que as componentes possam mostrar mais corretamente grupos de variáveis intercorrelacionadas, embora tornando as operações matemáticas bem mais complexas.
- No mundo real as dimensões estão correlacionadas umas com as outras e, assim, a rotação oblíqua estará mais próxima da realidade.

Por outro lado, existem algumas desvantagens acentuadas no uso das rotações oblíquas. As comunalidades das variáveis não podem ser computadas diretamente a partir das cargas oblíquas, uma vez que a soma das cargas ao quadrado pode ser maior do que 1. Aparecem ainda, nas rotações oblíquas, dois conjuntos de cargas, as chamadas matrizes padrão e de estrutura, tornando mais difícil a interpretação das citadas carga. Cabe realçar, entretanto, que o objetivo maior da pesquisa é da parcimônia, a identificação de agrupamentos distintos e separados de variáveis, e neste sentido são mais preferidas as rotações ortogonais ZELLER & CARMINES (1980).

No entanto, como acentua RUMMEL (1970), não é necessário escolher entre um ou outro tipo de rotação devido às facilidades proporcionadas pelos modernos programas computacionais. Pode-se tentar ambos os métodos e escolher um deles. Mais ainda, freqüentemente os resultados não irão diferir substancialmente caso se use uma rotação oblíqua ou uma ortogonal.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o cálculo da evapotranspiração potencial pelo modelo de Christiansen-Hargreaves, e feita a normalização dos dados é detida a matriz de correlação. Os resultados da matriz de correlação para as variáveis: temperatura máxima (TMX), temperatura mínima (TMN), umidade relativa do ar (UR), precipitação (P), evaporação (E), insolação (INS) e velocidade do vento (V), do teste KMO, da extração das componentes principais e da rotação das componentes são apresentados a seguir para cada estado do Nordeste.

4.1. Análise da ACP para o Estado de Alagoas

Para o estado de Alagoas a evapotranspiração média mensal calculada pelo modelo de Christiansen-Hargreaves é mostrada na Tabela 02. Já a Tabela 03 mostra as variáveis que mais se correlacionaram juntamente com seus respectivos coeficientes de correlação. As variáveis evaporação (E) e temperatura máxima (TMX) são as que apresentaram os mais altos coeficientes de correlação entre elas.

Na mesma tabela, podem-se observar os valores do teste de adequabilidade KMO, indicando que o modelo apresentou uma adequabilidade ótima ($0,8 < KMO < 0,9$) para as estações de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar; boa ($0,7 < KMO < 0,8$) para a estação de Porto de Pedras e regular ($0,6 < KMO < 0,7$) para a estação de Coruripe.

Com base nestes dados, pode-se usar o modelo com segurança, uma vez que restrições se fazem presentes quando o KMO apresenta valor inferior a 0,5, ou seja, inadequado.

Tabela 02. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado de Alagoas obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.

<i>Alagoas</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>
<i>Coruripe</i>	147	133	137	120	104	93	95	106	119	130	147	146
<i>Alagoas</i>	150	139	144	127	108	95	96	105	126	141	145	154
<i>Palmeira dos Índios</i>	172	146	155	126	109	95	95	110	133	159	172	169
<i>Pão de Açúcar</i>	175	155	158	139	118	101	105	124	150	177	183	176
<i>Porto de Pedras</i>	122	116	119	107	93	81	82	92	103	115	113	121

Tabela 03. Resumo dos resultados para o estado de Alagoas.

<i>Alagoas</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes de Correlação</i>	<i>KMO</i>
<i>Coruripe</i>	<i>E</i>	0,71	0,683
	<i>INS</i>		
<i>Maceió</i>	<i>E</i>	0,80	0,835
	<i>V</i>		
<i>Palmeira dos Índios</i>	<i>E</i>	0,92	0,835
	<i>TMX</i>		
<i>Pão de Açúcar</i>	<i>UR</i>	0,87	0,824
	<i>TMX</i>		
<i>Porto de Pedras</i>	<i>TMX</i>	0,83	0,798
	<i>TMN</i>		

A Tabela 04 apresenta resultados para o estado de Alagoas, indicando que um modelo com duas componentes foi adequado para representar os dados empregados e explicar, respectivamente 65%, 83%, 85%, 84% e 81% da variância total para as estações de Coruripe, Maceió, Palmeira dos Índios, Pão de Açúcar e Porto de Pedras, concentrando em duas dimensões as informações anteriormente distribuídas em sete variáveis. O modelo foi composto unicamente por duas componentes, tendo como base os princípios descritos por NORUSIS (1990), ou seja, considerar somente aquelas componentes que

apresentassem um autovalor superior a um. Note que das estações relacionadas, apenas a estação de Coruripe apresentou um número de componentes maior do que dois.

Observa-se, também, que a primeira componente principal responde por mais de 50% para quatro das cinco estações analisadas no estado de Alagoas (menos Coruripe), e para a estação de Palmeira dos Índios a primeira componente principal explica mais de 70% da variância total.

Os pesos de cada variável para as componentes um e dois são apresentadas na Tabela 05, onde os valores atribuídos para cada componente antes e após a rotação também estão presentes nesta tabela. Analisando as componentes após a rotação, percebe-se que, em relação à componente um, as variáveis de maior importância para o estado de Alagoas foram umidade relativa (UR), precipitação (P), evaporação (E), insolação (INS) e velocidade do vento (V). Note que a velocidade do vento foi a variável que apresentou o menor fator para a estação de Coruripe, fato esse podendo ser decorrência da classificação climática das regiões onde estão localizadas tais estações.

Para as cinco estações estudadas, a variável que teve maior significância foi precipitação (P), seguida pela insolação (INS), evaporação (E), umidade relativa (UR) e velocidade do vento (V), sugerindo que essas variáveis apresentam uma maior influência no processo de evapotranspiração em clima quente e chuvoso, encontrado nas regiões das estações.

Em relação à temperatura máxima do ar (TMX) e mínima do ar (TMN) para a componente um, pode-se observar que após as rotações, ambas apresentaram as menores para todas as estações do estado, sugerindo que as demais variáveis apresentam uma maior significância na definição das variáveis de relevância na estimativa da evapotranspiração na região.

Tabela 04. Resultados dos autovalores, variâncias, e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado de Alagoas.

<i>Alagoas</i>	<i>Componentes</i>	<i>Autovalor</i>	<i>Variância</i>	<i>Var. Acumulada</i>
<i>Coruripe</i>	1	3,279	46,84	46,84
	2	1,240	17,72	64,56
	3	1,083	15,47	80,03
	4	0,715	10,22	90,25
	5	0,312	4,45	94,70
	6	0,235	3,35	98,05
	7	0,136	1,95	100,00
<i>Maceió</i>	1	4,692	67,03	67,03
	2	1,120	16,00	83,03
	3	0,474	6,77	89,80
	4	0,248	3,54	93,34
	5	0,195	2,78	96,13
	6	0,151	2,16	98,28
	7	0,120	1,72	100,00
<i>Palmeira dos Índios</i>	1	4,911	70,16	70,16
	2	1,060	15,14	85,30
	3	0,391	5,58	90,88
	4	0,301	4,30	95,18
	5	0,224	3,19	98,38
	6	0,076	1,08	99,46
	7	0,038	0,54	100,00
<i>Pão de Açúcar</i>	1	4,655	66,50	66,50
	2	1,250	17,85	84,35
	3	0,428	6,11	90,46
	4	0,246	3,51	93,97
	5	0,235	3,36	97,34
	6	0,131	1,86	99,20
	7	0,056	0,80	100,00
<i>Porto de Pedras</i>	1	4,073	58,18	58,18
	2	1,599	22,85	81,03
	3	0,602	8,59	89,63
	4	0,235	3,35	92,98
	5	0,205	2,93	95,91
	6	0,175	2,50	98,41
	7	0,111	1,59	100,00

Para a componente dois as variáveis TMX e TMN foram as que apresentaram as maiores cargas, sugerindo, portanto, serem estas duas variáveis significativas nesta componente. Tais resultados expressam que equações empregadas na estimativa de evapotranspiração, que tenham como base somente a temperatura, devem ser usadas com cautela nas regiões aqui estudadas.

Analisando as duas componentes, após a rotação, podemos afirmar que as variáveis com alto peso na componente um apresentam uma estreita correlação com o déficit da pressão de vapor do ar (Tabela 05), o qual é responsável pelo gradiente que impulsiona o processo da evapotranspiração; portanto, foi aqui denominado como componente de gradiente de pressão de vapor. Para a componente dois as variáveis TMX e TMN apresentaram um maior peso, identificando essa componente como de temperatura. Estes resultados, de uma maneira geral, revelam que o processo de evapotranspiração no estado de Alagoas é o efeito acumulativo da componente de gradiente de pressão e de temperatura; sendo a componente de pressão de vapor a mais importante, uma vez que a mesma explica proporcionalmente maior variabilidade.

Tabela 05. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação para o estado de Alagoas.

Alagoas	Variáveis	Componentes antes da rotação		Componentes depois da rotação	
		1	2	1	2
Coruripe	TMX	0,760	0,548	0,447	0,824
	TMN	0,537	0,632	-0,028	0,933
	UR	-0,523	0,245	-0,189	-0,220
	P	-0,716	0,063	-0,916	-0,121
	E	0,928	-0,102	0,700	0,410
	INS	0,776	-0,314	0,835	0,055
	V	0,404	-0,606	0,059	-0,057
Maceió	TMX	0,816	0,488	0,431	0,847
	TMN	0,611	0,742	0,123	0,954
	UR	-0,835	0,136	-0,780	-0,328
	P	-0,786	0,507	-0,935	0,012
	E	0,886	-0,084	0,796	0,400
	INS	0,913	-0,125	0,840	0,379
	V	0,848	-0,178	0,813	0,300
Palmeira dos Índios	TMX	0,954	0,238	0,556	0,811
	TMN	0,639	0,708	0,008	0,954
	UR	-0,914	-0,049	-0,651	-0,643
	P	-0,657	0,636	-0,913	0,040
	E	0,965	0,053	0,687	0,680
	INS	0,865	-0,210	0,787	0,417
	V	0,804	-0,219	0,747	0,369
Pão de Açúcar	TMX	0,905	0,354	0,623	0,746
	TMN	0,486	0,839	0,023	0,969
	UR	-0,943	-0,051	-0,803	-0,498
	P	-0,688	0,584	-0,884	0,181
	E	0,840	-0,178	0,822	0,248
	INS	0,888	-0,204	0,877	0,248
	V	0,862	-0,051	0,780	0,370
Porto de Pedras	TMX	0,602	0,739	0,159	0,939
	TMN	0,558	0,736	0,123	0,915
	UR	-0,847	0,209	-0,840	-0,236
	P	-0,847	0,307	-0,888	-0,151
	E	0,934	-0,125	0,874	0,352
	INS	0,912	0,004	0,791	0,453
	V	0,510	-0,599	0,739	-0,270

4.2. Análise da ACP para o Estado da Bahia

Para o estado da Bahia foram usadas apenas cinco variáveis climatológicas: temperatura máxima (TMX), temperatura mínima (TMN), umidade relativa (UR), precipitação (P) e velocidade do vento (V). Devido à falta de dados, não foram usadas as variáveis evaporação (E) e insolação (INS). O cálculo da evapotranspiração pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves é mostrado na Tabela 06.

Tabela 06. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado da Bahia obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.

Bahia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<i>Alagoinhas</i>	172	155	159	123	106	96	100	114	133	152	159	165
<i>Canavieiras</i>	122	116	119	107	93	81	82	92	103	115	113	121
<i>Barra</i>	163	160	151	139	138	130	135	154	171	178	175	168
<i>Barreiras</i>	162	155	152	143	139	136	141	163	181	179	168	166
<i>Bom Jesus da Lapa</i>	162	159	154	140	130	122	127	150	172	180	172	160
<i>Caetite</i>	143	138	133	111	100	90	92	112	134	146	139	123
<i>Caravelas</i>	139	131	130	108	89	79	80	93	107	121	126	133
<i>Carinhanha</i>	165	152	160	139	130	121	126	145	168	180	180	168
<i>Cipó</i>	181	162	164	134	115	102	104	122	146	170	178	180
<i>Correntina</i>	158	151	151	139	130	120	124	143	164	163	155	152
<i>Guaratinga</i>	163	149	147	117	99	89	89	103	122	138	150	157
<i>Ilhéus</i>	134	126	125	107	89	79	82	94	106	122	123	127
<i>Irecê</i>	158	153	151	136	122	111	114	133	155	165	165	158
<i>Itaberaba</i>	169	156	159	134	117	106	110	127	148	165	167	169
<i>Itiruçu</i>	150	136	137	111	93	81	85	99	119	136	143	146
<i>Ituaçu</i>	156	147	148	122	108	99	100	119	136	151	153	159

Tabela 06. Continuação.

<i>Jacobina</i>	156	147	147	120	105	91	94	112	135	154	157	150
<i>Lençóis</i>	176	162	165	135	115	106	110	129	155	173	175	178
<i>Morro do Chapéu</i>	141	132	134	109	95	82	85	101	123	138	141	137
<i>Paulo Afonso</i>	174	160	154	132	115	104	107	125	149	171	178	174
<i>Remanso</i>	147	139	136	122	113	104	107	124	145	154	152	152
<i>Salvador</i>	128	115	116	95	81	71	72	83	96	111	121	125
<i>Senhor do Bom Fim</i>	156	146	144	118	101	88	93	112	136	156	160	156
<i>Serrinha</i>	165	148	147	116	100	89	91	108	127	148	156	165
<i>Vitória da Conquista</i>	144	134	123	109	91	75	82	91	124	135	139	140

A Tabela 07 mostra as variáveis que mais se correlacionaram juntamente com seus respectivos coeficientes de correlação. As variáveis, temperatura máxima (TMX) e temperatura mínima (TMN) são as que mostram os mais altos coeficientes de correlação entre elas. Na mesma tabela, podem-se observar os valores do teste de adequabilidade KMO, efetuado através da equação (3), indicando que o modelo apresentou uma adequabilidade regular ($0,6 < KMO < 0,7$) para as estações de Caetite, Carinhanha, Cipó, Correntina, Paulo Afonso e Serrinha; adequabilidade medíocre ($0,5 < KMO < 0,6$) para as estações de Alagoinhas, Barreiras, Guaratinga, Ilhéus, Irecê, Itaberaba, Ituaçu, Jacobina, Remanso, Salvador e Senhor do Bomfim; adequabilidade inadequada ($KMO < 0,5$) para as estações de Bom Jesus da Lapa, Barra, Canavieiras, Caravelas, Itiruçu, Lençóis, Morro do Chapéu e Vitória da Conquista (em negrito na tabela).

Devido a estes resultados, usaremos no modelo apenas as estações que apresentaram uma adequabilidade acima de 0,5, assim podemos usar o modelo com segurança.

Tabela 07. Resumo dos resultados para o estado da Bahia.

<i>Bahia</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes de Correlação</i>	<i>KMO</i>
<i>Alagoinhas</i>	<i>TMX</i> <i>UR</i>	<i>0,73</i>	<i>0,562</i>
<i>Barra</i>	<i>UR</i> <i>V</i>	<i>0,68</i>	<i>0,475</i>
<i>Barreiras</i>	<i>TMN</i> <i>P</i>	<i>0,68</i>	<i>0,582</i>
<i>Bom Jesus da Lapa</i>	<i>TMX</i> <i>UR</i>	<i>0,67</i>	<i>0,483</i>
<i>Caetité</i>	<i>P</i> <i>V</i>	<i>0,61</i>	<i>0,606</i>
<i>Canavieiras</i>	<i>TMX</i> <i>TMN</i>	<i>0,84</i>	<i>0,388</i>
<i>Caravelas</i>	<i>TMX</i> <i>TMN</i>	<i>0,81</i>	<i>0,445</i>
<i>Carinhanha</i>	<i>UR</i> <i>P</i>	<i>0,63</i>	<i>0,614</i>
<i>Cipó</i>	<i>TMX</i> <i>UR</i>	<i>0,83</i>	<i>0,613</i>
<i>Correntina</i>	<i>TMN</i> <i>P</i>	<i>0,61</i>	<i>0,615</i>
<i>Guaratinga</i>	<i>TMX</i> <i>TMN</i>	<i>0,87</i>	<i>0,523</i>
<i>Ilhéus</i>	<i>TMX</i> <i>TMN</i>	<i>0,88</i>	<i>0,56</i>
<i>Irecê</i>	<i>TMX</i> <i>UR</i>	<i>0,66</i>	<i>0,517</i>
<i>Itaberaba</i>	<i>TMX</i> <i>TMN</i>	<i>0,79</i>	<i>0,546</i>
<i>Itiruçu</i>	<i>TMX</i> <i>TMN</i>	<i>0,81</i>	<i>0,494</i>

Tabela 07. Continuação.

<i>Ituaçu</i>	<i>TMX</i>	<i>0,82</i>	<i>0,544</i>
	<i>TMN</i>		
<i>Jacobina</i>	<i>TMX</i>	<i>0,70</i>	<i>0,512</i>
	<i>UR</i>		
<i>Lençóis</i>	<i>TMX</i>	<i>0,54</i>	<i>0,437</i>
	<i>TMN</i>		
<i>Morro do Chapéu</i>	<i>TMX</i>	<i>0,74</i>	<i>0,451</i>
	<i>TMN</i>		
<i>Paulo Afonso</i>	<i>TMX</i>	<i>0,84</i>	<i>0,612</i>
	<i>UR</i>		
<i>Remanso</i>	<i>TMX</i>	<i>0,71</i>	<i>0,529</i>
	<i>TMN</i>		
<i>Salvador</i>	<i>TMX</i>	<i>0,90</i>	<i>0,541</i>
	<i>TMN</i>		
<i>Senhor do Bomfim</i>	<i>TMX</i>	<i>0,75</i>	<i>0,578</i>
	<i>UR</i>		
<i>Serrinha</i>	<i>TMX</i>	<i>0,84</i>	<i>0,666</i>
	<i>TMN</i>		
<i>Vitória da Conquista</i>	<i>TMX</i>	<i>0,62</i>	<i>0,484</i>
	<i>UR</i>		

Os resultados para o estado da Bahia mostram que o modelo com duas componentes é adequado para representar os dados empregados e para explicar a variância total para as estações de Alagoinhas (82%), Barreiras (77%), Caetite (81%), Carinhanha (74%), Cipó (87%), Correntina (78%), Guaratinga (72%), Ilhéus (74%), Irecê (84%), Itaberaba (83%), Ituaçu (83%), Jacobina (70%), Paulo Afonso (87%), Remanso (82%), Salvador (73%), Senhor do Bom Fim (87%) e Serrinha (86%), mostrados na Tabela 08, concentrando em duas dimensões as informações anteriormente distribuídas em cinco variáveis.

Tabela 08. Resultados dos autovalores, variâncias, e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado da Bahia.

<i>Bahia</i>	<i>Componentes</i>	<i>Autovalor</i>	<i>Variância</i>	<i>Var. Acumulada</i>
<i>Alagoinhas</i>	<i>1</i>	<i>2,673</i>	<i>53,46</i>	<i>53,46</i>
	<i>2</i>	<i>1,428</i>	<i>28,56</i>	<i>82,02</i>
	<i>3</i>	<i>0,439</i>	<i>8,79</i>	<i>90,80</i>
	<i>4</i>	<i>0,369</i>	<i>7,37</i>	<i>98,18</i>
	<i>5</i>	<i>0,091</i>	<i>1,82</i>	<i>100</i>
<i>Barreiras</i>	<i>1</i>	<i>2,709</i>	<i>54,18</i>	<i>54,18</i>
	<i>2</i>	<i>1,152</i>	<i>23,04</i>	<i>77,22</i>
	<i>3</i>	<i>0,738</i>	<i>14,76</i>	<i>91,98</i>
	<i>4</i>	<i>0,248</i>	<i>4,95</i>	<i>96,93</i>
	<i>5</i>	<i>0,153</i>	<i>3,07</i>	<i>100</i>
<i>Caetité</i>	<i>1</i>	<i>2,618</i>	<i>52,35</i>	<i>52,35</i>
	<i>2</i>	<i>1,433</i>	<i>28,66</i>	<i>81,01</i>
	<i>3</i>	<i>0,436</i>	<i>8,71</i>	<i>89,73</i>
	<i>4</i>	<i>0,338</i>	<i>6,77</i>	<i>96,49</i>
	<i>5</i>	<i>0,175</i>	<i>3,51</i>	<i>100</i>
<i>Carinhanha</i>	<i>1</i>	<i>2,241</i>	<i>44,82</i>	<i>44,82</i>
	<i>2</i>	<i>1,446</i>	<i>28,93</i>	<i>73,75</i>
	<i>3</i>	<i>0,638</i>	<i>12,75</i>	<i>86,51</i>
	<i>4</i>	<i>0,314</i>	<i>6,88</i>	<i>93,38</i>
	<i>5</i>	<i>0,331</i>	<i>6,62</i>	<i>100</i>
<i>Cipó</i>	<i>1</i>	<i>2,888</i>	<i>57,75</i>	<i>57,75</i>
	<i>2</i>	<i>1,469</i>	<i>29,38</i>	<i>87,13</i>
	<i>3</i>	<i>0,359</i>	<i>7,17</i>	<i>94,30</i>
	<i>4</i>	<i>0,231</i>	<i>4,63</i>	<i>98,93</i>
	<i>5</i>	<i>0,054</i>	<i>1,07</i>	<i>100</i>
<i>Correntina</i>	<i>1</i>	<i>2,618</i>	<i>52,37</i>	<i>52,37</i>
	<i>2</i>	<i>1,291</i>	<i>25,81</i>	<i>78,18</i>
	<i>3</i>	<i>0,530</i>	<i>10,59</i>	<i>88,77</i>
	<i>4</i>	<i>0,353</i>	<i>7,06</i>	<i>95,83</i>
	<i>5</i>	<i>0,209</i>	<i>4,17</i>	<i>100</i>
<i>Guaratinga</i>	<i>1</i>	<i>2,412</i>	<i>48,23</i>	<i>48,23</i>
	<i>2</i>	<i>1,200</i>	<i>23,99</i>	<i>72,22</i>
	<i>3</i>	<i>0,964</i>	<i>19,27</i>	<i>91,49</i>
	<i>4</i>	<i>0,354</i>	<i>7,07</i>	<i>98,57</i>
	<i>5</i>	<i>0,072</i>	<i>1,43</i>	<i>100</i>

Tabela 08. Continuação.

<i>Ilhéus</i>	1	2,276	45,53	45,53
	2	1,405	28,09	73,62
	3	0,745	14,89	88,51
	4	0,470	9,39	97,90
	5	0,105	2,10	100
<i>Irecê</i>	1	2,338	46,75	46,75
	2	1,844	36,89	83,64
	3	0,472	9,45	93,08
	4	0,280	5,60	98,68
	5	0,066	1,32	100
<i>Itaberaba</i>	1	2,658	53,2	53,2
	2	1,497	29,9	83,1
	3	0,422	8,4	91,6
	4	0,354	7,1	98,6
	5	0,068	1,36	100
<i>Ituaçu</i>	1	2,658	53,17	53,17
	2	1,511	30,23	83,39
	3	0,493	9,86	93,25
	4	0,256	5,12	98,37
	5	0,081	1,63	100
<i>Jacobina</i>	1	2,275	45,51	45,51
	2	1,249	24,98	70,49
	3	0,985	19,69	90,18
	4	0,359	7,18	97,36
	5	0,132	2,64	100
<i>Paulo Afonso</i>	1	2,801	56,02	56,02
	2	1,573	31,45	87,47
	3	0,384	7,68	95,16
	4	0,188	3,75	98,91
	5	0,055	1,09	100
<i>Remanso</i>	1	2,514	50,28	50,28
	2	1,595	31,90	82,19
	3	0,449	8,98	91,16
	4	0,319	6,38	97,54
	5	0,123	2,46	100

Tabela 08. Continuação.

<i>Salvador</i>	1	2,302	46,05	46,05
	2	1,355	27,10	73,15
	3	0,822	16,44	89,59
	4	0,448	8,96	98,55
	5	0,073	1,45	100
<i>Senhor do Bonfim</i>	1	2,472	49,45	49,45
	2	1,865	37,30	86,75
	3	0,363	7,25	94,01
	4	0,240	4,79	98,80
	5	0,060	1,20	100
<i>Serrinha</i>	1	3,103	62,07	62,07
	2	1,177	23,53	85,60
	3	0,409	8,19	93,79
	4	0,251	5,01	98,80
	5	0,060	1,20	100

Os pesos de cada variável para as componentes 1 e 2 são apresentadas na Tabela 09, onde são atribuídos valores para cada componente antes e após a rotação. Analisando as componentes após a rotação, percebe-se que, em relação a componente 1, as variáveis de maior importância para o estado da Bahia são umidade relativa do ar (UR), precipitação (P), temperatura máxima (TMX) e temperatura mínima (TMN). Note que algumas variáveis possuem mais influências em algumas regiões do estado, devido a suas respectivas classificações climáticas.

Para as quinze estações estudadas, a variável que tem maior relevância é temperatura máxima (TMX) para as estações de Cipó, Guaratinga, Ilhéus, Itaberaba, Ituaçu, Jacobina, Paulo Afonso, Salvador e Serrinha, seguida pela temperatura mínima (TMN), umidade relativa do ar (UR) e precipitação (P), sugerindo que essas variáveis apresentam maior influência no processo de evapotranspiração nos climas encontrados nas regiões das estações.

Para a componente dois a variável temperatura máxima do ar (TMX) e temperatura mínima do ar (TMN) foram as que apresentaram as maiores cargas para as estações de Alagoinhas, Carinhanha, Correntina (sem rotação) e Remanso, sugerindo, portanto, serem essas duas variáveis significativas nesta componente. Tais resultados expressam que equações empregadas na estimativa de evapotranspiração, que tenham como base somente a temperatura devem ser usadas com cautela nas regiões aqui estudadas.

Analisando as duas componentes, após a rotação, pode-se afirmar que as variáveis com alto peso na componente um apresentam uma estreita correlação com a pressão de vapor do ar, o qual é responsável pelo gradiente que impulsiona o processo da evapotranspiração; portanto foi aqui denominado como componente de gradiente de pressão de vapor. Para a componente dois as variáveis, TMX e TMN apresentaram um maior peso, identificando esta componente como componente de temperatura. Esses resultados, de uma maneira geral, revelam que o processo de evapotranspiração no estado da Bahia é o efeito acumulativo da componente de gradiente de pressão e de temperatura; sendo a componente de pressão de vapor a mais importante, uma vez que a mesma explica proporcionalmente maior variabilidade.

Tabela 09. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação para o estado da Bahia.

Bahia	Variáveis	Componentes antes da rotação		Componentes depois da rotação	
		1	2	1	2
Alagoinhas	TMX	0,891	0,378	-0,426	0,869
	TMN	0,475	0,826	0,182	0,935
	UR	-0,869	0,019	0,669	-0,554
	P	-0,621	0,639	0,888	0,077
	V	0,716	-0,440	-0,830	0,136
Barreiras	TMX	-0,691	0,465	-0,221	0,803
	TMN	0,689	0,595	0,911	0,003
	UR	0,922	-0,128	0,616	-0,698
	P	0,821	0,407	0,888	-0,226
	V	-0,484	0,632	0,045	0,795
Caetité	TMX	0,353	0,893	0,157	0,948
	TMN	0,844	0,319	0,757	0,490
	UR	0,598	-0,713	0,735	-0,571
	P	0,825	-0,034	0,814	0,141
	V	-0,862	0,152	-0,875	-0,034
Carinhanha	TMX	-0,391	0,810	-0,400	0,805
	TMN	0,356	0,851	0,346	0,855
	UR	0,879	-0,008	0,879	0,002
	P	0,835	0,181	0,833	0,190
	V	-0,702	0,186	-0,704	0,177
Cipó	TMX	0,948	0,250	0,938	-0,285
	TMN	0,635	0,714	0,915	0,275
	UR	-0,923	0,074	-0,747	0,547
	P	-0,353	0,849	0,145	0,908
	V	0,781	-0,413	0,448	-0,761
Correntina	TMX	-0,395	0,845	-0,002	0,933
	TMN	0,648	0,675	0,872	0,338
	UR	0,789	-0,324	0,579	-0,627
	P	0,858	0,101	0,821	-0,270
	V	-0,826	-0,080	-0,782	0,276
Guaratinga	TMX	0,952	-0,102	0,899	0,331
	TMN	0,923	0,212	0,733	0,599
	UR	-0,650	0,649	-0,870	0,293
	P	0,409	0,845	-0,008	0,939
	V	0,251	-0,094	0,267	0,027

Tabela 09. Continuação.

<i>Ilhéus</i>	<i>TMX</i>	<i>0,912</i>	<i>0,276</i>	<i>0,952</i>	<i>0,026</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,900</i>	<i>0,300</i>	<i>0,947</i>	<i>0,052</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,738</i>	<i>0,326</i>	<i>-0,626</i>	<i>0,510</i>
	<i>P</i>	<i>-0,115</i>	<i>0,828</i>	<i>0,108</i>	<i>0,829</i>
	<i>V</i>	<i>0,277</i>	<i>-0,669</i>	<i>0,091</i>	<i>-0,718</i>
<i>Irecê</i>	<i>TMX</i>	<i>0,279</i>	<i>0,943</i>	<i>0,236</i>	<i>0,955</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,838</i>	<i>0,414</i>	<i>0,819</i>	<i>0,451</i>
	<i>UR</i>	<i>0,417</i>	<i>-0,858</i>	<i>0,456</i>	<i>-0,839</i>
	<i>P</i>	<i>0,851</i>	<i>-0,171</i>	<i>0,858</i>	<i>-0,133</i>
	<i>V</i>	<i>-0,812</i>	<i>0,130</i>	<i>-0,817</i>	<i>0,093</i>
<i>Itaberaba</i>	<i>TMX</i>	<i>0,946</i>	<i>0,136</i>	<i>0,771</i>	<i>0,565</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,750</i>	<i>0,554</i>	<i>0,401</i>	<i>0,841</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,811</i>	<i>0,397</i>	<i>-0,902</i>	<i>-0,031</i>
	<i>P</i>	<i>0,138</i>	<i>0,888</i>	<i>-0,295</i>	<i>0,848</i>
	<i>V</i>	<i>0,725</i>	<i>-0,476</i>	<i>0,864</i>	<i>-0,080</i>
<i>Ituaçu</i>	<i>TMX</i>	<i>0,920</i>	<i>0,194</i>	<i>0,868</i>	<i>0,360</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,772</i>	<i>0,510</i>	<i>0,925</i>	<i>0,017</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,654</i>	<i>0,687</i>	<i>-0,150</i>	<i>-0,936</i>
	<i>P</i>	<i>0,680</i>	<i>0,440</i>	<i>0,810</i>	<i>0,023</i>
	<i>V</i>	<i>0,571</i>	<i>-0,741</i>	<i>0,051</i>	<i>0,934</i>
<i>Jacobina</i>	<i>TMX</i>	<i>-0,592</i>	<i>0,752</i>	<i>0,945</i>	<i>0,151</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,172</i>	<i>-0,065</i>	<i>-0,170</i>	<i>0,069</i>
	<i>UR</i>	<i>0,914</i>	<i>-0,287</i>	<i>-0,866</i>	<i>0,410</i>
	<i>P</i>	<i>0,608</i>	<i>0,679</i>	<i>0,015</i>	<i>0,911</i>
	<i>V</i>	<i>-0,832</i>	<i>-0,367</i>	<i>0,361</i>	<i>-0,834</i>
<i>Paulo Afonso</i>	<i>TMX</i>	<i>0,914</i>	<i>0,353</i>	<i>0,937</i>	<i>-0,289</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,596</i>	<i>0,759</i>	<i>0,939</i>	<i>0,227</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,940</i>	<i>0,005</i>	<i>-0,735</i>	<i>0,586</i>
	<i>P</i>	<i>-0,663</i>	<i>0,561</i>	<i>-0,173</i>	<i>0,851</i>
	<i>V</i>	<i>0,536</i>	<i>-0,746</i>	<i>-0,041</i>	<i>-0,917</i>
<i>Remanso</i>	<i>TMX</i>	<i>0,607</i>	<i>0,723</i>	<i>-0,241</i>	<i>0,913</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,323</i>	<i>0,877</i>	<i>0,082</i>	<i>0,931</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,911</i>	<i>0,156</i>	<i>0,891</i>	<i>-0,248</i>
	<i>P</i>	<i>-0,777</i>	<i>0,400</i>	<i>0,873</i>	<i>0,031</i>
	<i>V</i>	<i>0,779</i>	<i>-0,345</i>	<i>-0,852</i>	<i>0,020</i>

Tabela 09. Continuação.

<i>Salvador</i>	<i>TMX</i>	<i>0,949</i>	<i>0,163</i>	<i>0,925</i>	<i>-0,269</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,885</i>	<i>0,323</i>	<i>0,937</i>	<i>-0,097</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,647</i>	<i>0,563</i>	<i>-0,335</i>	<i>0,790</i>
	<i>P</i>	<i>-0,391</i>	<i>0,605</i>	<i>-0,087</i>	<i>0,715</i>
	<i>V</i>	<i>-0,218</i>	<i>-0,736</i>	<i>-0,518</i>	<i>-0,566</i>
<i>Senhor do Bom Fim</i>	<i>TMX</i>	<i>0,915</i>	<i>-0,341</i>	<i>0,454</i>	<i>-0,864</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,911</i>	<i>0,209</i>	<i>0,818</i>	<i>-0,452</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,544</i>	<i>0,786</i>	<i>0,119</i>	<i>0,948</i>
	<i>P</i>	<i>0,191</i>	<i>0,885</i>	<i>0,732</i>	<i>0,532</i>
	<i>V</i>	<i>-0,688</i>	<i>-0,553</i>	<i>-0,881</i>	<i>0,047</i>
<i>Serrinha</i>	<i>TMX</i>	<i>0,936</i>	<i>0,276</i>	<i>0,909</i>	<i>-0,355</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,721</i>	<i>0,639</i>	<i>0,962</i>	<i>0,064</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,898</i>	<i>0,121</i>	<i>-0,636</i>	<i>0,646</i>
	<i>P</i>	<i>-0,506</i>	<i>0,778</i>	<i>0,075</i>	<i>0,925</i>
	<i>V</i>	<i>0,802</i>	<i>-0,270</i>	<i>0,469</i>	<i>-0,704</i>

4.3. Análise da ACP para o Estado do Ceará

Para o estado do Ceará a Tabela 10 nós da a evapotranspiração calculada pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves, já a Tabela 11 mostra as variáveis que mais se correlacionaram umas com as outras, juntamente com seus respectivos coeficientes de correlação. As variáveis evaporação (E) e temperatura máxima (TMX) são as que apresentaram os mais altos coeficientes de correlação.

Tabela 10. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado do Ceará obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.

<i>Ceará</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>
<i>Acarauá</i>	137	126	129	123	124	125	132	143	150	149	148	146
<i>Barbalha</i>	156	140	142	131	122	118	121	145	166	177	173	165
<i>Campos Sales</i>	152	135	136	129	121	118	122	141	159	169	166	159
<i>Crateús</i>	161	142	141	131	127	128	137	156	169	178	175	168
<i>Fortaleza (UFCE)</i>	118	111	118	113	108	103	107	116	121	122	119	117
<i>Guaramiranga</i>	117	104	104	95	86	83	91	112	126	129	126	124
<i>Iguatú</i>	158	134	141	129	121	117	129	148	168	178	175	167
<i>Jaguaruana</i>	158	142	138	133	127	123	130	151	166	168	164	158
<i>Morada Nova</i>	170	153	149	136	127	125	136	161	180	185	180	178
<i>Quixeramobim</i>	153	140	141	128	117	114	123	145	162	171	168	162
<i>Sobral</i>	161	145	145	133	128	133	145	165	181	185	180	174
<i>Tauá</i>	153	136	142	131	125	124	132	148	161	168	165	159

Tabela 11. Resumo dos resultados para o estado do Ceará.

<i>Ceará</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes de Correlação</i>	<i>KMO</i>
<i>Acaraú</i>	<i>TMX</i>	<i>0,85</i>	<i>0,874</i>
	<i>V</i>		
<i>Barbalha</i>	<i>E</i>	<i>0,86</i>	<i>0,802</i>
	<i>UR</i>		
<i>Campos Sales</i>	<i>E</i>	<i>0,90</i>	<i>0,567</i>
	<i>INS</i>		
<i>Cratúis</i>	<i>E</i>	<i>0,90</i>	<i>0,854</i>
	<i>UR</i>		
<i>Fortaleza</i>	<i>INS</i>	<i>0,81</i>	<i>0,785</i>
	<i>P</i>		
<i>Iguatú</i>	<i>TMX</i>	<i>0,82</i>	<i>0,744</i>
	<i>UR</i>		
<i>Jaguaruana</i>	<i>TMX</i>	<i>0,84</i>	<i>0,848</i>
	<i>E</i>		
<i>Morada Nova</i>	<i>E</i>	<i>0,75</i>	<i>0,84</i>
	<i>V</i>		
<i>Quixeramobim</i>	<i>TMX</i>	<i>0,80</i>	<i>0,832</i>
	<i>UR</i>		
<i>Sobral</i>	<i>TMX</i>	<i>0,83</i>	<i>0,858</i>
	<i>E</i>		
<i>Tauá</i>	<i>INS</i>	<i>0,69</i>	<i>0,651</i>
	<i>P</i>		
<i>Guaramiranga</i>	<i>P</i>	<i>0,56</i>	<i>0,589</i>
	<i>UR</i>		

Na mesma tabela, podem-se observar os valores do teste de adequabilidade KMO, indicando que o modelo apresentou uma adequabilidade ótima ($0,8 < KMO < 0,9$) para as estações de Acaraú, Barbalha, Cratúis, Jaguaruana, Nova Morada, Quixeramobim e Sobral; boa ($0,7 < KMO < 0,8$) para a estação de Fortaleza e Iguatú; regular ($0,6 < KMO < 0,7$) para a estação de Tauá; e medíocre ($0,5 < KMO < 0,6$) para a estação de Campos Sales.

Com base nestes resultados, pode-se usar todas as estações, uma vez que restrições se fazem presentes quando o KMO apresenta valor inferior a 0,5, ou seja, adequabilidade inadequada.

A Tabela 12 apresenta os resultados para o estado do Ceará, indicando que um modelo com duas componentes foi adequado para representar os dados empregados e explicar, 79% para Acaraú, 81% para Barbalha, 65% para Campos Sales, 86% para Crateús, 74% para Fortaleza, 76% para Iguatú, 84% para Jaguaruana, 79% para Morada Nova, 78% para Quixeramobim, 81% para Sobral, 71% para Tauá e 62% para Guaramiranga da variância total, concentrando em duas dimensões as informações anteriormente distribuídas em sete variáveis. O modelo foi composto unicamente por duas componentes, considerando somente aquelas componentes que apresentassem um autovalor superior a um. Note que das estações relacionadas, apenas a estação de Campos Sales apresentou um número de componentes maior do que dois.

Observa-se, também, que a primeira componente principal responde por mais de 50% para nove das doze estações analisadas no estado do Ceará (menos Campos Sales, Tauá e Guaramiranga).

Tabela 12. Resultados dos autovalores, variâncias, e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado do Ceará.

<i>Ceará</i>	<i>Componentes</i>	<i>Autovalor</i>	<i>Variância</i>	<i>Var. Acumulada</i>
<i>Acaraú</i>	<i>1</i>	<i>4,440</i>	<i>63,42</i>	<i>63,42</i>
	<i>2</i>	<i>1,099</i>	<i>15,70</i>	<i>79,12</i>
	<i>3</i>	<i>0,754</i>	<i>10,77</i>	<i>89,89</i>
	<i>4</i>	<i>0,272</i>	<i>3,89</i>	<i>93,78</i>
	<i>5</i>	<i>0,165</i>	<i>2,35</i>	<i>96,14</i>
	<i>6</i>	<i>0,142</i>	<i>2,03</i>	<i>98,17</i>
	<i>7</i>	<i>0,128</i>	<i>1,828</i>	<i>100</i>
<i>Barbalha</i>	<i>1</i>	<i>3,920</i>	<i>56,00</i>	<i>56,00</i>
	<i>2</i>	<i>1,721</i>	<i>24,59</i>	<i>80,59</i>
	<i>3</i>	<i>0,516</i>	<i>7,37</i>	<i>87,96</i>
	<i>4</i>	<i>0,342</i>	<i>4,88</i>	<i>92,84</i>
	<i>5</i>	<i>0,262</i>	<i>3,75</i>	<i>96,59</i>
	<i>6</i>	<i>0,131</i>	<i>1,87</i>	<i>98,46</i>
	<i>7</i>	<i>0,108</i>	<i>1,538</i>	<i>100</i>
<i>Campos Sales</i>	<i>1</i>	<i>2,971</i>	<i>42,44</i>	<i>42,44</i>
	<i>2</i>	<i>1,608</i>	<i>22,98</i>	<i>65,42</i>
	<i>3</i>	<i>1,378</i>	<i>19,69</i>	<i>85,11</i>
	<i>4</i>	<i>0,508</i>	<i>7,26</i>	<i>92,37</i>
	<i>5</i>	<i>0,320</i>	<i>4,57</i>	<i>96,93</i>
	<i>6</i>	<i>0,148</i>	<i>2,11</i>	<i>99,04</i>
	<i>7</i>	<i>0,067</i>	<i>0,96</i>	<i>100</i>
<i>Crateús</i>	<i>1</i>	<i>4,692</i>	<i>67,02</i>	<i>67,02</i>
	<i>2</i>	<i>1,313</i>	<i>18,76</i>	<i>85,78</i>
	<i>3</i>	<i>0,366</i>	<i>5,23</i>	<i>91,01</i>
	<i>4</i>	<i>0,289</i>	<i>4,13</i>	<i>95,14</i>
	<i>5</i>	<i>0,154</i>	<i>2,20</i>	<i>97,34</i>
	<i>6</i>	<i>0,100</i>	<i>1,43</i>	<i>98,76</i>
	<i>7</i>	<i>0,087</i>	<i>1,24</i>	<i>100</i>
<i>Fortaleza</i>	<i>1</i>	<i>3,976</i>	<i>56,81</i>	<i>56,81</i>
	<i>2</i>	<i>1,196</i>	<i>17,08</i>	<i>73,88</i>
	<i>3</i>	<i>0,784</i>	<i>11,20</i>	<i>85,08</i>
	<i>4</i>	<i>0,408</i>	<i>5,83</i>	<i>90,91</i>
	<i>5</i>	<i>0,258</i>	<i>3,69</i>	<i>94,60</i>
	<i>6</i>	<i>0,215</i>	<i>3,08</i>	<i>97,68</i>
	<i>7</i>	<i>0,162</i>	<i>2,32</i>	<i>100</i>

Tabela 12. Continuação.

<i>Iguatú</i>	1	3,922	56,02	56,02
	2	1,411	20,15	76,17
	3	0,746	10,66	86,83
	4	0,410	5,86	92,69
	5	0,241	3,44	96,13
	6	0,187	2,67	98,81
	7	0,084	1,19	100
<i>Jaguaruana</i>	1	4,634	66,20	66,20
	2	1,247	17,81	84,01
	3	0,340	4,86	88,87
	4	0,281	4,02	92,89
	5	0,213	3,04	95,93
	6	0,183	2,61	98,54
	7	0,102	1,46	100
<i>Morada Nova</i>	1	4,342	62,02	62,02
	2	1,195	17,07	79,10
	3	0,450	6,42	85,52
	4	0,337	4,81	90,33
	5	0,280	4,00	94,33
	6	0,224	3,19	97,53
	7	0,173	2,47	100
<i>Quixeramobim</i>	1	4,247	60,67	60,67
	2	1,235	17,64	78,30
	3	0,484	6,92	85,22
	4	0,462	6,60	91,83
	5	0,245	3,50	95,33
	6	0,203	2,89	98,22
	7	0,125	1,78	100
<i>Sobral</i>	1	4,465	63,78	63,78
	2	1,227	17,52	81,31
	3	0,477	6,82	88,12
	4	0,265	3,78	91,91
	5	0,242	3,46	95,36
	6	0,202	2,88	98,25
	7	0,123	1,75	100

Tabela 12. Continuação.

<i>Tauá</i>	1	2,988	42,69	42,69
	2	1,994	28,48	71,17
	3	0,729	10,42	81,59
	4	0,636	9,08	90,67
	5	0,327	4,67	95,35
	6	0,177	2,53	97,88
	7	0,148	2,12	100
<i>Guaramiranga</i>	1	2,728	38,97	38,97
	2	1,630	23,29	62,26
	3	0,808	11,54	73,80
	4	0,674	9,62	83,43
	5	0,607	8,66	92,09
	6	0,351	5,01	97,10
	7	0,203	2,90	100

Os pesos de cada variável para as componentes um e dois são apresentadas na Tabela 13, onde os valores atribuídos para cada componente antes e após a rotação são mostrados. Analisando as componentes após a rotação, percebe-se que, em relação à componente um, as variáveis de maior importância para o estado do Ceará são umidade relativa (UR), insolação (INS), precipitação (P), evaporação (E), temperatura máxima (TMX) e velocidade do vento (V). Note que a temperatura mínima (TMN) foi a variável que apresentou menor carga na primeira componente em todas as estações.

Para as doze estações estudadas, a variável que teve maior significância foi precipitação (P) para as estações de Campos Sales, Crateús, Quixeramobim e Guaramiranga, seguida pela umidade relativa (UR) para as estações de Barbalha, Iguatú e Morada Nova, insolação (INS) para as estações de Fortaleza e Tauá, evaporação (E) para as estações de Jaguaruana e Sobral, e temperatura máxima (TMX) para a estação de Acaraú, sugerindo que essas variáveis apresentam uma maior influência no processo de evapotranspiração para o clima do estado do Ceará.

Em relação a componente dois a variável temperatura máxima do ar (TMX) e temperatura mínima do ar (TMN) foram as que apresentaram as maiores cargas para as estações de Fortaleza, Quixeramobim e Tauá, sugerindo, portanto, serem estas duas variáveis significativas nessa componente. Tais resultados expressam que equações empregadas na estimativa de evapotranspiração, que tenham como base somente a temperatura, devem ser usadas com cautela nas regiões aqui estudadas.

Analisando as duas componentes, após a rotação, podemos afirmar que as variáveis com alto peso na componente um apresentam uma estreita correlação com o gradiente de pressão de vapor do ar, o qual é responsável pelo gradiente que impulsiona o processo da evapotranspiração; portanto foi aqui denominado como componente de gradiente de pressão de vapor. Esses resultados, de um modo geral, revelam que o processo de evapotranspiração no estado do Ceará tem como base mais importante a componente de gradiente de pressão de vapor, uma vez que a mesma explica proporcionalmente sua maior variabilidade.

Tabela 13. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação para o estado do Ceará.

<i>Ceará</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Componentes antes da rotação</i>		<i>Componentes depois da rotação</i>	
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>Acaraú</i>	<i>TMX</i>	<i>0,918</i>	<i>0,198</i>	<i>0,935</i>	<i>-0,087</i>
	<i>TMN</i>	<i>-0,326</i>	<i>0,797</i>	<i>-0,071</i>	<i>0,858</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,893</i>	<i>-0,153</i>	<i>-0,898</i>	<i>0,123</i>
	<i>P</i>	<i>-0,904</i>	<i>-0,021</i>	<i>-0,869</i>	<i>0,251</i>
	<i>E</i>	<i>0,403</i>	<i>-0,611</i>	<i>0,201</i>	<i>-0,703</i>
	<i>INS</i>	<i>0,932</i>	<i>0,014</i>	<i>0,893</i>	<i>-0,266</i>
	<i>V</i>	<i>0,919</i>	<i>0,168</i>	<i>0,927</i>	<i>-0,116</i>

Tabela 13. Continuação.

<i>Barbalha</i>	<i>TMX</i>	<i>0,686</i>	<i>0,672</i>	<i>0,807</i>	<i>0,520</i>
	<i>TMN</i>	<i>-0,115</i>	<i>0,911</i>	<i>0,071</i>	<i>0,915</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,927</i>	<i>-0,183</i>	<i>-0,945</i>	<i>0,008</i>
	<i>P</i>	<i>-0,804</i>	<i>0,294</i>	<i>-0,729</i>	<i>0,450</i>
	<i>E</i>	<i>0,921</i>	<i>0,084</i>	<i>0,919</i>	<i>-0,103</i>
	<i>INS</i>	<i>0,871</i>	<i>-0,058</i>	<i>0,841</i>	<i>-0,233</i>
	<i>V</i>	<i>0,568</i>	<i>-0,556</i>	<i>0,444</i>	<i>-0,659</i>
<i>Campos Sales</i>	<i>TMX</i>	<i>0,717</i>	<i>0,597</i>	<i>-0,381</i>	<i>0,133</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,182</i>	<i>0,918</i>	<i>0,305</i>	<i>-0,022</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,789</i>	<i>-0,194</i>	<i>0,614</i>	<i>-0,235</i>
	<i>P</i>	<i>-0,721</i>	<i>0,285</i>	<i>0,867</i>	<i>-0,173</i>
	<i>E</i>	<i>0,724</i>	<i>-0,136</i>	<i>-0,112</i>	<i>0,961</i>
	<i>INS</i>	<i>0,671</i>	<i>-0,326</i>	<i>-0,157</i>	<i>0,966</i>
	<i>V</i>	<i>0,555</i>	<i>-0,407</i>	<i>-0,845</i>	<i>0,054</i>
<i>Crateús</i>	<i>TMX</i>	<i>0,917</i>	<i>0,269</i>	<i>0,753</i>	<i>0,589</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,352</i>	<i>0,900</i>	<i>-0,005</i>	<i>0,966</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,952</i>	<i>-0,033</i>	<i>-0,873</i>	<i>-0,383</i>
	<i>P</i>	<i>-0,797</i>	<i>0,389</i>	<i>-0,885</i>	<i>0,067</i>
	<i>E</i>	<i>0,947</i>	<i>0,111</i>	<i>0,839</i>	<i>0,453</i>
	<i>INS</i>	<i>0,738</i>	<i>-0,516</i>	<i>0,876</i>	<i>-0,207</i>
	<i>V</i>	<i>0,861</i>	<i>-0,011</i>	<i>0,804</i>	<i>0,308</i>
<i>Fortaleza</i>	<i>TMX</i>	<i>0,751</i>	<i>0,520</i>	<i>0,434</i>	<i>0,803</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,453</i>	<i>0,814</i>	<i>0,035</i>	<i>0,930</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,761</i>	<i>0,229</i>	<i>-0,783</i>	<i>-0,141</i>
	<i>P</i>	<i>-0,884</i>	<i>0,230</i>	<i>-0,893</i>	<i>-0,195</i>
	<i>E</i>	<i>0,824</i>	<i>-0,062</i>	<i>0,762</i>	<i>0,318</i>
	<i>INS</i>	<i>0,826</i>	<i>-0,393</i>	<i>0,914</i>	<i>0,024</i>
	<i>V</i>	<i>0,697</i>	<i>-0,007</i>	<i>0,624</i>	<i>0,309</i>
<i>Iguatú</i>	<i>TMX</i>	<i>0,777</i>	<i>0,500</i>	<i>0,670</i>	<i>0,638</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,023</i>	<i>0,949</i>	<i>-0,156</i>	<i>0,937</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,944</i>	<i>-0,143</i>	<i>-0,900</i>	<i>-0,318</i>
	<i>P</i>	<i>-0,796</i>	<i>0,269</i>	<i>-0,832</i>	<i>0,115</i>
	<i>E</i>	<i>0,771</i>	<i>0,111</i>	<i>0,737</i>	<i>0,254</i>
	<i>INS</i>	<i>0,781</i>	<i>-0,335</i>	<i>0,830</i>	<i>-0,182</i>
	<i>V</i>	<i>0,766</i>	<i>-0,204</i>	<i>0,791</i>	<i>-0,056</i>

Tabela 13. Continuação.

<i>Jaguaruana</i>	<i>TMX</i>	0,875	0,364	0,924	0,209
	<i>TMN</i>	-0,167	0,953	-0,002	0,968
	<i>UR</i>	-0,896	0,010	-0,881	0,163
	<i>P</i>	-0,862	0,237	-0,808	0,380
	<i>E</i>	0,922	0,082	0,922	-0,077
	<i>INS</i>	0,858	-0,277	0,798	-0,420
	<i>V</i>	0,842	0,257	0,874	0,109
<i>Morada Nova</i>	<i>TMX</i>	0,776	0,473	0,852	0,315
	<i>TMN</i>	-0,252	0,928	-0,068	0,959
	<i>UR</i>	-0,880	-0,119	-0,886	0,053
	<i>P</i>	-0,876	0,157	-0,829	0,323
	<i>E</i>	0,868	0,003	0,852	-0,165
	<i>INS</i>	0,785	-0,247	0,723	-0,393
	<i>V</i>	0,876	0,104	0,880	-0,067
<i>Quixeramobim</i>	<i>TMX</i>	0,908	0,232	0,610	0,711
	<i>TMN</i>	0,463	0,802	-0,081	0,923
	<i>UR</i>	-0,886	0,053	-0,756	-0,465
	<i>P</i>	-0,805	0,342	-0,855	-0,182
	<i>E</i>	0,904	0,040	0,718	0,552
	<i>INS</i>	0,561	-0,640	0,827	-0,202
	<i>V</i>	0,802	0,078	0,612	0,524
<i>Sobral</i>	<i>TMX</i>	0,911	0,112	0,878	0,267
	<i>TMN</i>	0,154	0,938	-0,010	0,950
	<i>UR</i>	-0,894	0,073	-0,893	-0,083
	<i>P</i>	-0,853	0,243	-0,882	0,092
	<i>E</i>	0,924	0,093	0,894	0,251
	<i>INS</i>	0,821	-0,382	0,875	-0,235
	<i>V</i>	0,747	0,340	0,677	0,464
<i>Tauá</i>	<i>TMX</i>	0,089	0,869	-0,085	0,869
	<i>TMN</i>	0,167	0,914	-0,018	0,929
	<i>UR</i>	-0,804	-0,447	-0,699	-0,597
	<i>P</i>	-0,780	0,297	-0,823	0,137
	<i>E</i>	0,805	-0,047	0,798	0,113
	<i>INS</i>	0,821	-0,323	0,869	-0,154
	<i>V</i>	0,613	-0,087	0,618	0,037

Tabela 13. Continuação.

<i>Guaramiranga</i>	<i>TMX</i>	<i>0,725</i>	<i>-0,219</i>	<i>0,736</i>	<i>-0,181</i>
	<i>TMN</i>	<i>-0,191</i>	<i>0,767</i>	<i>-0,231</i>	<i>0,756</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,769</i>	<i>-0,199</i>	<i>-0,758</i>	<i>-0,239</i>
	<i>P</i>	<i>-0,859</i>	<i>0,089</i>	<i>-0,862</i>	<i>0,044</i>
	<i>E</i>	<i>0,661</i>	<i>0,346</i>	<i>0,642</i>	<i>0,380</i>
	<i>INS</i>	<i>0,588</i>	<i>-0,333</i>	<i>0,604</i>	<i>-0,302</i>
	<i>V</i>	<i>0,232</i>	<i>0,846</i>	<i>0,187</i>	<i>0,857</i>

4.4. Análise da ACP para o Estado do Maranhão

No estado do Maranhão a Tabela 14 mostra a evapotranspiração calculada pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves, e a Tabela 15 mostra as variáveis que mais se correlacionaram juntamente com seus respectivos coeficientes de correlação. As variáveis, evaporação (E) e umidade relativa (UR) são as que apresentaram os mais altos coeficientes de correlação.

Tabela 14. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado do Maranhão obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.

<i>Maranhão</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>
<i>Alto Parnaíba</i>	163	145	146	141	136	137	145	166	183	174	166	150
<i>Balsas</i>	146	137	137	129	130	129	139	159	172	157	154	143
<i>Barra do Corda</i>	149	133	139	131	131	134	143	164	174	171	164	149
<i>Carolina</i>	144	134	134	131	133	138	144	163	169	154	143	135
<i>Caxias</i>	150	136	140	130	126	122	134	155	177	175	172	158
<i>Chapadinha</i>	147	134	137	131	125	120	127	148	170	174	172	158
<i>Colinas</i>	146	132	129	129	132	128	139	165	179	167	162	142
<i>Imperatriz</i>	151	142	141	138	139	140	152	167	174	163	157	147
<i>São Luis</i>	121	111	117	115	115	112	114	122	131	132	130	126
<i>Turialvo</i>	126	113	120	116	113	110	112	121	130	134	134	134
<i>Zé Doca</i>	145	134	140	134	131	126	133	151	166	166	164	153

Tabela 15. Resumo dos resultados para o estado do Maranhão.

<i>Maranhão</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes de Correlação</i>	<i>KMO</i>
<i>Alto Parnaíba</i>	<i>P</i>	<i>0,87</i>	<i>0,791</i>
	<i>INS</i>		
<i>Balsas</i>	<i>E</i>	<i>0,98</i>	<i>0,812</i>
	<i>UR</i>		
<i>Barra do Corda</i>	<i>TMX</i>	<i>0,94</i>	<i>0,761</i>
	<i>UR</i>		
<i>Carolina</i>	<i>E</i>	<i>0,98</i>	<i>0,828</i>
	<i>UR</i>		
<i>Caxias</i>	<i>TMX</i>	<i>0,90</i>	<i>0,702</i>
	<i>UR</i>		
<i>Chapadinha</i>	<i>E</i>	<i>0,96</i>	<i>0,857</i>
	<i>UR</i>		
<i>Colinas</i>	<i>E</i>	<i>0,96</i>	<i>0,786</i>
	<i>UR</i>		
<i>Imperatriz</i>	<i>TMX</i>	<i>0,96</i>	<i>0,738</i>
	<i>UR</i>		
<i>São Luis</i>	<i>E</i>	<i>0,90</i>	<i>0,776</i>
	<i>V</i>		
<i>Turiação</i>	<i>UR</i>	<i>0,94</i>	<i>0,863</i>
	<i>V</i>		
<i>Zé Doca</i>	<i>E</i>	<i>0,95</i>	<i>0,802</i>
	<i>UR</i>		

Ainda na mesma tabela, pode-se observar os valores do teste de adequabilidade KMO, indicando que o modelo apresentou uma adequabilidade ótima ($0,8 < KMO < 0,9$) para as estações meteorológicas de Balsas, Carolina, Chapadinha, Turiação e Zé Doca e uma adequabilidade boa ($0,7 < KMO < 0,8$) para as estações de Alto Parnaíba, Barra do Corda, Caxias, Colinas, Imperatriz e São Luiz.

Com base nestes resultados, conclui-se que o método pode ser usado com segurança para todas as estações do estado, uma vez que não há restrições, isto é, não há valor de KMO inferior a 0,5, ou seja, adequabilidade inadequada.

A Tabela 16 apresentam os resultados para o estado do Maranhão, mostrando que um modelo com duas componentes foi adequado para representar os dados utilizados, explicando a variância total para as estações meteorológicas de Alto Parnaíba (81%), Balsas (85%), Barra do Corda (80%), Carolina (89%), Caxias (87%), Chapadinha (92%), Colinas (86%), Imperatriz (84%), São Luiz (90%), Turiaçu (89%) e Zé Doca (89%), concentrando em duas dimensões as informações anteriormente distribuídas em sete variáveis. O modelo foi composto por duas componentes, considerando somente aquelas componentes que apresentassem um autovalor superior a um.

Observa-se, também, que a primeira componente principal responde por mais de 50% em todas as estações estudadas no estado do Maranhão, e para as estações de São Luiz e Turiaçu, a primeira componente principal explica mais de 80% da variância total.

Os pesos de cada variável para as componentes 1 e 2 são apresentadas na Tabela 17, onde os valores atribuídos para cada componente antes e após a rotação são mostrados. Analisando as componentes após a rotação, percebe-se que, em relação à componente um, as variáveis de maior importância para o estado do Maranhão foram temperatura máxima (TMX), umidade relativa (UR), precipitação (P), evaporação (E), insolação (INS) e velocidade do vento (V). Note que a temperatura mínima (TMN) foi a variável que apresentou as menores cargas em quase todas as estações (exceto Alto Parnaíba), esse fato pode ser decorrência da classificação climática da região.

Tabela 16. Resultados dos autovalores, variâncias, e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado do Maranhão.

<i>Maranhão</i>	<i>Componentes</i>	<i>Autovalor</i>	<i>Variância</i>	<i>Var. Acumulada</i>
<i>Alto Parnaíba</i>	1	4,670	66,72	66,72
	2	0,971	13,87	80,59
	3	0,760	10,85	91,44
	4	0,282	4,03	95,47
	5	0,179	2,55	98,02
	6	0,083	1,18	99,20
	7	0,056	0,80	100
<i>Balsas</i>	1	4,926	70,38	70,38
	2	1,010	14,43	84,81
	3	0,462	6,60	91,41
	4	0,353	5,05	96,46
	5	0,195	2,79	99,24
	6	0,042	0,60	99,84
	7	0,011	0,16	100
<i>Barra do Corda</i>	1	4,303	61,47	61,47
	2	1,312	18,74	80,21
	3	0,855	12,21	92,42
	4	0,310	4,43	96,85
	5	0,137	1,96	98,80
	6	0,060	0,86	99,66
	7	0,024	0,34	100
<i>Carolina</i>	1	5,474	78,203	78,203
	2	0,768	10,966	89,169
	3	0,478	6,826	95,995
	4	0,167	2,381	98,376
	5	0,062	0,879	99,255
	6	0,038	0,545	99,800
	7	0,014	0,200	100
<i>Caxias</i>	1	4,598	65,68	65,68
	2	1,484	21,20	86,88
	3	0,439	6,28	93,16
	4	0,260	3,71	96,87
	5	0,120	1,71	98,58
	6	0,088	1,26	99,85
	7	0,011	0,15	100

Tabela 16. Continuação.

<i>Chapadinha</i>	1	5,163	73,76	73,76
	2	1,281	18,30	92,06
	3	0,300	4,29	96,35
	4	0,100	1,42	97,77
	5	0,092	1,31	99,08
	6	0,043	0,62	99,70
	7	0,021	0,30	100
<i>Colinas</i>	1	4,897	69,96	69,96
	2	1,111	15,88	85,84
	3	0,559	7,99	93,82
	4	0,294	4,19	98,02
	5	0,078	1,11	99,13
	6	0,041	0,59	99,72
	7	0,020	0,28	100
<i>Imperatriz</i>	1	4,757	67,96	67,96
	2	1,153	16,47	84,43
	3	0,472	6,75	91,18
	4	0,387	5,53	96,71
	5	0,142	2,03	98,73
	6	0,073	1,04	99,78
	7	0,015	0,22	100
<i>São Luis</i>	1	5,619	80,27	80,27
	2	0,698	9,98	90,25
	3	0,317	4,53	94,78
	4	0,158	2,26	97,04
	5	0,135	1,92	98,96
	6	0,047	0,67	99,63
	7	0,026	0,37	100
<i>Turialva</i>	1	5,639	80,56	80,56
	2	0,593	8,47	89,04
	3	0,442	6,31	95,35
	4	0,148	2,12	97,47
	5	0,078	1,12	98,59
	6	0,063	0,90	99,48
	7	0,036	0,52	100

Tabela 16. Continuação.

Zé Doca	1	4,966	70,94	70,94
	2	1,288	18,40	89,34
	3	0,312	4,46	93,80
	4	0,181	2,58	96,39
	5	0,134	1,92	98,31
	6	0,091	1,30	99,60
	7	0,028	0,40	100

Para as onze estações estudadas, a variável que teve maior relevância foi a temperatura máxima (TMX) para as estações de Balsas, Carolina, Colinas e Imperatriz, seguida pela umidade relativa (UR) para as estações de Barra do Corda, Caxias e Chapadinha, insolação (INS) para as estações de São Luis e Turiaçú, evaporação (E) para a estação de Zé Doca, e precipitação (P) para a estação de Alto Parnaíba, sugerindo que essas variáveis apresentam uma maior influência no processo de Evapotranspiração para os climas, encontrado nas regiões das estações.

Para a componente dois a variável temperatura mínima do ar (TMN) foi a que apresentou as cargas mais elevadas, sugerindo, portanto, ser a variável mais significativa nesta componente. Tais resultados expressam que as equações empregadas na estimativa de evapotranspiração, que tenham como base somente a temperatura mínima deve ser usada com cautela.

Analisando as duas componentes, após a rotação, pode-se afirmar que as variáveis com alto peso na componente um apresentam uma estreita correlação com ao gradiente de pressão de vapor do ar, o qual é responsável pelo gradiente que impulsiona o processo da evapotranspiração; portanto foi aqui denominado como componente de gradiente de pressão de vapor.

Tabela 17. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação para o estado do Maranhão.

Maranhão	Variáveis	Componentes antes da rotação		Componentes depois da rotação	
		1	2	1	2
Alto Parnaíba	TMX	0,795	0,301	0,393	0,754
	TMN	-0,675	0,148	-0,602	-0,339
	UR	-0,889	-0,181	-0,543	-0,727
	P	-0,791	0,511	-0,931	-0,145
	E	0,974	0,027	0,709	0,668
	INS	0,874	-0,401	0,919	0,283
	V	0,674	0,635	0,080	0,922
Balsas	TMX	0,874	0,422	0,964	0,104
	TMN	-0,434	0,868	-0,117	0,963
	UR	-0,976	-0,110	-0,957	0,224
	P	-0,776	-0,026	-0,739	0,236
	E	0,959	0,124	0,945	-0,205
	INS	0,913	-0,068	0,837	-0,371
	V	0,817	-0,216	0,697	-0,477
Barra do Corda	TMX	0,859	0,456	0,966	-0,105
	TMN	-0,326	0,884	0,025	-0,942
	UR	-0,931	-0,279	-0,968	-0,086
	P	-0,810	-0,047	-0,770	-0,256
	E	0,970	-0,004	0,899	0,363
	INS	0,737	-0,490	0,504	0,728
	V	0,673	-0,054	0,605	0,300
Carolina	TMX	0,926	0,312	0,962	-0,173
	TMN	-0,642	0,734	-0,208	0,952
	UR	-0,971	-0,142	-0,919	0,344
	P	-0,841	0,035	-0,720	0,436
	E	0,972	0,112	0,906	-0,370
	INS	0,898	-0,240	0,671	-0,643
	V	0,896	0,201	0,882	-0,256
Caxias	TMX	0,747	0,624	0,817	0,529
	TMN	-0,213	0,916	-0,100	0,936
	UR	-0,945	-0,252	-0,969	-0,136
	P	-0,886	0,074	-0,871	0,181
	E	0,889	0,074	0,891	-0,034
	INS	0,907	-0,233	0,872	-0,341
	V	0,839	-0,356	0,789	-0,454

Tabela 17. Continuação.

<i>Chapadinha</i>	<i>TMX</i>	0,929	0,299	0,879	0,424
	<i>TMN</i>	0,193	0,939	0,062	0,957
	<i>UR</i>	-0,989	-0,038	-0,974	-0,173
	<i>P</i>	-0,896	0,295	-0,928	0,168
	<i>E</i>	0,965	0,072	0,946	0,204
	<i>INS</i>	0,817	-0,459	0,872	-0,342
	<i>V</i>	0,940	0,078	0,921	0,206
<i>Colinas</i>	<i>TMX</i>	0,806	0,566	0,982	0,074
	<i>TMN</i>	-0,715	0,616	-0,162	-0,929
	<i>UR</i>	-0,934	-0,298	-0,911	-0,363
	<i>P</i>	-0,877	-0,064	-0,719	-0,507
	<i>E</i>	0,947	0,206	0,863	0,442
	<i>INS</i>	0,887	-0,305	0,492	0,799
	<i>V</i>	0,641	-0,429	0,223	0,738
<i>Imperatriz</i>	<i>TMX</i>	0,913	0,250	0,868	-0,378
	<i>TMN</i>	-0,661	0,653	-0,105	0,923
	<i>UR</i>	-0,947	-0,151	-0,832	0,477
	<i>P</i>	-0,844	-0,105	-0,723	0,448
	<i>E</i>	0,958	0,003	0,748	-0,598
	<i>INS</i>	0,783	-0,502	0,294	-0,882
	<i>V</i>	0,589	0,615	0,844	0,109
<i>São Luis</i>	<i>TMX</i>	0,938	-0,070	0,781	0,525
	<i>TMN</i>	0,747	0,616	0,205	0,946
	<i>UR</i>	-0,927	0,038	-0,752	-0,543
	<i>P</i>	-0,895	0,272	-0,871	-0,340
	<i>E</i>	0,966	0,093	0,701	0,670
	<i>INS</i>	0,867	-0,439	0,953	0,192
	<i>V</i>	0,915	0,192	0,600	0,717
<i>Turialça</i>	<i>TMX</i>	0,924	-0,167	0,814	0,469
	<i>TMN</i>	0,839	-0,234	0,792	0,363
	<i>UR</i>	-0,968	-0,105	-0,672	-0,706
	<i>P</i>	-0,961	0,136	-0,821	-0,517
	<i>E</i>	0,818	0,541	0,275	0,941
	<i>INS</i>	0,809	-0,360	0,850	0,247
	<i>V</i>	0,943	0,241	0,568	0,796
<i>Zé Doca</i>	<i>TMX</i>	0,888	0,339	0,942	0,131
	<i>TMN</i>	-0,159	0,945	0,057	0,956
	<i>UR</i>	-0,954	-0,127	-0,959	0,090
	<i>P</i>	-0,896	0,251	-0,817	0,446
	<i>E</i>	0,974	0,055	0,962	-0,165
	<i>INS</i>	0,816	-0,381	0,710	-0,554
	<i>V</i>	0,907	0,231	0,936	0,022

4.5. Análise da ACP para o Estado da Paraíba

Para o estado da Paraíba foram calculadas as evapotranspirações e apresentadas na Tabela 18. As variáveis que mais se correlacionaram juntamente com seus respectivos coeficientes de correlação são mostradas na Tabela 19. As variáveis, evaporação (E) e umidade relativa (UR) são os destaques entre as demais variáveis.

Tabela 18. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado da Paraíba obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.

Paraíba	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Água Branca	153	137	142	114	96	84	86	105	129	152	162	155
Areia	134	121	113	99	84	66	78	86	109	123	129	133
Campina Grande	146	135	134	117	100	88	90	106	124	141	145	144
João Pessoa	117	113	118	113	102	94	95	104	110	115	115	113
Monteiro	168	151	147	134	121	112	119	140	159	174	176	171
Patos	173	153	153	137	128	122	126	145	163	180	181	175
São Gonçalo	168	150	151	139	130	126	132	153	172	181	180	173

Também, na Tabela 19, pode-se observar os valores do teste de adequabilidade KMO, indicando que o modelo apresentou uma adequabilidade ótima ($0,8 < KMO < 0,9$) para as estações de Areia e Patos; uma adequabilidade boa ($0,7 < KMO < 0,8$) para as estações de Água Branca, Campina Grande, João Pessoa, São Gonçalo e Monteiro.

Com base nestes resultados, conclui-se que o modelo pode ser usado com segurança, uma vez que há restrição apenas quando o KMO apresenta valor inferior a 0,5, ou seja, inadequado.

Tabela 19. Resumo dos resultados para o estado da Paraíba.

<i>Paraíba</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes de Correlação</i>	<i>KMO</i>
<i>Água Branca</i>	<i>TMX</i>	<i>0,87</i>	<i>0,791</i>
	<i>E</i>		
<i>Areia</i>	<i>TMX</i>	<i>0,75</i>	<i>0,807</i>
	<i>UR</i>		
<i>Campina Grande</i>	<i>INS</i>	<i>0,81</i>	<i>0,789</i>
	<i>E</i>		
<i>João Pessoa</i>	<i>TMX</i>	<i>0,72</i>	<i>0,757</i>
	<i>TMN</i>		
<i>Monteiro</i>	<i>E</i>	<i>0,76</i>	<i>0,783</i>
	<i>UR</i>		
<i>Patos</i>	<i>E</i>	<i>0,89</i>	<i>0,812</i>
	<i>V</i>		
<i>São Gonçalo</i>	<i>E</i>	<i>0,81</i>	<i>0,743</i>
	<i>UR</i>		

A Tabela 20 apresenta os resultados para o estado da Paraíba onde um modelo com duas componentes principais foi adequado para representar os dados aplicados e explicar, respectivamente 81%, 76%, 77%, 67%, 81% e 71% da variância total para as estações de Água Branca, Areia, Campina Grande, João Pessoa, Monteiro, Patos e São Gonçalo, concentrando em duas dimensões as informações anteriormente distribuídas em sete variáveis. O modelo foi composto por duas componentes considerando somente aquelas componentes que apresentassem um autovalor superior a um. Observa-se, também, que a primeira componente principal responde por mais de 50% para cinco estações analisadas no estado da Paraíba, com exceção de João Pessoa.

Tabela 20. Resultados dos autovalores, variâncias, e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado da Paraíba.

<i>Paraíba</i>	<i>Componentes</i>	<i>Autovalor</i>	<i>Variância</i>	<i>Var. Acumulada</i>
<i>Água Branca</i>	1	4,206	60,08	60,08
	2	1,454	20,77	80,85
	3	0,441	6,30	87,16
	4	0,391	5,58	92,74
	5	0,285	4,06	96,80
	6	0,169	2,41	99,21
	7	0,055	0,79	100
<i>Areia</i>	1	3,731	53,31	53,31
	2	1,623	23,18	76,49
	3	0,480	6,86	83,35
	4	0,422	6,03	89,38
	5	0,370	5,28	94,66
	6	0,199	2,85	97,51
	7	0,174	2,49	100
<i>Campina Grande</i>	1	4,264	60,91	60,91
	2	1,141	16,30	77,22
	3	0,736	10,51	87,73
	4	0,309	4,41	92,14
	5	0,270	3,85	95,99
	6	0,185	2,64	98,63
	7	0,096	1,37	100
<i>João Pessoa</i>	1	3,344	47,78	47,78
	2	1,325	18,92	66,70
	3	0,872	12,46	79,17
	4	0,490	7,00	86,17
	5	0,425	6,07	92,24
	6	0,306	4,38	96,61
	7	0,237	3,39	100
<i>Monteiro</i>	1	3,812	54,45	54,45
	2	1,542	22,03	76,48
	3	0,613	8,75	85,23
	4	0,364	5,19	90,43
	5	0,266	3,79	94,22
	6	0,251	3,58	97,80
	7	0,154	2,20	100

Tabela 20. Continuação.

<i>Patos</i>	1	4,288	61,26	61,26
	2	1,403	20,04	81,31
	3	0,675	9,65	90,95
	4	0,278	3,96	94,92
	5	0,170	2,44	97,35
	6	0,101	1,45	98,80
	7	0,084	1,20	100
<i>São Gonçalo</i>	1	3,640	52,00	52,00
	2	1,309	18,70	70,70
	3	0,771	11,02	81,72
	4	0,660	9,43	91,15
	5	0,287	4,10	95,24
	6	0,219	3,13	98,38
	7	0,114	1,62	100

As cargas de cada variável para as componentes 1 e 2 são apresentadas na Tabela 21, onde os valores atribuídos para cada componente antes e após a rotação são mostrados. Analisando as componentes após a rotação, percebe-se que, em relação à componente 1, as variáveis de maior importância para o estado da Paraíba foram umidade relativa (UR), precipitação (P), insolação (INS) e velocidade do vento (V). Note que a temperatura mínima (TMN) foi a variável que apresentou a menor carga em todas as estações.

Nas sete estações estudadas, a variável que teve maior relevância foi umidade relativa (UR) para as estações de Areia, Monteiro e São Gonçalo, seguida pela insolação (INS) para a estação de Campina Grande, precipitação (P) para a estação de João Pessoa, evaporação (E) para a estação de Patos e velocidade do vento (V) para a estação Água Branca, sugerindo que essas variáveis apresentam maior influência no processo de evapotranspiração para os climas encontrados nas regiões das estações.

Em relação à temperatura máxima do ar (TMX) e mínima do ar (TMN), pode-se observar que ambas apresentaram as menores cargas para algumas estações do estado, sugerindo que as demais variáveis apresentam maior relevância na definição das variáveis que estimam a evapotranspiração na região. Para a componente 2 as variáveis TMX e TMN para as estações de Água Branca, Campina Grande, João Pessoa e Patos, foram as que apresentaram as cargas mais elevadas, sugerindo, portanto, serem essas duas variáveis mais relevantes nesta componente. Tais resultados expressam que equações empregadas na estimativa de evapotranspiração, que tenham como base somente a temperatura devem ser usadas com cautela nas regiões aqui estudadas.

Analisando as duas componentes, após a rotação, podemos afirmar que as variáveis com alto peso na componente um apresentam uma estreita correlação com a pressão de vapor do ar, o qual é responsável pelo gradiente que impulsiona o processo da evapotranspiração; portanto foi aqui denominado como componente de gradiente de pressão de vapor. Para a componente dois as variáveis, TMX e TMN apresentaram um maior peso, identificando esta componente como componente de temperatura. Esses resultados, de uma maneira geral, revelam que o processo de evapotranspiração no estado da Paraíba é o efeito acumulativo da componente de gradiente de pressão e de temperatura; sendo a componente de pressão de vapor a mais importante, uma vez que a mesma explica proporcionalmente maior variabilidade.

Tabela 21. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação para o estado da Paraíba.

Paraíba	Variáveis	Componentes antes da rotação		Componentes depois da rotação	
		1	2	1	2
Água Branca	TMX	0,914	0,342	0,461	0,860
	TMN	0,393	0,847	-0,263	0,896
	UR	-0,852	-0,046	-0,610	-0,596
	P	-0,746	0,425	-0,841	-0,173
	E	0,936	0,050	0,671	0,655
	INS	0,856	-0,048	0,675	0,528
	V	0,569	-0,658	0,862	-0,119
Areia	TMX	0,879	0,230	0,776	0,473
	TMN	0,413	0,759	0,179	0,845
	UR	-0,897	0,156	-0,904	-0,107
	P	-0,765	0,358	-0,836	0,123
	E	0,857	0,026	0,814	0,270
	INS	0,797	-0,332	0,859	-0,089
	V	-0,164	-0,855	0,088	-0,866
Campina Grande	TMX	0,871	0,369	0,640	0,696
	TMN	0,440	0,864	0,043	0,969
	UR	-0,886	0,003	-0,808	-0,364
	P	-0,779	0,433	-0,888	0,072
	E	0,887	-0,159	0,873	0,223
	INS	0,888	-0,203	0,892	0,183
	V	0,588	-0,069	0,564	0,181
João Pessoa	TMX	0,671	0,577	0,143	0,873
	TMN	0,731	0,470	0,257	0,830
	UR	-0,825	-0,032	-0,611	-0,555
	P	-0,788	0,305	-0,799	-0,274
	E	0,719	-0,275	0,728	0,252
	INS	0,699	-0,209	0,670	0,289
	V	0,231	-0,747	0,658	-0,423
Monteiro	TMX	0,805	0,443	0,776	0,492
	TMN	0,201	0,917	0,144	0,928
	UR	-0,902	-0,070	-0,896	-0,126
	P	-0,594	0,682	-0,635	0,644
	E	0,892	-0,033	0,893	0,022
	INS	0,809	-0,056	0,811	-0,006
	V	0,712	-0,176	0,721	-0,132

Tabela 21. Continuação.

<i>Patos</i>	<i>TMX</i>	<i>0,812</i>	<i>0,513</i>	<i>0,606</i>	<i>0,745</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,260</i>	<i>0,935</i>	<i>-0,052</i>	<i>0,969</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,933</i>	<i>0,062</i>	<i>-0,904</i>	<i>-0,239</i>
	<i>P</i>	<i>-0,755</i>	<i>0,450</i>	<i>-0,859</i>	<i>0,185</i>
	<i>E</i>	<i>0,948</i>	<i>-0,053</i>	<i>0,915</i>	<i>0,252</i>
	<i>INS</i>	<i>0,637</i>	<i>0,009</i>	<i>0,601</i>	<i>0,212</i>
	<i>V</i>	<i>0,905</i>	<i>-0,240</i>	<i>0,934</i>	<i>0,062</i>
<i>São Gonçalo</i>	<i>TMX</i>	<i>0,773</i>	<i>0,429</i>	<i>0,675</i>	<i>0,571</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,114</i>	<i>0,947</i>	<i>-0,072</i>	<i>0,952</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,941</i>	<i>-0,019</i>	<i>-0,919</i>	<i>-0,201</i>
	<i>P</i>	<i>-0,756</i>	<i>0,434</i>	<i>-0,825</i>	<i>0,279</i>
	<i>E</i>	<i>0,878</i>	<i>0,046</i>	<i>0,852</i>	<i>0,216</i>
	<i>INS</i>	<i>0,556</i>	<i>-0,111</i>	<i>0,567</i>	<i>-0,001</i>
	<i>V</i>	<i>0,703</i>	<i>-0,155</i>	<i>0,719</i>	<i>-0,016</i>

4.6. Análise da ACP para o Estado de Pernambuco

Em Pernambuco a Tabela 22 mostra a evapotranspiração calculada pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves, e a Tabela 23 mostra as variáveis que mais se correlacionaram juntamente com seus receptíveis coeficientes de correlação. As variáveis, temperatura máxima (TMX) e temperatura mínima (TMN) são as que apresentaram as mais alta correlações entre elas.

Tabela 22. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado de Pernambuco obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.

<i>Pernambuco</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>
<i>Arcoverde</i>	166	148	149	125	109	96	99	120	144	167	171	167
<i>Cabrobó</i>	161	148	149	134	122	110	114	134	154	169	173	166
<i>Fernando de Noronha</i>	107	104	108	102	92	84	83	88	98	104	106	106
<i>Floresta</i>	178	162	163	145	128	118	120	142	166	183	188	182
<i>Garanhuns</i>	146	133	133	111	91	79	78	95	114	138	149	147
<i>Ouricuri</i>	156	142	144	128	121	116	121	142	161	173	170	159
<i>Petrolina</i>	154	147	147	132	120	110	113	130	154	168	168	162
<i>Recife (Curado)</i>	134	124	129	115	101	92	92	103	115	127	132	134
<i>Surubim</i>	158	143	146	128	111	97	96	112	131	149	157	156
<i>Triunfo</i>	141	128	128	113	100	90	95	115	138	153	155	150

Na tabela 23, pode-se observar os valores do teste de adequabilidade KMO, indicando que o modelo apresentou uma adequabilidade boa ($0,7 < KMO < 0,8$) para as estações de Arcoverde, Cabrobó, Fernando de Noronha, Garanhuns, Ouricuri, Recife, Surubim e Triunfo e uma adequabilidade regular ($0,6 < KMO < 0,7$) para a estação de

Floresta e Petrolina. Com base nestes resultados, concluiu-se que o método pode ser usado com segurança, uma vez que há restrições apenas quando o KMO apresenta valor inferior a 0,5, ou seja, inadequado.

Tabela 23. Resumo dos resultados para o estado de Pernambuco.

<i>Pernambuco</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes de Correlação</i>	<i>KMO</i>
<i>Arcoverde</i>	<i>TMX</i> <i>E</i>	<i>0,81</i>	<i>0,738</i>
<i>Cabrobó</i>	<i>TMX</i> <i>TMN</i>	<i>0,76</i>	<i>0,734</i>
<i>Fernando de Noronha</i>	<i>E</i> <i>V</i>	<i>0,72</i>	<i>0,772</i>
<i>Floresta</i>	<i>TMX</i> <i>TMN</i>	<i>0,76</i>	<i>0,662</i>
<i>Garanhuns</i>	<i>TMX</i> <i>E</i>	<i>0,84</i>	<i>0,79</i>
<i>Ouricuri</i>	<i>E</i> <i>UR</i>	<i>0,80</i>	<i>0,778</i>
<i>Petrolina</i>	<i>TMX</i> <i>TMN</i>	<i>0,69</i>	<i>0,69</i>
<i>Recife</i>	<i>P</i> <i>UR</i>	<i>0,82</i>	<i>0,712</i>
<i>Surubim</i>	<i>TMX</i> <i>E</i>	<i>0,86</i>	<i>0,792</i>
<i>Triunfo</i>	<i>TMX</i> <i>UR</i>	<i>0,76</i>	<i>0,781</i>

A Tabela 24 mostra os resultados para o estado de Pernambuco, mostrando que um modelo com duas componentes foi adequado para representar os dados utilizados, explicando a variância total para as estações meteorológicas de Arcoverde (80%), Cabrobó (74%), Fernando de Noronha (74%), Floresta (78%), Garanhuns (79%), Ouricuri (82%), Petrolina (69%), Recife (69%), Surubim (75%) e Triunfo (80%), concentrando em duas

dimensões as informações anteriormente distribuídas em sete variáveis. O modelo foi composto unicamente por duas componentes, considerando somente aquelas componentes que apresentassem um autovalor superior a um.

Tabela 24. Resultados dos autovalores, variâncias, e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado de Pernambuco.

<i>Pernambuco</i>	<i>Componentes</i>	<i>Autovalor</i>	<i>Variância</i>	<i>Var. Acumulada</i>
<i>Arcoverde</i>	1	4,057	57,96	57,96
	2	1,532	21,89	79,84
	3	0,489	6,98	86,82
	4	0,359	5,12	91,95
	5	0,300	4,28	96,23
	6	0,212	3,03	99,26
	7	0,052	0,74	100,0
<i>Cabrobó</i>	1	3,281	46,87	46,87
	2	1,904	27,20	74,07
	3	0,672	9,60	83,68
	4	0,499	7,12	90,80
	5	0,386	5,51	96,31
	6	0,171	2,45	98,76
	7	0,087	1,24	100
<i>Fernando de Noronha</i>	1	3,405	48,64	48,64
	2	1,795	25,65	74,28
	3	0,625	8,94	83,22
	4	0,387	5,53	88,75
	5	0,306	4,37	93,12
	6	0,279	3,99	97,11
	7	0,202	2,89	100
<i>Floresta</i>	1	3,478	49,69	49,69
	2	2,000	28,57	78,26
	3	0,575	8,21	86,47
	4	0,384	5,48	91,95
	5	0,265	3,79	95,74
	6	0,228	3,25	99,00
	7	0,070	1,00	100

Tabela 24. Continuação.

<i>Garanhuns</i>	1	4,184	59,78	59,78
	2	1,373	19,61	79,39
	3	0,761	10,86	90,25
	4	0,273	3,91	94,16
	5	0,193	2,76	96,92
	6	0,163	2,33	99,25
	7	0,053	0,75	100
<i>Ouricuri</i>	1	3,916	55,95	55,95
	2	1,824	26,06	82,01
	3	0,443	6,33	88,34
	4	0,360	5,14	93,48
	5	0,191	2,73	96,21
	6	0,186	2,66	98,87
	7	0,079	1,13	100
<i>Petrolina</i>	1	2,629	37,55	37,55
	2	2,215	31,65	69,20
	3	0,922	13,17	82,37
	4	0,429	6,13	88,50
	5	0,394	5,63	94,13
	6	0,278	3,97	98,10
	7	0,133	1,90	100
<i>Recife</i>	1	3,461	49,44	49,44
	2	1,397	19,95	69,39
	3	0,965	13,79	83,17
	4	0,570	8,14	91,31
	5	0,302	4,31	95,62
	6	0,185	2,64	98,26
	7	0,122	1,74	100
<i>Surubim</i>	1	4,051	57,87	57,87
	2	1,206	17,23	75,10
	3	0,849	12,13	87,24
	4	0,339	4,84	92,08
	5	0,331	4,73	96,81
	6	0,139	1,99	98,80
	7	0,084	1,20	100

Tabela 24. Continuação.

Triunfo	1	3,524	50,34	50,34
	2	2,088	29,83	80,18
	3	0,417	5,95	86,13
	4	0,314	4,48	90,61
	5	0,292	4,17	94,78
	6	0,255	3,64	98,41
	7	0,111	1,59	100

As cargas de cada variável para as componentes 1 e 2 são apresentadas na Tabela 25, onde os valores atribuídos para cada componente antes e após a rotação também estão presentes. Analisando as componentes após a rotação, percebe-se que na componente 1, as variáveis de maior importância para o estado de Pernambuco foram umidade relativa (UR), precipitação (P), evaporação (E), insolação (INS) temperatura máxima (TMX) e temperatura mínima (TMN).

Para as dez estações estudadas, a variável que teve maior significância foi temperatura máxima (TMX) para as estações de Cabrobó, Floresta, Garanhuns, Ouricuri e Surubim, seguida pela umidade relativa (UR) para a estação de Triunfo, precipitação (P) para as estações de Arcoverde e Recife, evaporação (E) para as estações de Fernando de Noronha e Petrolina, sugerindo que essas variáveis apresentam uma maior influência no processo de Evapotranspiração no clima encontrado nas regiões das estações.

Para a componente dois as variáveis TMX e TMN foram as que apresentaram as maiores cargas para as estações de Arcoverde, Fernando de Noronha e Recife, sugerindo, portanto, serem estas duas variáveis significativas nessa componente. Tais resultados expressam que equações empregadas na estimativa de evapotranspiração, que tenham como base somente a temperatura devem ser usadas com cautela nas regiões aqui estudadas.

Analisando as duas componentes, após a rotação, podemos afirmar que as variáveis com alto peso na componente um apresentam uma estreita correlação com o gradiente de pressão de vapor do ar, o qual é responsável pelo gradiente que impulsiona o processo da evapotranspiração; portanto, foi aqui denominado como componente de gradiente de pressão de vapor. Para a componente dois as variáveis, TMX e TMN apresentaram um maior peso, identificando esta componente como componente de temperatura. Esses resultados, de uma maneira geral, revelam que o processo de evapotranspiração no estado de Pernambuco é o efeito acumulativo da componente de gradiente de pressão e de temperatura; sendo a componente de pressão de vapor a mais importante, uma vez que a mesma explica proporcionalmente maior variabilidade.

Tabela 25. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação para o estado de Pernambuco.

<i>Pernambuco</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Componentes antes da rotação</i>		<i>Componentes depois da rotação</i>	
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>Arcoverde</i>	<i>TMX</i>	<i>0,893</i>	<i>0,385</i>	<i>0,452</i>	<i>0,861</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,385</i>	<i>0,866</i>	<i>-0,245</i>	<i>0,915</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,799</i>	<i>-0,237</i>	<i>-0,472</i>	<i>-0,687</i>
	<i>P</i>	<i>-0,716</i>	<i>0,531</i>	<i>-0,890</i>	<i>-0,037</i>
	<i>E</i>	<i>0,901</i>	<i>0,072</i>	<i>0,655</i>	<i>0,622</i>
	<i>INS</i>	<i>0,806</i>	<i>-0,280</i>	<i>0,802</i>	<i>0,289</i>
	<i>V</i>	<i>0,708</i>	<i>-0,461</i>	<i>0,840</i>	<i>0,087</i>
<i>Cabrobó</i>	<i>TMX</i>	<i>0,818</i>	<i>0,475</i>	<i>0,941</i>	<i>0,096</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,443</i>	<i>0,829</i>	<i>0,744</i>	<i>0,573</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,943</i>	<i>0,041</i>	<i>-0,843</i>	<i>0,426</i>
	<i>P</i>	<i>-0,556</i>	<i>0,615</i>	<i>-0,254</i>	<i>0,790</i>
	<i>E</i>	<i>0,815</i>	<i>-0,180</i>	<i>0,669</i>	<i>-0,500</i>
	<i>INS</i>	<i>0,653</i>	<i>0,065</i>	<i>0,622</i>	<i>-0,209</i>
	<i>V</i>	<i>0,355</i>	<i>-0,758</i>	<i>0,012</i>	<i>-0,837</i>

Tabela 25. Continuação.

<i>Fernando de Noronha</i>	<i>TMX</i>	0,086	0,931	-0,054	0,934
	<i>TMN</i>	0,253	0,876	0,119	0,904
	<i>UR</i>	-0,799	-0,188	-0,762	-0,305
	<i>P</i>	-0,876	0,005	-0,867	-0,125
	<i>E</i>	0,866	-0,152	0,879	-0,021
	<i>INS</i>	0,701	-0,087	0,706	0,019
	<i>V</i>	0,828	-0,308	0,865	-0,181
<i>Floresta</i>	<i>TMX</i>	0,829	0,469	0,924	0,229
	<i>TMN</i>	0,465	0,818	0,668	0,663
	<i>UR</i>	-0,895	0,035	-0,853	0,274
	<i>P</i>	-0,364	0,708	-0,160	0,779
	<i>E</i>	0,864	-0,182	0,783	-0,407
	<i>INS</i>	0,855	-0,019	0,819	-0,248
	<i>V</i>	0,405	-0,759	0,186	-0,840
<i>Garanhuns</i>	<i>TMX</i>	0,923	0,314	0,970	0,099
	<i>TMN</i>	0,457	0,811	0,754	-0,517
	<i>UR</i>	-0,917	-0,045	-0,853	-0,342
	<i>P</i>	-0,729	0,460	-0,471	-0,722
	<i>E</i>	0,923	0,023	0,849	0,364
	<i>INS</i>	0,885	-0,212	0,716	0,562
	<i>V</i>	0,336	-0,597	0,056	0,683
<i>Ouricuri</i>	<i>TMX</i>	0,816	0,519	0,958	0,126
	<i>TMN</i>	0,221	0,924	0,590	0,744
	<i>UR</i>	-0,921	-0,089	-0,872	0,308
	<i>P</i>	-0,691	0,520	-0,407	0,762
	<i>E</i>	0,912	0,010	0,831	-0,376
	<i>INS</i>	0,811	0,056	0,759	-0,291
	<i>V</i>	0,623	-0,649	0,291	-0,851
<i>Petrolina</i>	<i>TMX</i>	0,676	0,664	0,746	0,583
	<i>TMN</i>	0,177	0,905	0,279	0,880
	<i>UR</i>	-0,352	-0,060	-0,357	-0,020
	<i>P</i>	-0,665	0,520	-0,602	0,591
	<i>E</i>	0,875	0,004	0,870	-0,095
	<i>INS</i>	0,822	0,015	0,818	-0,078
	<i>V</i>	0,365	-0,825	0,269	-0,861

Tabela 25. Continuação.

<i>Recife</i>	<i>TMX</i>	<i>0,730</i>	<i>0,589</i>	<i>0,378</i>	<i>0,858</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,382</i>	<i>0,806</i>	<i>-0,031</i>	<i>0,892</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,915</i>	<i>0,103</i>	<i>-0,860</i>	<i>-0,329</i>
	<i>P</i>	<i>-0,838</i>	<i>0,324</i>	<i>-0,893</i>	<i>-0,097</i>
	<i>E</i>	<i>0,606</i>	<i>-0,006</i>	<i>0,541</i>	<i>0,273</i>
	<i>INS</i>	<i>0,829</i>	<i>-0,181</i>	<i>0,819</i>	<i>0,220</i>
	<i>V</i>	<i>0,435</i>	<i>-0,501</i>	<i>0,617</i>	<i>-0,245</i>
<i>Surubim</i>	<i>TMX</i>	<i>0,915</i>	<i>0,314</i>	<i>0,906</i>	<i>0,340</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,573</i>	<i>0,691</i>	<i>0,882</i>	<i>-0,168</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,823</i>	<i>-0,087</i>	<i>-0,690</i>	<i>-0,457</i>
	<i>P</i>	<i>-0,695</i>	<i>0,521</i>	<i>-0,204</i>	<i>-0,845</i>
	<i>E</i>	<i>0,942</i>	<i>0,062</i>	<i>0,766</i>	<i>0,552</i>
	<i>INS</i>	<i>0,819</i>	<i>-0,299</i>	<i>0,441</i>	<i>0,752</i>
	<i>V</i>	<i>0,408</i>	<i>-0,507</i>	<i>-0,008</i>	<i>0,651</i>
<i>Triunfo</i>	<i>TMX</i>	<i>0,863</i>	<i>0,396</i>	<i>0,803</i>	<i>0,507</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,104</i>	<i>0,925</i>	<i>-0,019</i>	<i>0,930</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,899</i>	<i>-0,022</i>	<i>-0,888</i>	<i>-0,140</i>
	<i>P</i>	<i>-0,721</i>	<i>0,507</i>	<i>-0,782</i>	<i>0,407</i>
	<i>E</i>	<i>0,842</i>	<i>-0,047</i>	<i>0,841</i>	<i>0,065</i>
	<i>INS</i>	<i>0,841</i>	<i>-0,220</i>	<i>0,863</i>	<i>-0,107</i>
	<i>V</i>	<i>-0,151</i>	<i>-0,877</i>	<i>-0,033</i>	<i>-0,889</i>

4.7. Análise da ACP para o Estado do Piauí

Para o estado do Piauí a Tabela 26 mostra as evapotranspirações calculadas pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves e a Tabela 27, as variáveis que mais se correlacionaram, juntamente com seus respectivos coeficientes de correlação. As variáveis, evaporação (E) e umidade relativa (UR) são as que apresentaram os mais altos coeficientes de correlação.

Tabela 26. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado do Piauí obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.

<i>Piauí</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>
<i>Barra do Gurgueia</i>	165	153	160	155	151	148	161	182	200	198	186	170
<i>Bom Jesus</i>	156	141	150	141	135	133	139	159	178	179	173	161
<i>Caracol</i>	153	140	145	133	130	129	132	154	173	177	170	156
<i>Floriano</i>	144	131	142	136	135	135	140	161	175	174	165	150
<i>Parnaíba</i>	130	120	127	122	119	121	126	135	139	140	137	132
<i>Paulistana</i>	153	143	147	138	128	119	124	144	164	171	169	158
<i>Picos</i>	158	149	147	138	136	141	147	165	185	185	180	178
<i>Teresina</i>	149	139	145	134	128	131	143	168	187	189	176	168

Na tabela 27, pode-se observar os valores do teste de adequabilidade KMO, indicando que o modelo apresentou uma adequabilidade ótima ($0,8 < KMO < 0,9$) para as estações de Barra do Gurgueia, Floriano, Parnaíba, Picos e Teresina; uma adequabilidade boa ($0,7 < KMO < 0,8$) para as estações de Bom Jesus, Caracol e Paulistana. Com base nestes dados, pode-se usar o modelo com segurança, uma vez que restrições se fazem presentes quando o KMO apresenta valor inferior a 0,5, ou seja, inadequado.

Tabela 27. Resumo dos resultados para o estado do Piauí.

<i>Piauí</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes de Correlação</i>	<i>KMO</i>
<i>Barra do Gurgueia</i>	<i>TMX</i>	<i>0,87</i>	<i>0,842</i>
	<i>UR</i>		
<i>Bom Jesus</i>	<i>TMX</i>	<i>0,79</i>	<i>0,742</i>
	<i>UR</i>		
<i>Caracol</i>	<i>E</i>	<i>0,86</i>	<i>0,793</i>
	<i>UR</i>		
<i>Floriano</i>	<i>E</i>	<i>0,87</i>	<i>0,809</i>
	<i>UR</i>		
<i>Parnaíba</i>	<i>P</i>	<i>0,82</i>	<i>0,853</i>
	<i>INS</i>		
<i>Paulistana</i>	<i>UR</i>	<i>0,90</i>	<i>0,797</i>
	<i>E</i>		
<i>Picos</i>	<i>E</i>	<i>0,87</i>	<i>0,813</i>
	<i>UR</i>		
<i>Teresina</i>	<i>TMX</i>	<i>0,89</i>	<i>0,802</i>
	<i>UR</i>		

A Tabela 28 mostra os resultados para o estado do Piauí onde o modelo com 2 componentes é adequado para representar os dados empregados e explicar, respectivamente 77%, 70%, 81%, 82%, 79%, 83%, 80% e 84% da variância total para as estações de Barra do Gurgueia, Bom Jesus, Caracol, Floriano, Parnaíba, Paulistana, Picos e Teresina, concentrando em 2 dimensões as informações anteriormente distribuídas em sete variáveis. O modelo foi composto unicamente por duas componentes, considerando somente aquelas componentes que apresentassem um autovalor superior a um. Observa-se, também, que a primeira componente principal responde por mais de 50% para todas as estações analisadas no estado do Piauí.

Tabela 28. Resultados dos autovalores, variâncias, e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado do Piauí.

<i>Piauí</i>	<i>Componentes</i>	<i>Autovalor</i>	<i>Variância</i>	<i>Var. Acumulada</i>
<i>Barra do Gurgueia</i>	1	4,237	60,53	60,53
	2	1,162	16,60	77,13
	3	0,681	9,74	86,87
	4	0,442	6,32	93,19
	5	0,240	3,43	96,62
	6	0,131	1,88	98,50
	7	0,105	1,50	100
<i>Bom Jesus</i>	1	3,678	52,54	52,54
	2	1,253	17,91	70,45
	3	1,093	15,62	86,06
	4	0,420	5,99	92,05
	5	0,228	3,26	95,31
	6	0,184	2,62	97,93
	7	0,145	2,07	100
<i>Caracol</i>	1	4,447	63,52	63,52
	2	1,229	17,55	81,08
	3	0,610	8,72	89,80
	4	0,345	4,92	94,72
	5	0,142	2,03	96,75
	6	0,131	1,87	98,62
	7	0,097	1,38	100
<i>Floriano</i>	1	4,407	62,96	62,96
	2	1,312	18,74	81,70
	3	0,461	6,59	88,29
	4	0,333	4,76	93,05
	5	0,269	3,84	96,89
	6	0,132	1,89	98,78
	7	0,085	1,22	100
<i>Parnaíba</i>	1	4,463	63,76	63,76
	2	1,068	15,26	79,02
	3	0,532	7,60	86,62
	4	0,430	6,14	92,76
	5	0,208	2,97	95,73
	6	0,168	2,40	98,13
	7	0,131	1,87	100

Tabela 28. Continuação.

<i>Paulistana</i>	1	4,246	60,65	60,65
	2	1,562	22,31	82,96
	3	0,430	6,14	89,10
	4	0,394	5,62	94,73
	5	0,188	2,68	97,41
	6	0,109	1,56	98,96
	7	0,073	1,04	100
<i>Picos</i>	1	4,100	58,57	58,57
	2	1,474	21,06	79,63
	3	0,713	10,19	89,82
	4	0,298	4,26	94,09
	5	0,181	2,58	96,67
	6	0,126	1,80	98,47
	7	0,107	1,53	100
<i>Teresina</i>	1	4,660	66,57	66,57
	2	1,187	16,96	83,53
	3	0,447	6,38	89,91
	4	0,343	4,90	94,81
	5	0,170	2,42	97,24
	6	0,130	1,86	99,09
	7	0,063	0,91	100

As cargas de cada variável para as componentes 1 e 2 são apresentadas na Tabela 29, onde os valores atribuídos para cada componente antes e após a rotação são mostrados. Analisando as componentes após a rotação, percebe-se que, em relação à componente um, as variáveis de maior importância para o estado do Piauí foram temperatura máxima (TMX), umidade relativa (UR), precipitação (P), evaporação (E), insolação (INS) e velocidade do vento (V). Note que a temperatura mínima (TMN) foi a variável que apresentou a menor carga em todas as estações, fato esse podendo ser decorrência da classificação climática da região.

Para as oito estações aqui estudadas para o estado do Piauí, a variável que teve maior significância foi à temperatura máxima do ar (TMX) para as estações de Barra do Gurgueia, Bom Jesus, Caracol e Teresina, seguida pela insolação (INS) para as estações de Parnaíba e Paulistana, umidade relativa do ar (UR) para a estação de Floriano, e evaporação (E) para a estação de Picos, sugerindo que essas variáveis apresentam uma maior influência no processo da evapotranspiração para os climas, encontrado nas regiões das estações.

Em relação à temperatura mínima do ar (TMN) pode-se observar que ela apresentou a menor carga para todas as estações do estado, sugerindo que as demais variáveis apresentam uma maior significância na definição das variáveis de relevância na estimativa da evapotranspiração no estado. Para a componente dois as variáveis, TMX e TMN apresentaram um maior peso (apenas para a estação de Paulistana), identificando esta componente como componente de temperatura. Estes resultados, de uma maneira geral, revelam que o processo de evapotranspiração no estado do Piauí é o efeito acumulativo da componente de gradiente de pressão e de temperatura; sendo a componente de pressão de vapor a mais importante, uma vez que a mesma explica proporcionalmente maior variabilidade.

Analisando as duas componentes, após a rotação, podemos afirmar que as variáveis com altas cargas na componente um apresentam uma estreita correlação com o gradiente de pressão de vapor do ar, o qual é responsável pelo gradiente que impulsiona o processo da evapotranspiração; portanto foi aqui denominado como componente de gradiente de pressão de vapor. Estes resultados, de uma maneira geral, revelam que o processo de evapotranspiração no estado do Piauí tem como base mais importante a componente de gradiente de pressão de vapor, uma vez que a mesma explica proporcionalmente a maior variabilidade.

Tabela 29. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação para o estado do Piauí.

Piauí	Variáveis	Componentes antes da rotação		Componentes depois da rotação	
		1	2	1	2
Barra do Gurgueia	TMX	0,908	0,235	0,919	-0,189
	TMN	-0,341	0,847	0,067	0,911
	UR	-0,917	-0,117	-0,874	0,300
	P	-0,821	0,205	-0,647	0,546
	E	0,890	0,220	0,896	-0,195
	INS	0,831	-0,341	0,596	-0,673
	V	0,546	0,411	0,672	0,128
Bom Jesus	TMX	0,821	0,449	0,928	0,123
	TMN	-0,210	0,922	0,137	0,935
	UR	-0,899	-0,120	-0,881	0,212
	P	-0,823	0,220	-0,689	0,502
	E	0,832	0,200	0,848	-0,113
	INS	0,836	-0,258	0,687	-0,542
	V	0,288	-0,183	0,203	-0,274
Caracol	TMX	0,731	0,599	0,944	0,045
	TMN	-0,566	0,778	0,010	0,962
	UR	-0,875	-0,290	-0,876	0,289
	P	-0,833	0,306	-0,487	0,742
	E	0,908	0,170	0,830	-0,405
	INS	0,900	-0,228	0,587	-0,720
	V	0,706	0,078	0,613	-0,358
Floriano	TMX	0,880	0,376	0,796	0,531
	TMN	0,123	0,961	-0,055	0,967
	UR	-0,923	-0,094	-0,891	-0,261
	P	-0,797	0,205	-0,821	0,055
	E	0,921	0,118	0,884	0,285
	INS	0,831	-0,285	0,869	-0,128
	V	0,769	-0,319	0,814	-0,172
Parnaíba	TMX	0,859	-0,144	0,857	0,154
	TMN	0,373	0,886	0,052	0,960
	UR	-0,735	0,011	-0,696	-0,237
	P	-0,872	0,276	-0,914	-0,035
	E	0,924	0,097	0,837	0,403
	INS	0,873	-0,315	0,928	-0,002
	V	0,818	0,279	0,676	0,539

Tabela 29. Continuação.

<i>Paulistana</i>	<i>TMX</i>	<i>0,718</i>	<i>0,614</i>	<i>0,478</i>	<i>0,816</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,153</i>	<i>0,892</i>	<i>-0,147</i>	<i>0,893</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,935</i>	<i>-0,161</i>	<i>-0,831</i>	<i>-0,458</i>
	<i>P</i>	<i>-0,785</i>	<i>0,231</i>	<i>-0,817</i>	<i>-0,038</i>
	<i>E</i>	<i>0,943</i>	<i>-0,006</i>	<i>0,893</i>	<i>0,303</i>
	<i>INS</i>	<i>0,906</i>	<i>-0,187</i>	<i>0,918</i>	<i>0,120</i>
	<i>V</i>	<i>0,710</i>	<i>-0,524</i>	<i>0,843</i>	<i>-0,263</i>
<i>Picos</i>	<i>TMX</i>	<i>0,820</i>	<i>0,494</i>	<i>0,759</i>	<i>0,584</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,023</i>	<i>0,949</i>	<i>-0,085</i>	<i>0,945</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,920</i>	<i>-0,171</i>	<i>-0,895</i>	<i>-0,275</i>
	<i>P</i>	<i>-0,798</i>	<i>0,285</i>	<i>-0,825</i>	<i>0,192</i>
	<i>E</i>	<i>0,941</i>	<i>0,086</i>	<i>0,925</i>	<i>0,193</i>
	<i>INS</i>	<i>0,879</i>	<i>-0,275</i>	<i>0,905</i>	<i>-0,174</i>
	<i>V</i>	<i>0,534</i>	<i>-0,369</i>	<i>0,572</i>	<i>-0,306</i>
<i>Teresina</i>	<i>TMX</i>	<i>0,870</i>	<i>0,420</i>	<i>0,965</i>	<i>0,042</i>
	<i>TMN</i>	<i>-0,397</i>	<i>0,880</i>	<i>-0,017</i>	<i>0,966</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,885</i>	<i>-0,326</i>	<i>-0,942</i>	<i>0,051</i>
	<i>P</i>	<i>-0,872</i>	<i>0,147</i>	<i>-0,743</i>	<i>0,480</i>
	<i>E</i>	<i>0,900</i>	<i>0,113</i>	<i>0,871</i>	<i>-0,252</i>
	<i>INS</i>	<i>0,871</i>	<i>-0,308</i>	<i>0,678</i>	<i>-0,627</i>
	<i>V</i>	<i>0,795</i>	<i>-0,013</i>	<i>0,726</i>	<i>-0,326</i>

4.8. Análise da ACP para o Estado do Rio Grande do Norte

Para o Rio Grande do Norte a Tabela 30 mostra a evapotranspiração calculada pelo método de Chistiansen-Hargreaves e a Tabela 31, as variáveis que obtiveram os mais altos níveis de correlação. As variáveis, evaporação (E) e temperatura máxima (TMX) são as que apresentaram os mais altos coeficientes de correlação.

Tabela 30. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado do Rio Grande do Norte obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.

<i>Rio Grande do Norte</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>
<i>Apodi</i>	173	156	153	138	127	122	127	154	174	187	185	179
<i>Ceará Mirim</i>	146	135	137	125	112	103	104	117	132	142	145	144
<i>Cruzeta</i>	172	158	156	140	128	124	126	146	166	178	176	174
<i>Floriana</i>	163	147	150	135	124	117	122	141	161	172	173	168
<i>Macau</i>	139	131	137	131	124	119	122	139	148	148	142	137
<i>Mossoró</i>	161	147	149	139	131	127	133	154	169	171	169	163
<i>Natal</i>	117	111	119	107	103	97	98	108	116	116	112	112

Também na tabela 31, é observado o valor do teste de adequabilidade KMO, indicando que o modelo apresentou uma adequabilidade ótima ($0,8 < KMO < 0,9$) para as estações de Apodi, Macau e Mossoró; uma adequabilidade boa ($0,7 < KMO < 0,8$) para as estações Ceará Mirim, Cruzeta, Floriana e Natal. Com base nestes dados, pode-se usar o modelo com segurança, uma vez que restrições se fazem presentes quando o KMO apresenta valor inferior a 0,5, ou seja, inadequado.

Tabela 31. Resumo dos resultados para o estado do Rio Grande do Norte.

<i>Rio Grande do Norte</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes de Correlação</i>	<i>KMO</i>
<i>Apodi</i>	<i>UR</i>	<i>0,80</i>	<i>0,831</i>
	<i>E</i>		
<i>Ceará Mirim</i>	<i>P</i>	<i>0,74</i>	<i>0,738</i>
	<i>INS</i>		
<i>Cruzeta</i>	<i>UR</i>	<i>0,70</i>	<i>0,776</i>
	<i>E</i>		
<i>Floriana</i>	<i>TMX</i>	<i>0,75</i>	<i>0,792</i>
	<i>UR</i>		
<i>Macau</i>	<i>P</i>	<i>0,68</i>	<i>0,82</i>
	<i>V</i>		
<i>Mossoró</i>	<i>TMX</i>	<i>0,82</i>	<i>0,868</i>
	<i>E</i>		
<i>Natal</i>	<i>P</i>	<i>0,79</i>	<i>0,781</i>
	<i>E</i>		

A Tabela 32 apresenta os resultados para o estado do Rio Grande do Norte indicando que um modelo com duas componentes é adequado para representar os dados empregados e explicar, respectivamente 77%, 78%, 77%, 78%, 71%, 83% e 77% da variância total para as estações de Apodi, Ceará Mirim, Cruzeta, Floriana, Macau, Mossoró e Natal, concentrando em 2 dimensões as informações anteriormente distribuídas em sete variáveis. O modelo foi composto unicamente por 2 componentes, considerando somente aquelas componentes que apresentassem um autovalor superior a um.

Observa-se, também, que a primeira componente principal responde por mais de 50% para todas as estações analisadas no estado.

Tabela 32. Resultados dos autovalores, variâncias, e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado do Rio Grande do Norte.

Rio Grande do Norte	Componentes	Autovalor	Variância	Var. Acumulada
<i>Apodi</i>	1	4,117	58,81	58,81
	2	1,273	18,18	76,99
	3	0,656	9,36	86,36
	4	0,318	4,55	90,91
	5	0,296	4,23	95,14
	6	0,194	2,78	97,92
	7	0,146	2,08	100
<i>Ceará Mirim</i>	1	3,638	51,98	51,98
	2	1,829	26,13	78,11
	3	0,581	8,30	86,41
	4	0,433	6,19	92,59
	5	0,236	3,37	95,96
	6	0,188	2,69	98,65
	7	0,095	1,35	100
<i>Cruzeta</i>	1	3,967	56,67	56,67
	2	1,451	20,73	77,41
	3	0,662	9,46	86,87
	4	0,315	4,49	91,36
	5	0,263	3,76	95,12
	6	0,208	2,97	98,10
	7	0,133	1,90	100
<i>Floriania</i>	1	3,888	55,55	55,55
	2	1,606	22,94	78,48
	3	0,537	7,67	86,15
	4	0,350	5,00	91,15
	5	0,301	4,30	95,46
	6	0,207	2,96	98,42
	7	0,111	1,58	100
<i>Macau</i>	1	3,604	51,49	51,49
	2	1,338	19,12	70,61
	3	0,646	9,23	79,84
	4	0,447	6,39	86,22
	5	0,366	5,23	91,45
	6	0,340	4,86	96,31
	7	0,258	3,69	100

Tabela 32. Continuação.

<i>Mossoró</i>	1	4,615	65,93	65,93
	2	1,216	17,37	83,30
	3	0,334	4,77	88,07
	4	0,281	4,01	92,08
	5	0,258	3,69	95,77
	6	0,156	2,23	98,01
	7	0,140	1,99	100
<i>Natal</i>	1	3,792	54,18	54,18
	2	1,569	22,41	76,59
	3	0,747	10,68	87,27
	4	0,336	4,80	92,07
	5	0,217	3,10	95,17
	6	0,193	2,76	97,93
	7	0,145	2,07	100

As cargas de cada variável para as componentes 1 e 2 são apresentadas na Tabela 33, onde os valores atribuídos para cada componente antes e após a rotação varimax são apresentadas. Analisando as componentes após a rotação, percebe-se que, em relação à componente 1, as variáveis de maior importância para o estado do Rio Grande do Norte foram umidade relativa (UR), precipitação (P), evaporação (E), insolação (INS) e velocidade do vento (V). Note que a temperatura mínima (TMN) foi a variável que apresentou a menor carga para todas as estações, fato esse podendo ser decorrência da classificação climática das regiões onde estão localizadas as estações.

Em relação à temperatura máxima do ar (TMX) e mínima do ar (TMN) para a componente um, pode-se observar que após as rotações, ambas apresentaram as menores para as todas as estações do estado, sugerindo que as demais variáveis apresentam uma maior significância na definição das variáveis de relevância na estimativa da evapotranspiração na região. Para a componente dois as variáveis TMX e TMN foram as que apresentaram as maiores cargas para as estações de Ceará Mirim, Cruzeta, Floriania,

Macau e Natal, sugerindo, portanto, serem estas duas variáveis significativas nesta componente. Tais resultados expressam que equações empregadas na estimativa de evapotranspiração, que tenham como base somente a temperatura devem ser usadas com cautela nas regiões aqui estudadas.

Analisando as duas componentes, após a rotação, podemos afirmar que as variáveis com altas cargas na componente um apresentam uma estreita correlação com o gradiente de pressão de vapor do ar, o qual é responsável pelo gradiente que impulsiona o processo da evapotranspiração; portanto, foi aqui denominado como componente de gradiente de pressão de vapor. Para a componente dois as variáveis, TMX e TMN apresentaram maior carga, identificando esta componente como componente de temperatura. Esses resultados, de uma maneira geral, revelam que o processo de evapotranspiração no estado do Rio Grande do Norte é o efeito acumulativo da componente de gradiente de pressão e de temperatura; sendo a componente de pressão de vapor a mais importante, uma vez que a mesma explica proporcionalmente maior variabilidade.

Tabela 33. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação para o estado do Rio Grande do Norte.

<i>Rio Grande do Norte</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Componentes antes da rotação</i>		<i>Componentes depois da rotação</i>	
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>Apodi</i>	<i>TMX</i>	<i>0,811</i>	<i>0,469</i>	<i>0,843</i>	<i>0,409</i>
	<i>TMN</i>	<i>-0,147</i>	<i>0,948</i>	<i>-0,078</i>	<i>0,956</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,902</i>	<i>-0,066</i>	<i>-0,905</i>	<i>0,000</i>
	<i>P</i>	<i>-0,842</i>	<i>0,181</i>	<i>-0,827</i>	<i>0,242</i>
	<i>E</i>	<i>0,907</i>	<i>0,172</i>	<i>0,917</i>	<i>0,105</i>
	<i>INS</i>	<i>0,803</i>	<i>-0,188</i>	<i>0,788</i>	<i>-0,246</i>
	<i>V</i>	<i>0,668</i>	<i>-0,229</i>	<i>0,650</i>	<i>-0,278</i>

Tabela 33. Continuação

<i>Ceará Mirim</i>	<i>TMX</i>	0,572	0,783	0,471	0,848
	<i>TMN</i>	-0,089	0,946	-0,206	0,928
	<i>UR</i>	-0,798	-0,055	-0,785	-0,154
	<i>P</i>	-0,866	0,191	-0,883	0,082
	<i>E</i>	0,894	0,184	0,865	0,293
	<i>INS</i>	0,849	-0,122	0,858	-0,016
	<i>V</i>	0,628	-0,483	0,683	-0,402
<i>Cruzeta</i>	<i>TMX</i>	0,781	0,537	0,528	0,787
	<i>TMN</i>	0,264	0,928	-0,097	0,960
	<i>UR</i>	-0,864	0,033	-0,815	-0,287
	<i>P</i>	-0,777	0,427	-0,879	0,111
	<i>E</i>	0,902	0,016	0,833	0,348
	<i>INS</i>	0,749	-0,096	0,732	0,187
	<i>V</i>	0,751	-0,329	0,819	-0,029
<i>Floriana</i>	<i>TMX</i>	0,735	0,566	0,525	0,764
	<i>TMN</i>	0,149	0,925	-0,143	0,926
	<i>UR</i>	-0,941	-0,102	-0,864	-0,387
	<i>P</i>	-0,830	0,186	-0,846	-0,079
	<i>E</i>	0,825	0,095	0,756	0,345
	<i>INS</i>	0,780	-0,247	0,819	0,005
	<i>V</i>	0,680	-0,561	0,820	-0,325
<i>Macau</i>	<i>TMX</i>	0,553	0,633	0,488	0,685
	<i>TMN</i>	-0,161	0,905	-0,250	0,884
	<i>UR</i>	-0,807	0,031	-0,806	-0,049
	<i>P</i>	-0,821	0,030	-0,820	-0,052
	<i>E</i>	0,738	-0,275	0,761	-0,200
	<i>INS</i>	0,798	-0,121	0,806	-0,040
	<i>V</i>	0,875	0,164	0,854	0,250
<i>Mossoró</i>	<i>TMX</i>	0,902	0,218	0,870	0,323
	<i>TMN</i>	0,119	0,961	0,004	0,968
	<i>UR</i>	-0,909	0,051	-0,909	-0,056
	<i>P</i>	-0,836	0,288	-0,864	0,188
	<i>E</i>	0,922	-0,003	0,916	0,105
	<i>INS</i>	0,849	-0,291	0,878	-0,188
	<i>V</i>	0,831	0,273	0,793	0,369

Tabela 33. Continuação

<i>Natal</i>	<i>TMX</i>	<i>0,515</i>	<i>0,767</i>	<i>0,065</i>	<i>0,921</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,598</i>	<i>0,693</i>	<i>0,174</i>	<i>0,899</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,666</i>	<i>-0,102</i>	<i>-0,527</i>	<i>-0,420</i>
	<i>P</i>	<i>-0,892</i>	<i>0,225</i>	<i>-0,885</i>	<i>-0,249</i>
	<i>E</i>	<i>0,924</i>	<i>-0,094</i>	<i>0,849</i>	<i>0,378</i>
	<i>INS</i>	<i>0,846</i>	<i>-0,273</i>	<i>0,869</i>	<i>0,184</i>
	<i>V</i>	<i>0,601</i>	<i>-0,597</i>	<i>0,818</i>	<i>-0,219</i>

4.9. Análise da ACP para o Estado de Sergipe

Para o estado de Sergipe foram usados apenas quatro variáveis climatológicas: temperatura máxima (TMX), temperatura mínima (TMN), umidade relativa (UR) e velocidade do vento (V). Devido à falta de dados, não foram usadas as variáveis: precipitação (P), evaporação (E) e insolação (INS). A evapotranspiração calculada pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves e apresentada na Tabela 34.

Tabela 34. Evapotranspiração média mensal (mm) para os postos do estado de Sergipe obtidos pelo modelo de Chistiansen-Hargreaves.

Sergipe	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Aracaju	116	108	113	103	88	80	81	89	97	104	110	112
Itabaianinha	152	136	133	106	98	86	88	100	117	135	143	148
Propriá	164	147	150	122	107	94	95	111	132	153	162	160

A Tabela 35 mostra as variáveis que mais se correlacionaram, juntamente com seus respectivos coeficientes de correlação. As variáveis, temperatura máxima (TMX) e temperatura mínima (TMN) são as que apresentaram os mais altos coeficientes de correlação. Também nessa tabela, pode-se observar os valores do teste de adequabilidade KMO, indicando que o modelo apresentou uma adequabilidade regular ($0,6 < KMO < 0,7$) para a estação de Propriá; uma adequabilidade medíocre ($0,5 < KMO < 0,6$) para a estação de Itabaianinha; e uma adequabilidade inadequada ($KMO < 0,5$) para a estação de Aracaju. Por esse motivo Aracaju não foi analisada nesse trabalho, pois, não poderíamos usar o modelo com segurança, uma vez que restrições se fazem presentes quando o KMO apresenta valor inferior a 0,5, ou seja, inadequado.

Tabela 35. Resumo dos resultados para o estado do Piauí.

<i>Sergipe</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes de Correlação</i>	<i>KMO</i>
<i>Aracaju</i>	<i>TMX</i>	<i>0,86</i>	<i>0,452</i>
	<i>TMN</i>		
<i>Itabaianinha</i>	<i>TMX</i>	<i>0,90</i>	<i>0,57</i>
	<i>TMN</i>		
<i>Propiá</i>	<i>TMX</i>	<i>0,81</i>	<i>0,672</i>
	<i>V</i>		

A Tabela 36 mostra os resultados para o estado de Sergipe indicando que um modelo com duas componentes foi adequado para representar os dados empregados e explicar, respectivamente 94% e 93% da variância total para as estações de Itabaianinha e Propriá, concentrando em duas dimensões as informações anteriormente distribuídas em 4 variáveis. O modelo foi composto unicamente por duas componentes, considerando somente aquelas componentes que apresentassem um autovalor superior a um. Observa-se, também, que a primeira componente principal responde por mais de 70% para as duas estações analisadas no estado.

Tabela 36. Resultados dos autovalores, variâncias, e variâncias acumuladas para as estações meteorológicas do estado de Sergipe.

<i>Sergipe</i>	<i>Componentes</i>	<i>Autovalor</i>	<i>Variância</i>	<i>Var. Acumulada</i>
<i>Itabaianinha</i>	<i>1</i>	<i>2,894</i>	<i>72,36</i>	<i>72,36</i>
	<i>2</i>	<i>0,849</i>	<i>21,22</i>	<i>93,58</i>
	<i>3</i>	<i>0,227</i>	<i>5,68</i>	<i>99,26</i>
	<i>4</i>	<i>0,030</i>	<i>0,74</i>	<i>100</i>
<i>Propiá</i>	<i>1</i>	<i>3,023</i>	<i>75,57</i>	<i>75,57</i>
	<i>2</i>	<i>0,696</i>	<i>17,40</i>	<i>92,97</i>
	<i>3</i>	<i>0,203</i>	<i>5,08</i>	<i>98,05</i>
	<i>4</i>	<i>0,078</i>	<i>1,95</i>	<i>100</i>

As cargas de cada variável para as componentes 1 e 2 são apresentadas na Tabela 37, onde os valores de cada componente antes e após a rotação são mostrados. Analisando as componentes após a rotação, percebe-se que, em relação à componente 1, as variáveis de maior importância para o estado de Sergipe foram temperatura máxima (TMX), temperatura mínima (TMN), umidade relativa (UR) e velocidade do vento (V).

Para as duas estações estudadas, a variável que teve maior significância foi temperatura mínima (TMN), seguida pela umidade relativa (UR), temperatura máxima (TMX) e velocidade do vento (V), sugerindo que essas variáveis apresentam uma maior influência no processo de evapotranspiração no clima encontrado nas regiões das estações.

Analisando as duas componentes, após a rotação, podemos afirmar que as variáveis com alto peso na componente um apresentam uma estreita correlação com o déficit da pressão de vapor do ar e temperatura, o qual é responsável pelo gradiente que impulsiona o processo da evapotranspiração. Esses resultados, de uma maneira geral, revelam que o processo de evapotranspiração no estado de Sergipe é o efeito acumulativo da componente de gradiente de pressão e de temperatura.

Tabela 37. Valores das cargas, antes e depois de aplicada a rotação para o estado da Bahia.

<i>Sergipe</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Componentes antes da rotação</i>		<i>Componentes depois da rotação</i>	
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>Itabaianinha</i>	<i>TMX</i>	<i>0,956</i>	<i>0,260</i>	<i>0,901</i>	<i>0,412</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,821</i>	<i>0,532</i>	<i>0,972</i>	<i>0,116</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,902</i>	<i>0,247</i>	<i>-0,536</i>	<i>-0,767</i>
	<i>V</i>	<i>0,701</i>	<i>-0,661</i>	<i>0,116</i>	<i>0,956</i>
<i>Propiá</i>	<i>TMX</i>	<i>0,964</i>	<i>0,134</i>	<i>0,687</i>	<i>0,689</i>
	<i>TMN</i>	<i>0,747</i>	<i>0,650</i>	<i>0,203</i>	<i>0,970</i>
	<i>UR</i>	<i>-0,854</i>	<i>0,110</i>	<i>-0,928</i>	<i>-0,190</i>
	<i>V</i>	<i>0,898</i>	<i>-0,295</i>	<i>0,894</i>	<i>0,307</i>

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 Conclusões

A importância das variáveis climáticas envolvidas no processo da evapotranspiração foi avaliada através da técnica multivariada Análise de Componentes Principais, aplicada a 88 estações meteorológicas distribuídas pela região Nordeste do Brasil. A aplicação dessa técnica revelou que o processo da evapotranspiração para a área estudada é governado basicamente por duas componentes, sendo a primeira o gradiente de pressão de vapor do ar e a segunda a da temperatura do ar.

Para a região de clima tropical chuvoso (estações litorâneas ou próximas ao litoral), as variáveis de maior significância foram precipitação, umidade relativa, insolação e velocidade do vento. Já para as regiões de clima semi-árido (interior do Nordeste), a variável temperatura máxima, teve cargas consideráveis, seguidas pelas variáveis evaporação e insolação.

Também ficou evidenciado que a temperatura máxima e principalmente a temperatura mínima, são as variáveis mais importantes da segunda componente para as estações de Maceió, Palmeira dos Índios, Pão de Açúcar, Porto de Pedras e Coruripe no estado de Alagoas; Alagoinhas, Carinhanha, Correntina (sem rotação) e Remanso no estado da Bahia; Fortaleza, Quixeramobim e Tauá no estado do Ceará; Água Branca, Campina Grande, João Pessoa e Patos no estado da Paraíba, Arcoverde, Fernando de Noronha e Recife no estado de Pernambuco; Paulistana no estado do Piauí; Ceará Mirim,

Cruzeta, Floriano, Macau e Natal no estado do Rio grande do Norte e Itabaianinha (sem rotação) e Propriá no estado de Sergipe.

Finalmente, pode-se concluir que equações para estimar a evapotranspiração regional, com base apenas na temperatura (principalmente temperatura mínima), devem ser usadas com cautela, uma vez que a temperatura não se mostrou como uma variável de maior relevância na estimativa dessa variável na região estudada.

5.2 Sugestões

Sugere-se que em estudo adicional realize-se uma equação de regressão múltipla com base nas variáveis aqui selecionadas, para cada uma das estações, afim de que se possa estimar os valores de evapotranspiração regional.

Também seria interessante considerar a latitude, longitude e altitude das estações, objetivando estimar a evapotranspiração para locais em que não haja disponibilidade de dados climáticos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHAMAD, B. An analysis of crimes by method of principal component analysis. *Application of Statistic.*, 1967. 16, 17-35.

AL-KHAFAF, S., WIERENGA, P.J. & WILLIAMS, B.C. Evaporative flux from irrigated cotton as related to leaf area index, soil water, and evaporative demand. *Agronomy journal*, vol.70, 1978.

ANDRADE, E.M., SILVEIRA, S.S. & AZEVEDO, B.M. Investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração na região Centro Sul do Ceará pela Análise de Componentes Principais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol.8 n.1, 2003.

AYODATE, J.O. Introdução à climatologia para os trópicos. 4^o ed. *Rio de Janeiro: Bertrand Brasil*, 1996.

BASTOS, E.J.B., CEBALOS, J.C., SOBRAL, Z.R., SIMÕES, F. Distribuição Estatística da Energia Eólica no Nordeste. *Fontes Energéticas Brasileiras*, 1-13, 1987.

BERLATO, M.A.; MOLION, L.C.B. Evaporação e evapotranspiração. *Boletim Técnico*, v.7, *Porto Alegre: IPAGRO*, 1981. 95p.

BERNARDO, S. Manual de irrigação. 6^a ed. *Viçosa: UFV*, 1995. 657p.

BITENCOURT, M.D. Used to Discriminate Phenological Variations in Cerrado Physiognomy, in São Paulo – Brazil. *IAPRS*, vol. XXXIII, Amsterdam, 2000.

BOUCHET, R.J., Evapotranspiration réelle evapotranspiration potentielle et production agricole. *Anais...*, v.14, n.5, p. 743-824, 1963.

BRAGA, C.C., Análise em componentes principais da precipitação média decenal no Estado da Paraíba. In: I CONGRESSO IBEROAMERICANO, V CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1992, Madrid. *Anais...*, v.1, p.292-298, 1992.

BRAGA, C.C., MELO, M.L.D., MELO E.C.S. Análise de Agrupamento Aplicada a Distribuição da Precipitação no Estado da Bahia. *CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, Brasília. 1998.

BRAGA, C.C., SILVA, B.B. Determinação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado da Paraíba. *CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, Salvador, 1990.

CAVALCANTI, E.P., BENTO, P.B. Análise de componentes principais para o campo de vento à Superfície. In: *Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 8., 1994, Belo Horizonte.

CORREIA, A.A. Padrões de Variabilidade do Vento à Superfície no Nordeste do Brasil. *Dissertação (Mestrado em Meteorologia)* – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.

CEBALLOS, J.C., BRAGA, C.C., Missing Data Assessment in a Solarimetric Network. *International Journal of Climatology*. v.15, 325-340, 1995.

CHANG, J. Climate and agriculture: An ecological survey. *Dissertação de Mestrado*. Chicago, 1968.

DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage paper 24*, Rome: FAO, 1977.

DUNTEMAN, G. H. Introduction to multivariate analysis. Beverly Hills: Sage Publications, 1984. 237 p.

EASTMAN, J.R. & FULK, M. Long Sequence Time Series Evaluation Using Standardized Principal Components. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 59(6): 991-996, 1993.

FERREIRA, J.A.S., MANZI, A.O., ESPIRITO SANTO, C.M. Comportamento de um modelo hidrológico para a bacia Amazônica utilizando três campos diferentes de climatologia. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Brasília, DF. 1998.

FONTANA, D.C. Determinação da Evapotranspiração. In: BERGAMACHI, H. (Coord.), Agrometeorologia aplicada à irrigação. Porto Alegre: Ed. Da UFRGS, cap. 4, p. 48-61, 1992.

FRITSCHEN, L.J. Accuracy of evapotranspiration determination by the Bowen ratio method. *Journal of Applied Meteorology*, 3, 1965.

GREEN, M.C., FLOCCHINI, R.G., MYRUP, L.O. Use of temporal principal components analysis to determine seasonal periods. *Journal of Applied Meteorology*. v.32, p.986-995, 1993.

HARMAN, Harry H. *Modern factor analysis*. Third Edition Revised. The University of Chicago Press, 1976, Chicago, USA, 487 p.

HEDDINGHAUS, T.R.; KRUEGER, A.F. Annual and interannual variations in outgoing longwave radiation over the tropics. *Monthly Weather Review*, Boston, v.109, n.6, p.1208-1218, 1981.

ISRAELSEN, O.W. & HANSEN, V.E. *Principios y aplicaciones del riego*. 2^o ed. Barcelona, 1965.

JENSEN, M.E. *Consumptive use of water and irrigation water requirements*. New York: ASCE, 1974. 215 p.

JENSEN, M.E.; Burman, R.D.; Allen, R.G. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. New York: ASCE, 1989. 332 p, Manuals an report.

JONES, H. G. & TARDIEU, F. Modelling water relations of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae*, v.74, p. 21-46, 1998.

KAYANO, M.T.; KOUSKY, V.E.; JANOWIAK, J.E. Outgoing longwave radiation biases and their impacts on empirical orthogonal function modes of interannual variability in the tropics. *Journal of Geophysical Research*, New Brunswick, v.100, n.D2, p.3173-3180, 1995.

KLINK, K. & WILLMOTT, C.J. Principal Components of the surface wind field in the United States: A comparison of analyses based upon wind velocity, direction, and speed. *International Journal of Climatology*. Local: v.9, 293-308, 1989

KOUSKY, V.E. & KAYANO, M.T. Principal Modes of Outgoing Longwave Radiation and 250-mb Circulation for the South American Sector. *Journal of Climate*. v.7, p.1131-1143, 1994.

LEITÃO, M.M.V.B.R. Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada. Campina Grande, PB: UFPB, 1989. 110p. Dissertação Mestrado. DCA/CMM - TD No 03.

LOPES, P.M.O., SILVA, B.B., RODRIGUES, M.F.G. Identificação de Grupos Pluviometricamente Homogêneos no Estado do Rio Grande do Norte. *IX CONGRESSO BRASILEIRO de METEOROLOGIA*, 1996, Campos do Jordão.

LORENZ, E.N. Empirical orthogonal function and statistical weather prediction. Sci. Rep. N.1. Cambridge, Massachusetts (EUA). *Statistical Forecasting Project, Department of Meteorology, MIT*, 49p, 1956.

LYRA, R.F.F., NOBRE, C.A., ROCHA, E.P., ROCHA, H.R., SOUSA, S. Efeito do desmatamento sobre a termodinâmica da baixa atmosfera. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Anais 2: 81-84, Belo Horizonte, 1994.

MALDONADO, F.D. et al. Caracterización de câmbios e influencia climática sobre la cobertura vegetal em el semiárido brasileiro mediante Análisis de Componentes Principales. *Revista de Teledetección*, 13: 27-36, 2000.

MARDIA, K.V.; KENT, J.T.; BIBBY, J.M. Multivariate analysis. London: Academic Press, 1979. 521 p.

MATZENAUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.), Agrometeorologia aplicada à irrigação. Porto Alegre: Ed. Da Universidade / UFRGS. Cap.3, p. 31-39, 1992.

MELLO, J.L.P., SEDIYAMA, G.C., PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. Evaporação e evapotranspiração. *Viçosa: UFV*. 1996. 62p.

MOHAN, S. & ARUMUGAM, N. Relative importance of meteorological variables evapotranspiration: factor analysis approach. *Water Resources Management*, 1996.

MONTENY, B. Evapotranspiration de diferents couverts vegetaux in region mediterranéene semi-aride. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.10, p.19-38, 1972.

MORRISON, D.F. Multivariate statistics methods. 2. ed. New York: McGraw Hill, 1976.
415 p.

NATHAN, R.J. & MCMAHONT, T.A. identification of homogeneous regions for the purposes of regionalization. **Journal of Hydrology**. Amsterdam, vol.121, p. 217-238, 1990.

NERY, J.T., SANSIGOLO, C.A., MARTINS, M.L.O.F. Análise de fatores comuns e agrupamentos das temperaturas mínimas de inverno no Estado do Paraná. XI CONGRESSO BRASILEIRO de AGROMETEOROLOGIA, II REUNIÃO LATINO-AMERICANA de AGROMETEOROLOGIA, 1999, Florianópolis. **Anais....** Florianópolis, v.1, p. 1036-1043. 1999.

NORUSIS, R.J. SPSS Base System User's Guide. Chicago, p.520, 1990.

ORTOLANI, A.A., CAMARGO, A.P., NOVA, N.A.V. Correlação entre valores decendiais da evapotranspiração potencial calculados segundo métodos de Penman e de Thornthwaite e dados de evapotranspirômetros, na região de Ribeirão Preto. **Bragantina, Campinas**, p.26-41, 1966.

PANDIZIC, K., KISEGI, M. Principal component analysis of a local precipitation field within the global circulation. **Beitr. Phys. Atmospheric**. V.63, p101-106, 1990.

PANDZIC, K., TRNINIC, D. Principal component analysis of a river basin discharge and precipitation anomaly fields associated with the global circulation. *Hydrometeorological Institute of Croatia, Yugoslavia*, 1991.

PANDZIC, K., TRNINIC, D. Principal component analysis of the annual regime of hydrological and meteorological fields in a river basin. *Hydrometeorological Institute of Croatia, Yugoslavia*, 1990.

PENMAN, H.L. Natural evapotranspiration from open water, base soil and grass. *Rev. Soc. London. Proc. Serv.* 193: 120-451, 1948.

PEREIRA, A.R., NOVA, N.A.V., & SEDIYAMA, G.C. Evapo(transpi)ração. *Piracicaba: FEALQ*, 1997.

PRATES, J.E. Controles Associados à Distribuição Espacial de Precipitação no Verão em Minas Gerais: Aspectos Fisiográficos e Meteorológicos. São Paulo, 1994. 178p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo.

PRUEGER, J.H.; HIPPS, L.E.; COOPPER, D.I. Evaporation and the development of the local boundary layer over an irrigated surface in an arid region. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.78, p.223-237, 1996.

PRUITT, W.O., von OETTINGEN, S., MORGAN, D.L. Central California Evapotranspiration Frequencies. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, New York, v. 98, n. IR- 2, p. 177-184, 1972.

ROSENBERG, N.J. Frequency of potential evapotranspiration rates in Central Great Plains. **Journal of Irrigation and Drainage Division of American Society Civil Engineers**, New York, v.98, n.2, p.203-206, 1972.

RUMMEL, R.J. *Applied factor analysis*. Northwestern University press, USA, 1970. 617 p.

SAAD, J.C.C., SCALOPPI, E.J. Frequência de distribuição de evapotranspiração para dimensionamento de sistemas de irrigação. *In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM*, 8. 1988. Florianópolis, SC.

SENTELHAS, P.S., Estimativa da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática. Piracicaba: ESALQ, 1998. 97p. Tese Doutorado.

SHUTTLEWORTH, W.J., CALER, I.R. Has the Priestley-Taylor equation any relevance to forest evaporation? **Journal of Applied Meteorology**, 18: 639-646, 1979.

SIKKA, D.R., PRASAD, K.D. Empirical orthogonal analysis of 700 mb geopotentials during the summer monsoon over Asia. **Indian Institute of Tropical Meteorology**, Índia, 1981.

SILVA, M.A.V. Evapotranspiração em cultura irrigada no sub-médio São Francisco. *São José dos Campos: INPE*, 1977. 97p. Dissertação Mestrado

SILVA, S.T.A. Influência do El Nino Oscilação Sul na distribuição espacial da precipitação no estado da Paraíba. Campina Grande, 1996. 63p. *Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba.*

TACONET, O., BERNARD, R., VIDAL-NADJAR, D. Evapotranspiration over na agricultural region using a surface flux/temperature model based on NOAA-AVHRR data. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, 25:284-307, 1986.

THORNTHWAITE, C.W. The moisture-factor in climate. *Trans. Am. Geoph. Union*, 27: 41-48, 1944.

VILLA NOVA, N.A. Estudo sobre o balanço de energia em cultura de arroz. Piracicaba, SP: ESALQ-USP, 1973, 78p. Tese de Livre Docência.

VOROSMARTY, C.J., MOORE III, B., GRACE, A.L., GILDA, M.P., MELILLO, J.M., PETERSON, B.J., RASTETTER, E.B., STEUDLES, P.A. Continental- scale models of water balance and fluvial transport: an application to South American. *Global Biogeochemical Cycle*, 1989.

WALISER, D.E; ZHOU, W. F. Removing satellite equatorial crossing time biases from the OLR and HRC databases. **Journal of Climate**, Boston, v.10, n.9, p.2125-2146, 1997.

WONG, S.T. Dimensionally homogeneous and statistically optimal model for predicting mean annual flood. **Journal of Hidrology**, v. 42, p. 269-279, 1979.

ZELLER, Richard A. e CARMINES, Edward G. *Measurements in the social sciences.*

Cambridge University Press, 1980, New York, USA, 197 p.

ANEXO A

Anexo A01. Relação das estações de superfície com dados de temperatura máxima, temperatura mínima do ar, precipitação, umidade relativa, insolação, evaporação e velocidade do vento.

<i>Estações</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Altitude</i>	<i>Período de Estudo</i>
<i>Coruripe</i>	<i>-10,12</i>	<i>-36,17</i>	<i>10</i>	<i>1970 – 1986</i>
<i>Maceió</i>	<i>-9,67</i>	<i>-35,72</i>	<i>45</i>	<i>1995 – 1997</i>
<i>Palmeira dos Índios</i>	<i>-9,4</i>	<i>-36,65</i>	<i>342</i>	<i>1979 – 1990</i>
<i>Pão de Açúcar</i>	<i>-9,73</i>	<i>-37,3</i>	<i>45</i>	<i>1979 – 1990</i>
<i>Porto de Pedras</i>	<i>-9,17</i>	<i>-35,3</i>	<i>22</i>	<i>1975 – 1992</i>
<i>Alagoinhas</i>	<i>-12,13</i>	<i>-38,42</i>	<i>140</i>	<i>1980 – 1990</i>
<i>Barra</i>	<i>-11,08</i>	<i>-43,15</i>	<i>410</i>	<i>1980 – 1990</i>
<i>Barreiras</i>	<i>-11,15</i>	<i>-44,98</i>	<i>435</i>	<i>1980 – 1990</i>
<i>Bom Jesus da Lapa</i>	<i>-13,28</i>	<i>-43,42</i>	<i>435</i>	<i>1980 – 1990</i>
<i>Caetite</i>	<i>-14,07</i>	<i>-42,48</i>	<i>826</i>	<i>1980 – 1990</i>
<i>Canavieiras</i>	<i>-15,4</i>	<i>-39,57</i>	<i>4,74</i>	<i>1980 – 1990</i>
<i>Caravelas</i>	<i>-17,73</i>	<i>-39,25</i>	<i>4</i>	<i>1980 – 1990</i>
<i>Carinhanha</i>	<i>-14,3</i>	<i>-43,77</i>	<i>452</i>	<i>1980 – 1990</i>
<i>Cipó</i>	<i>-11,1</i>	<i>-38,52</i>	<i>131</i>	<i>1980 – 1990</i>
<i>Correntina</i>	<i>-13,33</i>	<i>-44,63</i>	<i>579</i>	<i>1980 – 1990</i>
<i>Guaratinga</i>	<i>-16,57</i>	<i>-39,55</i>	<i>170</i>	<i>1980 – 1990</i>
<i>Ilhéus</i>	<i>-14,8</i>	<i>-39,03</i>	<i>45</i>	<i>1980 – 1990</i>
<i>Irecê</i>	<i>-11,3</i>	<i>-41,87</i>	<i>722</i>	<i>1980 – 1990</i>
<i>Itaberaba</i>	<i>-12,53</i>	<i>-40,3</i>	<i>270</i>	<i>1980 – 1990</i>
<i>Itiruçu</i>	<i>-13,53</i>	<i>-40,13</i>	<i>820</i>	<i>1980 – 1990</i>
<i>Ituaçu</i>	<i>-13,82</i>	<i>-41,3</i>	<i>527</i>	<i>1980 – 1990</i>

<i>Jacobina</i>	-11,18	-40,52	460	1980 – 1990
<i>Lençóis</i>	-12,57	-41,38	394	1980 – 1990
<i>Morro do Chapéu</i>	-11,5	-41,12	1012	1980 – 1990
<i>Paulo Afonso</i>	-9,38	-38,25	250	1980 – 1990
<i>Remanso</i>	-9,65	-42,05	378	1980 – 1990
<i>Salvador</i>	-13,02	-38,52	10	1980 – 1990
<i>Senhor do Bom Fim</i>	-10,47	-40,18	544	1980 – 1990
<i>Serrinha</i>	-11,65	-38,98	377	1980 – 1990
<i>Vitória da Conquista</i>	-14,87	-40,83	928	1980 – 1990
<i>Acaraú</i>	-2,88	-40,12	7	1991 – 1997
<i>Barbalha</i>	-7,32	-39,3	405	1967 – 1990
<i>Campos Sales</i>	-7,08	-40,38	551	1964 – 1990
<i>Cratêus</i>	-5,18	-40,67	275	1964 – 1989
<i>Fortaleza</i>	-3,73	-38,53	26	1961 – 1990
<i>Iguatú</i>	-6,37	-39,3	213	1961 – 1990
<i>Jaguaruana</i>	-4,83	-37,8	15	1970 – 1989
<i>Morada Nova</i>	-5,1	-38,38	50	1963 – 1990
<i>Quixeramobim</i>	-5,2	-39,3	187	1961 – 1991
<i>Sobral</i>	-3,7	-40,35	75	1961 – 1997
<i>Tauá</i>	-6,02	-40,42	356	1964 – 1989
<i>Guaramiranga</i>	-4,28	-39	873	1991 – 1997
<i>Alto Parnaíba</i>	-9,12	-45,93	220	1986 – 1990
<i>Balsas</i>	-7,53	-46,03	235	1986 – 1990
<i>Barra do Corda</i>	-5,5	-45,25	82	1986 – 1990
<i>Carolina</i>	-7,33	-47,47	169	1986 – 1990
<i>Caxias</i>	-4,83	-43,35	63	1986 – 1990
<i>Chapadinha</i>	-3,73	-43,35	130	1986 – 1990
<i>Colinas</i>	-6	-44,23	70	1986 – 1990
<i>Imperatriz</i>	-5,53	-47,48	96	1986 – 1990

<i>São Luis</i>	-2,53	-44,3	30	1986 – 1990
<i>Turiação</i>	-1,68	-45,37	10	1986 – 1989
<i>Zé Doca</i>	-3,23	-45,62	50	1986 – 1990
<i>Água Branca</i>	-7,52	-37,65	710	1973 – 1990
<i>Areia</i>	-6,97	-35,7	445	1992 – 1997
<i>Campina Grande</i>	-7,22	-35,87	508	1963 – 1990
<i>João Pessoa</i>	-7,12	-34,88	5	1961 – 1997
<i>Monteiro</i>	-7,88	-37,12	590	1962 – 1986
<i>Patos</i>	-7,02	-37,28	250	1976 – 1990
<i>São Gonçalo</i>	-6,83	-38,32	235	1961 – 1990
<i>Arcoverde</i>	-8,43	-37,07	663	1973 – 1990
<i>Cabrobó</i>	-8,52	-39,32	350	1969 – 1994
<i>Fernando de Noronha</i>	-3,85	-32,42	57,3	1961 – 1990
<i>Floresta</i>	-8,6	-38,58	317	1961 – 1988
<i>Garanhuns</i>	-8,88	-36,48	866	1964 – 1989
<i>Ouricuri</i>	-7,88	-40,07	432	1975 – 1997
<i>Petrolina</i>	-9,38	-40,5	376	1971 – 1994
<i>Recife</i>	-8,05	-34,92	5	1962 – 1998
<i>Surubim</i>	-7,83	-35,75	380	1961 – 1994
<i>Triunfo</i>	-7,83	-38,12	1010	1961 – 1994
<i>Barra do Gurgueia</i>	-6,92	-43,37	210	1979 – 1990
<i>Bom Jesus</i>	-9,07	-44,35	220	1972 – 1996
<i>Caracol</i>	-9,28	-43,32	556	1975 – 1989
<i>Florianópolis</i>	-6,77	-43,02	85	1975 – 1990
<i>Parnaíba</i>	-2,92	-41,78	15	1971 – 1990
<i>Paulistana</i>	-8,13	-41,15	350	1976 – 1990
<i>Picos</i>	-7,08	-41,47	195	1966 – 1997
<i>Teresina</i>	-5,08	-42,82	72	1961 – 1997
<i>Apodi</i>	-5,67	-37,8	305	1964 – 1990

<i>Ceará Mirim</i>	-5,63	-35,43	40	1968 – 1990
<i>Cruzeta</i>	-6,42	-36,78	140	1968 – 1990
<i>Floriana</i>	-6,12	-36,82	210	1963 – 1990
<i>Macau</i>	-5,12	-36,63	2	1961 – 1990
<i>Mossoró</i>	-5,2	-37,35	15	1970 – 1990
<i>Natal</i>	-5,8	-35,22	8	1983 – 1997
<i>Aracaju</i>	-10,92	-37,05	3	1980 – 1990
<i>Itabaianinha</i>	-11,27	-37,78	225	1980 – 1990
<i>Propriá</i>	-10,22	-36,83	17	1980 – 1990