

MONITORAMENTO DE SECAS POR MEIO DE ÍNDICES METEOROLÓGICOS

Thereza Christina Citó César Rêgo¹ & Vicente P. P. B. Vieira²

RESUMO – Os anos de maior escassez hídrica são identificados nas séries de variáveis hidroclimatológicas observadas, de 1976 a 2000, e simuladas pelo modelo ECHAM4 [Roeckner *et al.* (1996)], para o período de 2001 a 2025, na região hidrográfica do alto Jaguaribe, Ceará, por meio da aplicação dos seguintes índices de secas meteorológicas: Rainfall Anomaly Index – RAI [Rooy (1965)], Bhalme & Mooley Drought Index – BMDI [Bhalme et Mooley (1979)], Herbst Severity Index – HSI [Herbst *et al.* (1966)] e Índice de Aridez – IA [Thornwaite, (1948)]. Nos anos selecionados é verificado, para efeito comparativo, os valores do índice de estresse hídrico - ig90 [ARAÚJO *et al.* (2004)] e a produção anual de milho e feijão.

ABSTRACT - The most critical years in terms of water supply is selected in a climatologic scene constructed to 2001 - 2025 period by ECHAM4 model [Roeckner *et al.* (1996)] and in real scene observed from 1976 to 2000 in high Jaguaribe river basin, Ceará using some droughts monitoring indexes: Rainfall Anomaly Index – RAI [Rooy (1965)], Bhalme & Mooley Drought Index – BMDI, [Bhalme et Mooley (1979)], Herbst Severity Index – HSI [Herbst *et al.* (1966)] and Dryness Index [Thornwaite, (1948)]. In the identified years the results are then compared to the water stress index - ig90 (ARAÚJO *et al.*, 2004) and the bean and maize annual production.

Palavras-Chave

Seca, índice, monitoramento.

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento de secas através de índices meteorológicos tem se apresentado como ferramenta de grande utilidade na gestão dos recursos hídricos, principalmente em regiões semi-áridas. Diversos índices foram desenvolvidos e adaptados de acordo com as condições específicas regionais, dentre os quais se destacam: o Palmer Drought Severity Index – PDSI [Palmer (1965)], Rainfall Anomaly Index – RAI [Rooy (1965)], Bhalme & Mooley Drought Index – BMDI, [Bhalme e Mooley (1979)], Herbst Severity Index – HSI [Herbst *et al.* (1966)], Lamb Rainfall Departure Index – LRDI [Lamb *et al.* (1986)], Rainfall Deciles as Drought Indicators [Gibbs e Maher (1967)] e o Índice de Aridez – IA [Thornwaite (1948)].

A avaliação da recorrência de estiagens elaborada pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará [CEARÁ (1991)], tomou como base a metodologia do HSI [Herbst *et al.* (1966)], que

¹ **Thereza Christina Citó César Rêgo**

Ministério da Integração/Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, Av. Duque de Caxias, 1700. 8º. Andar. CEP 60.035-111, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3391.5336, e-mail: therego@uol.com.

² **Vicente P. P. B. Vieira**

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, Bloco 713, C.P. 6018, CEP 60.451-970, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3366.9623, fax (85) 3366.9627, e-mail: vpvieira@ufc.br.

identificou. nos postos pluviométricos de longa duração, com séries a partir de 1913, a ocorrência de secas severas máximas, como as dos anos de 1951 e 1958.

A Fundação Cearense de Meteorologia – FUNCEME calcula periodicamente, o índice de aridez – IA [Thornwaite (1948)] em 119 estações pluviométricas do estado do Ceará, que possuem séries históricas com mais de 30 anos de duração.

Freitas [Freitas (1998)] desenvolveu um sistema de suporte à decisão, para o monitoramento de secas no Estado do Ceará, com base em índices meteorológicos. A aplicação desses índices, em todos os postos do estado, permitiu a identificação de períodos secos.

2. METODOLOGIA

A metodologia consiste em identificar nos postos de Arneiroz, Iguatu e Cariús, considerados como representativos da região hidrográfica do alto Jaguaribe, os anos de maior déficit hídrico a partir da determinação dos índices climatológicos citados. Para tanto são utilizadas as série de variáveis hidroclimatológicas simuladas (precipitação, evapotranspiração potencial e escoamento superficial), para o período de 2001 a 2025, pelo modelo ECHAM4 [Roeckner *et al.* (1996)] e as séries observadas no período de 1976 a 2000.

Para efeito de calibração os resultados são comparados com o índice de estresse hídrico [Araújo *et al.*(2004)] e com o a produção agrícola de milho e feijão, culturas representativas da agricultura do estado e diretamente sujeitas ao caráter temporal e sazonal das precipitações.

3. ÍNDICES DE SECA METEOROLÓGICA UTILIZADOS

O índice de aridez – IA [Thornwaite (1948)] é calculado segundo a seguinte equação:

$$IA = 100 X \frac{Pr}{ET_0} \quad (1)$$

em que: Pr = precipitação (mm); ET_0 - evapotranspiração potencial (mm).

A evapotranspiração potencial é estimada como sendo 70% da evaporação média do tanque classe A fornecida pelo INMET, em sete estações meteorológicas.

Os valores encontrados são agrupados em classes, conforme o Quadro 1.

1 Thereza Christina Citó César Rêgo

Ministério da Integração/Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, Av. Duque de Caxias, 1700. 8º. Andar. CEP 60.035-111, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3391.5336, e-mail: therego@uol.com.

2 Vicente P. P. B.Vieira

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, Bloco 713, C.P. 6018, CEP 60.451-970, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3366.9623, fax (85) 3366.9627, e-mail: vpvieira@ufc.br.

Quadro 1 – Classificação climatológica segundo o Índice de Aridez.

Índice de Aridez	Classificação
< 20	Árido
$20 < IA < 50$	Semi-árido
$50 < IA < 65$	Subúmido seco
$65 < IA < 100$	Subúmido úmido
> 100	Úmido

Fonte: FUNCEME, acesso em 12/10/07.

O Palmer Drought Severity Index – PDSI, [Palmer, (1965)] avalia a disponibilidade de água em uma dada região, comparando-a com o valor climaticamente requerido ou apropriado para essa região, levando-se em conta as médias históricas de precipitação, evapotranspiração, recarga de água no solo e escoamento superficial. É um dos índices mais utilizados e mundialmente reconhecidos para quantificação de secas, voltado principalmente para as secas agrícolas.

Em virtude da indisponibilidade de dados necessários para o cálculo do índice de Palmer, que demandam um longo período de observação de dados hidroclimatológicos e a regionalização de constantes empíricas, diversos autores elaboraram adaptações a esse índice. Um exemplo é o Bhalme & Mooley Drought Index – BMDI [Bhalme e Mooley (1979)], que toma como base o cálculo do índice de umidade e é determinado conforme apresentado a seguir:

$$H_{i,j} = \frac{100(N_{i,j} - \bar{N}_j)}{S_j} \quad (2)$$

em que: $H_{i,j}$ = índice de umidade; $N_{i,j}$ = precipitação atual do mês j , no ano i ; $\bar{N}_j$ = precipitação média do mês j e S_j = desvio padrão da precipitação do mês j .

A média dos valores mais elevados do índice de umidade negativo acumulado é computada e agrupada em categorias, o que permite classificar a intensidade da escassez hídrica.

O Rainfall Anomaly Index – RAI [Rooy (1965)] permite comparar as condições atuais de precipitação com os valores históricos, avaliando a distribuição espacial de uma seca de acordo com sua intensidade. Para tanto, a metodologia faz uso das seguintes equações:

1 Thereza Christina Citó César Rêgo

Ministério da Integração/Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, Av. Duque de Caxias, 1700. 8º. Andar. CEP 60.035-111, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3391.5336, e-mail: therego@uol.com.

2 Vicente P. P. B.Vieira

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, Bloco 713, C.P. 6018, CEP 60.451-970, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3366.9623, fax (85) 3366.9627, e-mail: vpvieira@ufc.br.

$$RAI = 3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right], \text{ para anomalias positivas,} \quad (3)$$

$$RAI = 3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right], \text{ para anomalias negativas.} \quad (4)$$

em que: N = precipitação mensal atual; $\bar{N}$ = precipitação média mensal da série histórica; $\bar{M}$ = média das dez maiores precipitações mensais da série e $\bar{X}$ = média das dez menores precipitações mensais da série.

A média dos valores mais elevados das anomalias negativas acumulada é computada e agrupada em categorias, o que permite classificar a intensidade da escassez hídrica.

O Herbst Severity Index – HSI [Herbst *et al.* (1966)] é útil na análise de secas históricas ao comparar a série de precipitação mensal histórica com os valores atuais, determinando a duração, a severidade e também o início e fim de um período seco. Os meses são classificados como secos, quando o deficit de precipitação permanece acima do deficit médio daquele mês. É então calculada a precipitação efetiva de acordo com a equação (5), levando-se em conta o cálculo do peso W_j , que é determinado pela equação (6).

$$NEFi,j = (N_{i,j-1} - N_{j-1}) \cdot W_j + N_{j,i} \quad (5)$$

$$W_j = 0,1 \left(1 + \frac{N_j}{\frac{1}{12} MJN} \right) \quad (6)$$

em que: $NEFi,j$ = precipitação efetiva no ano i , mês j ; $N_{i,j-1}$ = precipitação no ano i , mês $j - 1$; $\bar{N}_{j-1}$ = precipitação média do mês $j - 1$; W_j = peso do mês j ; $N_{j,i}$ = precipitação no ano i , mês j e MJN = precipitação média anual.

Os deficits mensais médios são calculados a partir das diferenças negativas entre as precipitações mensais médias correspondentes. Determina-se posteriormente, doze volumes

1 Thereza Christina Citó César Rêgo

Ministério da Integração/Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, Av. Duque de Caxias, 1700. 8º. Andar. CEP 60.035-111, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3391.5336, e-mail: therego@uol.com.

2 Vicente P. P. B.Vieira

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, Bloco 713, C.P. 6018, CEP 60.451-970, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3366.9623, fax (85) 3366.9627, e-mail: vpvieira@ufc.br.

incrementais x , de acordo com a equação (7), que caso confirme a desigualdade expressa na equação (8), indica o início potencial da seca.

$$\sum_{n=1}^{12} DJ \gg MMMN + (n-1)x \quad (7)$$

$$x = \frac{MJD - MMMN}{11} \quad (8)$$

em que: DJ = deficit anual; MJD = deficit anual médio e MMMN = máxima precipitação mensal média.

Após a confirmação das secas se iniciam os testes para verificar o seu fim potencial. A seca é considerada encerrada caso um ou mais meses subsequentes ao mês em que se detectou um início de seca não atenda a desigualdade descrita há pouco. Dessa forma é determinada a duração da seca.

O índice de severidade da seca é calculado como:

$$ISS = IIS \times D \quad (9)$$

em que: IIS = índice de intensidade de seca anual médio, D = duração da seca e IIS = DJ/MJD.

Lamb et al., 1986 desenvolveram o Lamb Rainfall Departure Index - LRDI, que consiste no ajuste dos desvios médios da precipitação de diversos postos pluviométricos de uma dada região à distribuição normal de probabilidade. O LRDI é determinado conforme a seguinte equação:

$$LRDI = \frac{1}{tj} \sum_{i=1}^j \frac{Ni, j - \bar{Ni}}{Si} \quad (10)$$

em que; $N_{i,j}$ = precipitação no ano j do posto i ; $\bar{N}_j$ = precipitação média anual do posto i ; S_i = desvio padrão anual do posto i ; t_j = número de postos com precipitação no ano j .

O índice de estresse [Araújo et al. (2004)] hídrico é calculado pelo balanço entre demanda e oferta de água, de acordo com a equação abaixo:

$$ig_{90} = \frac{X_1 \cdot Q_w + (1 - X_1) \cdot Q_c}{(1 - X_2) \cdot (Q_{90} + Q_{sub})} \quad (11)$$

1 Thereza Christina Citó César Rêgo

Ministério da Integração/Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, Av. Duque de Caxias, 1700. 8º. Andar. CEP 60.035-111, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3391.5336, e-mail: therego@uol.com.

2 Vicente P. P. B.Vieira

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, Bloco 713, C.P. 6018, CEP 60.451-970, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3366.9623, fax (85) 3366.9627, e-mail: vpvieira@ufc.br.

em que Q_w = volume de água retirado; X_1 = fator de perda na demanda [RÊGO (2001)]; X_2 = fator de perda na oferta [RÊGO (2001)], Q_c = uso consuntivo ; Q_{90} = vazão regularizada pelos reservatórios, com 90% de garantia; Q_{sub} = disponibilidade subterrânea.

A oferta diz respeito às disponibilidades anuais de água acumulada em reservatórios superficiais ou subterrâneo. Já a demanda é originária do Modelo de Uso da Água no Nordeste - NoWUM [Döll *et al.*(2002)].

5. RESULTADOS

Ao se analisar os resultados do índice de aridez, determinados pela FUNCEME, para os postos do estado do Ceará, no período de 1980 a 2001, se identificam como anos de seca, 1983, 1993 e 1998. Em 1983 56% dos municípios são classificados como áridos e 44%, semi-áridos, 38% dos municípios apresentam características de aridez e 62%, semi-aridez em 1993, e em 1998, 31% e 56% são classificados como áridos e semi-áridos, respectivamente. Os valores relativos aos postos pluviométricos em estudo, se apresentam no gráfico da Figura 01.

Ao se aplicar o índice aos valores da série simulada de 2001 a 2025, os valores mais críticos, para as estações de Arneiroz, Cariús e Iguatu, se referem aos anos 2007, 2012 e 2017, conforme se pode avaliar na Tabela 1.

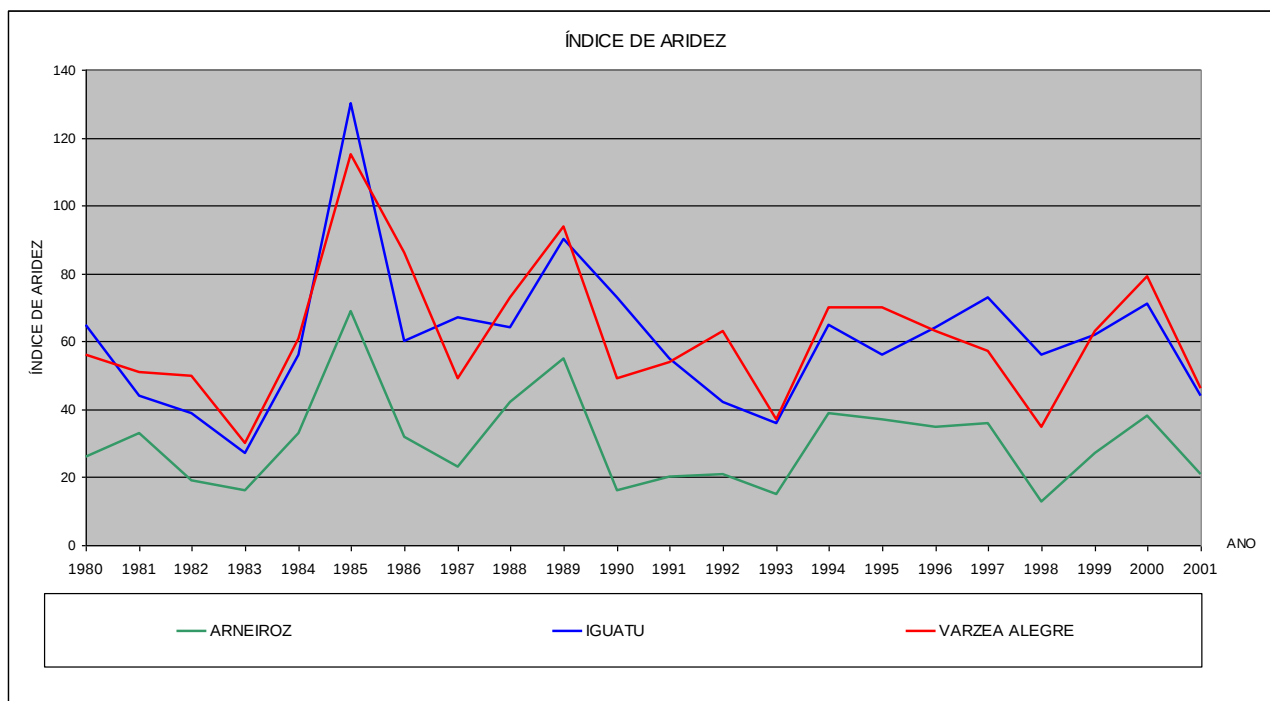


Figura 1– Índice de aridez nos municípios do alto Jaguaribe – cenário histórico.

Fonte: www.funceme.br (acesso em 20/09/2007).

1 Thereza Christina Citó César Rêgo

Ministério da Integração/Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, Av. Duque de Caxias, 1700. 8º. Andar. CEP 60.035-111, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3391.5336, e-mail: therego@uol.com.

2 Vicente P. P. B.Vieira

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, Bloco 713, C.P. 6018, CEP 60.451-970, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3366.9623, fax (85) 3366.9627, e-mail: vpvieira@ufc.br.

Tabela 1 - Classificação climatológica estimada para o período de 2001 a 2025, segundo o índice de aridez - IA .

Ano	Índice de Aridez			Classificação		
	Arneiroz	Carius	Iguatu	Arneiroz	Carius	Iguatu
2.001	22,63	45,60	39,51	semi-árido	Semi-árido	semi-árido
2.002	51,41	43,00	54,11	subúmido seco	Semi-árido	subúmido seco
2.003	56,03	42,87	59,03	subúmido seco	Semi-árido	subúmido seco
2.004	30,08	25,57	34,67	semi-árido	Semi-árido	semi-árido
2.005	22,79	42,19	38,58	semi-árido	Semi-árido	semi-árido
2.006	28,31	41,56	47,57	semi-árido	Semi-árido	semi-árido
2.007	9,61	26,49	23,52	Árido	Semi-árido	semi-árido
2.008	50,77	46,37	55,39	subúmido seco	Semi-árido	subúmido seco
2.009	19,66	26,00	23,82	Árido	Semi-árido	semi-árido
2.010	45,68	41,79	47,26	semi-árido	Semi-árido	semi-árido
2.011	63,46	90,93	90,38	subúmido seco	subúmido úmido	subúmido úmido
2.012	34,19	19,70	32,44	semi-árido	Árido	semi-árido
2.013	31,46	26,81	42,83	semi-árido	Semi-árido	semi-árido
2.014	15,71	30,12	24,98	Árido	Semi-árido	semi-árido
2.015	47,68	44,53	59,10	semi-árido	Semi-árido	subúmido seco
2.016	34,47	30,79	33,39	semi-árido	Semi-árido	semi-árido
2.017	16,61	30,25	23,31	Árido	Semi-árido	semi-árido
2.018	41,04	40,80	51,04	semi-árido	Semi-árido	subúmido seco
2.019	24,25	52,29	44,86	semi-árido	subúmido seco	semi-árido
2.020	47,55	38,47	44,09	semi-árido	Semi-árido	semi-árido
2.021	44,28	57,88	71,20	semi-árido	subúmido seco	subúmido úmido
2.022	29,67	33,27	35,80	semi-árido	Semi-árido	semi-árido
2.023	41,47	34,77	38,22	semi-árido	Semi-árido	semi-árido
2.024	17,26	23,41	35,03	Árido	Semi-árido	semi-árido
2.025	43,63	55,26	52,00	semi-árido	subúmido seco	subúmido seco
Valor mínimo				Anos correspondentes		
IA	16,61	25,57	23,82	2007	2012	2017

As piores situações com relação à umidade regional, segundo o índice de Bhalme & Mooley – BMDI [Bhalme e Mooley (1979)] se apresentam na Tabela 02, que aponta, ao se avaliar as séries históricas, os anos de 1993, para o posto de Arneiroz e Iguatu e 1983, para o posto de Cariús. Com relação às séries simuladas os anos são 2017 para Arneiroz e Iguatu e 2009 para Cariús.

1 **Thereza Christina Citó César Rêgo**

Ministério da Integração/Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, Av. Duque de Caxias, 1700. 8º. Andar. CEP 60.035-111, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3391.5336, e-mail: therego@uol.com.

2 **Vicente P. P. B.Vieira**

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, Bloco 713, C.P. 6018, CEP 60.451-970, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3366.9623, fax (85) 3366.9627, e-mail: vpvieira@ufc.br.

Tabela 2 – Anos mais secos nos cenários: histórico e futuro de acordo com o índice de umidade mensal acumulado (Bhalme & Mooley Drought Index – BMDI).

Ano	BMDI Posto Arneiroz	Ano	BMDI Posto Cariús	Ano	BMDI Posto Iguatu
Série climatológica observada					
1993	-376	1983	-346	1993	-496
1990	-290	1979	-344	1983	-352
1983	-265	1993	-316	1979	-337
1998	-256	1998	-281	1984	-281
1979	-251	1999	-238	1976	-265
1999	-185	1984	-234	1980	-238
Série climatológica simulada					
2017	-321	2009	-538	2017	-457
2007	-304	2017	-487	2009	-451
2014	-300	2007	-473	2007	-437
2024	-259	2013	-428	2014	-398
2019	-243	2024	-406	2016	-331
2005	-230	2016	-382	2012	-281

A Figura 02 apresenta os resultados obtidos na determinação do Rainfall Anomaly Index – RAI [Rooy (1965)], especificamente o cálculo das anomalias negativas, no período histórico e no simulado, para a quadra invernal de janeiro a abril. Os resultados apontam como anos de maior anomalia 1993, para Arneiroz e Iguatu e 1979, para Cariús, na série histórica, e os anos 2017, para Iguatu, 2009 em Cariús e 2007, para Arneiroz.

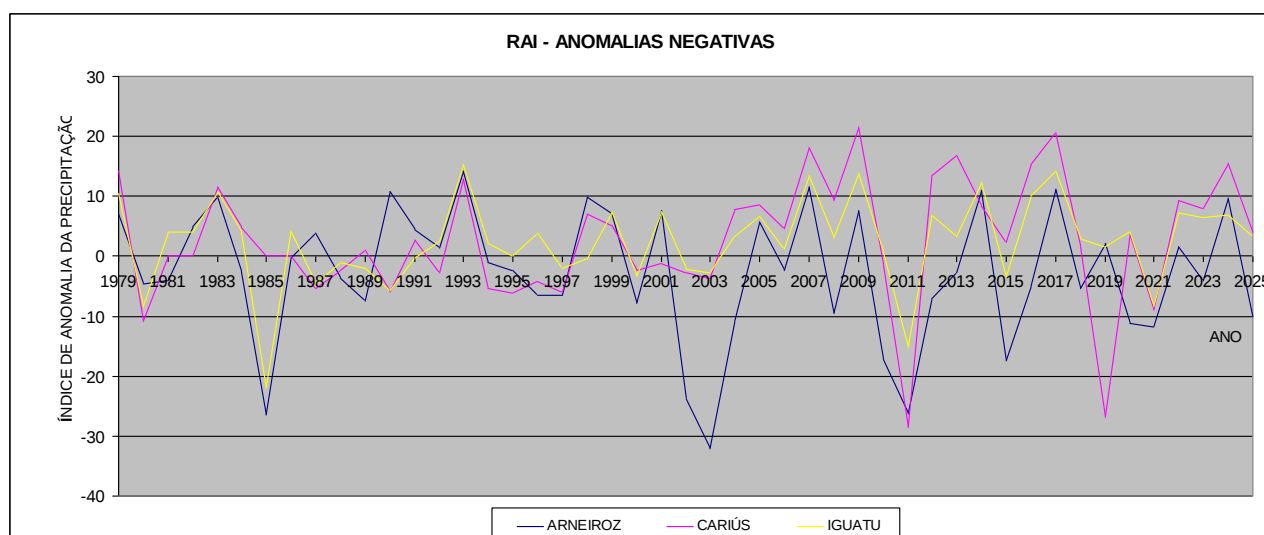


Figura 2 - Anomalias negativas para os postos de Arneiroz, Cariús e Iguatu, no período de 1979 a 2025.

1 Thereza Christina Citó César Rêgo

Ministério da Integração/Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, Av. Duque de Caxias, 1700. 8º. Andar. CEP 60.035-111, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3391.5336, e-mail: therego@uol.com.

2 Vicente P. P. B.Vieira

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, Bloco 713, C.P. 6018, CEP 60.451-970, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3366.9623, fax (85) 3366.9627, e-mail: vpvieira@ufc.br.

A Tabela 03 classifica os anos de maior deficit hídrico, maior duração e conseqüentemente maior severidade das secas de acordo com o Herbst severity index – HSI [Herbst *et al.* (1966)]. Os anos mais severos são: 1983 em Cariús e Iguatu e 1998, em Arneiroz, nas séries de dados observados, e 2024 em Arneiroz e Cariús e 2017 em Iguatu, nas séries simuladas.

O índice de estresse hídrico [Araújo *et al.* (2004)] aponta os anos de 2024 para Arneiroz, 2009 para Cariús e 2017 para Iguatu, como os mais críticos. Esses valores se apresentam no Quadro 02.

Tabela 3– Intensidade, duração e severidade das secas segundo o Herbst severity index – HSI, nos postos pluviométricos estudados.

Estação Climatológica	Anos com secas mais intensas		Anos de secas com maiores durações		Anos com secas mais severas	
	IIS	Ano	No. Meses	Ano	ISS	Ano
	Cenário histórico					
Arneiroz	1,79	1990	9	1998	13,9	1998
Cariús	2,28	1983	11	1983	25,10	1983
Iguatu	2,57	1993	11	1983	28,28	1983
	Cenário futuro					
Arneiroz	3,4	2007	13	2024	39,5	2024
Cariús	2,6	2009	10	2012/2024	23,5	2024
Iguatu	2,9	2009	10	2012/2017	28,62	2017

Quadro 2 – Índice de estresse hídrico - ig90.

Município	ANO								
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Arneiroz	1,2	0,06	0,04	0,09	0,39	0,49	0,75	0,07	1,56
Cariús	0,37	0,06	0,03	0,08	0,23	0,14	1,01	0,07	2,32
Iguatu	0,35	0,08	0,04	0,13	0,27	0,18	0,52	0,1	0,73
Município	ANO								
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Arneiroz	0,05	0,03	0,06	0,25	0,79	0,07	0,1	0,7	0,15
Cariús	0,06	0,02	0,1	0,2	0,6	0,05	0,13	1	0,19
Iguatu	0,09	0,03	0,17	0,26	0,67	0,1	0,26	0,83	0,31
Município	ANO							ig90	
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Máximo	Ano
Arneiroz	0,11	0,05	0,09	0,12	0,05	1,92	0,1	1,92	2024
Cariús	0,06	0,09	0,07	0,23	0,11	0,42	0,13	2,32	2009
Iguatu	0,15	0,18	0,11	0,43	0,24	0,65	0,24	0,83	2017

Fonte: Araújo *et. al* (2004).

1 Thereza Christina Citó César Rêgo

Ministério da Integração/Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, Av. Duque de Caxias, 1700. 8º. Andar. CEP 60.035-111, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3391.5336, e-mail: therego@uol.com.

2 Vicente P. P. B.Vieira

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, Bloco 713, C.P. 6018, CEP 60.451-970, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3366.9623, fax (85) 3366.9627, e-mail: vpvieira@ufc.br.

Ao se analisar a produção agrícola no estado do Ceará e mais especificamente na região do alto Jaguaribe, no período de 1976 a 2001 se verifica a ocorrência de grandes quedas na produção, nos anos de 1993 e 1998 para o feijão e o milho, conforme se apresentam no gráfico da Figura 03. Informações sobre o ano de 1983 não foram encontradas. Nos anos citados, em alguns municípios, as perdas na safra foram superiores a 60%, para ambas as culturas.

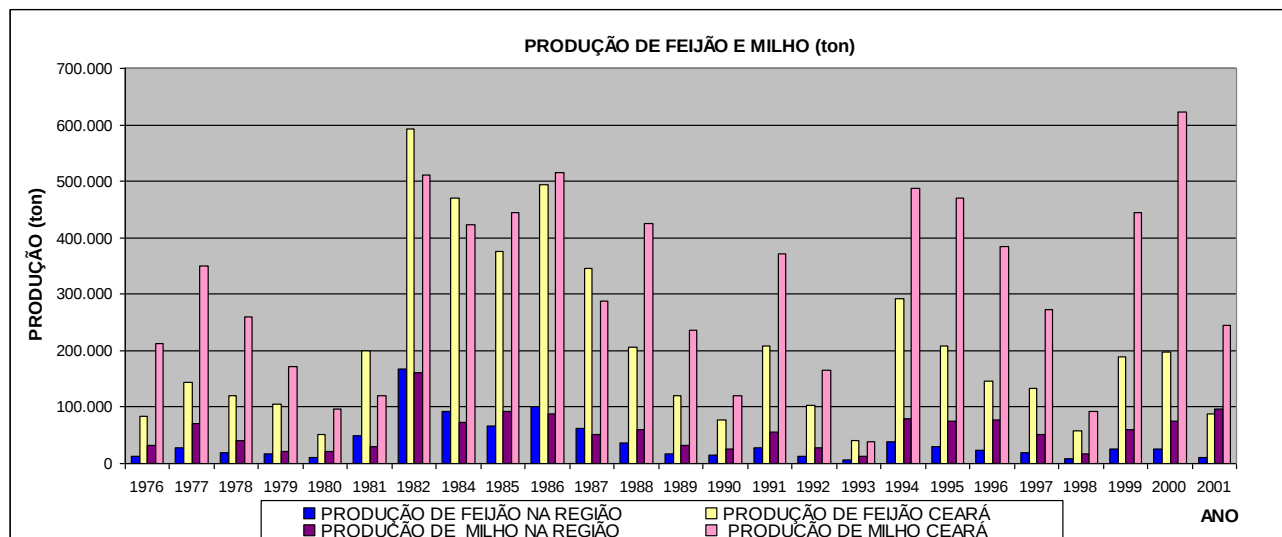


Figura 3 - Produção agrícola de milho e feijão no estado do Ceará e municípios da região do alto Jaguaribe, no período de 1976 a 2001.
Fonte: IBGE, 2006.

Os resultados se encontram abaixo relacionados de forma resumida, para os postos de Arneiroz, Carui e Iguatu, respectivamente e de acordo com as séries estudadas.

a) Série climatológica observada:

- Índice de aridez – IA - anos: 1998, 1983 e 1983;
- Rainfall Anomaly Index – RAI – anos: 1993, 1979 e 1993;
- Índice de Bhalme & Mooley – BMDI – anos: 1993, 1983 e 1993;
- Herbst severity index – HSI – anos: 1998, 1983 e 1983;
- Menor Produção de grãos (ton) – anos: 1993 e 1998.

1 Thereza Christina Citó César Rêgo

Ministério da Integração/Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, Av. Duque de Caxias, 1700. 8º. Andar. CEP 60.035-111, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3391.5336, e-mail: therego@uol.com.

2 Vicente P. P. B.Vieira

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, Bloco 713, C.P. 6018, CEP 60.451-970, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3366.9623, fax (85) 3366.9627, e-mail: vpvieira@ufc.br.

b) Série climatológica simulada

- Índice de aridez – IA – anos: 2007, 2012 e 2017;
- Rainfall Anomaly Index – RAI – anos: 2007, 2009 e 2017;
- Índice de Bhalme & Mooley – BMDI – anos: 2017, 2009 e 2017;
- Herbst severity index – HSI – anos: 2024, 2024 e 2017;
- Índice de estresse hídrico ig90 – anos: 2024, 2009 e 2017.

6. CONCLUSÃO

Os índices de seca meteorológicos demonstraram ser de grande utilidade na identificação de períodos de seca, sendo alguns deles capazes de identificar suas intensidades e durações. O Índice de estresse hídrico ig90, por levar em conta os níveis de demanda por água, é uma ferramenta que pode ajudar na estimativa das perdas econômicas decorrentes das secas e no planejamento de ações a serem tomadas para esses períodos.

Os resultados obtidos se mostraram coerentes, quando comparados com as secas historicamente observadas de 1983, 1993 e 1998. No caso das séries simuladas foi confirmada a seca prevista para o ano 2007, mas por outro lado, ocorrem discrepâncias com relação ao indicativo de seca no ano de 2009, onde se registram precipitações bem acima da média. Como esse ano foi identificado somente no posto de Cariús, se presume que deve haver alguma inconsistência na qualidade ou quantidade dos dados observados, os quais serviram de parâmetro para a geração dos dados simulados.

As mudanças climáticas, que vêm se processando velozmente nos últimos anos, com certeza estão influenciando e dificultando as previsões climáticas.

BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, J. C. de.; DÖLL, P.; GÜNTHER, A.; KROL, M.; ABREU, C. B. R.; HAUSCHILD, M.; MEDIONDO, E. M. (2004). “*Water scarcity under scenarios for global climate change and regional development in semiarid northeastern Brazil*”. Water International, International Water Resources Association, v. 29, n. 2, p. 209-220

¹ Thereza Christina Citó César Rêgo

Ministério da Integração/Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, Av. Duque de Caxias, 1700. 8º. Andar. CEP 60.035-111, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3391.5336, e-mail: therego@uol.com.

² Vicente P. P. B. Vieira

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, Bloco 713, C.P. 6018, CEP 60.451-970, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3366.9623, fax (85) 3366.9627, e-mail: vpvieira@ufc.br.

- BHALME, H. N., MOOLEY, D. A. (1979). "On the performance of modified Palmer index". Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology, Ser. B, 27, 281-295.
- DÖLL, P.; KROL, M. S. (2002). "Integrated scenarios of regional development in two semi-arid states of north- eastern Brazil". Integrated Assessment, v. 3, n. 4, p.308 - 320.
- DÖLL, P.; HAUSCHILD, M. (2002). "Model-based scenarios of water use in two semi-arid Brazilian states". Regional Environment Change, v. 2, p.150 – 162.
- FREITAS, M. A de S. (1998). "Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas". Revista Tecnologia. Fortaleza. No. 19. p. 19 - 30.
- FUNCEME. (2001). "Avaliação climática fevereiro a maio de 2001". Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME, Fortaleza.
- _____. (2007). "Relatório de Avaliação da Quadra Chuvosa de 2007". Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME.
- GIBBS, W. J., MAHER, J. V. (1967). "Rainfall deciles as drought indicators". Commonwealth Bureau of Meteorology Bulletin, 48. Melbourne.
- HERBST, P.H., BRENDENKAMP, D. B. e BARKER, H.M.G. (1966). "A technique for the evaluation of Drought from rainfall data". Journal of hydrology, vol. 4, pp. 264-272.
- LAMB, P.J., PEPPLER, R. A., HASTENRATH, S. (1986). "Interannual variability in the Atlantic". Nature, 322, 238-240. PALMER, W. C. (1965). "Meteorological Drought". Weather Bureau, U. S. Department of Commerce, Washington, D. C., Research Paper nº. 45, 1-58.
- RÊGO, T. C. C. C. (2001). *Avaliação da perda d'água em trânsito na bacia do rio Jaguaribe*. Dissertação. Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.135p.
- RÊGO, T. C. C. C. (2008). *Proposta metodológica para gestão de secas: o caso da bacia do Alto Jaguaribe, Ceará. Tese. Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 193p.*
- ROECKNER, E.; ARPE, K.; BENGTSSON, L.; CRISTOPH, M.; CLAUSSEN, M.; DÜMENIL, L.; ESCH, M., GIORGETTA, M.; SCHLESE, U.; SCHULZWEIDA, U. (1996). "The atmospheric general circulation model ECHAM-4: model description and simulation of present-day climate". Report nº. 218. Hamburg, Germany: Max-Planck-Institute for Meteorology.
- ROOY, M.P. van,. (1965). "A rainfall anomaly index independent of time and space". Notos, 14, 43.
- THORNTHWAITTE, C. W. (1948). "An approach towards a racional classification of climate". Geographic. Ver., 38, 55-94.

1 Thereza Christina Citó César Rêgo

Ministério da Integração/Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, Av. Duque de Caxias, 1700. 8º. Andar. CEP 60.035-111, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3391.5336, e-mail: therego@uol.com.

2 Vicente P. P. B.Vieira

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, Bloco 713, C.P. 6018, CEP 60.451-970, Fortaleza, Ce, Tel. (85) 3366.9623, fax (85) 3366.9627, e-mail: vpvieira@ufc.br.