



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA ÁGUA PRECIPITÁVEL
NA ATMOSFERA UTILIZANDO DADOS DO ERA – INTERIM/ECMWF**

DANILO ERICKSEN COSTA CABRAL

CAMPINA GRANDE – PB

2018

DANILO ERICKSEN COSTA CABRAL

ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA ÁGUA PRECIPITÁVEL NA
ATMOSFERA UTILIZANDO DADOS DO ERA – INTERIM/ECMWF

Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala

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

Orientador: Prof. Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti

CAMPINA GRANDE – PB

2018

- C117a Cabral, Danilo Ericksen Costa.
Análise da variabilidade espaço-temporal da água precipitável na atmosfera utilizando dados do ERA-Interim/ECMWF / Danilo Ericksen Costa Cabral. – Campina Grande, 2018.
58 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2017.
"Orientação: Prof. Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti".
Referências.
1. Água Precipitável. 2. Reanálises. 3. ERA-Interim/ECMWF. 4. Tendência Climática. 5. Vapor D'Água. I. Cavalcanti, Enilson Palmeira. II. Título.

CDU 551.577.2(043)

DANILO ERICKSEN COSTA CABRAL

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA ÁGUA PRECIPITÁVEL NA
ATMOSFERA UTILIZANDO DADOS DO ERA - INTERIM/ECMWF

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 22/12/2017

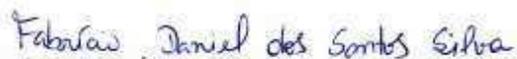
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. MADSON TAVARES SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. FABRÍCIO DANIEL DOS SANTOS SILVA
Instituto de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Alagoas

DEDICATÓRIA

Á Deus arquiteto do universo que me concedeu forças e sabedoria para que eu pudesse concluir meus objetivos ultrapassando qualquer barreira de dificuldades que surgiu no meu caminho.

Aos meus pais, Jeová Cabral e Socorro Costa, pelo apoio durante todos esses anos, no qual me ensinaram a honestidade e humildade sempre através dos estudos. Aos meus irmãos pela confiança e apoio.

A Minha esposa Herika pelo incentivo e amor que nunca faltou. Ao meu filho Antony Cabral sentido de minha vida.

Ao meu orientador, prof. Dr.Enilson Palmeira Cavalcanti, por todo o aprendizado, paciência e crescimento profissional durante todo o mestrado.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus,

Pela força dada nos momentos difíceis desta caminhada.

Aos meus Pais,

Jeová Cabral e Socorro Costa,

pelo amor, carinho e educação dados em toda minha vida.

A Herika Rodrigues,

Pelo amor, companheirismo e incentivo.

Ao meu orientador,

Enilson Pereira Cavalcanti,

pela paciência e orientação na realização deste trabalho.

Aos professores da banca,

Madson Tavares, Manoel Gomes Filho e Fabrício Daniel,

Pela honra em examinar o trabalho.

A todos os professores do DCA,

Com quem aprendi a ser o profissional que sou.

Ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia,

Pela oportunidade de realizar o curso.

A todos os amigos

Leydson, Rafinha, Everson, Lindenberg, Andre e Flaviano,

Pelos bons momentos.

Enfim,

A todos que contribuíram de alguma forma com esse trabalho.

“As nuvens mudam sempre de posição, mas são sempre nuvens no céu. Assim devemos ser todo dia, mutantes, porém leais com o que pensamos e sonhamos; lembre-se, tudo se desmancha no ar, menos os pensamentos”.

(Paulo Beleki)

“A persistência é o menor caminho do êxito”.

(Charles Chaplin)

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito.
Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.*

(Marthin Luther King)

RESUMO

Analisou-se neste estudo a tendência anual e a média global da Água Precipitável (AP) no período de 1986 a 2016. Foram utilizados dados extraídos das reanálises do *ERA-Interim/European Center for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). A partir destes dados avaliou-se a distribuição espacial da tendência de Água Precipitável. Para a análise da tendência climática aplicou-se testes estatísticos de Mann-Kendall e t de Student observando-se o comportamento das séries globais. Para a variável AP, foi encontrado o valor médio de 24,4mm para todo o período, correspondendo a um volume estimado para toda a atmosfera. Os resultados apontam tendências significativas de 0,0246; 0,0121 e 0,0203 mm/ano para o HN; HS e todo o Globo, respectivamente. Foi observada uma tendência positiva para algumas áreas do globo bem como outras negativas, resultando em uma distribuição não homogênea, denotando-se uma provável tendência de aumento do vapor d'água no globo.

Palavras-chaves: Água Precipitável, Reanálises, ERA-Interim/ECMWF, Tendência Climática, Vapor D'Água.

ABSTRACT

In this study was analyzed the annual trend and the global mean of Precipitation Water (WP) from 1986 to 2016. Data extracted from the ERA-Interim / European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) reanalysis were used. From these data was evaluated the Precipitation Water tendency spatial distribution. For the analysis of the climatic trend, Mann-Kendall and t-Student statistical tests were applied, observing the behavior of the global series. For the WP variable was found the average value of 24.4 mm for the whole period, corresponding to estimated volume for the whole atmosphere. The results indicate significant trends of 0.0246, 0.0121 and 0.0203 mm /year for HN; HS and the whole Globe, respectively. A positive trend was observed for some areas of globe as well as negative values, resulting the not homogeneous distribution, denoting a probable tendency to increase water vapor in the globe.

Keywords: Precipitation Water, Reanalysis, ERA-Interim / ECMWF, Climate Trend, Water Vapor.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABELAS.....	12
LISTA DE SIGLAS.....	13
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	17
3.1. ÁGUA PRECIPITÁVEL.....	17
3.2. REANÁLISES.....	20
3.3. TESTESESTATÍSTICOS.....	22
3.3.1. TESTE DE ESTACIONARIEDADE DE DIKEY – FULLER.....	22
3.3.2. TESTE DE MANN – KENDALL.....	23
3.3.3. TESTE DE PETTITT.....	25
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1.ÁREA DE ESTUDO E DADOS UTILIZADOS.....	28
4.2. METODOLOGIA.....	28
4.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	29
4.3.1 TESTES DE ESTACIONARIEDADE.....	30
4.3.2 TESTE DE NORMALIDADE.....	31
4.4. SOFTWARES UTILIZADOS.....	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1. VARIAÇÃO MENSAL DE ÁGUA PRECIPITÁVEL.....	35
5.2. TESTE DE RAIZ UNITÁRIA.....	39
5.3. TESTE DE NORMALIDADE SHAPIRO – WILK.....	39
5.4. TETES DE MANN KENDALL (MK) E PETTITT.....	40
6. CONCLUSÃO.....	50
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Globo Terrestre dividido por seus Hemisférios.....	28
FIGURA 2. Água Precipitável (AP) para todo o Globo.....	36
FIGURA 3. Água Precipitável (AP) para o Hemisfério Norte (HN).....	37
FIGURA 4. Água precipitável (AP) para o Hemisfério Sul (HS).....	38
FIGURA 1: Distribuição sazonal de AP media para o HN; HS, e todo o Globo.....	38
FIGURA 6. AP (mm) media Global anual para o período de 1986 a 2016.....	42
FIGURA 7. AP (mm) media HN anual para o período de 1986 a 2016.....	42
FIGURA 8. AP (mm) media HS anual para o período de 1986 a 2016.....	43
FIGURA 2. Variação interanual de AP para o Globo no período de 1986 a 2016.....	45
FIGURA 10. Variação interanual de AP para o HN no período de 1986 a 2016.....	45
FIGURA 11. Variação interanual de AP para o HS no período de 1986 a 2016.....	46
FIGURA 12. Variação sazonal de água precipitável (mm) global para duas décadas distintas: a) 1986 – 1996 e b) 2006 – 2016.....	47
FIGURA 13. Variação sazonal de água precipitável (mm) H.N para duas décadas distintas: a) 1986 – 1996 e b) 2006 – 2016.....	48
FIGURA 14. Variação sazonal de água precipitável (mm) H.S para duas décadas distintas: a) 1986 – 1996 e b) 2006 – 2016.....	48
FIGURA 15. Espacialização da tendência da água precipitável do período (10^{-2} mm/ano)	49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Análise descritiva do teste de Dick-Fuller (estacionariedade).....	38
TABELA 2. Análise da normalidade.....	39
TABELA 3. Análise descritiva do teste de Mann-Kendall avaliando a tendência de AP (mm) para o H.N, H.S e Globo.....	41
TABELA 4. Análise descritiva do teste de Pettitt avaliando a mudança brusca de AP (mm) para o H.N, H.S e Globo.....	43

LISTA DE SIGLAS

ADF - Dickey-Fuller Aumentado

AP- Agua Precipitável

BRAMS- *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System*

CFSR - *Climate Forcast Reanalysis System*

DFA -*Detrended Fluctuation Analysis*

ECMWF- *European Center for Medium-Range Weather Forecasts*

ENOS -El Niño-Oscilação Sul

ERA- Europe Reanalyse Assimilation

EUA- Estados Unidos da América

Grads- *Grid Analysis and Display System*

GPS- *Global Positioning System*

HN- Hemisfério Norte

HS- Hemisfério Sul

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

MERRA - *Global Modeling and Assimilation Office*

MK – Mann Kendall

NCAR - *National Center for Atmospheric Research*

NCEP- *National Centers for Environmental Prediction*

NEB - Nordeste do Brasil

OMM-Organização Meteorológica Mundial

RAMS- *Regional Atmospheric Modeling System*

TSM - Temperaturas da Superfície do Mar

UFV- Universidade Federal de Viçosa

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

1. INTRODUÇÃO

A água é única dentre as moléculas que compõem a atmosfera, devido sua capacidade de mudar de fase em temperaturas terrestres. Isto significa que a água pode transferir energia de sua forma congelada nos pólos, para sua fase líquida e vaporizada na atmosfera. A distribuição da água na atmosfera varia fortemente com o tempo, posição geográfica ou altitude, podendo ser transportada pelos ventos, difundindo-se na estratosfera, onde pode exercer certa influência na destruição da camada de ozônio (Maurellis et al., 2003).

O vapor d'água desempenha um papel de grande importância na transferência de calor e massa através dos processos energéticos da atmosfera, liberação de calor latente e interações no fluxo de radiação. É responsável por 70% da absorção conhecida de energia solar, particularmente na região infravermelha do espectro, fazendo-se presente em toda a região visível do espectro, muito embora esta seja menos intensa em comprimentos curtos de ondas. O vapor d'água é considerado também um dos gases causadores do efeito estufa, capaz de absorver a radiação proveniente da superfície, provocando assim, um aquecimento da atmosfera. (Webster, 1994; Serreze et al., 1995).

Acompanhar o vapor d'água na atmosfera é de extrema importância para a Meteorologia, pois a umidade em determinadas áreas, serve como indicativo de eventos atmosféricos que tendem a se desenvolver, dependendo do estado dinâmico da região onde se encontra essa concentração de vapor. Apresenta maior concentração próxima ao equador e decrescendo em direção aos pólos, com variação vertical de forma exponencial, com maior acúmulo nos primeiros 5 km de altitude. Pode-se calcular esta concentração de vapor por meio da integração vertical da umidade específica, obtendo-se um parâmetro denominado de água precipitável, que segundo Tomasi (1981) é definida como a quantidade de água que poderia ser coletada, se todo vapor d'água existente numa coluna de ar atmosférico, fosse condensado e usado para precipitação. Na previsão de tempo de curto prazo, como a água precipitável é observada em grande quantidade na atmosfera, pode ser um indicador de tempestades, quando esses valores geram convecção, de acordo com a instabilidade e a dinâmica do local.

Segundo Peixoto e Oort (1992), a água no globo é distribuída em três reservatórios básicos: oceanos, continentes e atmosfera. Ao considerar desta forma, $1.350 \times 10^{15} \text{ m}^3$ de água (cerca de 97% do volume total d'água da hidrosfera), estão contidos nos oceanos, enquanto $33,6 \times 10^{15} \text{ m}^3$ (cerca de 2,4%) se encontram nos continentes, incluindo as regiões glaciais

Ártica e Antártica. A atmosfera contém $0,013 \times 10^{15} \text{ m}^3$ ou somente 0,001% do total, percentual este que, embora pequeno, representa um volume em torno de 13 trilhões de metros cúbicos. Sobre os continentes, a água é distribuída em reservatórios secundários, da seguinte forma: regiões glaciais $25 \times 10^{15} \text{ m}^3$; água subterrânea $8,4 \times 10^{15} \text{ m}^3$; lagos e rios $0,2 \times 10^{15} \text{ m}^3$ e, finalmente, na biosfera, $0,0006 \times 10^{15} \text{ m}^3$. O volume de água na forma de gelo polar é expressivo, correspondendo a 1,8% de toda a água contida na hidrosfera. Dada a extensão oceânica, o volume d'água evaporada é, em m^3 /ano, aproximadamente 6 vezes a evapotranspiração dos continentes, ao passo que a precipitação oceânica representa cerca de 3 vezes a precipitação nos continentes.

Segundo Howarth (1983) considerando-se que a água precipitável média global é de 25 mm e que a precipitação média global é de 1.000 mm/ano, verifica-se que o tempo de permanência da água na atmosfera é de aproximadamente 9 a 10 dias. Se o calor latente de condensação for tomado como $2,5 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$, a quantidade de energia liberada na atmosfera será de aproximadamente $1,28 \times 10^{24} \text{ J ano}^{-1}$, equivalente a 35% da energia solar absorvida pelo sistema terra-atmosfera no mesmo período.

Vários estudos buscam avaliar a qualidade das informações de água precipitável (AP) fornecidas pelas reanálises com informações obtidas de dados observados e/ou gerados por outros modelos numéricos da atmosfera e normalmente ressaltam a boa qualidade destas (Higgins et al. 1996; Mo e Higgins, 1996; Sudradjat et al. 2005; Vey et al. 2010; Koulali et al. 2012).

Vey et al. (2010) observaram que sobre a Europa e grande parte da América do Norte, o ciclo sazonal e as variações interanuais na AP de *global positioning system* (GPS) e do *Nacional Centers for Environmental Prediction* (NCEP) concordam muito bem. Segundo os autores, nas regiões acima mencionadas, NCEP fornece uma base de dados altamente precisos para estudos de longo prazo de alterações no vapor d'água atmosférico. No entanto, no Hemisfério Sul grandes diferenças foram encontradas nos sinais sazonais e de anomalias de AP entre GPS e NCEP.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral foi analisar aspectos climáticos do armazenamento de água precipitável (AP) na atmosfera terrestre a partir de informações das médias mensais de AP obtidas das reanálises do *ERA-Interim/European Center for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), observando-se possíveis tendências climáticas, para o Hemisfério Norte, Hemisfério Sul e o Globo.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter séries temporais da média anual de água precipitável e analisar se houve aumento (diminuição) da variável.
- Analisar a tendência de AP, separando os dados em duas décadas (de 1986-1996 e 2006-2016) através de gráfico, tabelas e figuras, visando-se buscar evidências acerca de provável aumento (diminuição) da AP.
- Avaliar os resultados obtidos da variável AP, visando obter uma futura contribuição para as previsões climáticas do planeta.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ÁGUA PRECIPITÁVEL

O termo AP não deve ser considerado como a quantidade de água que pode ser precipitada mediante um processo físico qualquer. Para fins práticos, entretanto, a AP contida na troposfera pode ser considerada como a quantidade do vapor d'água disponível para o processo da precipitação (Benwell. 1965).

Peixoto (1973) mostra em seus trabalhos, que a variação do vapor d'água na atmosfera depende da transferência da energia térmica existente no ambiente. Variações espacial e temporal apresentam valores que vão de 0 a 0,6% aproximadamente numa coluna de ar. Quando este vapor é transferido nas duas direções (vertical/horizontal) da atmosfera, é fundamental para manter o equilíbrio da umidade local.

Segundo Marques et al. (1979), a AP existente em uma coluna vertical da atmosfera é, por definição, a massa total de água que seria obtida se todo o vapor d'água da coluna de área unitária se condensasse em um plano horizontal. De um modo mais genérico, a água precipitável representa o armazenamento atmosférico de água sobre uma dada região.

Analisando aspectos da distribuição espacial e da variação interanual da AP, do transporte de vapor d'água atmosférico e do balanço d'água para a atmosfera da região Nordeste do Brasil (NEB) Cavalcanti et al. (2002) escolheu o trimestre março-abril-maio, período de maior contribuição para o total anual de chuvas no norte e leste da região, para avaliar a variação interanual dos parâmetros atmosféricos, comparando anos contrastantes como 1983 (seco) e 1986 (chuvoso). O modelo *Regional Atmospheric Modeling System (RAMS)* foi utilizado para a simulação dos campos de AP e do fluxo de vapor d'água. Os resultados revelaram variações da AP associadas a orografia da região. O fluxo de vapor d'água integrado verticalmente evidenciou uma relação da componente meridional com as chuvas no norte da região. Em 1986 (chuvoso), observou-se a importação de vapor d'água de 1,7 mm/dia, enquanto, em 1983 (seco), foi observada uma exportação de 1,8 mm/dia. O modelo RAMS mostrou-se eficiente para o estudo do teor e transporte de vapor d'água na atmosfera do NEB e credencia-se como importante ferramenta para estudos futuros.

Cavalcanti et al. (2008), analisaram a precipitação, a evapotranspiração e o resíduo (ET-P) para três áreas de controle de 10 por 10 graus de latitude e longitude sobre as regiões Nordeste, Norte e Sudeste do Brasil. As análises foram feitas a partir dos dados de reanálises

mensais do NCAR/NCEP, para o período de 1958 a 1998. Foi calculado o fluxo de vapor d'água resultante e comparado com o resíduo. Observou-se uma boa correlação entre o resíduo e o fluxo de vapor d'água resultante, com coeficientes de determinação de 0,86, 0,84 e 0,74 para as áreas Nordeste, Norte e Sudeste, respectivamente.

O vapor d'água é o principal elemento natural existente na atmosfera gerador do chamado efeito estufa, em razão de sua capacidade em armazenar calor. A maior parte dos estudos sobre aquecimento global relacionado aos chamados gases do efeito estufa está centrada na emissão de gases poluentes em áreas urbanizadas. Doriguuello Tomás et al. (2012) com o intuito de abordar a concentração de vapor d'água na atmosfera em áreas urbanas e as implicações destas para com este elemento utilizou dados referentes a registros de umidade específica, em razão de ser o modo mais eficaz de se registrar o real montante de umidade existente na atmosfera. Identificou-se tendência de aumento de concentração de vapor d'água na atmosfera de área urbana, sendo a sua evolução influenciada pela manifestação da brisa marítima, evaporação d'água das represas e pela urbanização. Contudo, não deixa de estarem subordinadas as condições mesoclimáticas que vigoram na região.

Neves et al. (2013), utilizaram dados de reanálise de AP, do *Climate Forecast Reanalysis System* (CFSR) para identificar o início da estação chuvosa. Durante a primavera, entre os meses de outubro e novembro, foi observado um aumento gradual na quantidade de AP na atmosfera em algumas regiões, levando a uma diminuição do fluxo de calor sensível, devido ao fato que a radiação solar atua mais na evaporação do que para aquecer as superfícies.

Wanderley (2014) realizou uma análise para os níveis béricos atmosféricos de 700, 500 e 300 hPa, sendo selecionadas informações provenientes de radiossondagens, que apresentaram dados contínuos entre os anos de 1980 a 2010. Os resultados mostram que a concentração de vapor de água troposférica, para os níveis analisados, apresentou características distintas em sua distribuição espacial e temporal. Para regiões como o Ártico, América do Norte, Caribe e norte da América do Sul foi possível identificar a predominância de tendência positiva na concentração de vapor de água no nível de 700 hPa, sendo em várias análises, observada significância estatística. Tendências negativas neste nível foram identificadas no sudoeste dos EUA, México e sul da América do Sul. Para os níveis de 500 hPa, foi observado um aumento do número de estações que apresentaram tendência positiva estatisticamente significativa sobre a América do Norte e Ártico. Em 300 hPa, a predominância

das estações com tendência positiva (negativa), com significância estatística, foi observada sobre a região do Caribe (sul dos EUA). A verificação da homogeneidade do vapor de água atmosférico mostrou em algumas estações de medição, a existência de mudança abrupta em sua distribuição, com a predominância de aumento na concentração de vapor de água após o ano indicado como sendo o de mudança, em todos os níveis em análise.

Para estudar a tendência climática anual da precipitação e seu aproveitamento para fins não potáveis em região da Amazônia Ocidental brasileira, Delgado et al. (2014), utilizaram dados pluviométricos compreendidos entre o período de 1960 a 2013. Para sua captação considerou-se as áreas de telhados das edificações prediais da Universidade Federal do Acre – Campus Floresta (CF). Calcularam-se as precipitações médias mensais e suas respectivas probabilidades de ocorrência de 75%, 85% e 95%. Foi detectada leve tendência positiva dos dados pluviométricos ao aplicar o teste de Mann-Kendall. O teste de Pettitt não foi significativo para esta série de precipitação. Foi verificada redução significativa para a estação chuvosa amazônica. A estação seca teve uma redução do seu período mais seco, o que tudo indica uma mudança no comportamento e na sazonalidade da precipitação na região. Aproveitar mensalmente as precipitações é suficiente para manter de 96,45% a 70,89% da demanda hídrica do CF.

O vapor de água desempenha um papel importante na condução de circulações atmosféricas por meio da liberação de calor latente e na determinação do saldo de radiação do planeta. O feedback do vapor de água é o mais importante em nosso sistema climático, com capacidade de dobrar o aquecimento direto do aumento de gases de efeito estufa, sendo um dos mais importantes constituintes atmosféricos necessários para o estudo das mudanças climáticas, principalmente para a região Ártica. Deste modo, com o objetivo de analisar a existência de tendência na concentração de vapor de água na Groenlândia Wanderley et al. (2015) viu que os resultados mostram que todos os meses apresentam tendência para o aumento do vapor de água na atmosfera, com tendência estatisticamente significativa para os meses de janeiro, março, abril e dezembro nos níveis analisados.

Cavalcanti e Mariano. (2016), aplicaram os testes de significância estatísticas de Mann-Kendall e t de Student para as tendências das séries globais nos dados extraídos das reanálises do NCEP/NCAR para analisar a tendência anual da AP média global no período de 1984 a 2014. Observou-se que o valor médio de AP para todo o período é de 24 mm correspondendo a um volume estimado para toda a atmosfera do globo de cerca de 12 trilhões

de metros cúbicos. Os resultados apontam tendências significativas de 0,026; 0,013 e 0,019 mm/ano para o H.N.; H.S. e todo o Globo, respectivamente. Áreas específicas do globo apontam tendências positivas de 0,09 mm/ano e outras negativas de até -0,09 mm/ano demonstrando assim uma distribuição não homogênea dessa tendência no globo.

3.2 REANÁLISES

Considerado um dos mais importantes centros de pesquisas e desenvolvimentos em previsão numérica do tempo, o Centro Europeu de Previsão do Tempo (ECMWF, do inglês European Centre for Medium-Range Weather Forecast), vêm desde 1979 fornecendo arquivos de análises e previsões que tem sido uma importante fonte de dados para pesquisadores (ALMEIDA et al., 2012). Dentre os projetos desenvolvidos pelo ECMWF, estão os projetos de re-análise atmosférica global, os projetos ERA-40, ERA-15 e o ERA-Interim.

O ERA-Interim é a mais recente re-análise atmosférica global produzida pelo ECMWF, recobrando o período desde 1o de janeiro de 1989 até os dias atuais e ainda em desenvolvimento para em breve fornecer dados quase em tempo real. O ERA-Interim é considerado pela ECMWF, o mais ambicioso projeto de reanálise por eles desenvolvido. O objetivo primário do ERA-Interim é a correção de problemas de difícil assimilação de dados encontrados durante a produção do ERA-40, relatados principalmente com a representação do ciclo hidrológico, a qualidade da circulação estratosférica e a consistência no tempo de campos geofísicos novamente analisados. O segundo objetivo é o de melhorar o projeto em vários aspectos técnicos das reanálises, tais como seleção de dados, controle de qualidade, correção de viés e monitoramento de desempenho, cada um dos quais podendo ocasionar grande impacto sobre a qualidade dos produtos das reanálises (DEE et al., 2011).

Quadro et al. (2012) utilizaram seis conjuntos de reanálises atmosféricas (MERRA, ERA-Interim, ERA-40, NCEP 1, NCEP 2 e NCEP CFSR) para documentar as principais características da precipitação associada à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), viu que houve evidencia no avanço das novas reanálises na tentativa de representar de forma mais adequada a variável precipitação acumulada. Os diagramas de Taylor mostram que os produtos de precipitação estão bem correlacionados com o ponto de referência, com coeficientes entre 0,6 e 0,9.

Júnior et al. (2013) utilizaram o modelo de área limitada, *Regional Atmospheric Modelling System* (RAMS 6.0), forçado pela reanálise ERA-Interim, para simular a densidade

do ar e a velocidade do vento em diferentes níveis atmosféricos. Foi observado que o desempenho do modelo mostrou que apesar de superestimar os dados observados, o índice de concordância de Wilmott e o coeficiente de correlação apresentam valores que variaram de moderado ($0,40 < r < 0,69$) a forte ($0,70 < r < 0,89$). Com isso, concluiu-se que o desempenho do modelo foi satisfatório, mostrando ser uma possível ferramenta para futuras rotinas operacionais de previsão dos recursos eólicos.

Da Silva et al. (2014), para quantificar as passagens de frentes frias na Região Sul de Minas Gerais, utilizaram as variáveis atmosféricas temperatura do ar a 2 m de altura, pressão ao nível médio do mar e a componente meridional do vento a 10 metros de altura da reanálise ERA-Interim do (ECMWF) verificando a influência das passagens frontais frias na precipitação sazonal e ocorrência de geadas. Em média anual, há a passagem de 27 frentes na região observada, sendo a primavera e o inverno as estações com maior ocorrência de frentes frias.

Rocha et al. (2016), com o intuito de estudar os ciclones e os padrões de circulação atmosférica a eles associados no Oceano Atlântico Sul, próximo à costa das Regiões Sul e Sudeste do Brasil, usando dados da Reanálise ERA-Interim, observaram que em média ocorreram 17 casos de ciclones entre os meses de outubro a abril e que o período de vida dentro da região de estudo chegou até a 8 dias em alguns casos. O período de out/08 a abr/09 chama atenção por ter apresentado 27 casos. O estudo de caso mostrou uma aplicação da ferramenta desenvolvida que pode ter utilidade no aperfeiçoamento dos modelos numéricos de previsão desse tipo de sistema meteorológico.

Stüker et al. (2016), para localização de regiões com ventos confiáveis para a implantação de um parque eólico, devido a não existência de uma densidade de dados válidos que sirvam de garantia de eficiência do parque, utilizaram dados de reanálises meteorológicas como entrada para o desenvolvimento de modelos regionais de alta resolução. Apresentou um estudo de comparação de dois conjuntos de dados de vento de Reanálises meteorológicas – ERA-Interim e CFSR - com dados medidos nas estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia, e viu que Os resultados demonstraram que os dados, tanto do ERA-Interim quanto do CFSR, representam de forma satisfatória os dados das estações do INMET para a magnitude do vento com um coeficiente de correlação médio maior que 0,6965.

3.3 TESTES ESTATÍSTICOS

3.3.1 TESTE DE ESTACIONARIEDADE DICKEY-FULLER

Um importante teste que serve para observar a estacionariedade das series temporais e o teste Dickey Fuller.

Segundo Nascimento (2013), o conceito de estacionariedade é importante, pois quando a série está estacionária, as propriedades estatísticas como média, variância e autocorrelação observadas no passado são as mesmas no futuro.

Para comprovar se a série histórica de precipitação é estacionária, Galvani et al. (2012) aplicou o teste de Dickey Fuller. Utilizaram de métodos estatísticos como *Boxplot* e histograma de frequência para avaliar a variabilidade e, função de autocorrelação para comprovar a presença ou não de tendência. Os resultados indicam que o posto denominado de F4-028 apresentou média de precipitação de 1.956,0 mm, e os postos F4-029 e F4-040, 2.300,7 mm e 2.868,8 mm, respectivamente. A função de autocorrelação aplicada aos três postos pluviométricos indica que os valores decaem para zero, evidenciando uma série estacionária, mas com sazonalidade. O teste Dickey Fuller indica que as três séries analisadas são estacionárias, sem tendência de acréscimo ou redução das precipitações.

Pereira et al. (2015) utilizaram as funções para comprovar a presença de tendência e estacionariedade nos dados através do teste Dickey-Fuller, decompondo a série em duas componentes de tendência, sendo elas a sazonalidade e uma parte aleatória. Os autores analisaram que houve uma tendência de queda da temperatura média do ar entre os anos de 1988 a 1989, em uma taxa de 1,68 °C de um ano para outro. Além disso, o ano de 1990 apresentou a menor temperatura média do ar e que, entre os anos de 1974 e 1989, apresentaram uma diminuição da temperatura.

Costa et al. (2015), aplicaram o teste Dickey Fuller para comprovar a presença de tendência e estacionariedade nos dados, com o objetivo de apresentar um estudo da aplicação de modelos de séries temporais na análise de precipitação para o brejo paraibano, utilizando a descrição, o ajuste de modelo e a previsão da série. A precipitação apresentou comportamento de forma muito irregular, devido à sazonalidade. Ainda foi feita análise de séries temporais aplicando os modelos de Box-Jenkins para realização de previsões. E foi certificado que o melhor método para o ajuste da série e previsão foi descrito pelo modelo SARIMA, o qual obteve um bom ajuste para a variável em estudo.

3.3.2 TESTE DE MANN - KENDALL

Goossens e Berger (1987) afirmaram que o teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall é o método que melhor avalia e analisa possíveis mudanças climáticas em séries temporais climatológicas, ela indicando aproximadamente o período ou local inicial de determinada tendência.

Back (2001) fez uma análise da série histórica de 1924 a 1998 de precipitação pluvial e temperatura média do ar à superfície, da estação meteorológica de Urussanga, empregou a análise de regressão e os testes paramétricos de Run, Mann-Kendall e Pettitt, mostrando que houve tendência significativa no aumento da temperatura média anual e na temperatura média do mês de janeiro, no ano de 1965. Não foi identificada nenhuma tendência significativa na temperatura média do mês de julho. Também foi identificada a tendência significativa de aumento da precipitação pluvial total anual, e da precipitação pluvial total no quarto trimestre.

Zhai et al. (2005) usaram a técnica dos 95% dos percentis da precipitação diária no período de 1961-1990 na China, visando encontrar, através dos percentis, os valores usados para a definição de precipitações extremas diárias, o que variam de 20 mm a 40 mm na maior parte do leste e acima de 40mm na costa sudeste da China. Encontraram que em geral o número de dias de chuva tem diminuído, porém, a intensidade das chuvas diárias tem aumentado.

Folhes et al. (2006) estudando a série temporal da precipitação e da temperatura do ar em Taubaté (SP), entre 1983 a 2005, utilizaram teste não paramétrico sazonal de Mann-Kendall para apontar possíveis tendências de aumento das chuvas no mês de novembro, redução em abril e uma diminuição do número de dias por ano sem precipitação. Foi observado que o início da estação chuvosa em Taubaté ocorre em meados de setembro e o final acontece em meados de abril.

Limeira (2008), utilizou séries temporais de precipitação pluviométrica de 54 municípios para estimar a variabilidade e a tendência das chuvas no Estado da Paraíba, além de modelos matemáticos do desvio acumulado e o teste estatístico de Mann-Kendall, em vários municípios, com destaque para a microrregião do Brejo, que apresentou tendência crescente de chuva em todos os municípios analisados. Já para as microrregiões do Alto Sertão, Sertão e Cariri, os resultados foram coerentes, visto que essas microrregiões são susceptíveis a ocorrência de eventos climáticos extremos de chuva e de seca.

Rodrigues et al. (2010), para mostra que o crescimento urbano de Viçosa vem causando impactos no comportamento climático local, coletaram informações de órgãos públicos e dados climáticos junto à estação meteorológica do INMET instalada na UFV. Por meio da normalização das variáveis climáticas e do teste Mann-Kendall, foram observados que as temperaturas mínimas estão apresentando tendências, enquanto que temperaturas máximas, não apresentaram grandes alterações em seus padrões. Observou-se que as temperaturas médias de Viçosa, Região Sudeste do Brasil e Minas Gerais apresentam forte correlação e por meio do teste “t” de student mostrou estatisticamente significativo a níveis de significância de 10%, 5% e 1%, e que os desvios positivos das temperaturas mínimas são influenciados pelas pressões de vapor e de saturação.

Sousa et al. (2013), Observaram as escalas temporais e os mecanismos meteorológicos que exercem influência sobre a variabilidade pluviométrica das sub- bacias do rio Jaguaribe, utilizando o teste de Mann-Kendall para detectar tendências hidroclimáticas. Os resultados das análises indicaram que principalmente a variabilidade sazonal, interanual ligada ao ciclo de El Niño Oscilação-Sul e a variabilidade decadal influenciaram na variabilidade pluviométrica de toda a bacia hidrográfica.

Silva et al. (2013), utilizaram dados de precipitação, temperatura máxima e mínima para o período de 1961-2010 para o Estado de Alagoas, Submetendo as séries aos testes de Mann – Kendal e T- Student para identificar tendências e verificar se a ou não significância estatística, observaram que o norte do estado de Alagoas apresentou tendência de diminuição das precipitações e de aumento das temperaturas máximas.

Lopez et al.(2013) utilizaram o teste de Mann-Kendal para detectar tendências em séries, especialmente de temperatura e precipitação, em oito macrorregiões do Estado do Ceará. Observou que em todas as oito macrorregiões as tendências indicam diminuição/aumento com significância estatística para as precipitações em todos os parâmetros analisados.

Ferreira et al. (2015) aplicaram a análise de regressão simples e o teste não paramétrico de Mann-Kendall para a cidade de Juiz de Fora, usando a série histórica de 1972 a 2014 de temperatura máxima e mínima do ar indicam tendência significativa no aumento da temperatura máxima anual e nos meses de abril, setembro e dezembro, mas não houve tendência a aumento linear da temperatura mínima anual ou mensal.

Analisando as tendências temporais da precipitação, e da temperatura média no Brasil, utilizando o método Mann-Kendall, Salviano et al. (2016) observaram tendências não significativas em mais de 70% do território brasileiro em todos os meses na precipitação. Porém a temperatura média apresentou tendência positiva significativa em grande parte do Brasil ao longo de todo ano. A evapotranspiração apresentou um comportamento diretamente proporcional à temperatura, enquanto que a umidade relativa apresentou comportamento inversamente proporcional.

Ferreira et al. (2016) Observaram o comportamento das temperaturas da superfície do mar (TSM) nas áreas dos Niños no Oceano Pacífico e nas áreas correspondente ao Dipolo (N-S), no oceano Atlântico, durante o período de 1982 a 2014, e utilizaram o teste não-paramétrico de Mann Kendall para avaliar as tendências das séries temporais aos níveis de 1 e 5% de probabilidades. E de acordo com o teste, apenas as áreas do Atlântico Norte e do Dipolo apresentaram uma tendência crescente, ao nível de significância de 1%.

Piazza et al. (2016), determinaram as tendências dos dados de precipitação das estações pluviométricas do entorno da bacia hidrográfica do Ribeirão Concórdia, no município de Lontras, Santa Catarina utilizando três testes de aferição de tendências: o da análise da linha de tendência, o teste Mann-Kendall e a técnica da DFA (Detrended Fluctuation Analysis), além de uma correlação com índices do clima global. Foram encontradas tendências positivas para grande parte das estações analisadas por ambos os métodos (16 de 20), com significância para 11 estações. Não foi encontrada correlação entre os dados pluviométricos e os índices globais na área analisada.

3.3.3 TESTE DE PETTITT

Para detectar tendências e variações climáticas nas séries mensais de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) do Estado de São Paulo, Blain et al.(2011) utilizaram a metodologia dos métodos paramétricos (teste t, F e razão da verossimilhança) e não paramétricos (teste sazonal de Mann-Kendall e de Pettitt). As séries de Tmin das localidades de Campinas, Cordeirópolis, Ribeirão Preto e, especialmente Ubatuba, apresentam fortes indícios de tendências e variações climáticas nos últimos 60 anos. Nas séries de Monte Alegre do Sul e Pindorama tais indícios são observados de forma pouco significativa.

Analisando as séries históricas de precipitação mensal de 1924 a 2008 e a série de dados diários de precipitação do período de 1959-2008 da estação meteorológica de

Urussanga e empregado a análise de regressão e os testes paramétricos Mann-Kendall, Pettitt e teste Run. Back et al. (2009), viram que houve tendência significativa no aumento da precipitação anual, porém quando analisados por trimestre observou-se que essa alteração somente foi significativa para a precipitação do trimestre outubro-novembro-dezembro. Não foi constatado alteração significativa no número de eventos anuais de precipitação diária superior aos limites de 50, 80 e 100 mm.

Com o intuito de motivar um grupo de estudantes de graduação no uso de alguns conteúdos estatísticos envolvendo testes paramétricos e não paramétricos, Penereiro et al. (2012) realizaram um estudo das variações da temperatura média e da precipitação pluviométrica para identificar possíveis tendências climáticas. Foram empregados análises de regressão e os testes de Mann-Kendall e Pettitt em dados medidos para a cidade de Campinas no período de 1910 a 2009. Os resultados indicam que não houve tendência na variável precipitação, mas foi identificado um significativo aumento da temperatura média que, possivelmente, está relacionada à influência antrópica iniciada a partir de 1955. Os estudos resultaram em várias discussões entre os estudantes e os pesquisadores envolvidos, especialmente sobre como detectar tendência a uma série de dados e decidir por qual teste estatístico empregar.

Penereiro et al. (2013) procuraram identificar, por meio de testes estatísticos, pontos de mudança no comportamento hidrológico e climático em séries temporais que, dependendo da localidade, possuem diferentes períodos de intervalo de tempo. Aplicaram a Análise de Regressão Linear e os testes não paramétricos de Mann-Kendall e de Pettitt. Os resultados, apresentados em forma de gráficos, tabelas e mapas, confirmam que a maioria dos locais avaliados não registrou tendências, em particular na precipitação pluviométrica e na vazão de rios. Contudo, as análises dos dados das temperaturas revelaram vários locais com tendências significativas confirmadas naquela região brasileira.

O teste paramétrico de análise de regressão e o teste não-paramétrico de Mann Kendall e Pettitt foram utilizados com o intuito de identificar a existência de tendência na série de precipitação anual e para o período chuvoso na microrregião do Cariri Paraibano, Sena et al. (2013) observaram uma mudança brusca em torno do ano de 2000, onde antes deste ano tem-se redução de 13% e após um aumento de 24,5% na precipitação anual. Não foi verificada nenhuma tendência para o período chuvoso concluindo que outros meses é que contribuem para o aumento da precipitação anual encontrada

Visando à identificação de possíveis tendências nos índices de temperaturas médias do ar e de precipitações pluviométricas de alguns municípios do estado de São Paulo, Penereiro et al. (2014) Empregaram a estatística paramétrica, com aplicação da análise de regressão, além da estatística não paramétrica, por meio dos testes de Mann-Kendall e de Pettitt. Foi identificado um ganho de conhecimento com relação aos conteúdos estatísticos desenvolvidos pela disciplina, indicando que os estudantes envolvidos ficaram mais motivados ao usarem a estatística numa situação da atualidade, especialmente no que diz respeito aos impactos causados pelas mudanças climáticas em alguns índices de parâmetros climatológicos.

Uliana et al. (2015) identificaram uma mudança de tendência na vazão média mensal do mês de outubro a partir do ano 1963, com o intuito de avaliar a significância das tendências em série temporais de vazões e precipitações mensal e anual, por meio do teste de Pettitt Morgan. A vazão média deste mês aumentou 34,2% a partir do ano 1963. Já a série de precipitações apresentou tendência positiva nos meses de agosto e setembro a partir dos anos 1967 e 1964, respectivamente. Após a análise dos resultados obtidos concluiu-se que o teste de Pettitt apresentou desempenho satisfatório para a detecção de tendências nas séries históricas de vazões e de precipitações.

Santos et al. (2016) aplicaram os testes estatísticos empregados para a identificação da não estacionariedade de Mann-Kendall e Spearman Rho, além do teste de Pettitt para localizar o ponto de ruptura na série, com o objetivo de identificar se as vazões máximas anuais diárias da bacia hidrográfica do Rio Pardo. Foi identificada uma tendência crescente na série de vazão anual máxima diária do Rio Pardo, logo, esta não se caracterizou como estacionária. Como os eventos de precipitação estão estatisticamente estacionários, a substituição da vegetação natural por pastagens plantadas, representa um dos principais fatores do comportamento da série de vazão máxima não ser mais estacionária.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO E DADOS UTILIZADOS

Foram utilizados os dados de AP das reanálises do *ERA-Interim / European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)*, oriundos por Berrisford et al. (2011), cobrindo todo o globo terrestre, durante o período de janeiro de 1986 a dezembro de 2016, totalizando 31 anos.

Os dados estão dispostos em pontos de grade com 480 pontos em x e 240 pontos em y espaçados de $0,75^\circ$. Tem como domínio todo o globo compreendido de 90°S a 90°N e de -180°W a 180°E .

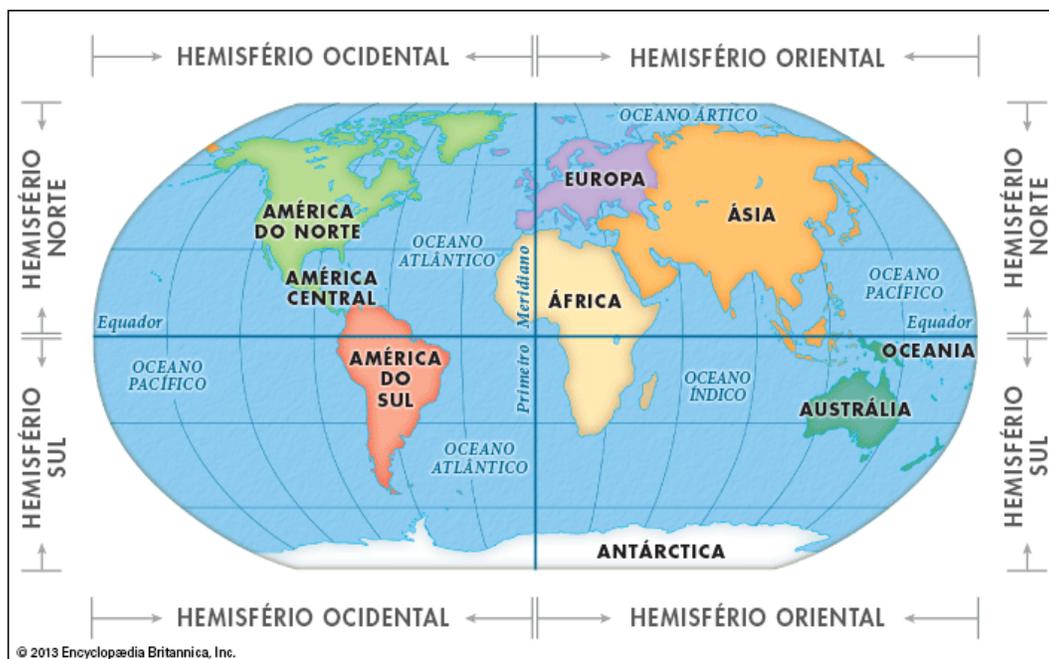


Figura 3: Globo Terrestre dividido por seus Hemisférios. Disponível em (<http://escola.britannica.com.br>).

As análises serão feitas para todo o globo, assim como, para o Hemisfério Norte e Hemisfério Sul. Também será avaliada a distribuição espacial de AP.

4.2 METODOLOGIA

AP representa o conteúdo de água numa coluna de área unitária caso todo vapor d'água, da superfície até o topo, seja condensado. Matematicamente é expressa por (Benton e Estoque, 1954; Serreze et al. 1995)

$$AP = 1/g \int_{p_2}^p q dp(1)$$

em que q é a umidade específica, g a aceleração da gravidade, p_s a pressão à superfície, p a pressão no topo (300 hPa) e dp é um elemento infinitesimal de pressão avaliado pela diferença entre camadas. Em média, a umidade específica tende a zero acima do nível de 300 hPa, portanto, é comum este nível ser considerado o topo para a integração vertical.

O ERA-Interim é uma reanálise atmosférica global que foi disponibilizada a partir de 1979, quando os dados reanalisados foram disponibilizados para pesquisas científicas e são atualizados continuamente em tempo real até as atuais datas. O sistema inclui uma análise de variação em 4 dimensões (4D-Var) com uma janela de análise de 12 horas. A resolução espacial do conjunto de dados é de aproximadamente 80 km (T255 espectral) em 60 níveis verticais da superfície até 0,1 hPa. Diferentes plataformas de observações foram utilizadas na geração das reanálises (Berrisford et al. 2011).

Dentro dos propósitos estabelecidos neste trabalho, as reanálises constituem-se numa base de dados representativos das condições globais e já foi utilizado com sucesso em outros estudos relacionados a vapor d'água na atmosfera (Cavalcanti et al. 2002 e 2008; Nóbrega e Cavalcanti, 2010; Cavalcanti e Mariano 2016).

A média global de água precipitável para cada mês e ano foi calculada a partir das reanálises do ERA-Interim. O domínio global vai de 0° W a 360° E e de 90° N a -90° S. A expressão a ser usada para o cálculo da média é:

$$AMP_{k,l} = \frac{1}{M.N} \sum_{i=1}^o [\sum_{j=1}^p AP_{k,l}(i,j)](2)$$

para $k = \text{jan, fev, ..., dez}$ e $l = 1986, 1987, \dots, 2016$. Em que M é o número de pontos na longitude (480), N é o número de pontos na latitude (240) e (i, j) corresponde ao ponto da grade.

4.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

APM é dada em mm (em Meteorologia: litro por metro quadrado), portanto, considerando que a superfície da esfera é $4\pi R^2$ esta pode ser convertida em m^3 . Considerando que R é o raio médio da terra, $6,37 \times 10^6$ m, a superfície da esfera é, portanto, $5,099 \times 10^{14} m^2$.

4.3.1 TESTES DE ESTACIONARIEDADE

O teste Dicky-Fuller foi desenvolvido para detectar a presença de raiz unitária nos polinômios autorregressivos de séries temporais. O teste pressupõe que a série é gerada por um processo autorregressivo de ordem AR(p). O número de raízes unitárias (ordem de integração) é dado pelo número de vezes que a série deve ser diferenciada para se tornar estacionária.

O teste apresenta duas variações, o teste Dickey-Fuller (1979) e o Dickey-Fuller Aumentado (1981). O mais usual e o teste Dickey-Fuller Aumentado (DFA) descrito a seguir segundo Margarido e Junior (2006), Silva, et. al. (2011) e Dickey Fuller (1979, 1981):

Hipótese do teste:

$H_0 = \phi_1 = 1$: a série não estacionária;

$H_1 = \phi_1 = 0$: a série é estacionária.

O teste DFA é realizado a partir da estimação de uma autorregressão de Z_t em função de Z_{t-1} e dos termos defasados de ΔZ_t por mínimos quadrados.

A estatística do teste:

$$\hat{\alpha} = \frac{\sum_{t=1}^N Z_{t-1} Z_t}{\sum_{t=1}^N Z_{t-1}^2} \quad (3)$$

Em seguida, estima-se a variância amostral:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N (\Delta Z_t - \hat{\alpha} Z_{t-1})^2 \quad (4)$$

Calcula, a seguir, o desvio-padrão do coeficiente:

$$S(\hat{\alpha}) = \frac{S}{\sqrt{\sum_{t=1}^N Z_{t-1}^2}} \quad (5)$$

O valor calculado da estatística:

$$\hat{t} = \frac{\hat{\alpha}}{S\hat{\alpha}} \quad (6)$$

O critério é de rejeição da hipótese nula se $\hat{t} < \tau$, em que τ é os valores críticos obtidos por meio de simulação de Monte Carlo.

4.3.2 TESTE DE NORMALIDADE

Proposto por Shapiro e Wilk (1965), a estatística verifica se uma determinada variável é oriunda de uma distribuição normal (SHAPIRO; WILK, 1965). O teste Shapiro-Wilk é considerado um teste muito poderoso, que abrange a maioria das situações. Por isso, tem se tornado um dos testes de normalidade mais utilizados, em decorrência de suas boas propriedades, quando comparado com os demais testes (MENDES; PALA, 2003; OZTUNA et al., 2006; RAZALI; WAH, 2011).

Segundo Razali e Wah (2011), o teste Shapiro-Wilk foi o primeiro a conseguir detectar desvios de normalidade originados de assimetria ou achatamento dos dados, ou ambas as situações. A estatística de teste depende da correlação entre os dados de estudo e seus escores de normalidade (SHAPIRO; WILK, 1965), sendo definida por:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i \bar{y})^2} (7)$$

Em que:

y_i – valores observados;

\bar{y} – média amostral;

$$a_i = (a_1, \dots, a_n) = \frac{m V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{\frac{1}{2}}}$$

m' - vetor dos valores esperados das estatísticas de ordem normal padrão;

V – matriz de covariância de tamanho;

A hipótese nula para o teste é, portanto, que a variável Y tenha uma distribuição normal. Assim, se o valor de W for menor que o nível de significância α , a hipótese nula é rejeitada, sugerindo que o conjunto de dados não vem de uma distribuição normal.

A tendência na série temporal de AP foi avaliada pelo método de Mann-Kendall. Este método é sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para a verificação de tendências em séries temporais (Yue et al. 2002). Segundo Silva (2004) a estatística S usada no teste de Mann-Kendall é dada por

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{M-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (8)$$

em que $\text{sign}(x_i - x_j)$ é -1 para $x_i - x_j < 0$, 0 para $x_i - x_j = 0$ e 1 para $x_i - x_j > 0$. A estatística S tende a uma distribuição normal com média $E[S] = 0$ e variância dada por

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (9)$$

em que n é o número de elementos da série, t_p é o número de dados com valores iguais num certo grupo e q é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados.

Valor positivo de S indica tendência positiva e valor negativo indica tendência negativa na série. Portanto, sabendo-se que S é normalmente distribuído pode-se checar se a tendência é significativa a 99% ($\alpha = 0,01$) e 95% ($\alpha = 0,05$), avaliando $Z(S)$ por $(S-1)/\sqrt{\text{Var}(S)}$ se $S > 0$, 0 se $S = 0$ e $(S+1)/\sqrt{\text{Var}(S)}$ se $S < 0$.

Também foi obtida a inclinação da linha de tendência pelo método de regressão linear e calculado o coeficiente de correlação entre os valores observados de AP e os valores inferidos pela reta de tendência. Neste caso, vai ser aplicado o teste t de Student com significância estatística de 99% ($\alpha = 0.01$) e 95% ($\alpha = 0.05$) com (n-2) graus de liberdade, (n = 30).

A Correlação crítica (r_c) para a qual torna-se estatisticamente significativa, e obtida por:

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (10)$$

$$r_c = t_c / \sqrt{(n-2) + t_c^2} \quad (11)$$

para $r > r_c$ a hipótese nula é descartada caracterizando valor significativo à 99% e(ou) 95% respectivamente.

Há uma variedade de métodos estatísticos para a detecção de um ponto de mudança em uma série temporal (SHARKEY e KILLICK, 2014; VEZZOLI et al., 2012). Neste estudo,

será utilizado o teste não paramétrico proposto por Pettitt (1979) para detectar a ocorrência da mudança abrupta. O nível de significância adotado foi de 5%.

O teste de Pettitt utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney $U_{t,T}$, o qual verifica se duas amostras X_1, \dots, X_t e X_{t+1}, \dots, X_n , são da mesma população ou não (PENNEREIRO e FERREIRA 2012; ULIANA et al., 2015). A estatística de teste conta o número de vezes que o valor da primeira amostra excede o valor da segunda amostra. A hipótese nula (H_0) do teste de Pettitt admite ausência de um ponto de mudança na série (ULIANA et al., 2015), contra a alternativa (H_1) de existe um ponto de mudança. A estatística não paramétrica é definida como:

$$K_T = \text{Max}_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}| \quad (12)$$

em que,

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (13)$$

em que:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x > 0 \\ 0 & \text{se } x = 0 \\ -1 & \text{se } x < 0 \end{cases} \quad (14)$$

Logo, a estatística $U_{t,T}$ é calculada para valores de $1 \leq t \leq T$, e a estatística K_T do teste é o máximo valor absoluto de $U_{t,T}$. Essa estatística localiza o ponto em que houve uma mudança brusca na média de uma série temporal (PENNEREIRO e FERREIRA 2012), onde sua significância é obtida através da Equação:

$$P \cong 2 \exp\left(\frac{-6K_T^2}{T^3 + T^2}\right) \quad (15)$$

em que P é o nível de significância; K_T é o valor crítico; T é o número de anos da série histórica. Quando P é menor do que o nível de significância específica neste estudo (0,05), a hipótese nula é rejeitada.

4.4 SOFTWARES UTILIZADOS

As análises para construção deste trabalho foram realizadas por meio de scripts do software estatístico R 3.0.2, e a construção de tabelas e gráficos foram feitas no software Libre Office.

A visualização dos dados será feita através do aplicativo auxiliar de distribuição livre *Grid Analysis and Display System – Grads*, que é muito utilizado em vários estudos e pesquisas, para manipulação de dados e geração de representações gráficas, através de expressões fornecidas por linhas de comando.

Para avaliar a distribuição sazonal e espacial da tendência de AP foram definidas as médias de duas décadas distintas, a inicial de 1986-1996 e final de 2007-2016. A razão da diferença entre as médias das duas décadas pelo intervalo de tempo entre os anos centrais de cada uma das décadas foi utilizada como uma estimativa para se obter a distribuição espacial da tendência de AP no período estudado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. VARIAÇÃO MENSAL DE ÁGUA PRECIPITÁVEL

A partir da Figura 2, foram plotados os valores médios globais de AP para cada mês em forma de box-plot, ferramenta importante para entender as séries temporais, no período de janeiro de 1986 a dezembro de 2016, obtidos a partir das reanálises do ERA-Interim. Observa-se que o mês com menor dispersão foi o mês de março e os meses com maiores dispersões foram os meses de maio, junho e julho, ou seja, os meses com menores dispersões evidenciam pouca variabilidade de AP e nos meses com maiores dispersões evidenciam maior variabilidade, devido ao verão no hemisfério norte relativo ao contraste de continentalidade entre o Hemisfério Norte e o Hemisfério Sul. Todos os meses apresentam AP mensais atípicas em algum dos anos, porém o mês de julho condiz com o maior valor de água precipitável mensal de toda a série (cerca de 27,1 mm) registrado no ano de 2016. Os valores máximos encontram-se no mês de julho-agosto enquanto que os valores mais baixos oscilam de dezembro-janeiro. Cerca de 75% dos dados estão entre o 1^a e o 3^a quartil, valores que oscilam entre 24,1 a 24,6 mm. O valor médio de AP para todo o período é de 24,4 mm correspondendo a um volume estimado para toda a atmosfera do globo de $12,237 \times 10^{12} \text{ m}^3$, ou seja, cerca de 12 trilhões de metros cúbicos. Esse valor equivale, em ordem de grandeza, ao indicado por Peixoto e Oort (1992) e por Howarth (1983) para o volume médio de água na forma de vapor presente em toda a atmosfera da Terra.

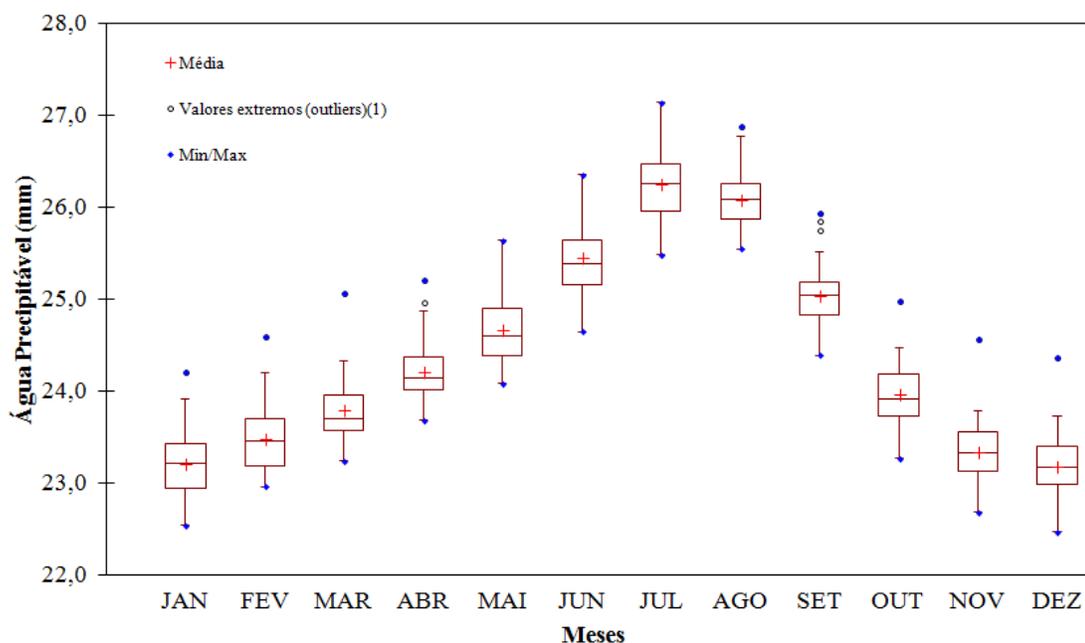


Figura 4: Água Precipitável (AP) para todo o globo.

Na Figura 3 encontram-se os valores médios de AP para o Hemisfério Norte (HN) para cada mês em forma de box-plot. Observa-se que os meses com menores dispersões foram os meses de dezembro, janeiro e fevereiro já os meses com maiores dispersões foram os meses de junho, julho, agosto e setembro, ou seja, os meses com menores dispersões evidenciam pouca variabilidade de AP, devido ao inverno no HN onde a uma redução de AP associado a uma diminuição de evaporação. E nos meses com maiores dispersões evidenciam maior variabilidade, causada por uma maior evaporação correspondente ao verão no HN. Alguns meses apresentam AP atípicas, em algum dos anos, sendo que nos meses de junho, julho, agosto e setembro condizem com os maiores valores de AP mensal de toda a série, com os valores máximos de 34,7 e 34,8 mm correspondente ao El Niño de 2015-2016. Os valores máximos encontram-se nos meses de julho e agosto enquanto que os valores mais baixos oscilam entre dezembro e janeiro. Cerca de 75% dos dados estão entre o 1^a e o 3^a quartil os valores que oscilam entre 25,4 a 25,7 mm. O valor médio de AP para todo o período é de 25,6 mm correspondendo a um aumento de 1,2 mm se comparado com a média da AP global.

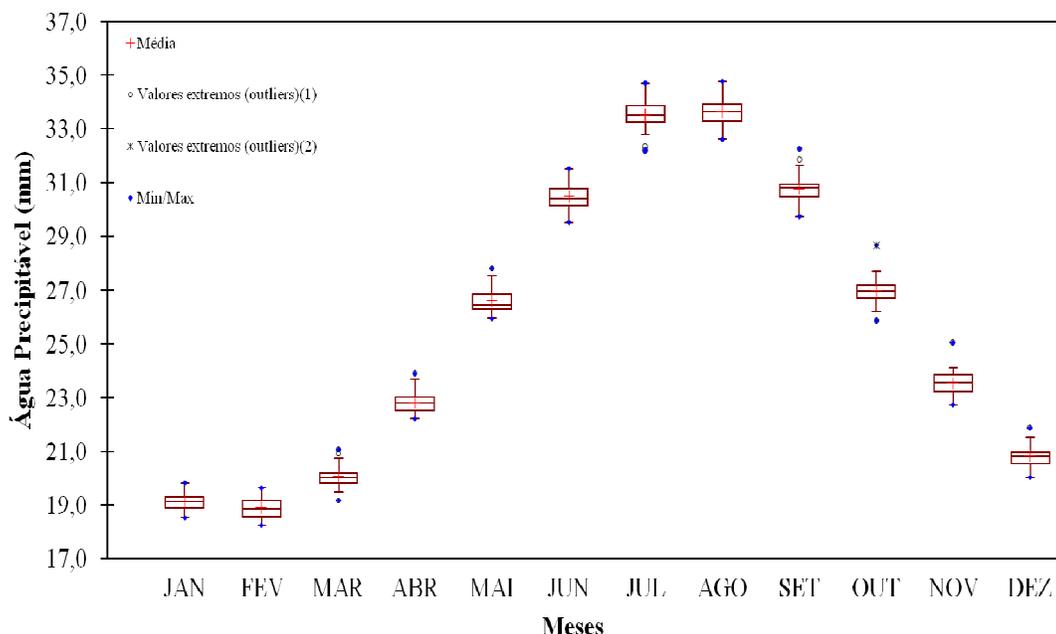


Figura 5: Água precipitável (AP) para o Hemisfério Norte (HN).

Na Figura 4 encontram-se os valores médios de AP para o Hemisfério Sul (HS) para cada mês em forma de box-plot. Observa-se que os meses com menores dispersões foram os meses de julho, agosto e setembro já os meses com maiores dispersões foram os meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril, ou seja, os meses com menores dispersões evidenciam pouca variabilidade de AP, devido ao inverno no HS onde a uma redução de AP associado a uma diminuição de evaporação e nos meses com maiores dispersões evidenciam maior variabilidade, causada por uma maior evaporação correspondente ao verão no HS. Todos os meses apresentam AP mensais atípicas em alguns anos, porém nos meses de janeiro, fevereiro e março condizem com maiores valores de AP mensal de toda a série, que são respectivamente 29.3, 30.0 e 29.4 mm, nos anos de 1998 e 2016, que correspondem aos El Niño de 1997-1998 e 2015-2016. Os valores máximos encontram-se no mês de fevereiro-março enquanto que os valores mais baixos oscilam de julho-agosto. 75% dos dados estão entre o 1^a e o 3^a quartil os valores que oscilam entre 23,2 a 23,4 mm. O valor médio de AP para todo o período é de 23,4 mm correspondendo a uma diminuição de 1,0 mm se comparado com a média da AP global.

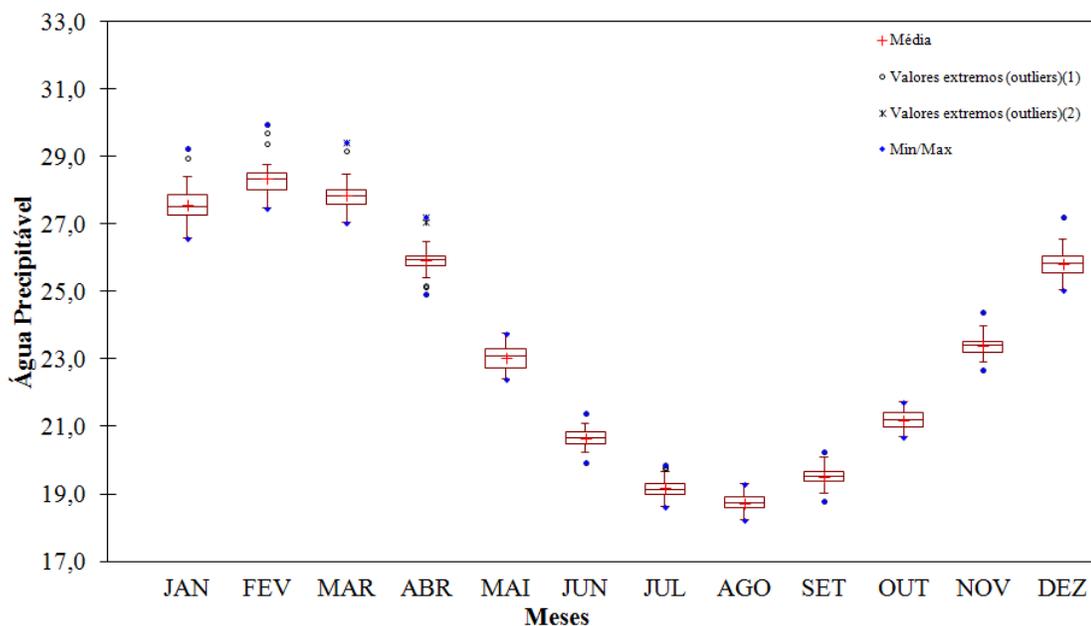


Figura 6:Água precipitável (AP) para o Hemisfério Sul (HS).

Entretanto, a AP apresenta uma variação sazonal com características específicas para o Hemisfério Norte e Sul (ver Figura 5). Para o HN a variação é mais acentuada com máximo em julho-agosto associado ao pós Solstício de Verão. Para o HS a variação é mais tênue com máximo em fevereiro. Embora no HS exista maior cobertura superficial de água os maiores valores de AP são para o HN. Esse efeito, certamente, é acarretado pelo maior aquecimento da atmosfera produzida pela disponibilidade de energia solar à superfície continental (no HN há mais continente que no HS) e, por conseguinte, o teor de vapor d'água na atmosfera é diretamente relacionado com a temperatura do ar.

Para o valor médio global de AP, representado pela média dos hemisférios Norte e Sul prevalecem o comportamento do HN embora, relativamente suavizado. A variação sazonal observada mostra-se coerente com outros resultados (Koulali et al. 2012; Smith e Arkin, 2015) ao apresentar máximos de AP na estação de verão e mínimos na estação de inverno. Entretanto, esse comportamento padrão difere de ano para ano e é modulado por fenômenos de maior escala estabelecendo uma variabilidade interanual.

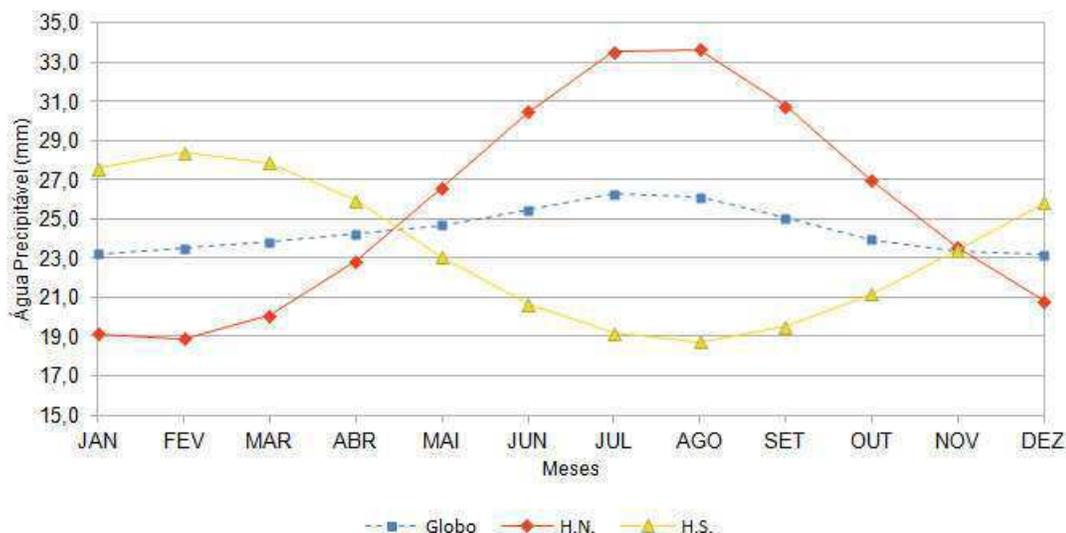


Figura 7: Distribuição sazonal de AP média para o HN; HS, e todo o Globo.

5.2. TESTE DE RAIZ UNITÁRIA

A fim de avaliar se as variáveis utilizadas seguem um processo estocástico estacionário foi realizado o teste de raiz unitária. A Tabela 1 mostra os resultados do teste Dickey-Fuller Aumentado (Said e Dickey, 1984). Para os três casos o HN, HS e Globo não se rejeitam a hipótese nula H_0 , ou seja, há uma raiz unitária para as 3 séries e elas são não estacionárias, ($p\text{-valor} > \alpha$) um indicativo para aplicação dos testes de Mann-Kendall e Pettitt.

Tabela 1: Análise descritiva do teste de Dick-Fuller (estacionariedade)

Método	Parâmetros	H.N	H.S	Globo
ADF	τ	0,056	0,0162	-0,00584
	p-Valor	0,10839	0,64257	0,87

Significativo a 95% ($\alpha = 0,05$)

5.3. TESTE DE NORMALIDADE SHAPIRO-WILK

Para verificar se as três séries temporais seguem uma distribuição Normal, foi aplicado o teste Shapiro-Wilk. Na Tabela 2, para as três series calculadas HN, HS e Globo, os valores de p-valor foram todos menores que α . Como o p-valor é menor que o nível de significância, a hipótese nula H_0 é rejeitada em favor da hipótese alternativa. Portanto, para os três casos a variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Tabela 2: Análise da normalidade.

Método	Parâmetros	H.N	H.S	Globo
Shapiro-Wilk	W	0,9478	0,9083	0,9129
	p-Valor	3,49E-07	3,13E-11	7,83E-14

Significativo a 95% ($\alpha = 0,05$)

5.4. TESTES DE MANN KENDAL (MK) E PETTITT

O Teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) é um método robusto, sequencial e não paramétrico utilizado para determinar se a série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa. Por tratar-se de um método não paramétrico, ele não requer distribuição normal dos dados (Yue et al., 2002). Outra vantagem deste método é o fato de ser pouco influenciado por mudanças abruptas ou séries não homogêneas (Zhang et al., 2009).

Na Tabela 3 foi aplicado o método de Mann-Kendall. O teste apontou tendências positivas de AP, com valores de 0.0246, 0.0121 e 0.0203 mm/ano na série HN, HS e globo, respectivamente. Corroborando com os estudos de Cavalcanti e Mariano (2016) comprova-se que, os valores encontrados foram similares, é estatisticamente significativos à 95%, ou seja, p-valor é menor que $\alpha = 0,05$, então deve-se rejeitando-se a hipótese nula H_0 em favor da hipótese alternativa H_a . O risco de rejeitar a hipótese nula para as três séries são de 0,31, 0,06 e 3,81 %.

Os valores de t de Kendall, que corresponde a uma medida da correlação, apresentaram valores 0,4366 para o HN.; 0,2645 para o HS e 0,3763 para o Globo. Nessa mesma ordem, os valores obtidos da correlação por regressão linear são 0,661; 0,482 e 0,5452. Os valores para o HN. são mais efetivos porque a variação sazonal de temperatura e AP é mais acentuada e se reflete para o Globo. É interessante observar que os valores menos acentuados observados para o HS. se dão por conta da menor qualidade das reanálises do ERA-Interim para esse hemisfério (Vey et al. 2010).

Tabela 3: Análise descritiva do teste de Mann-Kendall avaliando a tendência de AP(mm) para o H.N, H.S e Globo.

Método	Parâmetros	H.N	H.S	Globo
Mann - Kendal	τ de Kendall	0,4366	0,2645	0,3763
	S	203,0	123,0	175,0
	Var(s)	3461,7	3461,67	3461,7
	Valor-p	0,0006	0,0381	0,0031
	Inclinação	0,0246	0,0121	0,0203

Significativo a 95% ($\alpha = 0,05$)

Nas Figuras 6, 7 e 8 são apresentadas as séries temporais de AP, média anual, no período de 1986 a 2016. Observa-se a existência de uma inclinação positiva indicando uma possível tendência de aumento de AP, comprovado pelo cálculo da inclinação da linha de tendência pelo método de regressão linear. Essa tendência também é observada quando se analisa separadamente as séries para o HN e HS. Observa-se também uma variação interanual para as três séries estudadas, onde em anos de El Niño de intensidade moderado a forte é possível notar um aumento significativo no teor de AP na atmosfera e em anos de la Niña moderada a forte uma redução de AP. Esses picos são mais acentuados nas séries de AP do Globo e do HS e menos acentuado no HN, devido a uma maior sensibilidade na variabilidade de AP para o globo e HS e menor para o HN. Provavelmente o sistema ENOS tem uma influência no aumento(diminuição) de AP para os três casos estudados. Observam-se picos mais elevados em 1998, 2010 e 2015, todos em anos de El Niño de moderado a forte.

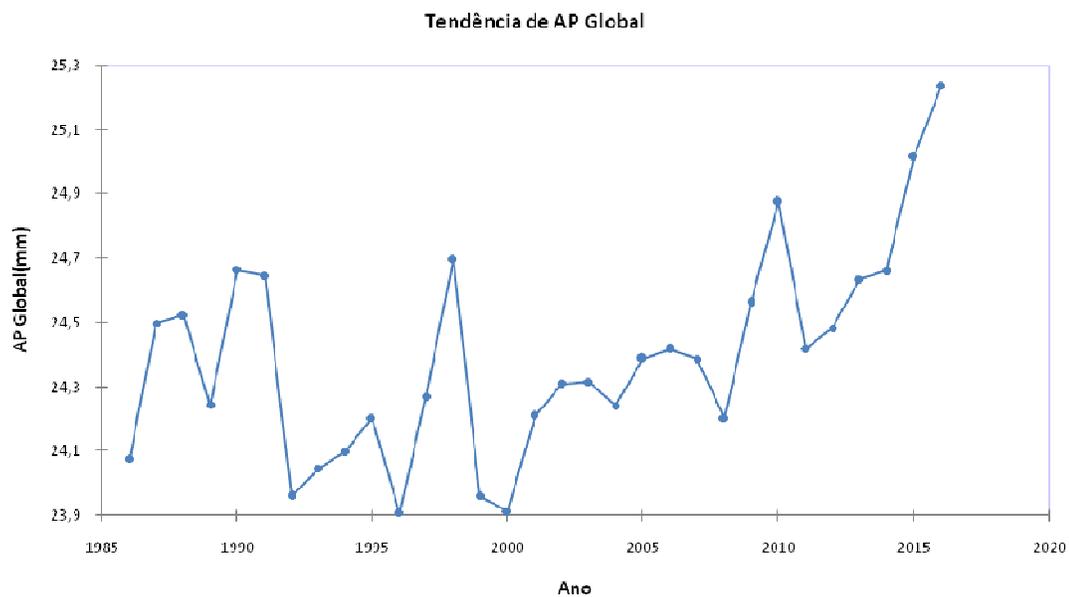


Figura 8: AP (mm) media Global anual para o período de 1986 a 2016.

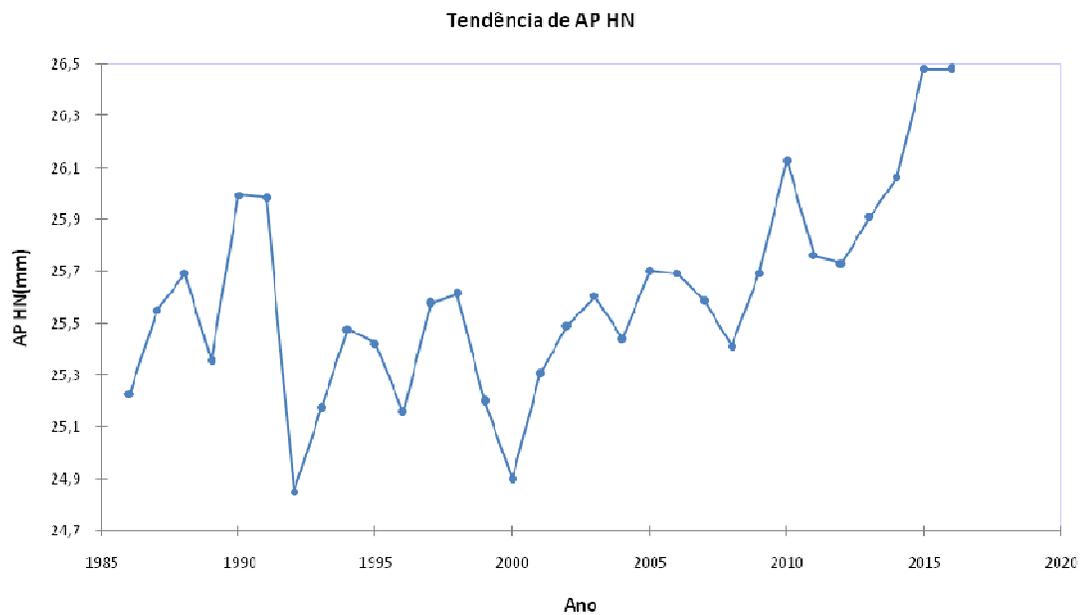


Figura 9: AP (mm) media HN anual para o período de 1986 a 2016.

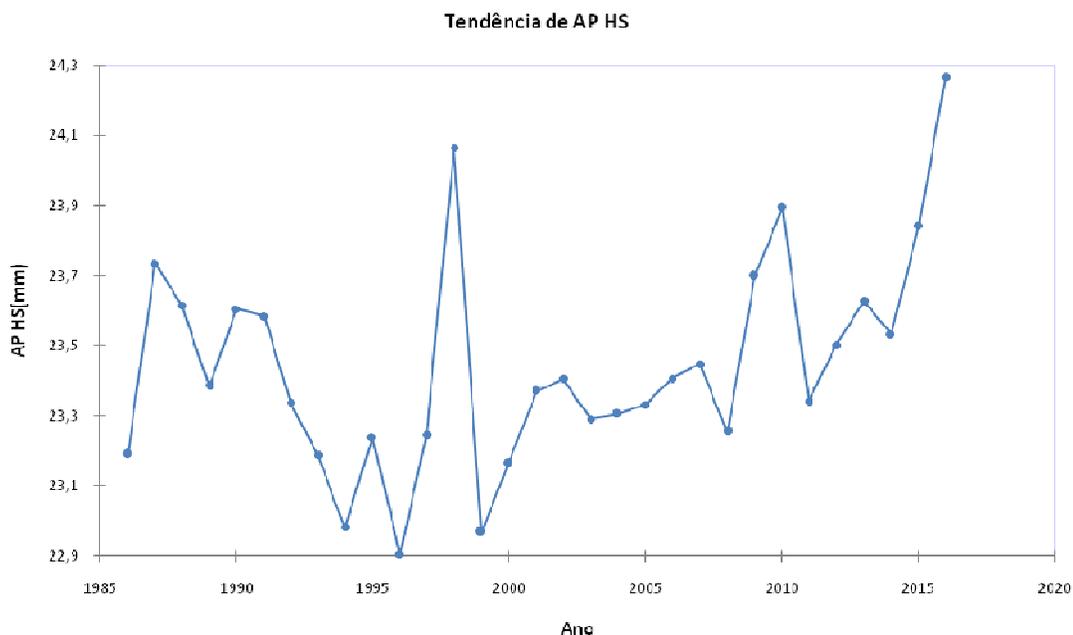


Figura 10: AP (mm) media HS anual para o período de 1986 a 2016.

Para localizar se houve uma mudança brusca na média da série podemos utilizar o teste de Pettitt (Pettitt, 1979). Esse parâmetro indica se duas amostras oriundas da mesma série temporal podem ser consideradas pertencentes à mesma população. Na Tabela 4 o HN, HS e Globo obtiveram valores de p-valor de 0,0013, 0,0295 e 0,0094 respectivamente, observando assim mudanças bruscas nos anos de 2004 para o HN em 2008 no HS e em 2008 no globo. Essas mudanças abruptas na média das séries temporais dos três casos mostram um aumento na tendência de AP que pode estar associado a um possível aquecimento global afetando a variabilidade de AP. Como p-valor é menor que $\alpha = 0,05$ em todas as séries testadas, pode-se afirmar que em todas as variáveis HN, HS e Globo houve uma alteração nos dados, ou seja, rejeita-se a hipótese nula H_0 em favor da hipótese alternativa H_a .

Tabela 4: Análise descritiva do teste de Pettitt avaliando a mudança brusca de AP (mm) para o H.N, H.S e Globo.

Método	Parâmetros	H.N	H.S	Globo
Pettitt	K	172,0000	132,0000	148,0000
	t	2004	2008	2008
	p-Valor	0,0013	0,0295	0,0094

Significativo a 95% ($\alpha = 0,05$)

Na Figura 9 observa-se a variação interanual de água precipitável para o globo no período de 1986 a 2016. As linhas horizontais pontilhadas nas cores em vermelho e verde representam uma separação resultante do teste de Pettitt pela qual a série é dividida em dois períodos distintos, mostrando que houve uma mudança abrupta na média de AP para o período em estudo. Antes de 2008, a série temporal de AP apresenta-se com uma média em torno de 24,3mm (redução de 0,5%(0,12 mm) em relação a média para o período completo 1986 a 2016) e após 2008, apresenta-se com um aumento em torno de 1,4% (0,35 mm), observando-se uma média de 24,736 mm.

A Figura 10 representa a variação interanual de água precipitável para o HN, usando o mesmo procedimento da Figura 9. Observa-se também que houve uma mudança na média no período em estudo, dividindo a série em dois períodos distintos, antes de 2004 com uma média em torno de 25,4 mm (aumento de 4,2%(1,01 mm) em relação a média para o período completo 1986 a 2016) e após 2004 com um aumento em torno de 4,4% (1,51 mm), apresentando uma média de 25,9 mm.

Na Figura 11 que representa a variação interanual de água precipitável para o HS, usando o mesmo procedimento mostra também que houve uma mudança na média no período em estudo, dividindo a série em dois períodos distintos, antes de 2008 com uma média em torno de 23,3 mm (redução de 4,4%(1,03 mm) em relação a média para o período completo 1986 a 2016) e após 2008 com uma nova redução em torno de 2,8% (0,67 mm), apresentando uma média de 23,7 mm.

Das três figuras acima analisada, observa-se que houve um aumento na média de AP para o HN e o Globo, que pode estar relacionado com um possível aquecimento, aumentando assim o teor de AP, e uma redução na média de AP para HS, resultado de uma provável redução nas chuvas. Esses resultados podem apontar indícios de uma mudança climática.

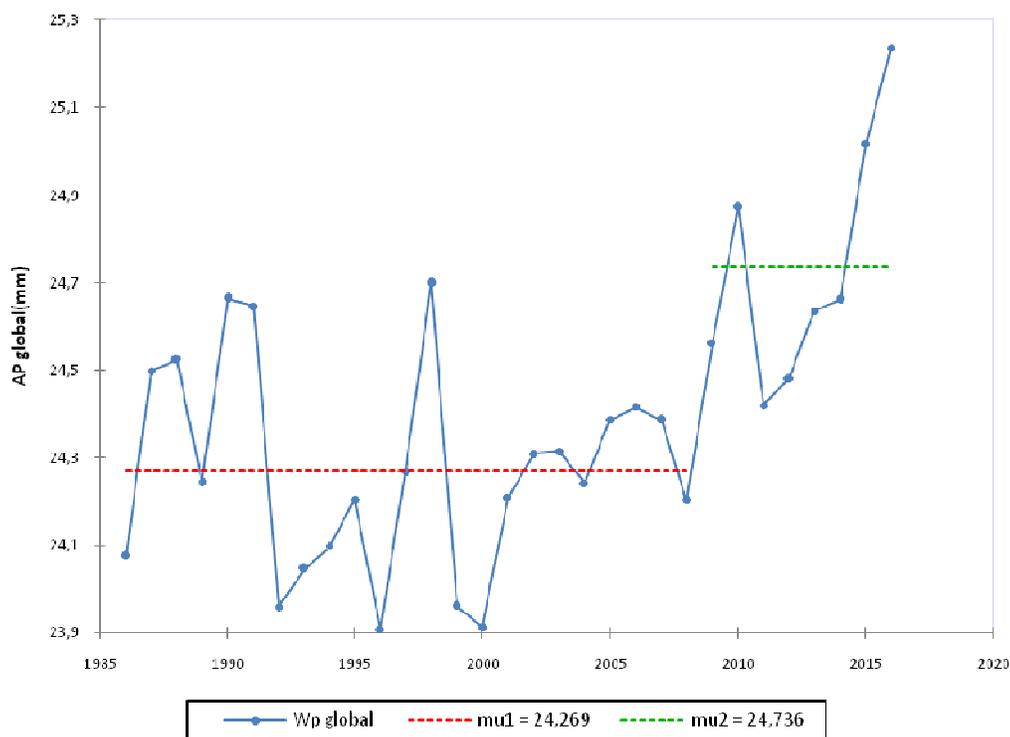


Figura 11: Variação interanual de AP para o Globo no período de 1986 a 2016.

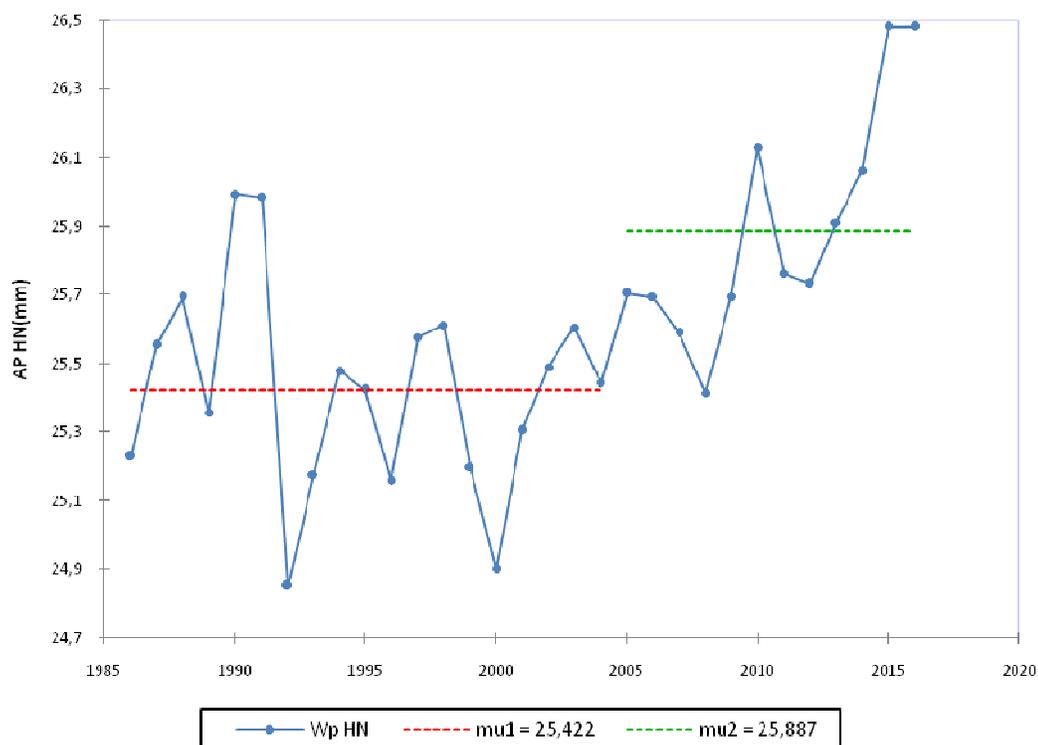


Figura 12: Variação interanual de AP para o HN no período de 1986 a 2016.

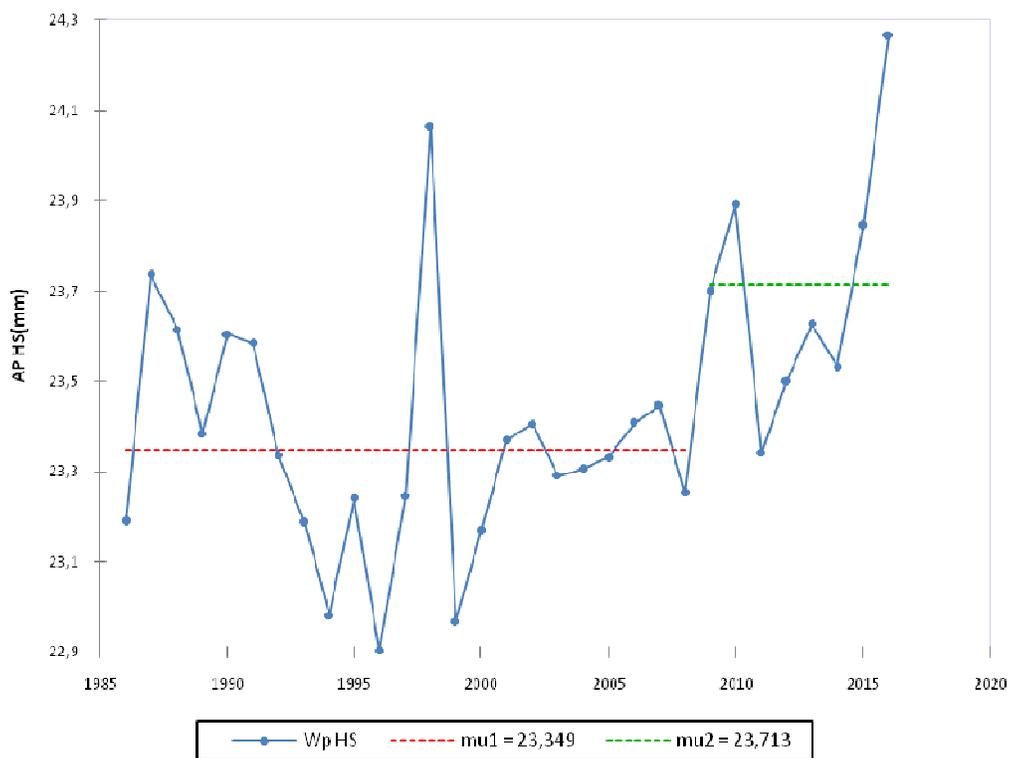


Figura 13: Variação interanual de AP para o HS no período de 1986 a 2016.

Quando se compara AP global da média para a década de 1986-1996 com a média da década de 2006-2016 (Figura 12) observa-se que houve um aumento de cerca 0,4 mm. Essa suposta pequena diferença representa um aumento no volume de água contido na atmosfera, na forma de vapor, de $0,2 \times 10^{12} \text{ m}^3$, ou seja, 0,24 trilhões de metros cúbicos. Entretanto, a distribuição espacial dessa diferença pode apresentar áreas positivas indicando aumento de uma década para outra como pode apresentar áreas negativas indicando diminuição de AP, embora apresente uma média positiva para todo o globo.

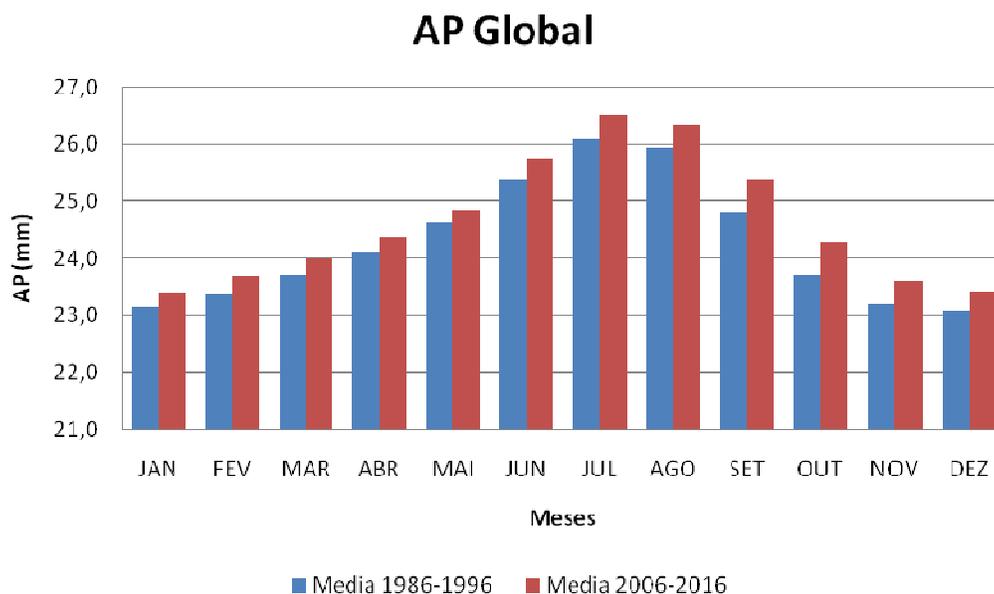


Figura 14: Variação sazonal de água precipitável (mm) global para duas décadas distintas: a) 1986 – 1996 e b) 2006 - 2016

Comparando AP global da média para a década de 1986-1996 com a média da década de 2006-2016 (Figura 13) observa-se que houve um aumento de cerca 0,5 mm. Essa suposta pequena diferença representa um aumento no volume de água contido na atmosfera, na forma de vapor, de $0,255 \times 10^{12} \text{ m}^3$, ou seja, 0,26 trilhões de metros cúbicos. Também para o HN, a distribuição espacial dessa diferença pode apresentar áreas positivas indicando aumento de uma década para outra como pode apresentar áreas negativas indicando diminuição de AP.

Analisando AP global da média para a década de 1986-1996 com a média da década de 2006-2016 (Figura 14) observa-se que houve um aumento de cerca 0,3 mm. Essa suposta pequena diferença representa um aumento no volume de água contido na atmosfera, na forma de vapor. Também para o HN, a distribuição espacial dessa diferença pode apresentar áreas positivas indicando aumento de uma década para outra como pode apresentar áreas negativas indicando diminuição de AP.

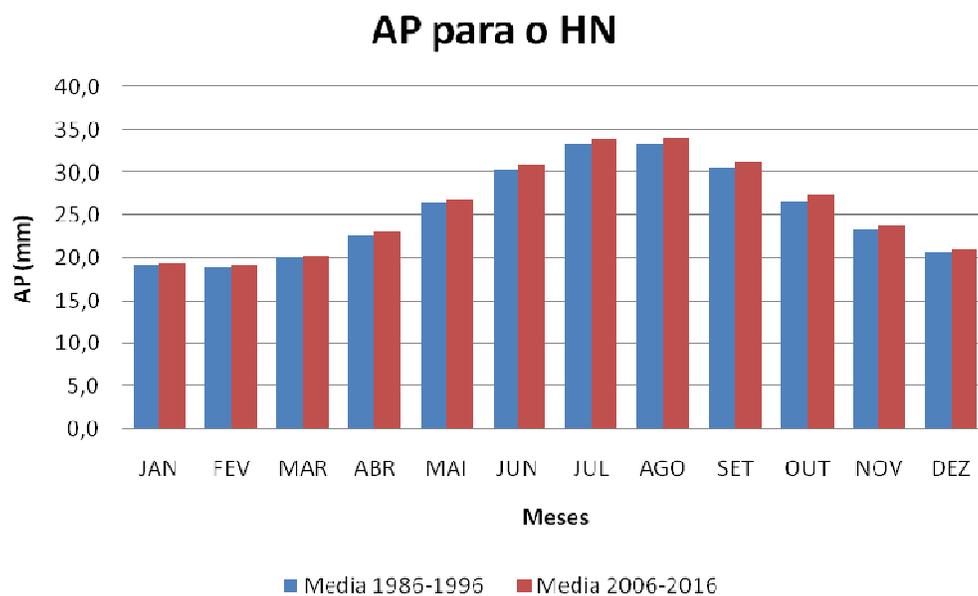


Figura 15: Variação sazonal de água precipitável (mm) HN para duas décadas distintas: a) 1986 – 1996 e b) 2006 – 20016.

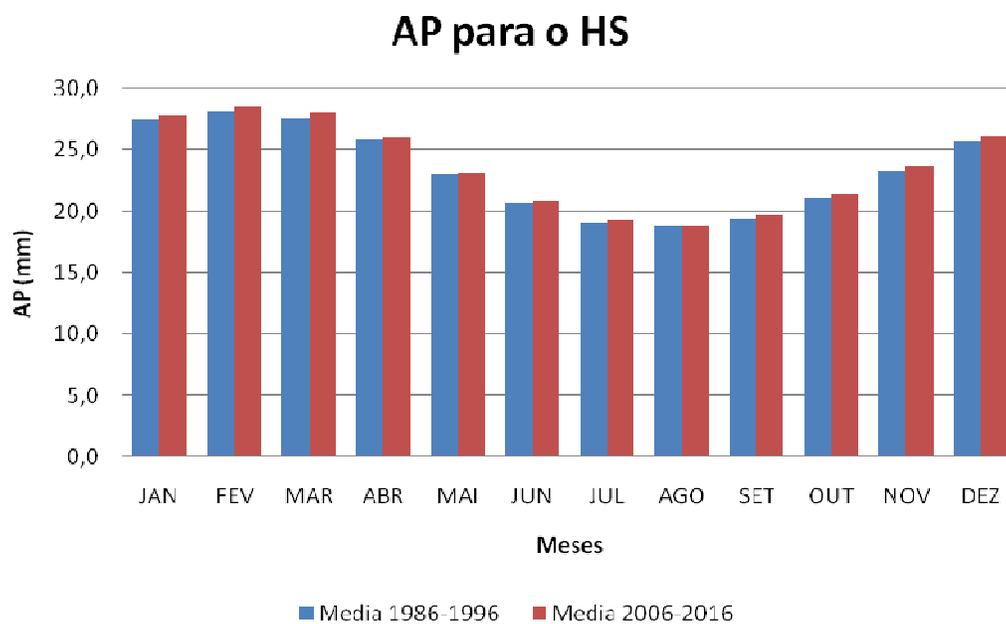


Figura 16: Variação sazonal de água precipitável (mm) HS para duas décadas distintas: a) 1986 – 1996 e b) 2006 – 20016.

Neste contexto, a Figura 15 expressa a distribuição espacial da tendência de AP. Pode-se observar que as maiores tendências encontram-se na região tropical alternando áreas com tendência positiva de até 0,09 mm/ano, indicando aumento de AP e áreas de tendência negativa de até -0,09 mm/ano indicando uma secagem com diminuição de AP. Observa-se que grandes áreas nos Oceanos Atlântico e Pacífico Tropicais apresentam tendências de diminuição de AP. Considerando a relação entre AP com a temperatura do ar (Gaffen et al. 1992; Mears et al. 2007), conclui-se que nestas áreas há também uma tendência de resfriamento da atmosfera. O Atlântico Tropical Norte apresenta tendências positivas com abrangência para o Oeste da África. Para o Atlântico Tropical Sul é observado tendências negativas, condição que se expande para a região Nordeste do Brasil. Na faixa Polar Norte, (acima de 60° N), observam-se tendências positivas com áreas atingindo cerca de 0,05 mm/ano. Nesta região têm-se evidências de áreas onde há derretimento de gelo (Hardy, 2003), indicando aquecimento. Na faixa Polar Sul, as tendências são bem amenas (entre -0,02 e 0,02 mm/ano). Estes fatos estão fortemente associados aos produzidos pelo efeito estufa na atmosfera, resultante do aumento da emissão de gases por ações antrópicas, e apontam para um possível aquecimento global relatado em Hardy (2003). Todos os resultados encontrados são semelhantes aos encontrados no trabalho de Cavalcanti e Mariano (2016).

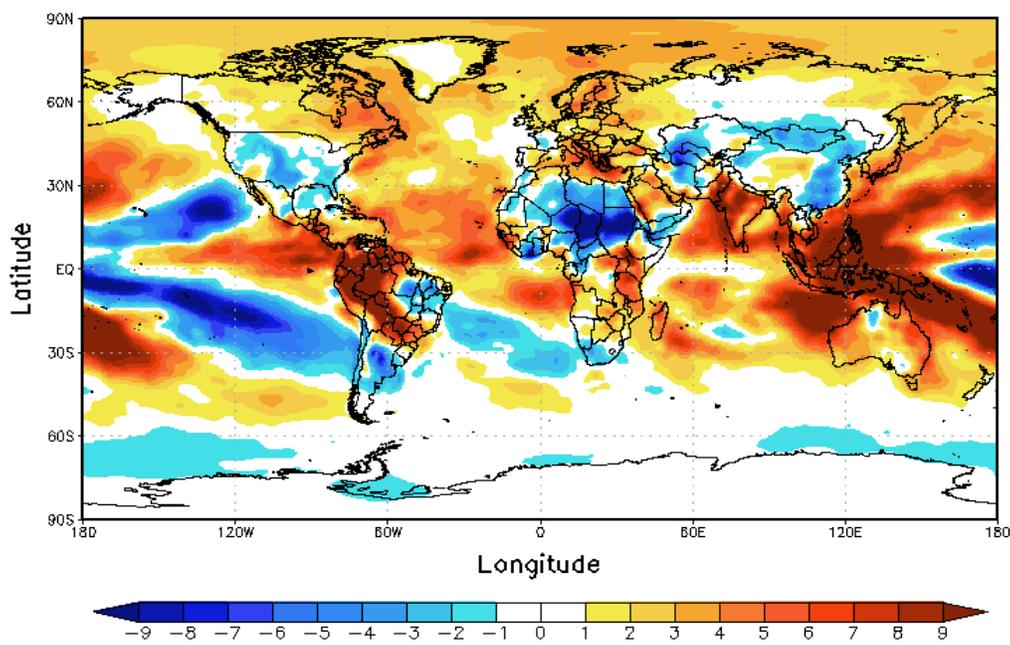


Figura 17: Espacialização da tendência da água precipitável do período (10^{-2} mm/ano)

6. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, pode se concluir que:

1) A AP média global do período (1986-2016) foi de 24,4 mm/ano o que equivale a um volume de $12,237 \times 10^{12} \text{m}^3$, ou seja, cerca de 12 trilhões de metros cúbicos de água na atmosfera em estado de vapor;

2) A distribuição sazonal de AP apresenta máximo em julho-agosto para o HN e fevereiro para o HS Já para a média global prevalece o comportamento do HN com característica mais suavizada.

3) A série de AP (1986-2016) apresenta tendências de 0,0246, 0,0121 e 0,0203 mm/ano pelo método de Mann-Kendall que indicam um provável aquecimento global.. As tendências foram estatisticamente significativas à 95% ($\alpha = 0,05$). As tendências verificadas para os hemisférios Norte e Sul também apontam aquecimento.

4) Verificou-se aumento de AP em todos os meses do ano, ao se comparar as médias das décadas inicial e final do período estudado.

5) A distribuição espacial da tendência de AP entre as duas décadas evidenciam áreas de fortes tendências positivas e negativas explicitando possíveis variações climáticas provocadas provavelmente ações antrópicas. Destaca-se sobre o NE do Brasil tendência de diminuição de AP e aumento em toda região polar Norte.

6) Os valores atípicos de água precipitável para as três variáveis 1998, 2010 e 2016 que apresentou valores mais elevados do que nos demais períodos, pode ser um indicio da provável influência da temperatura da superfície do mar (TSM) no teor de AP na atmosfera, em especial o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) que nos anos citados coincidiram com anos de El Niño forte e moderado, esse tipo de análise poderá ser estudada em futuras pesquisas e analisar seus efeitos no Globo.

Em suma, parte dos resultados obtidos neste trabalho, com a utilização de dados do ECMWF, são semelhantes aos obtidos por Cavalcanti e Mariano (2016), utilizando os dados do NCEP/NCAR. Portanto, as reanálises do ECMWF são significativas podendo ser utilizado para trabalhos futuros correlacionando com outras variáveis.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, E. S. DE; VINHAS, L.; CORREA; P. C. DO P. Extração e Manipulação dos dados de reanálise do ECMWF utilizando MetView. < inpe.br/walmeida/2004/07.07.13.02/.

BACK, A.J.; VIEIRA, H.J. ANALISE DA TENDENCIA TEMPORAL NOS DADOS DE CHUVA DE URUSSANGA–SC. **SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA**, v. 3, p. 1-6, 2009.

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.

BENTON, G.S.; ESTOQUE, M.A. Water-vapor transfer over the North American Continent. **Journal of Meteorology**, v. 11,p. 462-477, 1954.

BERRISFORD, P, DEE, DP, POLI, P, BRUGGE, R, FIELDING, K, FUENTES, M, KÅLLBERG, PW, KOBAYASHI, S, UPPALA, S, SIMMONS, A."The ERA-Interim archive Version 2.0, ERA Report Series 1, ECMWF, Shinfield Park." *Reading, UK* 13177 (2011).

BENWELL, G. R. R., 1965: Estimation and variability of precipitable water. *Meteor. Mag.*, 94, 319-327.

BLAIN, G.C.; LULU, J. Considerações estatísticas relativas a seis séries mensais de temperatura do ar da secretaria de agricultura e abastecimento do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 279-296, 2011.

CAVALCANTI, E.P.; GOMES FILHO, M.F.; BEZERRA, W. de A. Fluxo de vapor d'água atmosférico na obtenção do resíduo ET-P em três macro regiões brasileiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12,p. 471-479, 2008.

CAVALCANTI, E.P.; GANDU, A.W.; AZEVEDO, P.V. Transporte e balanço de vapor d'água atmosférico sobre o Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17,n. 2, p. 207-217, 2002.

CAVALCANTI, E.P.;MARIANO, E. B. Tendência do Vapor D'Água na Atmosfera Mediante Dados do *NCEP/NCAR*. **Revista. Brasileira de Meteorologia**. [online]. 2016, vol.31, n.4, suppl.1, pp.564-569.

COSTA, A., DE OLIVEIRA, V. G., PEREIRA, A. R., DE FARIAS BORGES, P., & DE SOUTO ARAÚJO, L. Estudo do clima na região do Brejo Paraibano utilizando técnicas de séries temporais, para previsão com o modelo Sarima. **Gaia Scientia**, v. 9, n. 1, 2015.

DA SILVA, L.J.; REBOITA, M.S.; DA ROCHA, R.P. Relação Da Passagem De Frentes Frias Na Região Sul De Minas Gerais (RSMG) Com A Precipitação E Eventos De Geadas. **Revista Brasileira De Climatologia**, v. 14, n. 1, 2014.

DEE, D. P.; UPPALA; S. M. SIMMONS, A. J.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; KOBAYASHI,S.; ANDRAE, U.; BALMASEDA, M. A.; BALSAMO, G. BAUER, P.; BECHTOLD, P.;BELJAARS, A. C. M.; VAN DE BERG, L.; BIFLOT, J.; BORMANN, N.; DELSOL, C.;DRAGANI, R.; FUENTES, M.; GEER, A. J.; HAIMBERGER, L.; HEALY, S. B.;HERSBACK, H.; HÓLM, E. V.; ISAKSEN, L.; KALLBERG, P.; KÖHLER, M.;MATRICARDI, M.; MCNALLY, A. P.; MONGE-SANZ, B. M.; MORCRETTE, J. J.; PARK,B. K.; PEUBEY, C.; ROSNAY, P. DE; TAVOLATO, C.; THÉPAUT, J. N.; VITART, F. The Era-Interim Reanalysis: Configuration And Performance Of Data Assimilation System. **Quarterly Journal Of The Royal Meteorological Society**, v.n. 137, p. 553-597, April, 2011.

DELGADO, R.C.; DE SOUZA, L.P. Tendência da precipitação e seu aproveitamento para fins não potáveis na Amazônia ocidental, Acre. **Nativa**, v. 2, n. 4, p. 208-213, 2014.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Distribuiton of the estimators for autoregressive time series with a unit Root. **Journal of the American Statistical Association**, v.74, n.366, p. 427-431, 1979.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*, v.49, n.4, p. 1057-1072, 1981.

DORIGHELLO TOMÁS, D.; LOMBARDO, M.A. CONCENTRAÇÃO DE VAPOR D'ÁGUA NA ATMOSFERA DE ÁREAS URBANAS, SÃO PAULO/BRASIL. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 11, n. 25, 2012.

FERREIRA, F. F., SILVA, V. D. P. R. D., SILVA, L. L. D., SILVA, E. M., ALVES, J. M. B., BANDEIRA, M. M., & BECKER, C. T. "Behavior of Surface Water in the Pacific and Atlantic During the Period 1982 2014." **Revista Brasileira de Meteorologia** 31.3 (2016): 366-373.

FERREIRA, C.D.C.M.; BATISTA, G.M.F.; VIANNA, Y.C.G. Variações Ou Tendências Climáticas: Um Estudo Com As Séries De Temperatura Do Ar Para A Cidade De Juiz De Fora-Mg. **Revista de Ciências Humanas**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 414-433, Jul./dez. 2015.

FOLHES¹, M.T.; FISCH, G. Caracterização Climática E Estudo De Tendências Nas Séries Temporais De Temperatura Do Ar E Precipitação Em Taubaté (SP). **Revista Ambiente E Água—An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**: v, v. 1, n. 1, 2006.

GAFFEN, D.J.; WLLIOTT, W.P.; ROBOK, A. Relationships Between Tropospheric Water Vapor And Surface Temperature As Observed By Radiosondes. **Geophysical Research Letters**, v. 19, n. 18, p. 1839-1842, 1992.

GALVANI, E.; DE LIMA, N.G.B.; ALVES, R.R. Variabilidade e tendência das precipitações no litoral sul de São Paulo. **REVISTA GEONORTE**, v. 3, n. 8, p. 1163-1176, 2012.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual And Seasonal Climatic Variations Over The Northern Hemisphere And Europe During The Last Century. **Journal Of Geophysical Research**, Washington-Eua, v. 92, n. 11, p.13345-13372, Out. 1987.

HARDY, J.T. **Climate Change**. Causes, Effects, And Solutions. John Wiley & Sons. 260 p. June, 2003. isbn:978-0-470-85019-0.

HIGGINS, R.W.; MO, K.C.; SCHUBERT, S.D. The Moisture Of The Central United States In Spring As Evaluated In The 569 Ncep/Ncar And The Nasa/Dao Reanalyses. **Monthly Weather Review**, v. 124, p. 939-963, 1996.

HOWARTH, D.A. Seasonal Variations In The Vertically Integrated Water Vapor Transport Fields Over The Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**, Ams, v. 111, p. 1259-1272, 1983.

JÚNIOR, L. M., DA SILVA, E. M., COSTA, A. A., SALES, D. C., JUNIOR, F. D. C. V., & GUIMARÃES, S. O. Avaliação Dos Recursos Eólicos Simulado No Estado Do Ceará: Um Estudo De Caso Para O El Niño 97-98 E Para La Niña 98/99. **Revista Brasileira De Meteorologia**, v. 29, n. 1, 2013.

KENDALL, M.G.. Rank Correlation Methods . **Charles Griffin**, London. 1975

KISTLER R.; KALNEY, E.; COLLINS, W.; SAHA, S.; ET AL. The Ncep–Ncar 50–Year Reanalysis: Monthly Means Cd–Rom And Documentation. **Bulletin Of The American Meteorological Society**, v. 82, n. 2, p. 247-267, 2001.

KOULALI, A.; OUAZAR, D.; BOCK, O.; FADIL, A. Study Of Seasonal-Scale Atmospheric Water Cycle With Ground-Based Gps Receivers, Radiosondes And Nwp Models Over Morocco. **Atmospheric Research**, v. 104-105, p. 273–291, 2012.

LIMEIRA, R. C. **Variabilidade E Tendência Das Chuvas No Estado Da Paraíba**. 2008. Tese De Doutorado. Dissertação De Mestrado. Tese De Doutorado. Universidade Federal De Campina Grande, Centro De Tecnologia E Recursos Naturais. 122 F., Campina Grande-Pb.

LOPES, J.R.F.; DA SILVA, D.F. Aplicação Do Teste De Mann-Kendall Para Análise De Tendência Pluviométrica No Estado Do Ceará. **Revista De Geografia (Recife)**, V. 30, n. 3, p. 192-208, 2013.

MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica** 13, 245-259. 1945.

MARGARIDO, M. A.; JUNIOR, H. M. Teste para mais de uma raiz unitária: uso do software SAS® na elaboração de uma rotina para o teste Dickey-Fuller. **Revista Pesquisa & Debate**, v.17, n.1, p. 149-170, 2006.

MARQUES, J.; SANTOS, J.M.D.; SALATI, E. O Armazenamento Atmosférico De Vapor D'água Sobre A Região Amazônica. **Acta Amazonica**, v. 9, n. 4, p. 715-721, 1979.

MAURELLIS, A.; TENNYSON, J. The climatic effects of water vapour. **Physics World**, 16, 29-33, 2003.

MENDES, M.; PALA, A. Type I error rate and power of three normality tests. **Pakistan Journal of Information and Technology**, 2 (2), 135-139, 2003.

MEARS, C.A.; SANTER, B.D.; WENTZ, F.J.; TAYLOR, K.E. Relationship Between Temperature And Precipitable Water Changes Over Tropical Oceans. **Geophysical Research Letters**, v. 34, p. 1-5, 2007.

MO, K.C.; HIGGINS, R.W. Large-Scale Atmospheric Moisture Transport As Evaluated In The Ncep/Ncar And The Nasa/Dao Reanalyses. **Journal Of Climate**, v. 9, p. 1531-1545, 1996.

NASCIMENTO, H. H. S. Planejamento de mercado de energia elétrica no novo modelo do setor elétrico brasileiro pela aplicação de análise de componente principal como métodos de combinação de previsão. 2013, 100f, Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande, 2013.

NEVES, D.; ARAÚJO, R.; ARAVÉQUIA, J. Análise Da Água Precipitável E Dos Fluxos De Calor Latente/Sensível No Início Da Estação Chuvosa Das Regiões Sudeste E Centro-Oeste Do Brasil. **Ciência E Natura**, v. 35, p. 22, 2013.

NÓBREGA, R.S.; CAVALCANTI, E.P. Variabilidade Sazonal E Intra-Anual Da Reciclagem De Vapor D'água No Brasil. **Revista De Geografia (Recife)**, v. 27, p. 169-184, 2010.

ÖZTUNA, D.; ELHAN, A. H.; TÜCCAR, E. Investigation of Four Different Normality Tests in Terms of Type 1 Error Rate and Power under Different Distributions. **Turkish Journal of Medical Sciences**, v.36 (3), 2006.

PEREIRA, Alécio Rodrigues et al. Análise do comportamento das médias anuais da precipitação pluvial e temperatura da cidade de Areia, Paraíba. **Gaia Scientia**, v. 9, n. 1, 2015.

PIAZZA, G. A., TORRES, E., MOSER, P., GOTARDO, R., KAUFMANN, V., & PINHEIRO, A. Spatio-Temporal Analysis Of Pluviometric Data From The Monitoring Stations Near The Concórdia River Catchment, Lontras City (Santa Catarina-Southern Brazil) Aiming Their Integration In The Climate Change Context. **Revista Brasileira De Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 580-592, 2016.

PEIXOTO, J.P. *Atmospheric vapor flux computations for hydrological purposes. World Meteorological Organization*. Geneve: WMO/IHD Report n. 20 WMO. 1973. 83p.

PEIXOTO, J.P.; OORT, A.H. *Physics Of Climate*. New York: **American Institute Of Physics**, 1992. 520 P. Isbn 13:978-0883187128, Isbn-10:0883187124.

PENEREIRO, J.C.; FERREIRA, D.H.L. Estatística apoiada pela tecnologia: uma proposta para identificar tendências climáticas/Statistics supported by technology: A proposal to identify climate trends. **Acta Scientiae**, v. 13, n. 1, p. 87-105, 2012.

PENEREIRO, J.C.; ORLANDO, D.V. ANÁLISES DE TENDÊNCIAS EM SÉRIES TEMPORAIS ANUAIS DE DADOS CLIMÁTICOS E HIDROLÓGICOS NA BACIA DO RIO PARNAÍBA ENTRE OS ESTADOS DO MARANHÃO E PIAUÍ/BRASIL. **REVISTA GEOGRÁFICA ACADÊMICA**, v. 7, n. 2, p. 5-21, 2013.

PENEREIRO, J.C.; FERREIRA, D.L. TESTES ESTATÍSTICOS E QUESTÕES AMBIENTAIS NO ENSINO DE ENGENHARIA: UMA APLICAÇÃO À CLIMATOLOGIA. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 31, n. 2, 2014.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to change point problem. *Appl. Stat.*, London v. 28, n. 2 p.126-135, 1979.

QUADRO, M. F. L. D., DIAS, M. A. F. D. S., HERDIES, D. L., & GONÇALVES, L. G. G. D. Análise Climatológica Da Precipitação E Do Transporte De Umidade Na Região Da Zcas Através Da Nova Geração De Reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p. 152-162, 2012.

RAZALI, N. M.; WAH, Y. B. Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. **Journal of Statistical Modeling and Analytics**, v. 2, n. 1, p. 21-33, 2011.

ROCHA, F.P.D.; ARAVÉQUIA, J.A.; RIBEIRO, B.Z. Cyclones And Atmosferic Circulation Patterns Study In The South Atlantic Ocean Near The Coast Of South And A Southeast Of Brazil Using Reanalysis Era-Interim Data. **Revista Brasileira De Meteorologia**, v. 31, n. 2, p. 141-156, 2016.

RODRIGUES, J., DE ÁVILA RODRIGUES, R., BARBOSA JUSTINO, F., COSTA, L. C., & CID DE AMORIM, M. Efeitos Locais E De Larga Escala Na Dinâmica Climática Do Município De Viçosa-Minas Gerais. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 3, p. 593-610, 2010.

SAID, S.E., e DICKEY, D.A (1984). "Testing for Unit Roots in Autoregressive Moving Average Models of Unknown Order". **Biometrika**, 71, 599-607.

SALVIANO, M. F., GROppo, J. D., & PELLEGRINO, G. Q. "Trends Analysis Of Precipitation And Temperature Data In Brazil." **Revista Brasileira De Meteorologia** 31.1 (2016): 64-73.

SANTOS, C. A., DE LIMA, A. M. M., FARIAS, M. H. C. S., AIRES, U. R. V., & DE OLIVEIRA SERRÃO, E. A. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA NÃO ESTACIONARIEDADE DE SÉRIES TEMPORAIS DE VAZÃO MÁXIMA ANUAL DIÁRIA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO. **HOLOS**, v. 7, p. 179-193, 2016

SENA, J.P.; LUCENA, D.B. Identificação de Tendência da Precipitação na Microrregião do Cariri Paraibano (Identification of Precipitation Trend in the Microregion of Cariri Paraibano). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 5, p. 1400-1416, 2013.

SERREZE, M. C.; R. G. BARRY, AND J. E. WALSH,: Atmospheric Water Vapor Characteristics At 70°N. **Journal Of Climate**, v.8, p.719–731, 1995.

SERREZE, M.C.; BARRY, R.G.; WALSH, J.E. Atmospheric Water Vapor Characteristics At 70° N. **American Meteorological Society**, v. 8, p. 719-731, 1995.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, p. 591-611, 1965.

SILVA, V.P.R. On Climate Variability In Northeast Of Brazil. **Journal Of Arid Environments**, v. 58, n. 4, p. 575-596, 2004.

SILVA, D.F.; DE SOUSA, A.B. Detecção de Tendências Climáticas no Estado de Alagoas (Tend detection of climatic in Alagoas State). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 3, p. 442-455, 2013.

SILVA, L. C. Utilizando o ARMAX para estimar a influência do PIB, SELIC e Inflação no faturamento de empresas do setor siderúrgico com ações na bolsa. Monografia 82f. Bacharelado (Administração), Universidade de Brasília (UNB), Brasília 2011.

SHARKEY, P.; KILLICK, R. Nonparametric Methods for Online Changeoint Detection. Lancaster Univ, Lancaster, UK. 2014.

SMITH, T.M.; ARKIN, P.A. Improved Historical Analysis Of Oceanic Total Precipitable Water. **Journal Of Climate**, V. 28, N. 8, P. 3099-3121, 2015.

SUDRADJAT, A.; FERRARO, R.R.; FIORINO, M. A Comparison Of Total Precipitable Water Between Reanalyses And Nvap. **Journal Of Climate**, v. 18, n. 11, p. 1790-1807, 2005.

STÜKER, E., SCHUSTER, C. H., SCHUSTER, J. J., SANTOS, D. C., MEDEIROS, L. E., COSTA, F. D., ... & PUHALES, F. S. Comparison Of Wind Data Of Era-Interim Reanalysis And Cfsr With The Data From Automatic Inmet Stations In Rio Grande Do Sul. **Ciência E Natura**, v. 38, n. ix Workshop, p. 284, 2016.

SOUSA, A.B.; DA SILVA, D.F. Causas Climáticas da variabilidade pluviométrica e tendências climáticas na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe (CE). **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 46, 2013.

TOMASI, C. Determination Of The Total Precipitable Water By Varying The Intercept In Reitan's Relationship. *Journal Of Applied Meteorology*. V.20, P.1058–1069, 1981. Tripoli, G. J.; Cotton, W. R. The Colorado State University Three-Dimensional Cloud Mesoscale Model: Part I: General Theoretical Framework And Sensitivity Experiments. **Journal De Recherches Atmospheriques**. v.16, p. 185-220, 1982.

ULIANA, E., DA SILVA, D. D., MORGAN ULIANA, E., SILVEIRA RODRIGUES, B., & DE PAULA CORRÊDO, L. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 1, 2015.

ULIANA, E. M.; DEMETRIUS, D. S.; ULIANA, E. M; RODRIGUES, B. S.; CORRÊDO, L. P. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, p. 82-88, 2015.

VEY, S.; DIETRICH, R.; RÜLKE, A.; FRITSCH, M.; STEIGENBERGER, P.; ROTHACHER, M. Validation Of Precipitable Water Vapor Within The Ncep/Doe Reanalysis Using Global Gps Observations From One Decade. **Journal Of Climate**, v. 23, n. 7, p. 1675-1695, 2010.

VEZZOLI, R.; PECORA, S.; ZENONI, E. Data analysis to detect inhomogeneity, change points, trends in observations: an application to Po river discharge extremes. **Research Papers Issue RP0138** Technical report. CMCC; 2012.

YUE, S; PILON, P; CAVADIAS, G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. **Journal of Hydrology** 259:254-271.2002.

WANDERLEY, H.S.; JUSTINO, F.B. AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE VAPOR DE AGUA ATMOSFERICO NA GROENLANDIA. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 153, 2015.

WANDERLEY, H.S. Variabilidade do perfil vertical de vapor de água na troposfera. 2014. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Programa de pós-graduação em meteorologia agrícola, Viçosa, MG.

WEBSTER, P., 1994: The Role Of Hydrological Processes In Ocean–Atmosphere Interactions. **Reviews Of Geophysics**, v.32, p.427–476, 1994.

ZHAI, P., ZHANG, X., WAN, H.; PAN, X. Trends In Total Precipitation And Frequency Of Daily Precipitation Extremes Over China. *Journal Of Climate*, **American Meteorological Society**, Washington-Eua v. 18, n. 7, p.1096-1108, Abr. 2005.

ZHANG, W; YAN, Y; ZHENG, J; LI, L; DONG, X; CAI, H. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. **Global and Planetary Change** 69:35-47. 2009.