



## SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

### ANÁLISE DAS VARIABILIDADES INTERANUAIS E INTERDECENIAIS DOS ÍNDICES DE ARIDEZ E EFETIVO DE UMIDADE DA CIDADE DE TAUÁ-CE.

Irene Cristina Pereira Corrêa<sup>1</sup>, José Ivaldo Barbosa de Brito<sup>2</sup>, Verônica Gabriella de Oliveira<sup>3</sup>, Illelson Rafael da Silva Barbosa<sup>4</sup>.

*Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande<sup>1,2,3</sup>*

*Av. Aprígio Veloso, 822. Bodocongó. 58.109-970. Campina Grande, PB - Brasil*

*E-mails: [irene cristinacorrea@hotmail.com](mailto:irene cristinacorrea@hotmail.com)<sup>1</sup>; [jibdebrito@yahoo.com.br](mailto:jibdebrito@yahoo.com.br)<sup>2</sup>; [oliver.gabzinha@hotmail.com](mailto:oliver.gabzinha@hotmail.com)<sup>3</sup>; [i.rafael.ufpa@gmail.com](mailto:i.rafael.ufpa@gmail.com)<sup>4</sup>*

#### RESUMO

As variabilidades interanual e interdecenal da precipitação do Nordeste e sua relação com os fenômenos El Niño Oscilação Sul (ENOS), dipolo do Atlântico, Oscilação Decenal do Pacífico (ODP) e Oscilação Multidecenal do Atlântico (OMA) tem sido o objetivo de muitos estudos. O presente estudo tem como hipótese básica analisar as variabilidades interanual e interdecenal da cidade de Tauá-CE utilizando os índices climáticos efetivos e umidade ( $I_m$ ) e aridez ( $I_a$ ) de Thornthwaite (1948) e o índice de aridez da UNEP ( $I_{aUNEP}$ ), pois são índices usados para produzir classificação climática. E será também feita a análise das variabilidades interanual e interdecenal utilizando a análise harmônica e a análise de ondaletas, no período de 1951 a 2014. Para Tauá com  $I_{aUNEP}$  obtém-se clima o semiárido, enquanto com  $I_m$  observa-se que o tipo de clima é árido. Já para o estudo da variabilidade interanual e interdecenal dos índices de  $I_{aUNEP}$  e  $I_m$  a Análise de Ondaletas e Análise Harmônica mostraram que a variabilidade interanual localizada na cidade estar ligada decorrente da ao ciclo de ENOS e ao gradiente de anomalia de TSM no Atlântico Tropical.

Palavras-Chave: Análise Harmônica, Ondeletas,  $I_{aUNEP}$ ,  $I_m$ .

#### ABSTRACT

The interannual variability and intra decennial rainfall in the Northeast and its relationship with the ENSO phenomenon, the Atlantic dipole, ODP and OMA has been the subject of many studies. This study is basic hypothesis analyze interannual and interdecenal variability of the city of Taua-EC using the actual climate indices and moisture ( $I_m$ ) and aridity ( $I_a$ ) Thornthwaite (1948) and aridity index of UNEP ( $I_{aUNEP}$ ) It is uados indices to produce climatic classification. And it also made the analysis of the interannual variability and interdecenal using harmonic analysis and wavelet analysis, from 1951 to 2014. To Taua with  $I_{aUNEP}$  climate we obtain the semi-arid, with  $I_m$  as it is observed that the type of weather It is arid. As for the study of interannual variability and interdecenal the contents of  $I_{aUNEP}$  and  $I_m$  the Wavelet Analysis and Harmonic analysis showed that interannual variability located in the city be linked due to the ENSO cycle and the SST





## SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

anomaly gradient in the Tropical Atlantic.

Keywords: Harmonic analysis, Wavelet,  $I_{aUnep}$ ,  $I_m$ .

### 1. INTRODUÇÃO

A região Nordeste tem tido sua história marcada por eventos de secas com diversos graus de intensidade. Em anos com condições razoavelmente normais de distribuição de precipitação proporcionam a permanência da população na região. Porém, anos secos e extremamente secos criam situações de êxodo para regiões mais propícias, com profundas implicações socioeconômicas para a região e para o país (Valadão et al., 2010).

A variabilidade interanual da precipitação na região Nordeste do Brasil (NEB) é devido a sua dependência de extremos de temperatura da superfície do mar (TSM) do Atlântico Tropical (Moura e Shukla, 1981). A propósito a variabilidade inter-hemisférico de anomalias de TSM no Atlântico foi denominada por Moura e Shukla (1981) de dipolo de anomalias de TSM do Atlântico.

A dependência da precipitação do NEB dos eventos de ENOS e dipolo de anomalia de TSM do Atlântico Tropical também foi analisada por Santos e Brito (2007), Adreoli e Kayano (2007), entre outros. Ressalta-se que também existem pesquisas mostrando a influência do ENOS e do Dipolo do Atlântico na temperatura do ar do NEB (Cavalcanti et al., 2006 e Da Silva Junior, 2010).

Recentemente, Kayano e Capistrano (2014) mostraram que a dependência da precipitação do NEB dos fenômenos ENOS e Dipolo do Atlântico é relativa, pois esta dependência é influenciada pela fase (positiva ou negativa) da Oscilação Multidecenal do Atlântico (OMA). Em sequência de anos com a fase positiva a precipitação total anual do NEB tende a ser inferior a média histórica e o contrário na fase negativa. Ressalta-se que Da Silva Junior (2010) demonstrou que tanto a precipitação como a temperatura do ar das regiões Norte e Nordeste do Brasil apresentavam certa dependência da OMA e da Oscilação Decenal do Pacífico (ODP).

Observa-se que além da variabilidade interanual a precipitação do NEB também apresenta variabilidade interdecenal, conforme a atuação de eventos oceânicos de escala interanual e interdecenal (Cavalcanti, 2015). Contudo, a relação precipitação do NEB eventos oceânicos não é direta, pois depende de uma combinação de fatores oceânicos e da dinâmica da atmosfera em cada ano específico.

Um dos pioneiros nesta análise para o NEB foi Hastenrath e Greischar (1993), que examinaram séries históricas de precipitação em uma rede de estações bem distribuídas sobre o NEB e afirmaram que não há tendências significativas para condições mais úmidas ou secas na região nordeste. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos e Brito (2007) para os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte.

Em geral, os estudos sobre a variabilidade da precipitação são designados de variabilidade do clima. Entretanto, na maioria das vezes nenhuma análise climática é realizada, mas apenas a





## SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

variabilidade das variáveis precipitação e temperatura do ar, comumente só a precipitação. Provavelmente, nas áreas tropicais, variabilidade da precipitação pode corresponder à variabilidade no clima, porém pode ocorrer variabilidade na precipitação, mas não no clima. Portanto, o presente estudo tem como hipótese básica analisar as variabilidades interanual e interdecenal da cidade de Tauá-CE utilizando os índices climáticos efetivos e umidade ( $I_m$ ) e aridez ( $I_a$ ) de Thornthwaite (1948) e o índice de aridez da UNEP ( $I_{aUNEP}$ ) – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – (sigla em inglês United Nations Environment Programme) (UNEP, 1992), pois são índices usados para produzir classificação climática. Existem muitos estudos sobre a variabilidade do clima do Nordeste e em particular do Ceará, porém estudo desta natureza usando índices de classificação climática é uma hipótese que deve ser investigada. A análise das variabilidades interanual e interdecenal será elaborada utilizando a análise harmônica e a análise de ondaletas.

## 2. METODOLOGIA

A área escolhida para ser estudada é a cidade de Tauá, localizada no Estado do Ceará, que está localizado na Região Nordeste do Brasil (Figura 1). A estação meteorológica usada possui coordenadas geográficas com latitude de  $-6^{\circ} 00' 11''$  e longitude  $-40^{\circ} 17' 34''$ . A área da região de Tauá é de 4.018,162 km<sup>2</sup>, sua população é de aproximadamente 57.701 habitantes (IBGE, 2014).

**Figura 1:** Localização da área de estudo no mapa do Ceará.



Fonte: Google Maps.





## SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Os dados desta pesquisa serão de temperaturas do ar (°C) médias mensais do período de 1951 a 2014, que foram estimados através de um software, o Estima\_T, que está disponível em <http://www.dca.ufcg.edu.br/download/estimamat.htm> (Cavalcanti e Silva (1994), Cavalcanti et al. (2006), Silva et al. (2006)). Os dados de precipitação foram obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos do estado do Ceará (FUNCEME).

Os dados dos índices de ODP foram obtidos no site do Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean da University of Washington, enquanto, os dos índices de OMA, dos Niños e DAT foram oriundos do site do Earth System Research Laboratory da National Oceanic and Atmospheric Administration.

Para a realização da análise da variabilidade interdecenal foram feitas médias móveis de nove anos dos índices  $I_a(\text{UNEP})$ ,  $I_m$ , OMA e ODP, objetivando filtrar variabilidade interanual.

A Tabela 1 mostra os níveis de classificação climática de acordo com o índices de aridez  $I_a(\text{UNEP})$ , enquanto, na Tabela 2 são apresentados os níveis de classificação climática conforme o  $I_m$ .

**Tabela 1:** Classificação Climática de acordo com o  $I_a(\text{UNEP})$

Índice de Aridez	Classificação Climática
$I_{a(\text{UNEP})} \leq 0,05$	Hiperárido
$0,05 < I_{a(\text{UNEP})} \leq 0,2$	Árido
$0,2 < I_{a(\text{UNEP})} \leq 0,5$	Semiárido
$0,5 < I_{a(\text{UNEP})} \leq 0,65$	Subúmido Seco
$0,65 < I_{a(\text{UNEP})} \leq 1,00$	Subúmido Úmido
$I_{a(\text{UNEP})} > 1,00$	Úmido

Fonte: Adaptado FUNCEME, 2014.

**Tabela 2:** Classificação climática com base no  $I_m$ .

Índice Efetivo de Umidade ( $I_m$ )	Tipo de Clima
$I_m \leq -60$	Hiperárido
$-60 < I_m \leq -40$	Árido
$-40 < I_m \leq -20$	Semiárido
$-20 < I_m \leq 0$	Subúmido seco
$0 < I_m \leq 20$	Subúmido
$20 < I_m \leq 40$	Sub-úmido úmido
$40 < I_m \leq 60$	Úmido 2
$60 < I_m \leq 80$	Úmido 1
$80 < I_m \leq 100$	Superúmido
$I_m > 100$	Hiperúmido

Fonte: Adaptado de Oliver, 1973.





## SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Os índices de aridez ( $I_a$ ) e efetivo de umidade ( $I_m$ ) de Thornthwaite (1948) para a localidade selecionada foi obtido através do Balanço Hídrico seriado conforme o modelo proposto por Thornthwaite & Mather (1955) e desenvolvido em planilha Excel por Rolim e Sentelhas (1998). O balanço hídrico foi executado para Tauá e os 63 anos de dados. A capacidade de água disponível (CAD) utilizada é de 100 mm.

Para calcular o índice de aridez do UNEP foi utilizada a seguinte equação:

$$I_{a\text{UNEP}} = \text{PRP}_{\text{total}} / \text{EP}_{\text{th}}$$

Onde:

$\text{PRP}_{\text{total}}$  → Precipitação total anual;

$\text{EP}_{\text{th}}$  → Evapotranspiração potencial anual.

Já para calcular índice efetivo de umidade foi utilizada a seguinte equação:

$$I_m = (I_u - (0,6 * I_a)) * 100$$

Onde:

$I_u$  → Índice de Umidade;

$I_a$  → Índice de Aridez.

A Análise Harmônica é uma série temporal de dados de uma variável climatológica  $f(t)$ , observado em um intervalo de tempo  $\Delta t$ , durante um período  $t$ , produzindo um número total de observações  $N$  igual a  $t/\Delta t$ . A variável  $f(t)$  pode ser representada por uma série trigonométrica dada por:

$$F(t_i) = a_0 + \sum_{K=1}^L (a_k \cos(k\omega t_i) + b_k \text{sen}(k\omega t_i))$$





## SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Onde:

$a_0$  → Coeficiente da série de Fourier conhecido por harmônico fundamental, representando a própria média aritmética da série de dados observados;

$a_k$  e  $b_k$  → Coeficientes de cosseno e seno para o harmônico “k” da séries de Fourier;

$\omega$  → Frequência angular das ondas de Fourier, sendo  $\omega = 2\pi/N$ ;

$t_i$  → Ordenação numérica das observações correspondentes da série ( $i = 0, 1, \dots, N-1$ ).

Os coeficientes  $a_0$ ,  $a_k$  e  $b_k$  são obtidos, respectivamente, pelas seguintes expressões:

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(t_i) \quad a_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N f(t_i) \cos(k\omega t_i) \quad b_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N f(t_i) \text{sen}(k\omega t_i)$$

A amplitude ( $c_k$ ) e o ângulo de fase ( $\varphi_k$ ) dos harmônicos são dados, respectivamente, por:

$$c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad \varphi_k = \arctan\left(\frac{b_k}{a_k}\right)$$

Sabendo que:

O número de harmônicos ajustados pelas séries de Fourier para o conjunto de dados foi igual a 32, pois a série contém um conjunto par equivalente a 64 observações.

$k$  → Identifica o número de harmônicos que, para as séries analisadas, varia de 1 a  $L$ ;

sendo:  $\begin{cases} N \text{ for Par} \rightarrow L = N/2 \\ N \text{ for Ímpar} \rightarrow L = (N-1)/2 \end{cases}$

Para a análise da ondaleta foi utilizada a ondaleta “mãe” que foi a Morlet, pois possui características semelhantes às de sinais meteorológicos, dada por:





## SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

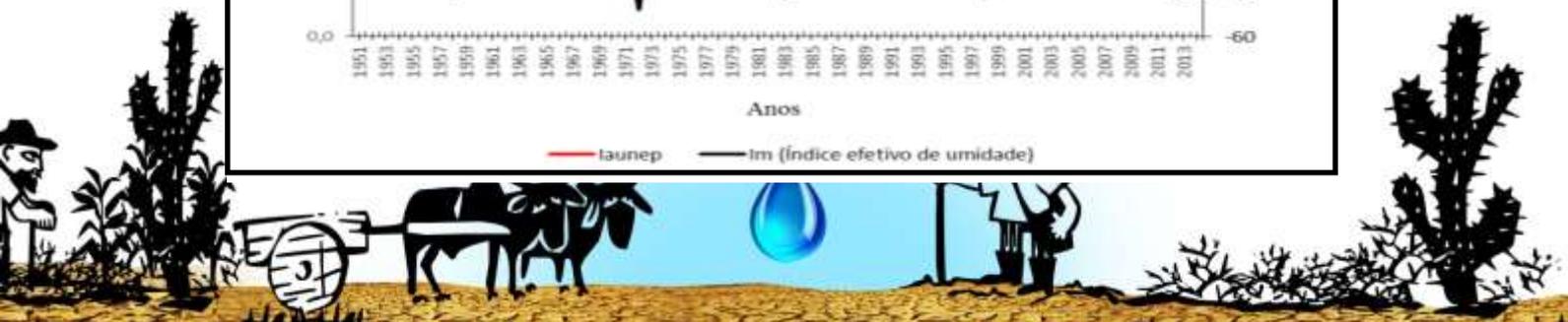
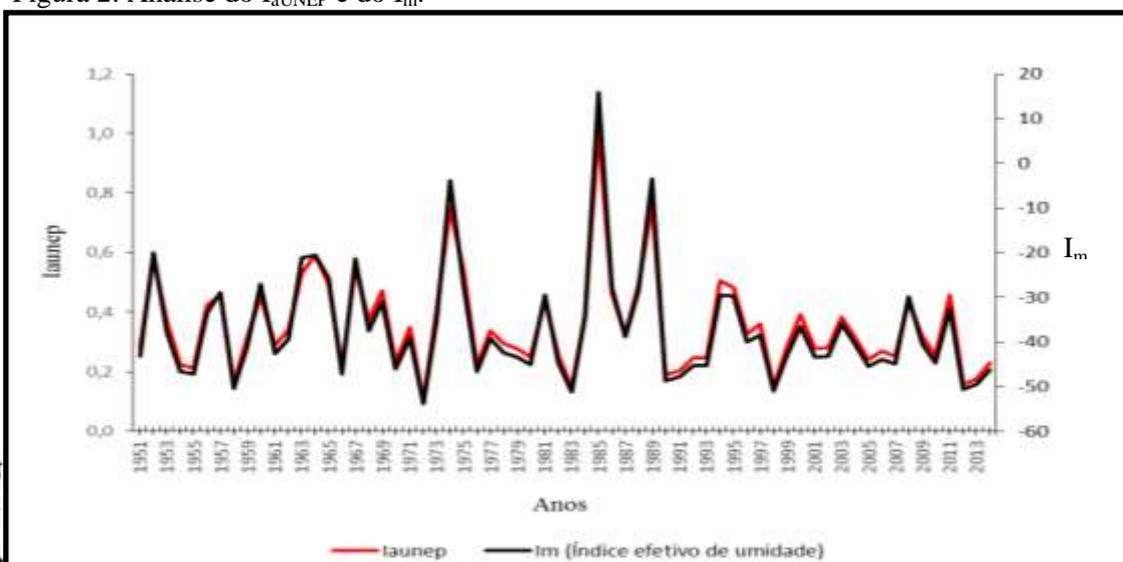
$$\psi(t) = e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2}$$

### 3. Resultados e Discussão

Pode-se visualizar na Figura 2, a variabilidade anual dos índices  $I_{aUNEP}$  e  $I_m$  de Thornthwaite para a cidade de Tauá. Para  $I_{aUNEP}$  apenas um valor ficou acima de 1,00, este 1985 ( $I_{aUNEP} = 1,01$ ), ou seja, clima úmido, coincidiu com ano em que o fenômeno da La Niña foi considerado forte a moderado e o dipolo de anomalias de TSM do Atlântico Tropical foi negativo, a precipitação desse ano foi superior à evapotranspiração potencial, também coincidindo com as fases frias (negativas) da ODP e da OMA. Observa-se também especificamente os anos de 1958, 1972, 1983, 1998 valores de 0,16, 0,10, 0,15, 0,15 do  $I_{aUNEP}$ , respectivamente, anos estes considerados de El Niño forte e dipolo positivo e OMA na fase quente (positiva), o que causou pouca precipitação e consequentemente baixo índice de  $I_{aUNEP}$ , ou seja, grau mais elevando de aridez. E Observando a partir dos valores analisados do índice de aridez anual de Tauá, que sua classificação climática, de acordo com a tabela 1, na maioria dos anos (75%) considerados semiárido, seguido com 10,9% de árido. Entretanto, o clima variou ao longo dos anos de árido a úmido. Conclui-se que a influência do ENOS e dipolo de anomalia de TSM no grau do índice de aridez em Tauá foi determinante, ocasionando anos árido e sub-úmido. Pode ser conjecturado que as oscilações decenais dos oceanos Pacífico e Atlântico também contribuíram para a variabilidade do clima de Tauá.

A partir da Figura 2, com relação ao  $I_m$ , verifica-se que ao longo dos anos o  $I_m$  e o  $I_{aUNEP}$  estão seguindo uma mesma tendência, entretanto, na classificação climática para Tauá com  $I_{aUNEP}$  e  $I_m$  obteve-se clima o semiárido.

Figura 2: Análise do  $I_{aUNEP}$  e do  $I_m$ .



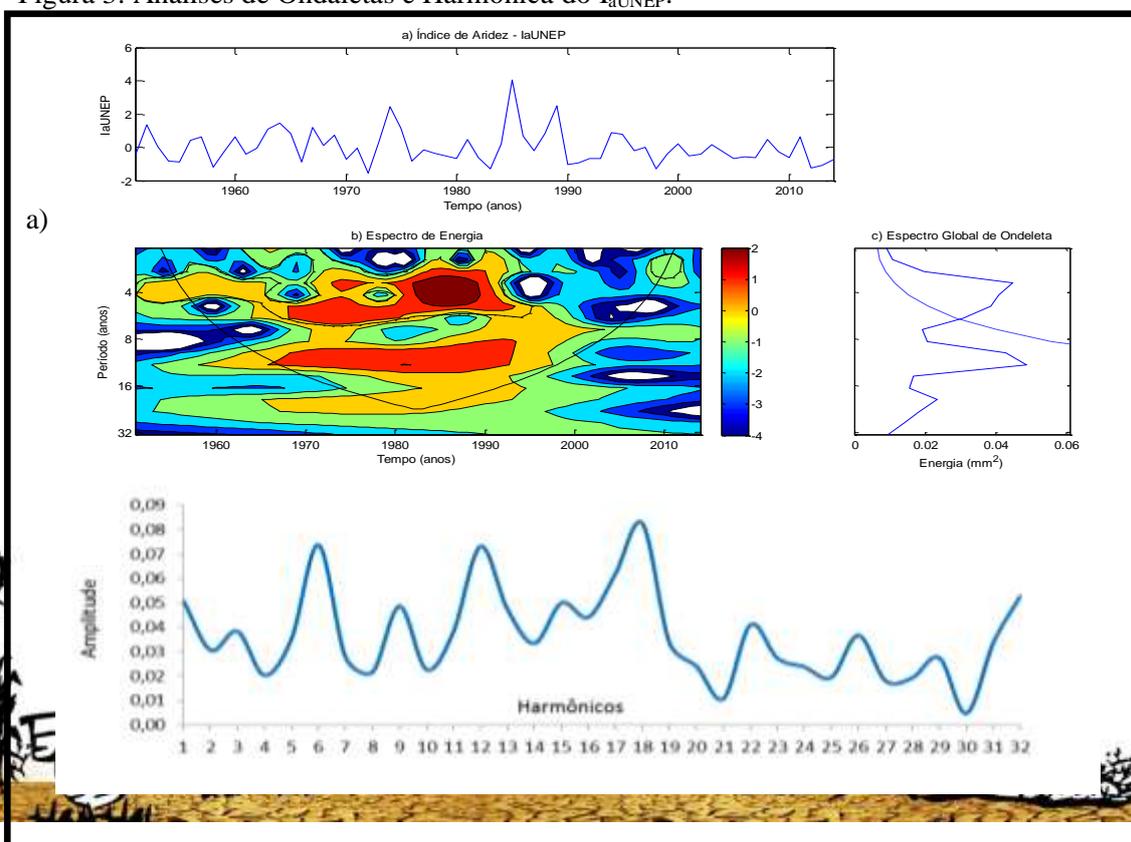


## SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Fonte: CORRÊA, I.C.P.

As Figuras 3a ( $I_{aUNEP}$ ) e 4a ( $I_m$ ) a Análise de Ondaletas o pico dominante estão na escala de aproximadamente de 3 a 4 anos, e isso é resultado dos valores observados no Espectro de Ondaletas com destaque para os anos de El Niño , 1958, 1972, 1983 e 1998, e para o ano que ocorreu a La Niña (1985). Esses resultados indicam que a variabilidade interanual dos índices em Tauá é decorrente da variabilidade interanual localizada ligada ao ciclo de ENOS e ao gradiente de anomalia de TSM no Atlântico Tropical. Já em relação à Análise Harmônica, nas figuras 3b e 4b, verificou-se ciclos estatisticamente significativo de 64 anos, de 10 anos, de 5 anos e 3-4 anos. Os ciclos de maiores frequência da análise harmônica concordam com os da ondaletas, Isto reforça a observação de que as variabilidades interanuais dos índices são decorrentes da variabilidade das anomalias das águas da superfície do mar.

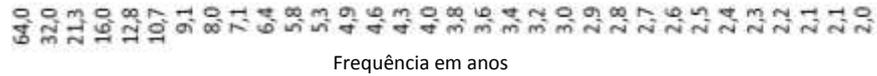
Figura 3: Análises de Ondaletas e Harmônica do  $I_{aUNEP}$ .





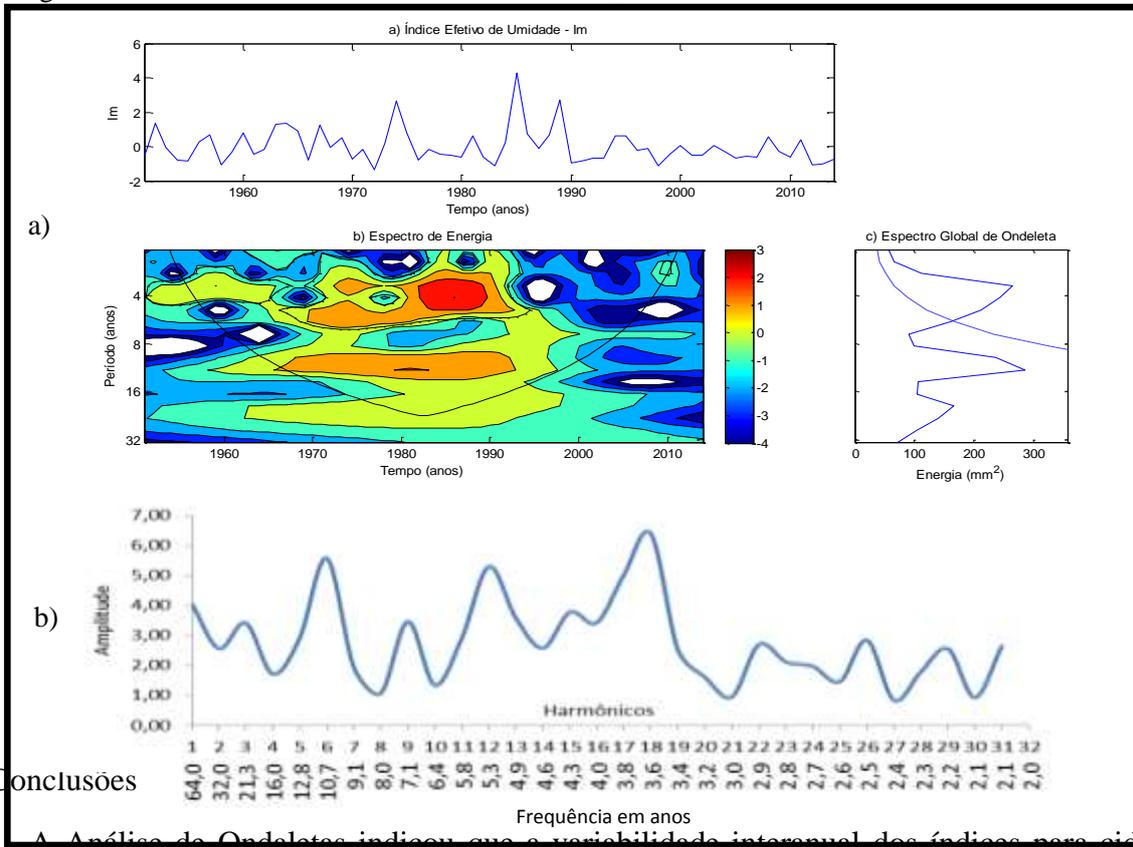
# SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

b)



Fonte: CORRÊA, I.C.P.

Figura 4: Análises de Ondaletas e Harmônica do  $I_m$ .



## 4. Conclusões

A Análise de Ondaletas indicou que a variabilidade interanual dos índices para cidade de Tauá é decorrente da variabilidade interanual das anomalias de TSM nos oceanos Atlântico Tropical e Pacífico Equatorial, ou seja, dos fenômenos dipolo do Atlântico e ENOS. Para a Análise





## SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Harmônica verificou-se ciclos estatisticamente significativo de 64 anos, de 8 a 12 anos, de 5anos e 3-4 anos. Os ciclos de maiores frequência da análise harmônica concordam com os da ondaletas, Isto reforça a observação de que as variabilidades interanuais dos índices são decorrentes da variabilidade das anomalias das águas da superfície do mar. Em relação ao ciclo de baixa frequência (64 anos) provavelmente esteja relacionado com a ODP e a OMA, além do ENOS e dipolo do Atlântico. Também se observou que índice utilizado para Tauá com o  $I_{aUNEP}$  obtém-se clima semiárido e com o  $I_m$  verificou-se o mesmo clima, o é semiárido. A princípio não existe uma correlação direta entre as fases da OMA e ODP com os índices de aridez e umidade, mas uma correlação indireta, ou seja, a variabilidade no padrão interdecenal dos índices, provavelmente, esteja relacionado a fenômenos com duração mais curta, como o ENOS e o dipolo do Atlântico, que tem um período de retorno de 3 a 5 anos, porém impulsionados com as fases frias e quentes da ODP e da OMA poderão suavizar ou intensificar a aridez do clima do Ceará produzindo variabilidade de baixa frequência.

### AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores agradecem a CAPES e ao CNPQ pelo consenso da bolsa de estudos ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UFCG, ao INMET e FUNCEME pelo fornecimento dos dados observados de precipitação.

### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andreoli, R. V.; Kayano, M. T.: A importância relativa do Atlântico tropical sul e Pacífico leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, p. 337-344, 2007.

Cavalcanti, E. P.; Silva, E. D. V.: Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. **VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia e II Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia**. Sociedade Brasileira de Meteorologia. Belo Horizonte, p. 154-157, 1994.

Cavalcanti, E. P.; Silva, V. P. R.; Sousa, F. A. S.: Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Brasil, v. 10, n. 1, p. 140-147, 2006.

Cavalcanti, E. R.; Coutinho, S. F. S.; Selva, V. S. F.: Desertificação e desastres naturais na região do semi-árido Brasileiro. **Revista Cadernos de Estudos Sociais**. Recife. Editora Massangana. v.





## SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

22. n. 1. p. 19-31. jan/jun, 2006.

Cavalcanti, I. F. A.: The influence of extratropical atlantic ocean region on wet and dry years in north northeastern brazil. **Frontiers in environmental science**, v. 3, art. 34, 2015.

Da Silva Júnior, C. H. F.: Índices de Monitoramento e Detecção de Mudanças Climáticas na Parte Norte do Brasil. **Dissertação de mestrado**. Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos hídricos (FUNCEME). Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/areas>. Acessado em: 25 de setembro de 2015.

Hastenrath, S.; Greischar, L.: Circulation mechanisms related to Northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 98, n. D3, p. 5093-5102, 1993.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **IBGE**. 2014. ([http://www.ibge.gov.br/home/mapa\\_site/mapa\\_site.php#populacao](http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#populacao)). Acessado em: 25 de setembro de 2015.

KOUSKY, V.E.; FERREIRA, N. J.: Interdiurnal surface pressure variations in Brazil: Their spatial distributions, origins and effects. **Mon. Weather Rev.**, 109, 1999-2008. 1981.

Silva, V; Sousa, F; Cavalcanti, E.P. ; Souza, E ; Da Silva, B. B.: Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, Canada, v. 68, n. 68, p. 781-792, 2006.

Santos, C. A. C.; Brito, J. I. B.: Análise de índices de detecção das mudanças climáticas para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2007.

Thornthwaite, C. W.: An approach toward a rational classification of climate. **Geography Review**, [S.l.], v. 38, p. 55-94, 1948.

Thornthwaite, C. W.; Mather, J. R.: The water balance: publications in climatology. **New Jersey: Drexel Institute of Technology**, p. 104, 1955.

United Nations Environment Programme (UNEP). **World Atlas of Desertification**. Londres: UNEP/Edward Arnold, p. 69, 1992.





## **SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Valadão C. E. A.; Silva B. K. N.; Oliveira P.T.; Schmidt D. M.; Andrade R. L.; Filho W. L. F. C.; Barreto N. J. C.; Mata M. V. M.; Lopo A. L. B.; Spyrides M. H. C.; Lucio P. S.: Uma Análise Comparativa de Alguns Índices de Aridez Aplicados às Capitais do Nordeste do Brasil. **XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia: A Amazonia e o clima global**. Belém, PA, 2010.

