



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Classificação climática de Thornthwaite: uma proposta de adaptação para a região semiárida brasileira

Marcelo Henriques da Silva Júnior¹, Eliamin Eldan Queiroz Rosendo², Hamilcar José Almeida Filgueira³, Francisco Jácome Sarmento⁴ e Bartolomeu Israel de Souza⁵

¹Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa–PB. E-mail: marcelohenriquesjr@gmail.com. ²Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa–PB. E-mail: eliamimeldan@hotmail.com. ³Professor associado da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa–PB. E-mail: hfilgueira@gmail.com. ⁴Professor associado da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa–PB. E-mail: jacomesarmento@hotmail.com. ⁵Professor associado da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa–PB. E-mail: bartolomeuisrael@gmail.com.

Artigo submetido em 10/03/2017 e aceite em 20/10/2017

RESUMO

Os estudos mais tradicionais a respeito do tempo e do clima, geralmente analisam as variáveis que afetam mais diretamente a sociedade, tais como, precipitação pluviométrica, radiação solar e temperatura e umidade relativa do ar. Esses estudos evidenciam a necessidade de se compreender e estimar as condições do tempo e do clima da forma mais precisa e isso, normalmente é feito por meio de classificações climáticas. Este trabalho teve como objetivo a realização da classificação climática para a região semiárida brasileira, por meio da adaptação da metodologia de classificação desenvolvida por Thornthwaite em 1948. Foram utilizados os dados das 64 estações climatológicas instaladas na região, monitoradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Pelos resultados obtidos foi observado que a grande maioria das estações climatológicas utilizadas foi classificada como pertencente ao clima árido, destacando-se a presença de pouco ou nenhum suprimento de água, o que é compatível com as características da região. O método de Thornthwaite demonstrou-se eficaz como uma alternativa viável para a classificação climática do semiárido brasileiro, ressaltando-se a possibilidade de aperfeiçoamento por meio de novas adaptações para a região em questão.

Palavras-chave: climatologia, meteorologia, semiárido brasileiro.

Thornthwaite's climate classification: an adaptation proposal for the Brazilian semiarid

ABSTRACT

The more traditional studies of the climate and weather, usually analyze the variables that directly affect the society, such as, pluviometric precipitation, solar radiation, temperature and relative humidity. These studies highlight the necessity to understand, with more accuracy as possible, the conditions of the climate, which is usually done through climate classifications. This paper consisted in the realization of the climate classification of the Brazilian semiarid region, by the adaptation of the classification methodology developed by Thornthwaite in 1948. Climatological data available for the 64 weather stations of the National Institute of Meteorology (INMET) installed in this area was used. It was observed that the vast majority of the stations were classified as belonging to the arid climate, highlighting the presence of little or no water supply, which is compatible with the characteristics of the region. The Thornthwaite's method proved to be effective as a viable alternative to climate classification of the Brazilian semiarid region, pointing out the possibility of improvement through new adaptations of the discussed region.

Keywords: climatology, meteorology, Brazilian semiarid region.

Introdução

A forma como a cultura ocidental entende o clima surgiu na Grécia Antiga por meio das ideias de filósofos e estudiosos como Parmênides (~515 – 450 A.C.), Erastóstenes (276 – 195 A.C.) e Aristóteles (384 – 322 A.C.) (Anman e Waple, 2009).

De acordo com suas pesquisas Parmênides desenvolveu a ideia do que ficou conhecido como “clima solar”, teoria que divide a Terra em cinco zonas com diferentes inclinações de incidência solar no intuito de explicar o desenvolvimento de vida no planeta. Já Erastóstenes calculou a circunferência da Terra, enquanto que Aristóteles escreveu um tratado de quatro volumes conhecido por Meteorológica, obra onde o autor dissertava suas teorias a respeito do planeta Terra (Anman e Waple, 2009).

Para Thornthwaite (1948), o direcionamento para o desenvolvimento de instrumentos meteorológicos dos estudos modernos em climatologia, principalmente no século XIX, proporcionou o acúmulo de grandes quantidades de dados observados, principalmente os referentes à temperatura, precipitação, umidade, pressão atmosférica e velocidade dos ventos. É esse acúmulo de dados que torna possível o desenvolvimento e aplicação dos sistemas de classificação climática.

Considera-se tempo o conjunto das flutuações do estado atmosférico em um determinado momento e local, medido em termos da temperatura, velocidade dos ventos, umidade, pressão atmosférica, nebulosidade e precipitação, sendo ele o resultado de interações atmosféricas mais rápidas, como sistemas de baixa e alta pressão e ciclones tropicais – o que torna sua previsibilidade limitada a poucos dias (USEPA, 2015).

Por outro lado, de forma prática, o clima pode ser entendido como a média das condições de tempo ou, em uma abordagem mais rigorosa, como a descrição estatística em termos da média e variabilidade de determinadas medidas (geralmente temperatura, precipitação e ventos) em intervalo de tempo pré-definido, que segundo a World Meteorological Organization (USEPA, 2015), deve ser de no mínimo trinta anos.

Dessa forma, clima - o padrão regular das condições de tempo em uma certa região (USEPA, 2015) - se determina pelo estado do sistema climático, incluindo estatística de suas variações com o tempo. O sistema climático, por sua vez, é definido por Ahlonsou et al. (2001) como um sistema interativo formado por cinco componentes

principais: a atmosfera, a hidrosfera, a criosfera, a superfície da Terra e a biosfera. Todos esses componentes são influenciados por diversos mecanismos externos (as ações antrópicas estão incluídas nesse grupo), sendo mais importante deles o Sol. A influência direta do clima no desenvolvimento das plantas, animais, características do solo e demais elementos geoambientais, torna de grande importância o estudo da climatologia (Silva e Ferreira, 2011).

Brovkin (2002) ressalva o fato de que ao se comparar o clima e a vegetação em escala global, facilmente pode-se constatar uma forte correlação entre estes. Por exemplo, os trópicos correlacionam-se com as florestas tropicais e as regiões mais próximas dos polos correlacionam-se com a tundra e desertos polares. Essa característica evidencia que a distribuição espacial dos grandes biomas em escala global é determinada principalmente pelo clima, enquanto que em escalas menores, fatores como topografia e tipo de solo ganham importância (Brovkin, 2002). Foi a partir dessa correlação que surgiram as primeiras ideias de dividir o clima em categorias.

Para Ahlonsou et al. (2001) o conhecimento e estudos mais tradicionais a respeito do tempo e do clima focam, principalmente, nas variáveis que afetam diretamente os seres vivos, tais como, precipitação pluviométrica, radiação solar e temperatura e umidade relativa do ar. São essas as variáveis mais observadas nas estações climatológicas em todo o mundo. A informação a respeito do clima resulta em valor econômico na medida que fornece aos usuários cujas atividades são sensíveis as condições climáticas condições para o seu preparo e tomada de decisões.

Além do mais, com as alterações provocadas pelo ser humano no meio ambiente, eventos meteorológicos que resultaria em secas, enchentes, deslizamentos de terra, ocasionam perdas humanas e econômicas (Anjos et al., 2016), como os eventos extremos climáticos retratados por Rosendo et al. (2015) na região semiárida paraibana.

Essa interação do clima versus sociedade evidencia a necessidade de se compreender e até estimar as condições do tempo e do clima da forma mais precisa possível.

As análises dos padrões climáticos podem ser realizadas pelo estudo de cada variável separadamente, ou essas variáveis podem ser agregadas por algum tipo de sistema de

classificação climática que integra várias características do clima (Belda et al., 2014).

Existe uma extensa variedade de metodologias capazes de categorizar ou classificar o clima. Barry e Chorley (1978) afirmam que os sistemas de classificações do clima têm como objetivo sintetizar e fornecer informações sobre as características climáticas das regiões, organizando as estatísticas climatológicas de forma a tornar possível a identificação dos diversos tipos de clima em termos quantitativos.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo a realização da classificação climática da região semiárida brasileira, por meio da adaptação da metodologia desenvolvida por Thornthwaite (1948), utilizando os dados das estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instaladas na região.

O processo de classificação climática normalmente tem como finalidade apresentar o clima da Terra, ou áreas desta, como um sistema de regiões que podem ser caracterizadas por condições climáticas que, quando comparadas, possuem características homogêneas. Para tanto, são necessárias algumas generalizações, visto que diferenças de relevo e solo podem proporcionar variações consideráveis nas variáveis climáticas. Quando se comparam climas de localidades diferentes, dependendo de sua abrangência espacial, as classificações podem ser consideradas de macroclima, mesoclima e microclima.

Para Belda et al. (2015) os sistemas de classificação climática funcionam ainda como uma forma interessante, mas mesmo assim simples, de se complementar os métodos usuais de validação de modelos climáticos e estimativas de mudanças climáticas futuras.

A maioria dos sistemas de classificação climática preocupa-se apenas com o macroclima, tipificando os climas do mundo como um todo ou regiões extensas como os continentes (Khlebnikova, 2002).

Mieruch et al. (2010) afirmam que os processos de tipificação climática, de acordo com o tipo de informação necessária para serem aplicados, podem ser divididos em dois grupos: os de classificação empírica e os de classificação genética. Os então chamados sistemas de classificação genéticos baseiam-se nas leis naturais da formação climática, cobrindo não apenas as características dos tipos climáticos, mas também explicando a razão para a existência de padrões climáticos em diferentes regiões do planeta (Khlebnikova, 2002). Já os sistemas de classificação empírica baseiam-se em estatísticas e

observações de elementos como temperatura e precipitação (Lydolph, 1985). Ainda segundo Lydolph (1985), ambos os tipos de classificação já foram aplicados, porém os genéticos demonstram-se menos eficientes na medida que incorporam elementos que não podem ser precisamente aferidos, dessa forma sendo abordados de forma mais subjetiva. Dentre os sistemas de classificação empírica, destacam-se os desenvolvidos por Köppen (1936) e Thornthwaite (1948).

Durante as décadas de 1930 e 1950 o climatologista norte-americano C. Warren Thornthwaite e diversos outros pesquisadores disseminaram uma série de publicações, que contribuíram para os avanços dos estudos em hidroclimatologia, incluindo o índice de umidade, que corresponde ao ponto de partida para seu processo de classificação climática. O sistema de classificação climática de Thornthwaite foi desenvolvido com o objetivo de estabelecer a disponibilidade de umidade em uma escala regional e sub-regional. Carter e Marther (1966) destacam a importância desse parâmetro nos processos biológicos, principalmente sob o ponto de vista da agricultura, pois complementa as informações já fornecidas pelas médias de precipitação e temperatura a respeito da disponibilidade de água durante a época de plantio.

Thornthwaite (1948) apresenta as diretrizes para o que chamou de “Sistema de classificação climática racional”, um método baseado no conceito de balanço hídrico que faz uso do índice de umidade previamente discutido por Thornthwaite (1943).

Uma região é uma área qualquer que pode ser delimitada a partir da existência de um conjunto de características homogêneas que possibilitam distingui-las do restante do espaço que está ao seu redor, sendo entendida como região por necessariamente se basear nessas características para sua definição (Witlesey, 1960).

A região semiárida brasileira se estende meridionalmente de 3°S a 17°S, com extensão de 969.589,4 km², abrangendo aproximadamente 58% da superfície do Nordeste Brasileiro e a parte mais setentrional do estado de Minas Gerais (Brasil, 2005), comportando 1.133 municípios com uma população de 22.598.318 habitantes (IBGE, 2010).

A principal característica da região semiárida brasileira se deve à precipitação média anual variar entre 400 e 800 mm; possuir temperaturas acima de 23°C, e evapotranspiração acima de 2000 mm/ano (Moscati e Gan, 2007).

A delimitação dessa área foi feita por um

Grupo de Trabalho Interministerial, em 2005, e utilizou três critérios técnicos sobrepostos: precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros; índice de aridez de Thornthwaite para o período entre 1961 e 1990 e o risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

Segundo Silva (2006) o semiárido brasileiro é caracterizado por uma região com solos pobres em matérias orgânicas e pelo baixo índice de chuvas, o que caracteriza a aridez sazonal.

Com períodos e estiagens prolongadas a

região é considerada como a mais seca do Brasil segundo Palmer (1965), a seca é caracterizada como o intervalo de tempo com períodos longos de estiagem que geralmente duram vários meses a anos, com registros de chuvas menores que a média climatológica.

Segundo Costa (2015) a precipitação é uma das variáveis climáticas mais importantes, a serem estudadas na região semiárida brasileira. Seu conhecimento é de fundamental importância para que se tenha um planejamento adequado às inúmeras atividades humanas.

Material e métodos

Este trabalho utilizou os dados de variáveis climatológicas do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), de 64 estações

climatológicas da rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologias (INMET) distribuídas dentro dos limites da região semiárida brasileira (Figura 1).

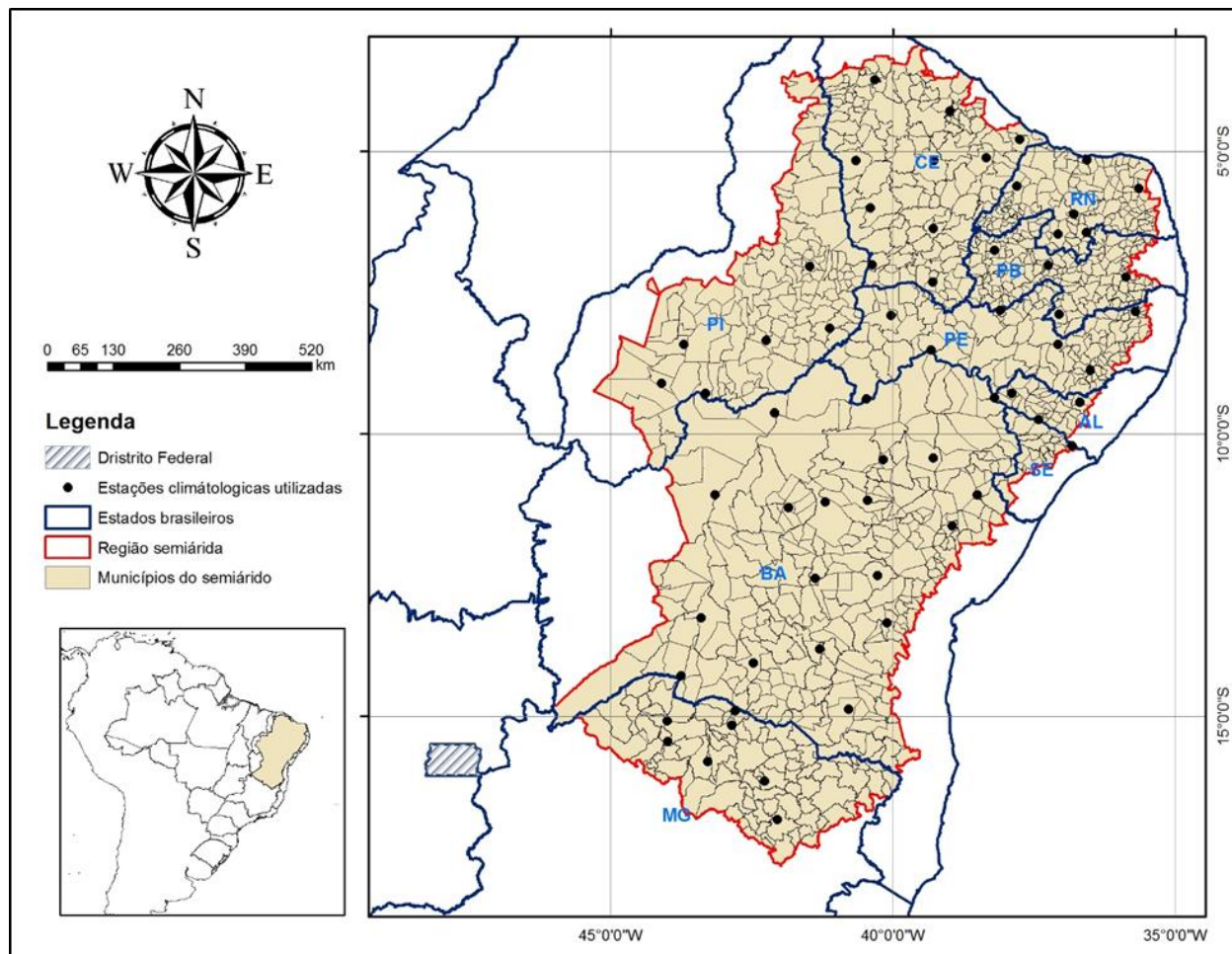


Figura 1. Localização das estações climatológicas do INMET na região semiárida brasileira.

Foram utilizados os valores diários, no intervalo de tempo compreendido entre janeiro de 1961 e dezembro de 2014, das variáveis climatológicas: direção do vento, velocidade média do vento, velocidade máxima média do vento,

evaporação piche, evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, insolação total, nebulosidade média, número de dias com precipitação, precipitação total, pressão média ao nível do mar, pressão média, temperatura máxima

média, temperatura compensada média, temperatura mínima média, umidade relativa média e visibilidade média.

Para o tratamento dos dados fez-se uso da linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA), devido a grande quantidade de parâmetros analisados. O VBA permite escrever programas, também conhecidos como “Macros”, capazes de usufruir de todas as funções do Microsoft Excel® de forma mais automatizada, facilitando a aplicação de cálculos e equações mais complexas.

Para a classificação climática da região semiárida brasileira foi feita uma adaptação do Sistema Thornthwaite de classificação climática.

O Sistema Thornthwaite de classificação climática foi desenvolvido pelo climatologista norte americano C. Warren Thornthwaite, com o objetivo de se estabelecer a disponibilidade de umidade em uma escala regional e sub-regional.

A classificação climática completa segundo Thornthwaite (1948) é composta pela união de quatro símbolos, que correspondem aos resultados obtidos por meio do cálculo do: Índice de Umidade, Índice de Eficiência Térmica, Índice de Suprimento de Água ou Índice de Aridez e Índice de Concentração da Eficiência Térmica no Verão. A classificação climática de Thornthwaite se desenvolve por meio da junção desses quatro símbolos correspondentes as classes onde os valores dos índices encontram-se inseridos.

Alguns destes índices utilizam dados da estação mais chuvosa e menos chuvosa. Tendo em vista essa difícil delimitação para a região semiárida brasileira, optou-se por utilizar como meses mais chuvosos os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, e menos chuvosos os meses de junho, julho e agosto, conforme a convenção estabelecida para todo o hemisfério Sul, de acordo com a *World Meteorological Organization* (WMO).

Índice de Umidade

Para o cálculo do primeiro símbolo da classificação, Thornthwaite (1948) apresentou o Índice de Umidade (I_m) como sendo função da evapotranspiração potencial (Evp), do suprimento de água (S) e da deficiência de água (D). A variável S pode ser definida como o balanço hídrico entre a precipitação (P), evapotranspiração real (Evr) e das quantidades de água presentes no solo e na zona radicular das plantas, e D é calculada por meio da diferença entre Evp e Evr. A equação pode ser escrita da seguinte forma:

$$I_m = 100 \times \frac{S - 0.6D}{Evp} \quad [1]$$

Devido à ausência de dados a respeito da umidade do solo e capacidade de retenção de água disponível na zona radicular das plantas, por parte do banco de dados fornecido pelo INMET, não foi possível aplicar a Equação 1 da forma como foi apresentada, por Thornthwaite (1948). Como alternativa para solucionar esse problema, seguiu-se o que foi apresentado em Thornthwaite e Mather (1955) e também em Willmott et al. (1985), onde a equação de Thornthwaite é integrada para o tempo de um ano, portanto, assumindo que $S \rightarrow \max[(P - Evr), 0]$. Assim, a equação utilizada neste trabalho para o cálculo do Índice de Umidade é dada por:

$$I_m = 100 \times \left[\frac{P}{Evp} - 1 \right] \quad [2]$$

A Equação 2 representa o índice anual de umidade, totalmente aplicável para a classificação climática e de outros aspectos do meio ambiente, como por exemplo o tipo de vegetação (Mather e Yoshioka, 1968).

Os resultados obtidos pela Equação 2 variam entre -60 e acima de 100, valores esses diretamente proporcionais a umidade no local, que dependendo da classe em que eles se encontrar darão origem ao primeiro símbolo da classificação (Tabela 1).

Tabela 1. Tipos climáticos de acordo com o Índice de Umidade.

Símbolo	Tipo climático	Índice de Umidade
A	Superúmido	Acima de 100
B ₄	Úmido	80 a 100
B ₃	Úmido	60 a 80
B ₂	Úmido	40 a 60
B ₁	Úmido	20 a 40
C ₂	Sub úmido molhado	0 a 20
C ₁	Sub úmido seco	-20 a 0
D	Semiárido	-40 a -20
E	Árido	-60 a -40

Fonte: Thornthwaite (1948)

Neste contexto, valores equivalentes de precipitação e evapotranspiração potencial indicam

que a disponibilidade de água em um lugar é aquela estritamente necessária, enquanto que valores de evapotranspiração superiores aos valores de precipitação implicam em uma deficiência no suprimento de água.

Índice de Eficiência Térmica

O segundo símbolo da classificação climática é dado pelo Índice de Eficiência Térmica. Segundo a American Meteorological Society

(2012), esse índice pode ser definido como uma medida em longo prazo da influência da temperatura no crescimento da vida vegetal. Thornthwaite (1948) afirma que a evapotranspiração potencial funciona como um índice que regula a eficiência térmica, apresentando a capacidade de se expressar como uma representação da duração dos dias e dos valores de temperatura (Tabela 2).

Tabela 2. Tipos climáticos de acordo com o Índice de Eficiência Térmica.

Símbolo	Tipo climático	Valores de evapotranspiração potencial	
		Centímetros	Polegadas
E'	Congelado / Ártico	Abaixo de 14,2	Abaixo de 5,61
D'	Tundra	14,2 a 28,5	5,61 a 11,22
C'1	Microtérico	28,5 a 42,7	11,22 a 16,83
C'2	Microtérico	42,7 a 57,0	16,83 a 22,44
B'1	Mesotérico	57,0 a 71,2	22,44 a 28,05
B'2	Mesotérico	71,2 a 85,5	28,05 a 33,66
B'3	Mesotérico	85,5 a 99,7	33,66 a 39,27
B'4	Mesotérico	99,7 a 114,0	33,27 a 44,88
A'	Megatérico	Acima de 114,0	Acima de 44,88

Fonte: Thornthwaite (1948)

Índice de Suprimento de Água e Índice de Aridez

A obtenção do terceiro símbolo da classificação de Thornthwaite, depende dos valores resultantes da Equação 2, que indicarão a necessidade da elaboração cálculo do Índice de Suprimento de Água ou do cálculo do Índice de Aridez. Se os valores obtidos forem positivos, será calculado o Índice de Suprimento de Água, caso esses valores sejam negativos, será calculado o Índice de Aridez.

Thornthwaite (1948) determinou que o Índice de Umidade (Equação 3) poderia ser calculado pela composição de outros dois índices, o Índice de Suprimento de Água (Equação 4) e o Índice de Aridez (Equação 5):

$$I_m = \frac{100S - 60D}{n} \quad [3]$$

$$I_h = \frac{100S}{n} \quad [4]$$

$$I_a = \frac{100D}{n} \quad [5]$$

Em que I_h é o Índice de Suprimento de Água, I_a é o Índice de Aridez ou de deficiência de água, e n é a demanda de água, representada pela E_{vr} .

Para avaliar a variação sazonal de umidade e determinar se o clima de uma determinada região possui características mais úmidas ou áridas, determina-se as subdivisões climáticas por meio dos índices de suprimento de água e de aridez. Thornthwaite (1948) expõe a relação entre os valores desses dois índices a sua subdivisão climática correspondente (Tabela 3 e Tabela 4).

Apesar dos símbolos s , s_2 , w e w_2 serem iguais na Tabela 3, eles possuem definições diferentes no intuito de representar a estação onde a precipitação é mais eficiente ou deficiente. Observa-se também que esses mesmos símbolos possuem classes dos Índices de aridez e de suprimento de água iguais, o que dificulta a escolha do índice correto. Esse problema pode ser contornado através do cálculo e comparação do suprimento de água (S) ou da deficiência de água

(D) acumulada no fim do inverno e do verão. Por exemplo, caso o impasse seja entre os símbolos s e w dos climas secos, será feita uma comparação entre a média histórica do suprimento de água totalizado ao fim do Inverno e do verão naquela

região, escolhendo-se aquela que tiver maior valor. Para os climas secos, o raciocínio é análogo, porém, calcula-se a média histórica da deficiência de água.

Tabela 3. Subtipos climáticos de acordo com os valores do Índice de Suprimento de Água

Climas úmidos (A, B, C ₂)		Índice de Aridez
Símbolo	Subtipo climático	
r	Pouca ou nenhuma deficiência de água	0 a 16,7
s	Deficiência de água moderada no verão	16,7 a 33,3
w	Deficiência de água moderada no inverno	16,7 a 33,3
s ₂	Elevada deficiência de água no verão	Acima de 33,3
w ₂	Elevada deficiência de água no inverno	Acima de 33,3

Fonte: Thornthwaite (1948)

Tabela 4. Subtipos climáticos de acordo com os valores do Índice de Aridez

Climas secos (C ₁ , D, E)		Índice de Suprimento de Água
Símbolo	Subtipo climático	
d	Pouco ou nenhum suprimento de água	0 a 10
s	Suprimento de água moderado no inverno	10 a 20
w	Suprimento de água moderado no verão	10 a 20
s ₂	Suprimento de água elevado no inverno	Acima de 20
w ₂	Suprimento de água elevado no verão	Acima de 20

Fonte: Thornthwaite (1948)

Índice de Concentração da Eficiência Térmica no Verão

Do ponto de vista climatológico compreende-se que quanto mais próxima uma região está do equador, menores são as variações do comportamento climático durante o ano, resultando na ausência das estações do ano bem definidas. Somando-se a esse fato, os movimentos de rotação e translação realizados pela Terra determinam uma relação fixa entre o índice de eficiência térmica anual e a eficiência térmica do verão. Essa relação é inversamente proporcional ao logaritmo do índice de eficiência térmica anual (Thornthwaite, 1948), sendo representada pela equação:

$$s = 157,76 - 66,44 \log E \quad [6]$$

Sendo s o Índice de Concentração da Eficiência Térmica no Verão em porcentagem e E_v é a evapotranspiração real em polegadas. Thornthwaite (1948) ilustra essa relação por meio de uma tabela que correlaciona a eficiência térmica e a concentração da eficiência térmica no verão em porcentagem (Tabela 5).

Por meio da utilização das regras apresentadas e da união dos símbolos relacionados aos resultados dos cálculos de cada um desses índices, segundo a ordem apresentada neste trabalho, obteve-se a classificação climática completa para 62 das 64 estações estudadas.

Tabela 5. Tipo climático de acordo com o Índice de Concentração da Eficiência Térmica no Verão

Evapotranspiração potencial		Eficiência térmica	Concentração no verão	
Polegadas	Centímetros	Símbolo	Porcentagem	Símbolo
Acima de 44,88	Acima de 114,0	A'	Acima de 48,0	a'
39,27 a 44,88	99,7 a 114,0	B' ₄	48,0 a 51,9	b' ₄
33,66 a 39,27	85,5 a 99,7	B' ₃	51,9 a 56,3	b' ₃
28,05 a 33,66	71,2 a 85,5	B' ₂	56,3 a 61,6	b' ₂
22,44 a 28,05	57,0 a 71,2	B' ₁	61,6 a 68,0	c' ₁
16,83 a 22,44	42,7 a 57	C' ₂	68,0 a 76,3	c' ₂
11,22 a 16,83	28,5 a 42,7	C' ₁	76,3 a 88,0	c' ₂
5,61 a 11,22	14,2 a 28,5	D'	Acima de 88	d'
Abaixo de 5,61	Abaixo de 14,2	E'	Acima de 88	d'

Fonte: Thornthwaite (1948)

Resultados e discussões

Os resultados obtidos por meio da execução da metodologia proposta por Thornthwaite, evidenciaram uma vasta gama de classificações distintas, abrangendo 10 tipologias climáticas para a região semiárida brasileira como um todo (Tabela 5). Torna-se necessário realçar também que, para 64 estações climatológicas apenas duas delas não foram caracterizadas (Tabela

6), devido ao grande número de falhas existentes em sua série de dados. Isso comprometeu o cálculo de pelo menos um dos índices, impossibilitando a classificação climática. As variáveis climatológicas que mais apresentaram falhas foram a de evapotranspiração real e de evapotranspiração potencial, ambas se encontram diretamente relacionadas ao cálculo do Índice de Umidade.

Tabela 6. Classificação climática das estações meteorológicas do INMET presentes na região semiárida brasileira.

Estações Meteorológicas	Classificação	Latitude (DD)	Longitude (DD)	Altitude (m)
BARRA - BA (OMM: 83179)	EA'da'	-11,08	-43,16	401,58
BOM JESUS DA LAPA - BA (OMM: 83288)	EA'da'	-13,26	-43,41	439,96
CAETITE - BA (OMM: 83339)	DB'4db'4	-14,06	-42,48	882,47
CARINHANHA - BA (OMM: 83408)	EA'da'	-14,28	-43,76	450,18
CIPO - BA (OMM: 83192)	EA'da'	-11,08	-38,51	145,31
IRECE - BA (OMM: 83182)	EA'da'	-11,3	-41,86	747,16
ITABERABA - BA (OMM: 83244)	EA'da'	-12,51	-40,28	249,89
ITIRUCU JAGUAQUARA - BA (OMM: 83295)	C1B'3db'3	-13,35	-40,11	755,61
ITUACU - BA (OMM: 83292)	EA'da'	-13,81	-41,3	531,43
JACOBINA - BA (OMM: 83186)	DA'da'	-11,18	-40,46	484,74
LENCOIS - BA (OMM: 83242)	C1A'wa'	-12,56	-41,38	438,74
MONTE SANTO - BA (OMM: 83090)	EA'da'	-10,43	-39,29	464,6

Estações Meteorológicas	Classificação	Latitude (DD)	Longitude (DD)	Altitude (m)
PAULO AFONSO - BA (OMM: 82986)	EA'da'	-9,36	-38,21	252,69
SENHOR DO BONFIM - BA (OMM: 83088)	EA'da'	-10,46	-40,18	558,24
SERRINHA - BA (OMM: 83190)	DA'da'	-11,63	-38,96	359,63
VITORIA DA CONQUISTA - BA (OMM: 83344)	DA'da'	-14,88	-40,79	874,81
AGUA BRANCA - AL (OMM: 82989)	DA'da'	-9,28	-37,9	605,34
PALMEIRA DOS INDIOS - AL (OMM: 82992)	EA'da'	-9,44	-36,7	274,9
PAO DE ACUCAR - AL (OMM: 82990)	EA'da'	-9,75	-37,43	19,1
ARACUAI - MG (OMM: 83442)	EA'da'	-16,83	-42,05	289
ESPINOSA - MG (OMM: 83338)	EA'da'	-14,91	-42,8	569,64
JANAUBA - MG (OMM: 83395)	EA'da'	-15,8	-43,29	516
JANUARIA - MG (OMM: 83386)	DA'da'	-15,45	-44	473,71
MOCAMBINHO - MG (OMM: 83389)	EA'da'	-15,08	-44,01	452
MONTE AZUL - MG (OMM: 83388)	EA'da'	-15,16	-42,86	625
SALINAS - MG (OMM: 83441)	EA'da'	-16,15	-42,28	471,32
CAMPINA GRANDE - PB (OMM: 82795)	DA'da'	-7,22	-35,88	547,56
MONTEIRO - PB (OMM: 82792)	EA'da'	-7,88	-37,06	603,66
PATOS - PB (OMM: 82791)	EA'da'	-7,01	-37,26	249,09
SAO GONCALO - PB (OMM: 82689)	EA'da'	-6,75	-38,21	233,06
ARCOVERDE - PE (OMM: 82890)	EA'da'	-8,41	-37,08	680,7
CABROBO - PE (OMM: 82886)	EA'da'	-8,51	-39,33	341,46
GARANHUNS - PE (OMM: 82893)	C1B'4db'4	-8,88	-36,51	822,76
OURICURI - PE (OMM: 82753)	EA'da'	-7,9	-40,04	459,28
PETROLINA - PE (OMM: 82983)	EA'da'	-9,38	-40,48	370,46
SURUBIM - PE (OMM: 82797)	EA'da'	-7,83	-35,71	418,32
TRIUNFO - PE (OMM: 82789)	B1B'3sb'3	-7,81	-38,11	1105
BOM JESUS DO PIAUI - PI (OMM: 82975)	EA'da'	-9,1	-44,11	331,74
CARACOL - PI (OMM: 82976)	EA'da'	-9,28	-43,33	522,77
PAULISTANA - PI (OMM: 82882)	EA'da'	-8,13	-41,13	374,22
PICOS - PI (OMM: 82780)	EA'da'	-7,03	-41,48	207,93
SAO JOAO DO PIAUI - PI (OMM: 82879)	EA'da'	-8,35	-42,25	235,33
VALE DO GURGUEIA CRISTIANO CASTRO - PI (OMM: 82870)	EA'da'	-8,41	-43,71	265
APODI - RN (OMM: 82590)	EA'da'	-5,61	-37,81	150
CEARA MIRIM - RN (OMM: 82596)	C1A'da'	-5,65	-35,65	61,35
CRUZETA - RN (OMM: 82693)	EA'da'	-6,43	-36,58	226,46
FLORANIA - RN (OMM: 82691)	EA'da'	-6,11	-36,81	324,45

Estações Meteorológicas	Classificação	Latitude (DD)	Longitude (DD)	Altitude (m)
PRÓPRIA - SE (OMM: 83097)	DA'da'	-10,21	-36,84	19,92
CAMPOS SALES - CE (OMM: 82777)	EA'da'	-7	-40,38	583,5
GUARAMIRANGA - CE (OMM: 82487)	B3B'3sb'3	-4,28	-39	870,67
IGUATU - CE (OMM: 82686)	EA'da'	-6,36	-39,29	217,67
JAGUARUANA - CE (OMM: 82493)	EA'da'	-4,78	-37,76	11,71
MORADA NOVA - CE (OMM: 82588)	EA'da'	-5,11	-38,36	43,62
QUIXERAMOBIM - CE (OMM: 82586)	EA'da'	-5,16	-39,28	79,5
SOBRAL - CE (OMM: 82392)	EA'da'	-3,73	-40,33	109,62
TAUA - CE (OMM: 82683)	EA'da'	-6	-40,41	398,77

Tabela 7. Estações climatológicas não classificadas.

Estações Meteorológicas	Latitude (DD)	Longitude (DD)	Altitude (m)
FEIRA DE SANTANA - BA (OMM:83221)	-12,18	-38,96	230,68
PEDRA AZUL - MG (OMM:83393)	-16,00	-41,28	648, 91

Analisando a Tabela 7, tomando como exemplo a estação OMM 83097, o cálculo do Índice de Umidade resultou no valor de -30,6, enquadrando-se na simbologia para clima semiárido, D. O Índice de Eficiência Térmica, que corresponde a valores de evapotranspiração potencial, apresentou o valor de 157 cm, associando-se ao símbolo A'. Uma análise dos Índices de Aridez e Umidade indicaram pertinência à subdivisão climática, d, e finalmente, o Índice de Concentração de Eficiência Térmica no Verão foi de 38,73%, valor este associado ao símbolo, a'. Como resultado final, a classificação climatológica de Thornthwaite para essa estação é dada por D A'd a'.

Das 62 estações válidas, 46 apresentaram a classificação climática como sendo do tipo árido megatérmico com pouquíssimo ou nenhum suprimento de água e com elevada evapotranspiração no verão (EA'da'); oito delas foram classificadas como semiáridas megatérmico com pouquíssimo ou nenhum suprimento de água e com elevada evapotranspiração no verão (D A'd a'); duas como semiáridas mesotérmicas com

pouquíssimo ou nenhum suprimento de água e com grande evapotranspiração no verão (DB'4db'4 e DB'3db'3); duas são sub úmidas secas mesotérmicas com pouquíssimo ou nenhum suprimento de água e com grande evapotranspiração no verão (C₁B'4db'4 e C₁B'3db'3); uma é sub úmida seca megatérmica com moderado suprimento de água no verão e elevada evapotranspiração no verão (C₁A'wa'); uma é sub úmida seca megatérmica com pouquíssimo ou nenhum suprimento de água e elevada evapotranspiração no verão (C₁A'd a'); e duas são úmidas mesotérmicas com moderada deficiência de água no verão e grande evapotranspiração no verão (B₃B'3sb'3 e B₁B'3sb'3).

A ocorrência das duas estações classificadas como úmidas (B₃B'3sb'3 e B₁B'3sb'3) pode ser atribuída à maior influência do topoclima, ocasionada pelas elevadas altitudes (acima de 800 m) típicas de regiões serranas. Na Tabela 8 pode ser observada a frequência dada em porcentagem de cada tipo de clima encontrado.

Tabela 8. Porcentagem das tipologias climáticas obtidas.

Classificação climática resultante	Número de estações classificadas para cada tipo climático	Porcentagem das estações classificadas para cada tipo climático
EA'da'	46	74,2 %
DA'da'	8	12,9 %
DB'4db'4	1	1,61 %
DB'3db'3	1	1,61 %
C1B'4db'4	1	1,61 %
C1B'3db'3	1	1,61 %
C1A'wa'	1	1,61 %
C1A'da'	1	1,61 %
B3B'3sb'3	1	1,61 %
B1B'3sb'3	1	1,61 %

As grandes variedades de tipos climáticos obtidos através da metodologia de Thornthwaite e conseqüentemente menor homogeneidade, indicam que a classificação de Thornthwaite consegue captar características presentes em escala mesoclimática ou topoclimática. Essa sensibilidade pode ser comprovada através da observação de uma presença maior de classificação climáticas diferentes entre estações instaladas relativamente próximas.

Segundo Pereira et al. (2002), o sistema de classificação climática de Thornthwaite possui uma grande sensibilidade com o fator térmico que compõe o último símbolo responsável pela determinação da tipologia climática, apresentando influência direta na evapotranspiração potencial e déficit de hídrico. De acordo com Rolim et al. (2007), essa sensibilidade frente aos parâmetros do balanço hídrico torna essa metodologia aplicável na escala mesoclimática.

Objetivando uma melhor visualização espacial das 10 tipologias climáticas encontradas para a região semiárida brasileira, optou-se por realizar uma interpolação dos resultados, do tipo “*Spline linear*”, presente na ferramenta *Geoprocessing* do ArcMap® 10.2.1. (Figura 2).

Pela Figura 2 observa-se que as tipologias climáticas mais áridas (tons mais escuros) encontram-se predominante nas regiões mais interioranas (continentalidade), com exceção das áreas mais elevadas, que mesmo em regiões interioranas, apresentaram climas mais amenos (tons mais claros), fator este que podem estar relacionado com o topo-clima ou climas de altitude.

Pode ser observado também, que as regiões mais próximas da costa (regiões mais a leste) apresentaram classificações climáticas mais amenas devido a influência da maritimidade.

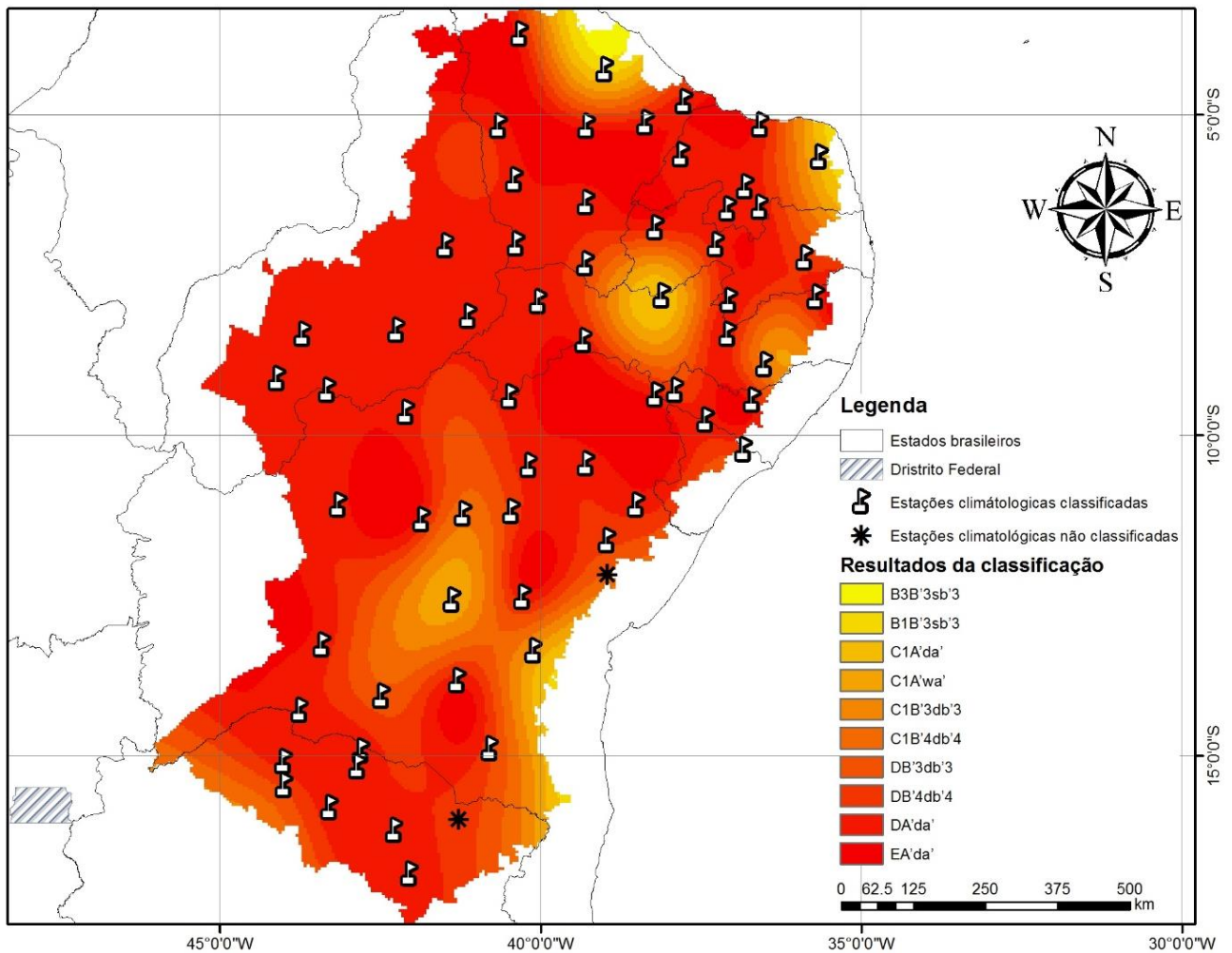


Figura 2. Interpolação dos dados de classificação climática para a região semiárida brasileira, a partir da adaptação do método de Thornthwaite de classificação climática.

Conclusões

A classificação das estações meteorológicas do INMET segundo a metodologia de Thornthwaite resultou em uma grande maioria de estações enquadradas no clima árido, com algumas ocorrências de clima semiárido e úmido.

Foi possível perceber a capacidade do método de Thornthwaite em realçar as variações climáticas mais locais, possivelmente causadas pelas variações de altitude.

A grande quantidade de dados requerida para o tipo de análise realizada neste trabalho ressalva a importância da existência de um banco de dados atualizado, organizado e confiável.

O Nordeste semiárido brasileiro em grande parte de seu território é ocupado por famílias rurais, que necessitam da agricultura de subsistência como principal fonte de alimentos e renda para sobreviver, fator este que é bem retratado na classificação climática de Thornthwaite, que dá

grande importância ao Índice de Umidade e a disponibilidade de água durante a época de plantio.

Negligenciar a evapotranspiração é ignorar a grande influência que ela tem no clima, nas reservas hídricas e no crescimento vegetal, induzindo a uma classificação que muitas vezes pode não ser condizente com as características da região.

O método de Thornthwaite demonstrou-se eficaz como uma alternativa viável para a classificação climática do semiárido brasileiro, ressalvando-se a possibilidade de aperfeiçoamento através de novas adaptações para a região em questão.

Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilização dos dados utilizados nesse trabalho, a todos que fazem parte do Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia

Ambiental (LARHENA/UFPB), e ao Grupo de Estudo do Semiárido (GESA).

Referências

- Ahlonsou, E., Ding Y., Schimel, D., 2001. The climate system: an overview. IPCC reports. Disponível: http://www.stopgreensuicide.com/ch1introduction_wg1ar5_sod_ch01_all_final.pdf. Acesso: 15 maio 2016.
- American Meteorological Society, 2012. Glossary of Meteorology. Disponível: http://glossary.ametsoc.org/wiki/Thermal_efficiency. Acesso: 10 maio 2016.
- Ammann G., Wapple A., 2009. Climate change, human systems, and policy, in: Yotovaay, A. (Org), History, status and prediction of global climate change – Vol. I. Editora EOLSS, Paris, pp. 43-67.
- Anjos, R. S., Bezerra, A. L., Nóbrega, R. S., 2016. Caracterização das chuvas através do satélite TRMM em Petrolândia-PE. *Revista Brasileira de Climatologia* [online] 18. Disponível: <http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/44652/28726>. Acesso: 30 jun. 2016.
- Barry, R. G., Chorley, R. J., 1978. *Atmósfera, tiempo y clima*, 2 ed. Omer S.A., Barcelona.
- Belda, M., Holtanová, E., Halenka, T., Kalvová, J., 2014. Climate classification revisited: from Köppen to Trewartha. *Climate Research* 59, 1 – 13.
- Belda, M., Holtanová, E., Halenka, T., Kalvová, J., 2015. Evaluation of CMIP5 present climate simulations using Köppen-Trewartha climate classification. *Climate Research* 64, 201 – 212.
- BRASIL, 2005. Portaria n° 89 de 17 de março.
- Brovkin, V., 2002. Climate-vegetation interaction. *J. Physique IV France* [Online] 12. Disponível: http://www.pikpotsdam.de/~victor/brovkin_erc_a5.pdf. Acesso: 30 jun 2016.
- Carter, D. B., Mather, J. R., 1966. Climate classification for environmental biology. *Publications in Climatology* 19(4), 305-395.
- Costa, M. S., Lima, K. C., Andrade, M. M., Gonçalves, W. A., 2015. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online], 8. Disponível: <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/1440/855>. Acesso: 15 maio 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Censo Demográfico. Disponível: <http://www.censo2010.ibge.gov.br>. Acesso: 23 abr 2016.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia, 2015. Dados históricos. Disponível em: www.inmet.gov.br. Acesso: 17 fev 2016.
- Khlebnikova, E. I., 2002. Classification of the climate of the Earth, in: Gruza, V. G. (Org), *Environmental Structure and Function: Climate System – Vol. I*. Editora EOLSS, Paris, pp. 229-245.
- Köppen, W., 1936. Das geographische system der klimate. In: Köppen, W., Geiger, R. (Eds.), *Handbuch der Klimatologie*. Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin, pp. 44.
- Lydolph, P. E. 1985. *The climate of the earth*. Totowa, Rowman & Allanheld, New Jersey.
- Mather, J. R., Yoshika, G. A., 1968. The role of climate in the distribution of vegetation. *Annals of the Association of American Geographers* 58(1), 29-41.
- Mieruch, S., Noël, S., Bovensmann, H., Burrows, J. P., Freund, J. A., 2010. Markov chain analysis of regional climates. *Nonlinear Processes in Geophysics* 17, 651-661.
- Moscatti, M. C. L., Gan, M. A., 2007. Rainfall variability in the rainy season of semiarid zone of Northeast Brazil (NEB) and its relation to wind regime. *International Journal of Climatology* 27, 493-512.
- Palmer, W. C., 1965. Meteorological drought. *Weather Bureau Res.* 45, 1-58.
- Pereira, A. P.; Angelocci, L.R.; Sentelhas, P.C. 2002. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Lavras: Agropecuária.
- Rolim, Glauco de Souza, Camargo, Marcelo Bento Paes de, Lania, Daniel Grosseli, & Moraes, Jener Fernando Leite de. 2007. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia*, 66(4), 711-720. <https://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000400022>
- Rosendo, E. E. Q., Souza, B. I., Pires, A. L., Pedrosa, L. P. D., Filgueira, H. J. A., 2015. Chuvas extremas e desordenamento do território na construção do risco: um estudo de caso no município de Cabaceiras-Paraíba (Brasil). *Revista Colombiana de Geografía* 24, 189-203.
- Silva, M. M., Ferreira, V. O., 2011. Análise comparativa do clima de Araçuaí, Pedra Azul e Itamarandiba, na porção mineira da bacia do rio Jequitinhonha. *Caderno de Geografia* [Online]

21. Disponível:
<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/2101/2631>. Acesso: 30 jun 2016.
- Silva, R. M. A., 2006. Entre o combate a seca e a convivência com o semiárido: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento. (Tese de Doutorado). Brasília, UNB.
- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38(1), 55-94.
- Thornthwaite, C. W., 1943. Problems in the classification of climates. *Geographical Review* 33(2), 233-255.
- Thornthwaite, C. W., Mather, J. R., 1955. The water balance. *Publications in Climatology* 8(1), 1-104.
- USEPA. United States Environmental Protection Agency. Glossary of climate change terms. Disponível:<https://www3.epa.gov/climatechange/glossary.html>. Acesso: 16 Junho, 2016.
- Whittlesey, D., 1960. O Conceito regional e o método regional. *Boletim Geográfico* 154, 5-36.