

## CARACTERIZAÇÕES E TENDÊNCIAS DE PARÂMETROS DO BALANÇO HÍDRICO EM LARGA ESCALA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

*Antônio Heriberto de Castro Teixeira<sup>1\*</sup>*

**Resumo** – Nos últimos anos, a região semiárida do Brasil vem se destacando como um importante centro produtor agrícola, principalmente nos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA. Como uma consequência, a rápida substituição da vegetação natural por culturas irrigadas em conjunto com cenários de mudanças climáticas globais podem afetar diferencialmente a disponibilidade hídrica em várias escalas espaço-temporais. O objetivo da presente pesquisa foi a delimitação das condições médias e das tendências dos parâmetros envolvidos no balanço hídrico durante o período de 2003 a 2012. Enquanto que em Petrolina ocorreram precipitações e taxas evapotranspiratórias mais elevadas que para Juazeiro, uma redução da demanda atmosférica ao longo dos anos é constatada no primeiro município, enquanto que no segundo ocorreu um acréscimo médio desta demanda. De acordo com as condições termo hidrológicas, Petrolina apresenta oportunidades bem superiores para a atividade agrícola dependente de chuvas que em Juazeiro. Entretanto, ao longo do ano, as condições de aridez aumentaram em ambos os municípios. Os parâmetros quantificados e analisados em diferentes escalas temporais e espaciais, em conjunto com outras características ecológicas, podem subsidiar um manejo racional do uso dos recursos hídricos em condições de mudanças de uso da terra e climáticas no semiárido brasileiro.

**Palavras-Chave** – demanda atmosférica, precipitação, aridez.

## CHARACTERIZATIONS AND TENDENCIES OF WATER BALANCE PARAMETERS ON A LARGE SCALE IN THE BRAZILIAN SEMI-ARID

**Abstract** – Over the last years, the Brazilian semiarid region has been highlighted as an important crop production centre, mainly in the municipalities of Petrolina-PE and Juazeiro-BA. As a consequence, the rapid replacement of the natural vegetation by irrigated crops coupled with the global climate change scenarios may differentially affect the water availability under several space and temporal scales. The goal of the current research was the delimitation of the averaged conditions and tendencies with time of the water balance parameters, during the period of 2003 to 2012. While in Petrolina higher both precipitation and evaporative rates than Juazeiro occurred, a reduction of the atmospheric demand in the first municipality was noticed, while in the second one occurred an average increment of this demand. According to the thermo-hydrological conditions, Petrolina presented better opportunities for rain fed agriculture than Juazeiro. However, the aridity conditions increased along the years in both municipalities. The parameters quantified and analysed under different spatial and temporal scales, joined with other ecological characteristics, may subsidize the rational water resources management under conditions of land use and climate changes in the Brazilian semi-arid region.

**Keywords** – atmospheric demand, precipitation, aridity.

<sup>1</sup> Embrapa Monitoramento por Satélites: heriberto.teixeira@embrapa.br  
\*Autor Correspondente: heriberto.teixeira@embrapa.br.

## INTRODUÇÃO

Observações e modelagens têm mostrado evidências de alterações no sistema climático em várias partes do mundo (IPCC, 2007). Por outro lado, devido à irrigação, os municípios brasileiros de Petrolina e Juazeiro, situadas nas regiões semiáridas dos Estados de Pernambuco e Bahia, respectivamente, se desenvolvem consideravelmente, ocasionando rápida mudança de uso da terra. Com o crescimento da população e aumento das áreas irrigadas, aliado às alterações climáticas, mudanças nos componentes do balanço hídrico em larga escala são esperadas no futuro (Teixeira, 2009).

Elevações de temperatura na região semiárida brasileira podem levar a reduções das disponibilidades hídricas resultantes de maiores demandas atmosféricas, diminuição da quantidade de chuvas e aumento da área irrigada (Teixeira, 2009). Em geral, previsões de incremento nas condições de aridez em larga escala evidenciam prioridades de ações para uma maior eficiência de uso da água. Para as adaptações a novas condições serem efetivas, há necessidade de informações sobre as condições atuais e tendências dos parâmetros climáticos relacionados com os recursos hídricos.

O objetivo desse trabalho foi analisar a variação espacial e temporal dos parâmetros de entrada e de saída no balanço hídrico em larga escala, bem como suas tendências no tempo, nos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA localizados nas margens esquerda e direita do Rio São Francisco, respectivamente. Uma rede de 15 estações agrometeorológicas foi utilizada para estas análises, as quais são importantes para o gerenciamento sustentável dos recursos hídricos.

## MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 mostra as localizações dos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, Nordeste do Brasil, e das estações agrometeorológicas utilizadas, com destaques para os tipos de agroecossistemas aonde vem sendo realizado o monitoramento climático em larga escala.

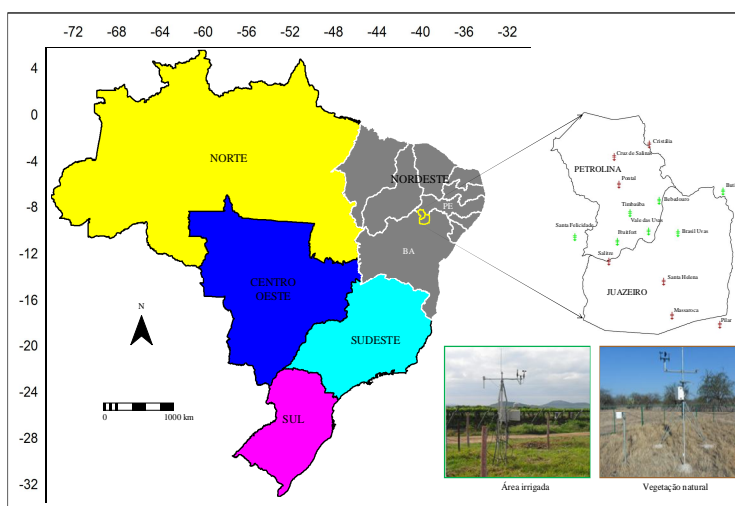


Figura 1 – Localização dos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA e estações agrometeorológicas utilizadas no processo de interpolação. As estações representadas pela cor verde estão dentro de áreas irrigadas enquanto que as coloração marrom estão em áreas com vegetação natural.

Os parâmetros climáticos envolvem um período de 10 anos (2003 – 2010), sendo que as estações na vegetação natural foram instaladas em 2010 e equações de regressão ( $R^2 > 0,80$ ) foram aplicadas com as estações mais antigas de Bebedouro e Brasil Uvas para obtenção dos parâmetros climáticos antes deste ano. Os dados mensais usados de maneira interpolada em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) foram de radiação solar global ( $R_G$ ), temperatura ( $T_a$ ) e umidade relativa (UR) do ar, velocidade do vento à 2m de altura (u) e precipitação (P).

Os mapas dos parâmetros climáticos foram usados ainda para o cálculo da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) e para a obtenção do índice hídrico (IH) em larga escala (Teixeira et al., 2012):

$$IH = \frac{P}{ET_0} \quad (1)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta as médias mensais e desvios padrões (DP) das variáveis climáticas representativas da demanda atmosférica nos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA para o período de 2003–2012.

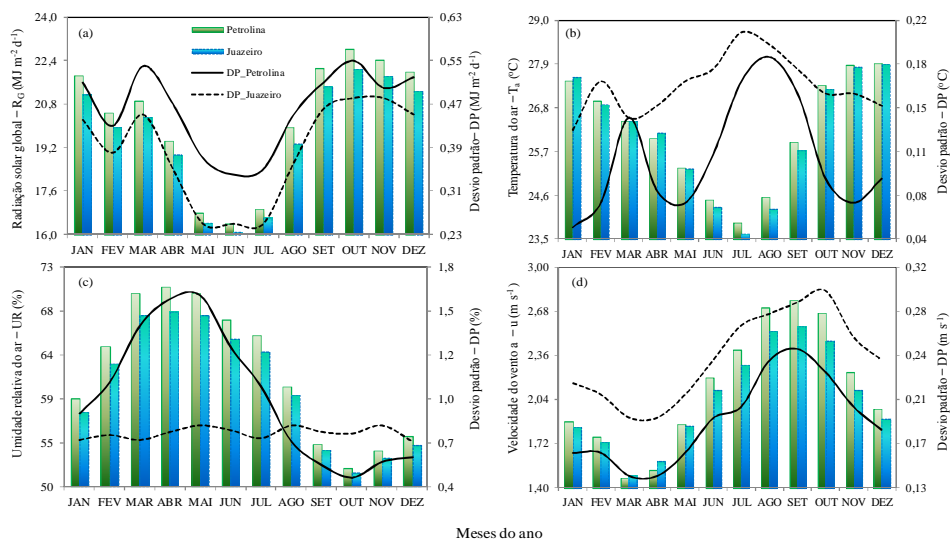


Figura 2 – Valores médios mensais e desvios padrões (DP) para as variáveis representativas da demanda atmosférica do período de 2003 a 2012 nos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA. (a) Radiação solar global –  $R_G$ ; (b) Temperatura média do ar –  $T_a$ ; (c) Umidade relativa média do ar – UR; e (d) Velocidade média do vento a 2m de altura – u.

Para ambos os municípios, os valores de  $R_G$  foram menores de abril a julho, com média de  $16,5\ MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ , e maiores de setembro a novembro, em torno de  $22,0\ MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ . Entretanto neste último período mais seco do ano, valores mais elevados em Petrolina foram evidenciados, quando comparado com Juazeiro (Figura 2a). Observando-se os valores de DP, percebem-se dois picos ao longo do ano correspondendo às posições zenitais do Sol, com uma queda de março ao meio do ano em ambos os municípios, quando a partir daí ocorre um rápido incremento na variação espacial, com destaque de maiores valores de DP para Petrolina durante todo o ano.

Os valores médios mensais para  $T_a$  e de DP são apresentados na Figura 2b. Embora se apresentando mais baixos e mais altos no meio e final do ano, em torno de 24,2 e 27,7 °C, respectivamente, não seguem o mesmo padrão de comportamento de  $R_G$ , com diferença de dois meses na ocorrência da média mensal máxima. Praticamente não há diferenças entre os valores dos dois municípios ao longo do ano, entretanto ocorrem maiores variações espaciais mensais em Juazeiro sendo estas mais constantes ao longo do ano que em Petrolina.

Os valores médios mensais de UR são apresentados na Figura 2c. Os mais elevados acontecem de março a maio (71 e 68% para respectivamente Petrolina e Juazeiro), enquanto que os mais baixos, em torno de 53% para ambos os municípios, são no período de setembro a novembro. Por outro lado, enquanto que a variação espacial em Juazeiro se apresenta praticamente constante ao longo do ano, estas são bem mais elevadas no período chuvoso em Petrolina. Os maiores valores tanto da UR como de DP no último município se devem ao fato de as áreas estarem na margem esquerda do Rio São Francisco e a direção predominante do vento (SE), com boa parte das áreas recebendo advecção de umidade do rio (Teixeira, 2009).

Como uma situação oposta a de UR, os menores valores mensais de  $u$  foram durante o período chuvoso de março a abril, em torno de 1,5 m s<sup>-1</sup> e os maiores são observados no período mais seco de agosto a setembro, com média de 2,7 m s<sup>-1</sup> (Figura 2d). Petrolina apresenta uma média anual 4% maior que para Juazeiro, porém com menores valores de DP. Maiores variações espaciais são observadas no segundo semestre em ambos os municípios.

A Figura 3 apresenta a variação espaço-temporal dos valores mensais da  $ET_0$ , para o período de 2003 a 2012 em Petrolina e Juazeiro.

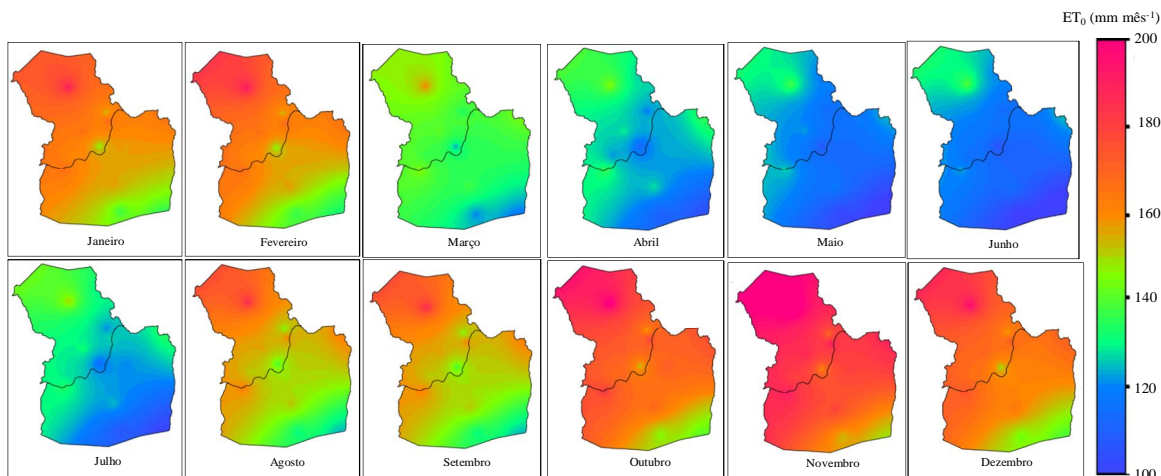


Figura 3 – Mapas dos valores médios da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) para diferentes meses do ano nos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA.

O período com maiores demandas atmosféricas é de setembro a novembro, quando as médias mensais para  $ET_0$  foram de 180 e 170 mm mês<sup>-1</sup> para Petrolina e Juazeiro, respectivamente. Os valores inferiores são para o período de abril a junho no primeiro município, em torno de 125 mm mês<sup>-1</sup>, e de maio a julho no segundo, com média de 115 mm mês<sup>-1</sup>. Destaques são para a parte noroeste de Petrolina com taxas evapotranspiratórias atingindo 200 mm mês<sup>-1</sup>, enquanto que as mais baixas são verificados na parte sudeste de Juazeiro chegando a 100 mm mês<sup>-1</sup> no meio do ano.

Como parâmetro de entrada no balanço hídrico, os totais médios mensais de P foram também analisados em larga escala nos municípios de Petrolina e Juazeiro (Figura 4).

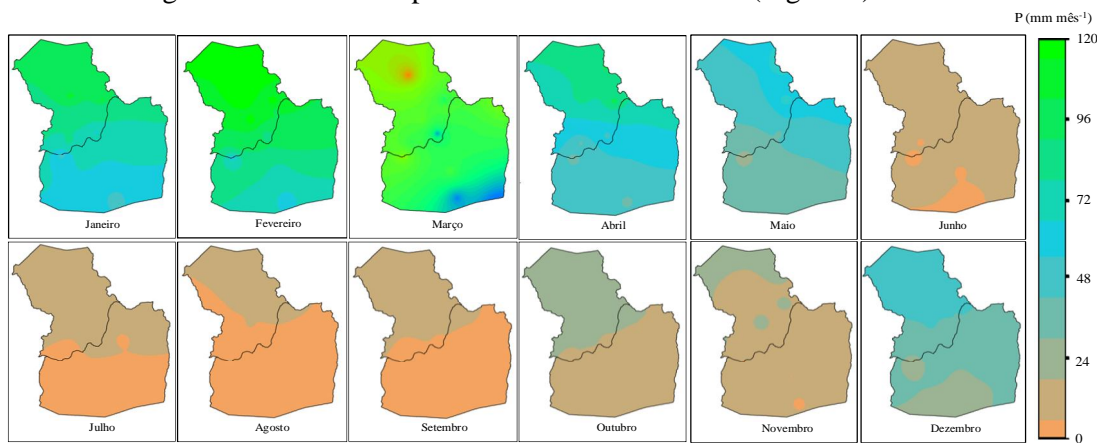


Figura 4 – Mapas dos totais de precipitação (P) médios para diferentes meses do ano nos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA.

Os períodos com maiores valores de P foram de janeiro a março, com totais médios de 95 e 75 mm mês<sup>-1</sup> para os municípios de Petrolina e de Juazeiro, respectivamente. Os mais baixos são para o período de julho a setembro de 10 e 5 mm mês<sup>-1</sup>. Destaques para elevadas quantidades de chuva são para a parte noroeste de Petrolina com totais médios acima de 100 mm mês<sup>-1</sup> no período chuvoso, enquanto que os mais baixos são verificados na parte sudoeste de Juazeiro no período mais seco do ano incluindo áreas com ausência de chuvas. Petrolina apresentou um total anual 40% superior a Juazeiro.

Os valores médios mensais de IH foram considerados separadamente para os municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA (Figura 5).

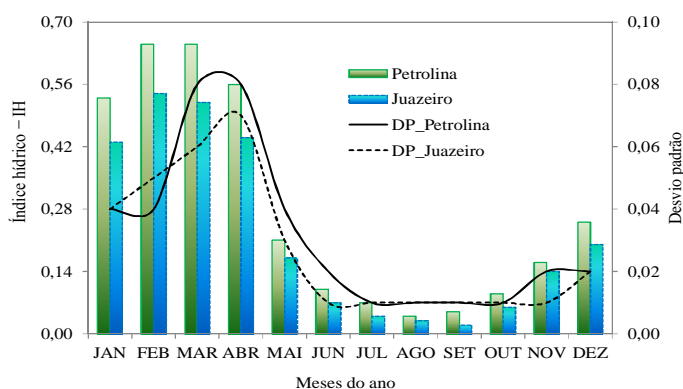


Figura 5 – Valores médios do índice hídrico (IH) e desvios padrões (DP) para diferentes meses do ano nos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA.

Os períodos com maiores valores de IH são de fevereiro a abril, em torno de 0,62 e 0,50 para os municípios de Petrolina e de Juazeiro, respectivamente. Os inferiores são para o período de julho a setembro em ambos os municípios, com média de 0,05 em Petrolina, e 0,03 em Juazeiro. Os valores de IH no primeiro município se apresentam sempre superiores aos do segundo e em 27% na escala anual.



Para as análises das tendências dos parâmetros climáticos que influenciam a demanda atmosférica foram usadas médias anuais de cada um durante o período de 2003 a 2012 (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores médios anuais para as variáveis climáticas representativas da demanda atmosférica no período de 2003 a 2012 nos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA. Radiação solar global –  $R_G$ ; Temperatura média do ar –  $T_a$ ; Umidade relativa média do ar – UR; e Velocidade média do vento a 2m de altura –  $u$ .

Ano/ Média	Parâmetros climáticos médios anuais representativos da demanda atmosférica no período de 2003 a 2012							
	Petrolina				Juazeiro			
	$R_G$ $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$	$T_a$ $^{\circ}C$	UR %	$u$ $m\ s^{-1}$	$R_G$ $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$	$T_a$ $^{\circ}C$	UR %	$u$ $m\ s^{-1}$
2003	20,7	26,6	61	2,4	19,2	26,4	60	2,3
2004	20,4	26,2	64	2,1	18,9	26,0	62	2,1
2005	20,1	26,3	64	2,2	19,5	26,1	62	2,1
2006	20,1	26,2	64	2,2	19,6	25,9	63	2,0
2007	20,5	26,4	60	2,4	19,8	26,1	59	2,1
2008	19,9	26,2	62	2,0	19,3	26,0	60	1,9
2009	20,1	25,6	67	1,6	20,0	25,9	65	1,5
2010	19,9	25,9	63	1,9	19,9	26,1	61	2,0
2011	19,4	25,9	62	2,0	19,5	25,9	61	2,0
2012	20,6	26,7	54	2,4	20,7	26,7	54	2,3
Média	20,2	26,2	62	2,1	19,6	26,1	61	2,0

Observam-se opostamente reduções e incrementos de  $R_G$  na mesma ordem de  $0,1\ MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$  ao ano em Petrolina e em Juazeiro, respectivamente. Com relação a  $T_a$ , apesar dos elevados valores ocorridos em 2012, há uma tendência de redução em ambos os municípios, sendo as taxas de declínio de  $0,06$  e  $0,04\ ^{\circ}C$  ao ano em Petrolina e Juazeiro, respectivamente. As tendências de UR se apresentam com uma inclinação positiva muito leve de  $0,06$  e  $0,02\ \%$  ao ano, em Petrolina e Juazeiro, respectivamente, com exceção de 2012, quando ocorreu uma redução brusca indicando extrema secura do clima. Com relação a  $u$ , redução na ordem de  $0,05$  e  $0,04\ m\ s^{-1}$  por ano ocorreram, entretanto a partir de 2009 observa-se um rápido aumento nos valores com novo pico em 2012.

Os valores da  $ET_0$  foram analisados tomando-se como base períodos médios de 2003 a 2007 e de 2008 a 2012, para a verificação da sua variação espacial e temporal em larga escala (Figura 6).

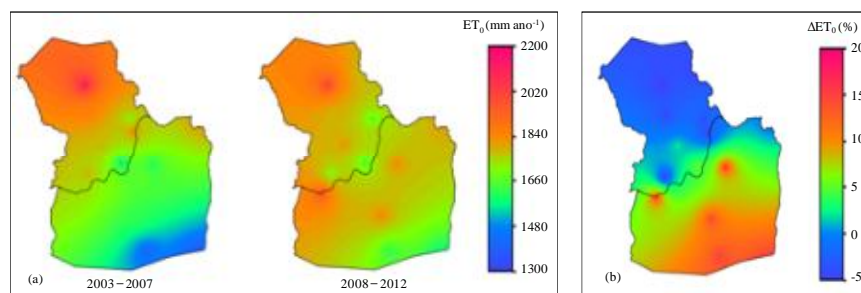


Figura 6 – Mapas da variação espacial média da evapotranspiração de referência –  $ET_0$ . (a) Médias anuais para os períodos de 2003 – 2007 e de 2008 – 2012; e (b) diferenças percentuais entre estes períodos.

Ao longo dos anos, ocorreram médias de  $ET_0$  acima de  $1750 \text{ mm ano}^{-1}$ , porém com as taxas em Juazeiro representando 97% das observadas em Petrolina. Entretanto, em Petrolina houve uma redução da ordem de 2% principalmente na parte noroeste do município quando chega a um  $\Delta ET_0$  máximo de -5%, enquanto que em Juazeiro ocorreu um aumento, com um  $\Delta ET_0$  positivo médio de 7% chegando até 20% na porção sudeste do município.

Os valores anuais da P foram também analisados tomando-se como base os mesmos períodos para  $ET_0$ , na verificação da sua variação espacial e temporal em larga escala (Figura 7).

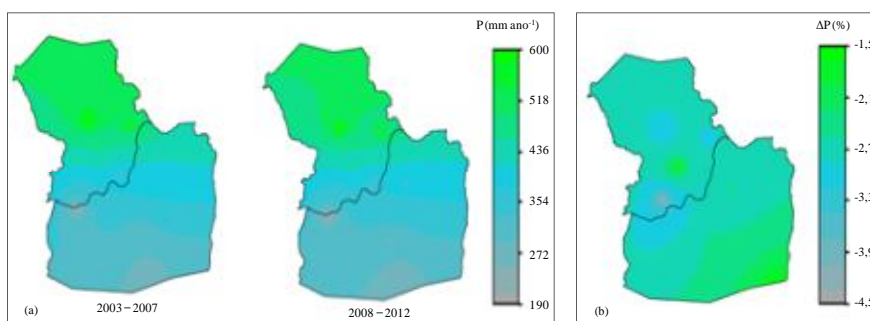


Figura 7 – Mapas da variação espacial da precipitação – P nos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA. (a) Médias anuais para os períodos de 2003 – 2007 e de 2008 – 2012; e (b) diferenças percentuais entre estes períodos.

Enquanto que em Petrolina o total médio anual de P é de  $470 \text{ mm ano}^{-1}$ , representando 26% da demanda evapotranspiratória, para Juazeiro este é de  $340 \text{ mm ano}^{-1}$ , sendo 19% de  $ET_0$ . Valores médios maiores que  $550 \text{ mm ano}^{-1}$  foram verificados no noroeste do primeiro município, enquanto que  $250 \text{ mm ano}^{-1}$  ocorreram na porção sudeste do segundo. Menores reduções das chuvas aconteceram no sudeste de Juazeiro (Figura 7a). Há declínio nos valores anuais de P em toda a área estudada, com uma  $\Delta P$  de  $-3 \text{ mm ano}^{-1}$  entre os dois períodos para ambos os municípios (Figura 7b).

Para quantificação das tendências termo hidrológicas nos municípios de Petrolina e Juazeiro, o índice IH foi considerado na escala anual para o período de 2003 a 2012 (Figura 8).

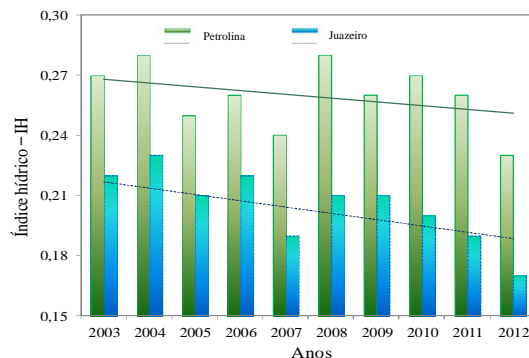


Figura 8 – Tendências dos valores anuais do índice hídrico (IH) para o período de 2003 a 2012 nos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA.

Os valores anuais de IH representam o balanço hídrico climático nesta escala de tempo. Elevados valores indicam boas disponibilidades hídricas, enquanto que valores baixos traduzem escassez natural da água e o grau de necessidade de irrigação para culturas agrícolas (Teixeira et al., 2012). Percebe-se da Figura 8 que Petrolina apresenta oportunidades bem superiores para a atividade agropecuária dependente de chuvas que em Juazeiro, com valores médios de IH 24% superiores, considerando todo o período estudado. Entretanto, ao longo do ano, as condições de aridez aumentaram em ambos os municípios com valores de IH sendo reduzidos de 0,002 e 0,003 ao ano, para Petrolina e Juazeiro, respectivamente, mesmo o primeiro município apresentando redução de  $ET_0$  ao longo do período estudado.

De acordo com as análises das tendências dos parâmetros do balanço hídrico no período de 2003 a 2012, constatou-se uma redução da demanda atmosférica em Petrolina e um aumento em Juazeiro, enquanto que a quantidade de chuvas foi reduzida em ambos os municípios. Mesmo com a redução da demanda atmosférica no primeiro município, ocorreram aumentos nas condições de aridez em toda a região estudada. As tendências mais diferenciadas dos parâmetros climáticos determinantes da demanda atmosférica entre os municípios são para  $R_G$ , com este diminuindo em Petrolina e aumentando em Juazeiro, sendo esta a principal causa de incrementos positivos e negativos em  $ET_0$ , no primeiro e no segundo município, respectivamente. Como possível causa na diferenciação de  $R_G$  seria um aumento na cobertura de nuvens em Petrolina, interceptando uma quantidade maior de radiação ao longo do período analisado.

## CONCLUSÕES

Dados agrometeorológicos de uma rede de 15 estações para um período de 2003 a 2012 do polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA foram interpolados e analisados. Devido a abundância de radiação solar incidente e escassez de chuvas ao longo do ano, as duas localidades apresentam como característica comum, elevadas condições de aridez, entretanto apresentando grandes diferenças espaciais. Incrementos nestas condições ao longo dos anos são observados em ambos os municípios, porém com destaque para Juazeiro pelo fato deste município apresentar aumentos nas demandas atmosféricas e declínios maiores de precipitação que em Petrolina.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo suporte financeiro ao projeto de processo 472973/2011-8.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy, 300 pp.
- INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007). *Climate Change 2007: The Physical Scientific Basis. Summary for Policymakers*. Contribution of working groups I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 21 pp
- TEIXEIRA, A.H. de C. (2009). *Water productivity assessments from field to large scale: a case study in the Brazilian semi-arid region*; LAP Lambert Academic Publishing: Saarbrücken, Germany, 226p.
- TEIXEIRA A.H. DE C., TONIETTO, J., PEREIRA, G.E., ANGELOTTI, F., 2012. Delimitação agroclimática para videira sob irrigação no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.4, p. 399-407.