



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL

AMANDA REZENDE MOREIRA

**ESTUDO COMPARATIVO E DELINEAMENTO DE ÍNDICES DE ARIDEZ NA
SUB-BACIA DO ALTO PARAÍBA-PB**

POMBAL – PB

2018

AMANDA REZENDE MOREIRA

**ESTUDO COMPARATIVO E DELINEAMENTO DE ÍNDICES DE ARIDEZ NA
SUB-BACIA DO ALTO PARAÍBA–PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental, do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento as exigências para obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof^o. D.Sc. Patrício Borges Maracajá

Co-orientador: Prof^o. D.Sc. George do Nascimento Ribeiro

POMBAL – PB

2018

M838e Moreira, Amanda Rezende.
Estudo comparativo e delineamento de índices de aridez na sub-bacia do Alto Paraíba - PB / Amanda Rezende Moreira. – Pombal, 2018.
42 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2018.

"Orientação: Prof. Dr. Patrício Borges Maracajá".

"Co-orientação: Prof. Dr. George do Nascimento Ribeiro".

1. Bacia hidrográfica. 2. Rio Paraíba. 3. Índice de aridez. 4. Desertificação. I. Maracajá, Patrício Borges. II. Ribeiro, George do Nascimento. III. Título.

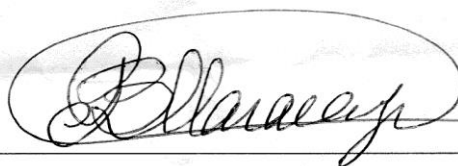
CDU 556.51 (043)

AMANDA REZENDE MOREIRA


**ESTUDO COMPARATIVO E DELINEAMENTO DE ÍNDICES DE ARIDEZ NA
SUB-BACIA DO ALTO PARAÍBA – PB**

Aprovado em 10 / 10 / 2018

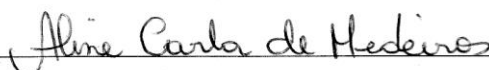
BANCA EXAMINADORA



Prof. D. Sc. Patrício Borges Maracajá
Orientador – UFCG/Campus de Pombal – PB



Prof^a. D. Sc. Aline Costa Ferreira
Examinadora Interna – UFCG/Campus de Pombal - PB



Prof^a. M. Sc. Aline Carla de Medeiros
Examinadora Externa – PPGE/UFCEG/Campus de Campina Grande

Pombal – PB

Outubro 2018

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades ao longo do curso. A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que me deram oportunidade de seguir adiante, que hoje vislumbro um horizonte superior.

Ao meu orientador Prof. D. Sc. Patrício Borges Maracajá, pela paciência e dedicação no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos e palavra de conforto.

Ao meu co-orientador Prof. D. Sc. George do Nascimento Ribeiro, por todos os ensinamentos e paciência na orientação deste trabalho.

Ao meu esposo Helton Magno de Sousa Gonçalves, por todo o incentivo, amor, compreensão, paciência, ensinamentos, por acreditar nos meus esforços, e por nunca desistir desse sonho junto comigo.

A minha mãe Suely e minhas irmãs Rebeca e Jancilia, pelo amor e por sempre apoiar e vibrar com o meu sucesso e nunca desistir desse sonho.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

RESUMO

Visto a relevância em compreender o Índice de Aridez (IA) uma vez que está relacionado com a suscetibilidade à desertificação, o objetivo deste trabalho foi mapear e comparar os Índices de Aridez na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, especificamente, o IA na sub-bacia do Alto Paraíba-PB. Para determinar o Índice de Aridez na Sub-Bacia Alto Paraíba-PB, obteve-se o total anual de precipitação e estimativa da evapotranspiração potencial, neste trabalho calculado pelo método de Thornthwaite & Mather (1955). A partir do cálculo do Índice de Aridez foram determinados os riscos à desertificação, assim como, a classificação climática que delimitam as zonas climáticas estabelecidas pela UNEP (1991). Assim sendo os índices variaram, quanto às classes climáticas para a aridez, da seguinte forma: menor que 0,03 ($< 0,03$) Hiperárido; 0,03 a 0,20 Árido; 0,21 a 0,50 Semiárido; 0,51 a 0,61 Subúmido e Seco; e maior que 0,65 ($> 0,65$) Subúmido e Úmido. Para a produção dos mapas utilizou-se dados do censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que auxiliaram tanto na elaboração dos mapas quanto na interpretação dos dados. Após a confecção dos índices de aridez foi elaborada uma planilha eletrônica com os dados obtidos e suas geolocalizações (latitude e longitude) e utilizando o software Surfer 7.0, foi realizada a estatística utilizando a metodologia de interpolação de dados do tipo *Krigagem*, onde foi elaborado o mapa de distribuição e recortado utilizando-se o limite da microrregião em estudo. Para a análise da distribuição espacial dos dados foi utilizado o método de interpolação denominado *Krigagem* para determinar a média, desvio padrão, variância e coeficiente de variação. Concluiu-se que apesar de apresentar, em determinados locais, relevo relativamente plano a Sub-Bacia Alto do Paraíba apresenta classes de classificação em transição entre os terrenos com declividade acentuada. Quanto à erosividade ela apresenta sua máxima quando observada entre cotas que variam de 400 a 480 metros do nível acima do mar. Já sobre o Índice de Aridez (IA) a Sub-Bacia considerando os níveis de suscetibilidade à desertificação estabelecidos a partir de valores do Índice de Aridez vê-se que é moderada a alta.

PALAVRAS-CHAVE: Mapeamento. Bacia Hidrográfica. Desertificação. Precipitação. Evapotranspiração.

ABSTRACT

Considering the relevance of understanding the Aridity Index (IA) since it is related to the susceptibility to desertification, the objective of this work was to map and compare the Aridity Indices in the Paraíba River Watershed, specifically the IA in the sub-basin of Alto Paraíba-PB. In order to determine the Aridity Index in the Alto Paraíba-PB Sub-Basin, we obtained the annual total rainfall and estimated potential evapotranspiration, calculated by the Thornthwaite & Mather method (1955). From the calculation of the Aridity Index the risks to desertification were determined, as well as the climatic classification that defines the climatic zones established by UNEP (1991). Thus, the indices varied, as for the climatic classes for aridity, as follows: less than 0.03 (<0.03) Hyperarido; 0.03 to 0.20 Arid; 0.21 to 0.50 Semi-arid; 0.51 to 0.61 Subhumid and Dry; and greater than 0.65 (> 0.65) Subhumid and Wet. For the production of maps, data from the census of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) were used, which assisted both in mapping and interpretation of data. After the aridity indexes were prepared, a spreadsheet with the data obtained and its geolocations (latitude and longitude) was elaborated and using the Surfer 7.0 software, the statistics were performed using the Krigagem type interpolation methodology, where the distribution map and trimmed using the boundary of the microregion under study. In order to analyze the spatial distribution of the data, the interpolation method called Kriging was used to determine the mean, standard deviation, variance and coefficient of variation. It was concluded that in spite of the relatively flat relief in certain places, the Alto do Paraíba Sub-Basin presents classification classes in transition between terrains with marked slope. As for erosivity, it shows its maximum when observed between coasts ranging from 400 to 480 meters above sea level. Regarding the Aridity Index (IA), the Sub-Basin considering the levels of susceptibility to desertification established from Aridity Index values is moderate to high.

KEYWORDS: Mapping. Hydrographic basin. Desertification. Precipitation. Evapotranspiration.

LISTA DE MAPAS

MAPA 1 - Mapa Altimétrico da sub-bacia do Alto Paraíba	30
MAPA 2 - Mapa de Erosividade sub-bacia do Alto Paraíba.....	31
MAPA 3 - Índice de Aridez utilizando o Fator de Correção (FC) para a sub-bacia do Alto Paraíba	32
MAPA 4 - Classificação quanto às classes climáticas para o IA utilizando o Fator de Correção (FC) na sub-bacia do Alto Paraíba. (1-semiárido; 2-sub-úmido seco; 3-sub-úmido úmido)	33
MAPA 5 - Índice de aridez utilizando o método D'Martonne para a sub-bacia do Alto Paraíba	34

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Evolução das emissões brasileiras convertidas para CO2 eq, por meio do uso do GWP	22
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Indicadores abordados para cada área	16
Quadro 2 - Setores que mais contribuem com emissão de Gases do Efeito Estufa	21
Quadro 3 - Classes climáticas para os Índices de Aridez	27

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVO GERAL.....	12
2.1 Objetivos	
Específicos.....	12
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3.1 A Desertificação.....	13
3.1.1 Histórico da Desertificação no Mundo.....	13
3.1.2 Questões metodológicas e conceituais.....	15
3.1.3 As Terras Secas no Mundo e no Brasil.....	17
3.2. Índices de Aridez.....	18
3.2.1 Classificação Climática de acordo com os Índices de Aridez.....	18
3.3 Mudanças Climáticas Globais e Cenários Futuros.....	20
3.4. Uso de Geotecnologias em Estudos de Desertificação.....	22
3.5 A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba-PB e sua Importância.....	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1 Localização da Área de Estudo.....	25
4.2 Geologia, Geomorfologia e Recursos Naturais.....	25
4.3 Metodologia para a Coleta de Dados.....	26
4.4 Métodos de Análises dos Índices de Aridez.....	27
4.5 Produção dos Mapas.....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
6. CONCLUSÕES.....	35
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

1. INTRODUÇÃO

O crescimento dos processos de desertificação no mundo tem-se agravado em consequência às ações antrópicas, visto que o crescimento populacional e o grande consumismo provoca o aumento à exploração dos recursos naturais para a sobrevivência e a comercialização. (ALVES; DE SOUZA; DO NASCIMENTO, 2009)

As discussões acerca da desertificação começaram a ser tratadas pela comunidade científica nos anos 30, resultante de um acontecimento que ocorreu no meio oeste americano como *Dust Bowl*, onde a abundante degradação dos solos representou uma área aproximada de 380.000 km² nos estados de Oklahoma, Kansas, Novo México e Colorado. (LACERDA; LACERDA, 2004)

Sobre a temática, Mainguet (1992, p. 425) acredita que ela é revelada pela seca em decorrência das ações humanas:

A desertificação é revelada pela seca, que se deve às atividades humanas quando a capacidade de carga das terras é ultrapassada; ela procede de mecanismos naturais que são acelerados ou induzidos pelo homem e se manifesta através da degradação da vegetação e dos solos e provoca na escala humana de uma geração, (25-30 anos), uma diminuição ou destruição irreversível do potencial biológico das terras e de sua capacidade de sustentar suas populações.

A Organização das Nações Unidas – ONU (1994) definiu a desertificação como sendo a degradação das terras nas regiões áridas, semiáridas e sub-úmidas secas, resultantes de variações climáticas e atividades humanas. As áreas no Brasil desertificadas são aquelas que pertencem ao polígono das secas, que correspondem a 1.083.790,7 km², que apresentam os períodos curtos ou prolongados de estiagem (IBAMA, 2003). No Brasil, o Plano Nacional de Combate à Desertificação (PNCD) determinou que a maior parte das terras suscetíveis à desertificação se encontra nas áreas semiáridas e sub-úmidas do Nordeste (BRASIL, 2004). O fato é de que a desertificação é um problema que cada vez mais tem aumentado. Tal aumento se dá em consequência das secas que aconteceram no Nordeste nas últimas duas décadas. Para agravar ainda mais o quadro destaca-se as características intrínsecas dos solos rasos que predomina nessa região do Brasil.

Tratando a questão em nível estadual, a Paraíba se apresenta como o estado brasileiro com maior nível de desertificação, segundo dados da Organização Não Governamental Internacional GREENPEACE. Apesar de apresentar com um alto nível, as razões da desertificação na Paraíba não são diferentes das que são vistas em outros

estados nordestinos. Semelhantemente aos demais, os motivos resultam do uso inapropriado dos recursos naturais, de práticas agrícolas inapropriadas e, especialmente, de modelos de desenvolvimento macro e microeconômicos de curto prazo. Outro importante tópico a considerar são as práticas agrícolas tradicionais, geralmente, relacionadas a um sistema centralizado de propriedade da terra e da água, conduzindo a graves problemas socioeconômicos que se aprofundam quando sobrevêm as secas. (ALVES; DE SOUZA; DO NASCIMENTO, 2009)

Diante de um quadro de desertificação é relevante saber que a bacia do Rio Paraíba possui ampla importância para o estado, uma vez que, sobre esta estão inseridas grandes cidades com necessidades de suas reservas hídricas. Entre elas: Monteiro e Campina Grande. Ainda, é relevante analisar o quanto à bacia do Rio Paraíba colabora em termos de quantidade de água para a região e o quanto cada sub-bacia faz parte dessas colaborações. (LUCIA et al., [s.d.])

Visto a desertificação, vale também levar em consideração o Índice de Aridez (IA). Criado por Thornthwaite (1948), e adaptado posteriormente por Penman (1953), o IA calcula a diferença entre a quantidade de chuva e a perda de água do sistema, ou seja, a evapotranspiração. É relevante informar que esse cálculo foi utilizado a partir do momento em que foi descoberto o caráter decisivo deste parâmetro na determinação de um clima. (FREITAS, 2005; SOUZA, 2004)

Frente a sua importância, observou-se que os Índices de Aridez (IA) são de grande importância nos estudos de regiões secas, como na determinação de regiões desertificadas, que por sua vez é uma característica do clima, que liga a ausência de precipitação propícia para manter uma vegetação. (PROENÇA DO AMARAL et al., [s.d.]).

2. OBJETIVO GERAL

Mapear e comparar os Índices de Aridez na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, especificamente, na sub-bacia do Alto Paraíba-PB.

2.1 Objetivos Específicos

- ✓ Levantar dados climáticos da região (precipitação, irradiação, temperatura) em diversas fontes (SUDENE, AESA, Climate Data) e geográficos (latitude, longitude e altitude);
- ✓ Calcular diversos índices de aridez: Índice de Aridez/UNESCO (utilizando o FC para cada cidade), Índice de Aridez de De Martone;
- ✓ Elaborar mapas por meio de software de interpolação de dados: Índices de Aridez; Erosividade do Solo, Temperaturas máximas e mínimas, Precipitação e Altitude.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A Desertificação

3.1.1 Histórico da Desertificação no Mundo

Documentos apresentam que a discussão internacional com relação à desertificação teve início em 1972, na cidade de Estocolmo, onde ocorreu a 1ª Conferência Internacional sobre o Meio Ambiente Humano, produzida pela Organização das Nações Unidas – ONU. Um dos pontos discutidos neste evento foi referente aos problemas que decorrem da desertificação (PINHEIRO, 2009).

Embora a comunidade científica possua até o momento retratado diversos termos para este fenômeno, ainda continua a existir certa falta de conformidade para a expressão. Mesmo diante da ausência de conformidade, a Convenção de Combate à Desertificação das Nações Unidas (1994) define desertificação como sendo “... Degradação do solo, da paisagem e do sistema bioproductivo terrestre, em áreas áridas, semiáridas e sub-húmidas, resultantes de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas...” (ROXO, [s.d.]

Antes, em 1956, com o suporte da União Geográfica Internacional, aconteceu no Rio de Janeiro o XVIII Congresso Internacional de Geografia-UGI. Tal acontecimento comprovava preocupações relacionadas à desertificação. A prova, conforme atesta Conti (2008), é que durante o evento foi criada uma Comissão Especial para Estudos da Desertificação e Terras Áridas. Poucos anos depois, em 1977 – estimulada principalmente pela forte seca que afetou o Sahel no início dos anos 1970, em Nairobi, capital do Quênia – ocorre à primeira Conferência das Nações Unidas sobre a Desertificação. (BARROS, 2010)

No Brasil, as importantes colaborações para os estudos da desertificação se deu na década de 1970. Nesse período vale destacar as pesquisas do ecólogo Vasconcelos Sobrinho, que participou de vários trabalhos sobre este processo no Nordeste brasileiro. Dentre os estudos realizados por Vasconcelos Sobrinho relevância para os “núcleos de desertificação”, que representam a áreas já obrigadas com o processo, em condição de irreversibilidade. Além disso, houve em sua coordenação nos preparativos para o Relatório Nacional que seria apresentado posteriormente em 1977 em Nairobi (SALES, 2002; ALMEIDA, 2009).

Uma década após, nos anos 1980, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, através do Centro de Pesquisa Agrícola do Trópico Semiárido - CPATSA, a Fundação Joaquim Nabuco, a Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, a Sudene e o Núcleo Desert da Universidade Federal do Piauí, realizaram estudos e trabalhos relacionados com as temáticas semiárida e desertificação. Já no início da década de 1990, em Nairobi, foi feita uma avaliação pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em relação aos resultados da primeira conferência para a desertificação. Demonstrou nesta avaliação um insuficiente desempenho diante das ações empreendidas. A partir daí foi determinado pelos países abalados pela desertificação, principalmente os africanos, que seria realizada uma Convenção em torno deste tema. (BARROS, 2010)

No dia 17 de junho de 1994, data que marcou o final da Convenção Internacional sobre a Desertificação – iniciada em janeiro de 1993 – foi definido o Dia Mundial de Luta contra a Desertificação (LUZ, 2007). Nesse mesmo ano, em busca da uniformização de metodologias para a América Latina, em Fortaleza–CE, foram providenciados o Seminário Latino-Americano da Desertificação (Conslad) bem como uma reunião com participantes de instituições de países como Argentina, Brasil, Chile, Bolívia e Peru, em São Paulo–SP. (MATALLO JÚNIOR, 2001)

Para o Brasil, conforme os dados oficiais, a área sujeita onde ocorre à desertificação corresponde a 1.338.076km² abrangendo 1.482 municípios, estando habitada por mais de 30 milhões de pessoas (BRASIL, 2004). Visto como um método dinâmico, é trabalhoso definir uma causa para a desertificação das terras, visando que ela normalmente tem como consequência uma complexidade de causas e efeitos que se cruzam, formando um quadro complicado (Sampaio & Sampaio, 2002). Todavia, apesar da dificuldade em listar causas para desertificação, aponta-se o uso e o manejo indevido dos solos como as principais razões de origem antrópica associadas com a desertificação. (DE LUNA GALINDO et al., 2008)

Leite (1992) acrescenta a ideia listando fatores como práticas agrícolas primitivas, alta densidade demográfica, atividades pastoris intensas para ecossistemas frágeis, desmatamento de forma descontrolada, irrigação inadequada, além da prática de queimadas que tornou-se muito comum no território nacional. Diante dos motivos quantificados por Leite (1992) vê-se a necessidade em desenvolver uma exploração

sustentável da terra. Em outras palavras, usá-la de forma tal que seus recursos naturais não se esgotem e que futuras gerações desfrutem de seus benefícios.

Além de corroborar com Leite (1992), Bandeira (2009, p. 65) elenca consequências advindas da desertificação:

Um dos problemas ambientais mais preocupantes hoje é o processo de desertificação o qual transforma em deserto, extensas áreas antes cultiváveis. Muitos fatores influenciam gradativamente para esse processo, são eles o manejo indevido do solo por parte da agropecuária que primeiro desmata para a prática da monocultura direcionada a exportação, usando práticas modernas de irrigação (nada sustentáveis), fertilização química e agrotóxicos, responsáveis pela lixiviação, salinização, alcalinização e erosão do solo.

Ainda como causa a autora acredita que atividades que degradam o solo é produzida pelo capitalismo, uma vez que, são lucrativas e, conseqüentemente, alavancam o cenário econômico proporcionando ao Brasil alcançar patamares semelhantes ao de grandes potências mundiais.

A despeito do estudo, de acordo com Rodrigues (2000), não existe até hoje, no Brasil e no mundo, uma estrutura de conformidade sobre qual a melhor forma de identificar se uma área está ou não vivenciando processos de desertificação ou em qual grau ela está. Este obstáculo vive, basicamente, na seleção dos indicadores. Algumas são as variáveis que podem ser consideradas boas indicadoras, ou seja, com representatividade, disponibilidade e confiabilidade espacial e temporal, além de clareza de acesso. A caracterização da desertificação precisa de uma série temporal de dados.

3.1.2 Questões metodológicas e conceituais

Sobre questões metodológicas e conceituais da desertificação pode-se observar que diversos autores tratam de como a expressão é empregada. Por meio de uma revisão bibliográfica identificou-se que o termo desertificação – como metodologia e conceito – é aplicado desde a década de 1940. Em 1949 a expressão foi utilizada por Aubreville. À época, Aubreville utilizá-la para definir as áreas da África tropical que vinham sendo degradadas por dois motivos. Primeiramente pela intensa utilização dos recursos naturais e em segundo lugar pela falta de compreensão quanto à importância da dinâmica ambiental. Na oportunidade, o autor uniu a desertificação à ideia de ação antrópica (AUBREVILLE, 1949).

Apesar dos estudos desenvolvidos era comum o surgimento de fragilidades teóricas e/ou metodológicas. Matallo (2001) aponta algumas dessas fragilidades quando descreve:

(...) a) amplitude conceitual; b) ausência de métodos de estudo universalmente aceitos; c) ausência de métodos confiáveis para a identificação de processos de desertificação; e d) falta de uma metodologia de avaliação econômica da desertificação (MATALLO JÚNIOR, 2001, p.23).

Mesmo diante de uma somatória de esforços para traçar metodologias a respeito da desertificação onde podem ser possíveis construir definições acerca do tema, Sampaio (2005) atesta a dificuldade em analisar a expressão ao narrar:

Dos fatores que originam a desertificação, sabe-se que são múltiplos, complexos, entrelaçados, com inúmeros mecanismos de retro-alimentação, tornando sua análise extremamente difícil. A maior dificuldade é que a maioria deles está presente em todas as áreas sujeitas à desertificação. (...) E eles variam no espaço e no tempo. Os fatores extrapolam o âmbito agrícola e estendem-se para atividades econômicas e sociais, por vezes originando-se em áreas muito distantes daquelas onde a desertificação está ocorrendo. (SAMPAIO, 2005. p.61-62).

Pachêco (2006) relata que na tentativa de facilitar a compreensão e obter avanços no que dizem respeito a questões metodológicas e conceituais, autores brasileiros como Vasconcelos Sobrinho passou a trabalhar com sistema de indicadores da desertificação. Segundo Pachêco os indicadores, que totalizavam 36 (trinta e seis), abordavam âmbitos físicos, biológicos, agropecuários e socioeconômicos. O quadro 1 mostra as variáveis de cada área:

Quadro 1 - Indicadores abordados para cada área

Área	Indicadores
Física	- Grau de salinização e alcalinização do solo; - Qualidade da água; - Quantidade de matéria orgânica no solo; - Área coberta de vegetação.
Biológica – Agrícola	- Espécies chaves; - Distribuição e frequência; - Composição dos rebanhos; - Produção; - Rendimento (colheita)
Socioeconômica	- Agricultura por irrigação; - Mineração; - Estrutura da população; - Taxas demográficas, índice de saúde pública, migração.

Fonte: Adaptado de Pachêco (2006).

Carvalho (2001) também apontou o vasto uso de indicadores e índices de desertificação que vinha sendo propostos e utilizados em diversas pesquisas. Numa perspectiva geral, Carvalho (2001) afirmava que o uso dos indicadores permitem não só a identificação como também o monitoramento ao longo do tempo das áreas onde o processo ocorre.

3.1.3 As Terras Secas no Mundo e no Brasil

No que diz respeito às terras secas, Soares, Filho e Nóbrega (2011) afirmam que elas ocupam cerca de 41% da superfície global. Segundo os autores o dado refere-se ao ano de 2000 e correspondia a mais de dois bilhões de pessoas, ou seja, um terço da população do mundo. Matallo Júnior (2001) também descreve sobre o assunto quando defende que as terras secas foram às primeiras áreas a povoadas da história, e que em várias delas fizeram-se ricos impérios e grandiosas civilizações. Contudo, Matallo Júnior ressalta que no cenário da colonização europeia tornaram-se colônias e se mantiveram em escala de subsistência, com pequenos níveis de tecnologia e capitalização. Como consequência o autor cita a delonga tecnológica e uma vasta exploração dos recursos naturais insustentável, o que pode ter contribuído para o desenvolvimento da desertificação em muitas áreas.

Um estudo espacial global em escala de território mundial permite perceber que a ocorrência de terras secas se dá devido a condições climáticas marcadas por regimes de escassez de precipitação. Isso resulta, portanto, em um constante déficit hídrico. Andrade (2003) valida à ideia afirmando que regiões extremamente secas e aquelas relativamente secas são condições ambientais que ocorrem com regularidade significativa em todo o planeta.

Na América Latina, onde vivem aproximadamente 83 milhões de pessoas, um quarto da superfície da Região corresponde a terras secas. O quadro retrata uma situação de pobreza o que acarreta para um estado vulnerável impossibilitando os habitantes a uma capacidade de resposta a processos de mudanças climáticas e desertificação. (UNITED NATIONS, 2011). Os países que compõem essa Região relacionam a situação a fatores de âmbito global e regional suficientes para limitar a implantação da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD)¹. Entre esses fatores listados pela United Nations (2001) e que bloqueiam a implantação do UNCCD

¹ Principal instrumento internacional de planejamento para o enfrentamento dos processos de desertificação, degradação da terra e mitigação dos efeitos de seca.

estão o financiamento insuficiente, uma escassa base científica, uma insuficiente promoção e conscientização no âmbito dos setores interessados, as deficiências institucionais e as dificuldades para lograr consenso entre as Partes.

Contudo, os países assumem a seguinte missão posta pela Estratégia Decenal (2008-2018):

Estabelecer um marco para apoiar a elaboração e execução de políticas, programas e medidas nacionais e regionais para prevenir, controlar e reverter a desertificação e a degradação da terra, assim como mitigar os efeitos de secas, mediante a promoção da excelência científica e tecnológica, a sensibilização do público e dos tomadores de decisão, o estabelecimento de normas e a promoção de ações e mobilização de recursos, visando a contribuir, dessa forma, para a redução da pobreza nas terras secas da Região. [UNCCD, 8.^a Conferência das Partes (COP 8), Madri, 2007].

Importante destacar que o Plano Estratégico Decenal propõe cinco objetivos operacionais. O mais relevante dos objetivos estabelecidos pelo Plano está diretamente associado à ciência, tecnologia e produção de conhecimento: “levar a UNCCD a ser uma autoridade mundial em matéria de conhecimentos científicos e tecnológicos sobre a desertificação e a degradação das terras e sobre a mitigação dos efeitos da seca”.

A relevância do tema revela-se, sobretudo, pelo fato da desertificação prejudicar ecossistemas das terras secas, que constituem 1/3 da superfície terrestre do Planeta, e que está ligada a uma cena de improdutividade, além de se mostrar uma verdade que esclarece em parte a vulnerabilidade desses ecossistemas às mudanças climáticas e à pressão realizada pela população humana.

3.2. Índices de Aridez

3.2.1 Classificação Climática de acordo com os Índices de Aridez

A classificação climática tem como finalidade a descrição dos limites geográficos dos mais diferentes tipos de clima que ocorrem em todo mundo, sendo apontado um estudo básico para áreas afins. Tal classificação mostra três objetivos que se correspondem: o de ordenar grande quantidade de informações; ajudar a rápida recuperação e facilitar a comunicação. No entanto, para que isso ocorra faz-se necessária a caracterização e o mapeamento das regiões climáticas, necessitando-se identificá-las e classificá-las em diferentes tipos (MANUEL; RIBEIRO; MARTINS, 2009). O objetivo da classificação climática é determinar em formas de temperatura, umidade e suas distribuições estacionais, os limites dos diferentes tipos climáticos que ocorrem na superfície terrestre.

No que refere-se à aridez, diz-se que se trata de uma característica do clima que relaciona a falta de precipitação apropriada para conservar uma vegetação (RODRIGUES FERREIRA; IVALDO BARBOSA DE BRITO, 2011). Sobre a intensidade de aridez de uma região a Embrapa Arroz e Feijão (2009) afirma que é o resultado da quantidade de água proveniente da precipitação e da perda máxima possível de água através da evaporação e transpiração ou evapotranspiração potencial. Porém, é válido salientar que podem ser achados vários tipos empíricos de fórmulas para se definir a aridez por meio de dados climatológicos.

Nesse contexto, as classificações climáticas de Köppen (1931) e Thornthwaite (1948) são mundialmente as mais utilizadas, sendo a primeira baseada nas características térmicas e na distribuição sazonal da precipitação, e a segunda, determinada em dois índices climáticos principais (umidade e eficiência térmica). As duas são de fundamental importância para estudos de ecologia, agricultura e recursos hídricos (AYOADE, 2010). Vários trabalhos já foram feitos para definição das classificações climáticas no território brasileiro, principalmente a de Köppen (1931), mas em consequência de grande extensão do país algumas diferenças espaciais são omitidas. É importante que as mesmas sejam empregadas para regiões geográficas de menor extensão como um Estado ou uma grande bacia hidrográfica (KUINCHTNER; BURIOL, 2001), especialmente, devido ao fato de que cada classificação ter seus méritos próprios, limitações e falhas (NOBREGA, 2010).

Desta forma, vê-se que o Índice de Aridez é fundamental para aplicação nos estudos não só de áreas secas, bem como mais exclusivamente nos estudos da desertificação, sendo consenso que a vulnerabilidade a este procedimento está diretamente relacionada ao nível de aridez do local (FREITAS, 2005; DUARTE, 2003; MATALLO JÚNIOR, 2003).

Além da vulnerabilidade, outro fator que estar relacionado à classificação climática sob a perspectiva da característica seca ou úmida, é a exigência hídrica de uma planta. Para Thornthwaite (1948), as plantas representam a um meio físico sujeito de transportar a água do solo para a atmosfera. A partir de então, a classificação climática relativa com a sua característica seca ou úmida deve-se, também, a exigência hídrica da planta, dependendo, deste modo, do cálculo do balanço hídrico (ROLIM, 2007).

3.3 Mudanças Climáticas Globais e Cenários Futuros

Sobre as mudanças climáticas globais e cenários futuros é importante estar ciente da existência do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC, uma entidade científica e intergovernamental que tem se tornado referência mundial quanto a assuntos relativos às mudanças do clima. A instituição proporciona informações ligadas tanto às mudanças climáticas quanto as possíveis consequências a serem observadas no meio ambiente, na sociedade e na economia com base no acontecimento (IPCC, 2018).

No que está relacionado a tais mudanças, vale considerar os extremos climáticos exorbitantes relacionados à degradação do solo. Esta situação extrema consegue levar à aceleração do processo de desertificação no semiárido o que torna possível secas mais intensas e prolongadas que poderia elevar, ainda mais, o grau de exposição e, conseqüente, vulnerabilidade das populações que habitam o semiárido, especialmente daqueles mais pobres. Faz-se necessário, então, entender o problema de mudanças do clima e seus impactos. Uma vez compreendidos torna-se factível empreender ações de adaptação e mitigação (MARENGO et al., 2011).

Deve-se considerar que há diversos cenários de mudanças climáticas para o país, em função das inúmeras perspectivas de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), principalmente, o dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, CO₂, CH₄ e N₂O, respectivamente. Para os próximos 100 anos, indicam a possibilidade de impactos climáticos significativos. Evidenciados pela ciência, apontam-se para uma intensificação da alteração climática associada a eventos El Niño/La Niña em função do aumento do Efeito Estufa (NOBRE, 2001).

Quanto aos GEE, o Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal é parte integrante da Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC). Este inventário apresenta estimativa das emissões de gases de efeito estufa, cobrindo todo o território nacional e todos os setores da economia, para o período de 1990 a 2005. Os resultados apresentados no inventário evidenciam aumento de 65,2% das emissões antrópicas líquidas de dióxido de carbono no período de 1990 a 2005. O Quadro 2 mostra os setores que mais emitem CO₂, CH₄ e N₂O, dióxido de carbono, metano e óxido nitroso respectivamente:

Quadro 2 - Setores que mais contribuem com emissão de Gases do Efeito Estufa

CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas	Setor da Agropecuária (o que mais contribui)	Setor da Agropecuária (o que mais contribui)
Setor de Energia (impulsionado pelos subsetores da indústria e do transporte)	Setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas	Setor de Processos Industriais
Setor de Processos Industriais	Setor de Tratamento de Resíduos	Setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas
Setor de Tratamento de Resíduos (pouco contribuem para o total das emissões líquidas de CO ₂)	Setor de Energia	
	Setor de Processos Industriais (derivam da indústria química e são pouco relevantes frente ao total de emissões no país)	

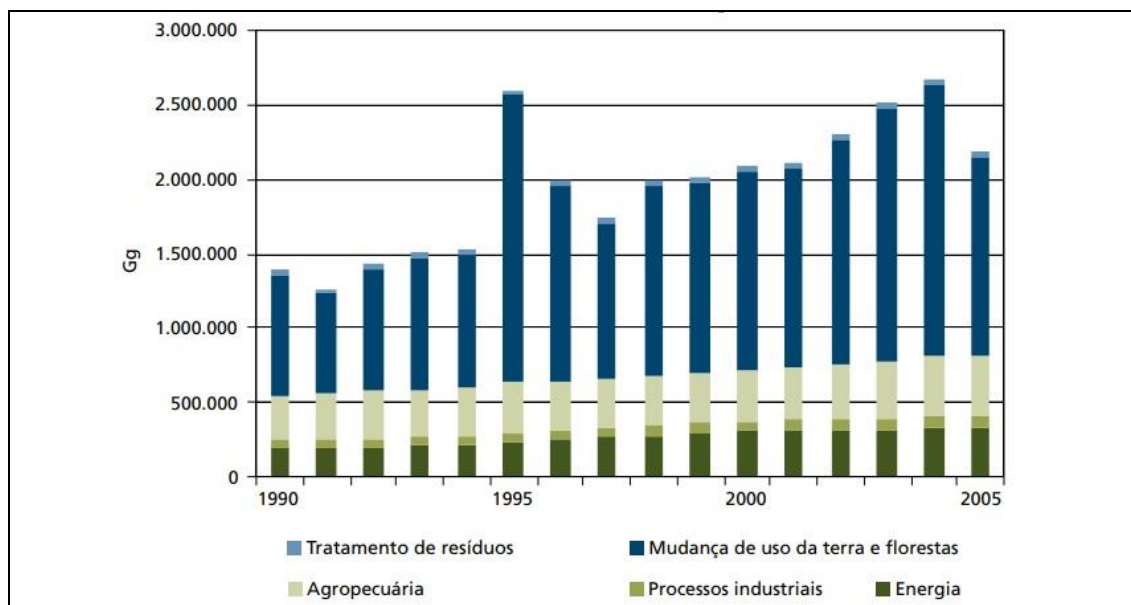
Fonte: BRASIL, 2010.

Traduzindo os dados em números vale informar que do total de 1.637.905 Gg CO₂ emitidas em 2005 76,8% derivam do setor de mudança do uso da terra e florestas. Em segundo lugar está o setor de energia, que apresenta aumento das emissões de CO₂ de 74,3% no período inventariado, impulsionado pelos subsetores da indústria e do transporte. No setor de processos industriais, a maior parcela das emissões de CO₂ está atrelada ao subsetor de ferro-gusa e aço, cujas emissões aumentaram 54,6% entre 1990 e 2005. Já as emissões do setor de tratamento de resíduos pouco contribuem para o total das emissões líquidas de CO₂ (BRASIL, 2010).

Em relação ao metano (CH₄), o setor que mais emite é o de agropecuária, responsável por 70,5%. Seguido pelo setor de mudança do uso da terra e florestas, que responde por 16,8% das emissões em 2005, e o setor de tratamento de resíduos, com 9,6% das emissões. O setor de energia é responsável por apenas 3% das emissões de CH₄. Já as emissões advindas do setor de processos industriais derivam da indústria química e são pouco relevantes frente ao total de emissões no país (BRASIL, 2010).

Quando a emissão do óxido nitrito (N₂O), o setor agropecuário também responde pela maior parcela das emissões correspondendo a aproximadamente 85% das emissões totais do país. O segundo setor é o de Processos Industriais representando 4,2%. Em sequência, têm-se os setores de mudança do uso da terra e florestas, com 3,8% das emissões totais de N₂O. A evolução das emissões brasileiras no período de 1990 a 2005 é apresentada na Figura 1:

Figura 1 - Evolução das emissões brasileiras convertidas para CO₂ eq, por meio do uso do GWP



Fonte: Brasil (2010).

O somatório² das emissões de diferentes gases só é possível mediante a conversão para uma unidade comum, denominada de CO₂ equivalente. Para tanto utilizou-se uma medida comparativa, Global Warming Potencial (GWP)³.

3.4. Uso de Geotecnologias em Estudos de Desertificação

Já é relatado que é possível o estudo da desertificação em grandes áreas onde dados climáticos e outros componentes ambientais são relacionados. Também, diferentes repartições ambientais, como por exemplo, solo e vegetação, mostram distintas sensibilidades diante de mudanças ambientais, o que beneficiam o monitoramento das áreas que sofrem com a desertificação (SALES, 2002). No entanto, para simplificar o estudo de áreas de desertificação, em especial, os maiores espaços, tecnologias vêm sendo utilizadas. E entre as técnicas empregadas está o

² As emissões que resultam da queima de combustíveis em atividades de transporte aéreo e marítimo internacional, denominadas bunker fuels, devem ser informadas no inventário; porém, não são contabilizadas no total de emissões do país e, por este motivo, não serão tratadas de forma detalhada neste trabalho.

³ Potencial de Aquecimento Global (em inglês, Global Warming Potential) ou Fator de Aquecimento Global (em inglês, Global Warming Factor) é uma medida de como uma determinada quantidade de gás do efeito estufa (GEE) contribui para o aquecimento global.

geoprocessamento⁴ e o uso de “softwares/hardwares” capazes de manipular uma infinidade de dados, retornando informações otimizadas.

Uma vez inserida a técnica do geoprocessamento, tornam-se possíveis, também, integrar informação cartográfica e tabular informações alfanuméricas, possibilitando a análise ambiental estabelecendo correlações espaciais, relações de causa e efeito e aspectos temporais outrora impraticáveis pelos meios tradicionais. De porte desta técnica é possível e viável a aplicação do Sensoriamento Remoto (SR)⁵ nos estudos da desertificação. Vale ainda ressaltar que o SR tem estado cada vez mais presente nas pesquisas, haja vista que, tal técnica proporciona uma análise espacial e temporal deste processo (CARVALHO, 2007).

3.5 A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba-PB e sua Importância

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, com uma área de 20.071,83 km², compreendida ente as latitudes 6°51'31" e 8°26'21" Sul e as longitudes 34°48'35"; e 37°2'15", situada a Oeste de Greenwich, é a segunda maior do Estado da Paraíba, logo abrange 38% do seu território, recebendo 1.828.178 habitantes que representam 52% da sua população total. Apontada como uma das mais importantes do semiárido nordestino, ela é constituída pela sub-bacia do Rio Taperoá e Regiões do Alto Curso do Rio Paraíba, Médio Curso do Rio Paraíba e Baixo Curso do Rio Paraíba. Além da grande densidade demográfica, na bacia estão reunidas as cidades de João Pessoa, capital do Estado e Campina Grande, seu segundo maior centro urbano (AESAs, 2018).

Quanto à importância da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba-PB, ela é revelada quando observada as suas sub-bacias. Utilizando como exemplo a sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá, nota-se que seus principais aproveitamentos são: abastecimento humano e animal; agricultura de vazante, que se desenvolve nas margens desses reservatórios, sempre que ocorre o rebaixamento do nível da água; fruticultura, atividade que se verifica em função do aproveitamento de infiltrações ou “revências”; piscicultura, especialmente a semi-intensiva; irrigação, situada nos aluviões formados nas margens dos riachos, é pouco explorada, mas pode se constituir no principal

⁴ O geoprocessamento pode ser definido como sendo o conjunto de tecnologias destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação (ROSA, 1995).

⁵ Sensoriamento Remoto é a ciência e a arte de obter informação sobre um objeto (alvo), área ou fenômeno. (LILLESAND E KIEFER, 1994).

aproveitamento do pequeno açude desde que adequadamente planejada (PERH PB, 2005), acarretando assim em benefícios promovidos pela bacia como um todo.

Corroborando com o mencionado anteriormente, Araújo (2006) descreve que a bacia do Rio Paraíba é de suma importância para o estado, pois nela estão contidas grandes cidades, com extensas necessidades, que dependem, direta ou indiretamente, das reservas hídricas do Estado, como Monteiro e Campina Grande, tornando relevante avaliar o quanto à bacia do Rio Paraíba colabora em condições de quantidade de água para a região e o quanto cada sub-bacia faz parte dessas colaborações.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da Área de Estudo

A sub-bacia do Alto Paraíba é formada por municípios do Cariri Ocidental e Cariri Oriental, por todo o território municipal ou apenas parte dele, e é composto pelos seguintes municípios: São Sebastião do Umbuzeiro, Zabelê, São João do Tigre, Camalaú, Monteiro, Congo, Sumé, Amparo, Ouro velho, Prata, Serra Branca (parte dele), Coxixola, Caraúbas, São João do Cariri (parte dele), São Domingos do Cariri, Cabaceiras (parte dele), Boqueirão (parte dele), Barra de São Miguel (parte dele).

A região dos Cariris Velhos (ou Cariri) encontra-se localizada no centro-sul do estado da Paraíba (Região Nordeste do Brasil), num eixo que se distancia de 180 a pouco mais de 300km de João Pessoa (capital), perfazendo um vasto território com área de 11.192,01km², o que equivale a pouco mais de 20 por cento do estado em questão (SOUZA, 2010).

Segundo Mariano Neto (1999) as comunidades dos Cariris Velhos, são nascentes do Rio Paraíba, uma região de Planalto, Depressão, Semiaridez e Vegetação de Caatinga. A Microrregião dos Cariris Velhos, onde aparece a Microrregião do Cariri Oriental, com os municípios de Barra de São Miguel, Boqueirão, Cabaceiras, Gurjão e São João do Cariri. Os rios da região em estudo são predominantemente temporários, de regimes intermitentes, padrão de drenagem do tipo retangular e dendrítico. O padrão dendrítico é considerado como um sistema de rede ou ramificações da hidrografia, como diversos galhos de uma árvore, próprio das áreas onde os terrenos são constituídos de rochas cristalinas ou terrenos argilosos (MARIANO NETO, 1999).

Evidenciando quatro rios principais: o Rio Taperoá, Rio Paraíba, Rio Sucuru e Rio Monteiro. Devido aos sais minerais das rochas locais, a água dos mesmos possui um elevado teor de salinidade e sodicidade, sendo problema comum também na água dos reservatórios e poços artesianos (MARIANO NETO, 1999).

4.2 Geologia, Geomorfologia e Recursos Naturais

Com relação à Geologia, o magmatismo Cariris Velhos é representado por ortognaisses graníticos e rochas metavulcânicas bimodais que ocorrem na porção mediana do Domínio Central (BRITO NEVES et al., 1995; SANTOS et al., 2010).

O Estado da Paraíba é subdividido em três regiões climáticas, a saber: a fachada atlântica tropical aliseana e úmida; a superfície do planalto da Borborema, onde se

situam os Cariris, com seu clima semi-árido acentuado; e o Sertão, duas vezes mais chuvoso do que os Cariris, também, na faixa semi-árida. Na Paraíba, os Cariris formam uma diagonal Nordeste-Sudoeste (NE-SW) que pode ser cognominar de diagonal seca. A superfície dos Cariris é rodeada pelas serras elevadas que formam um arco montanhoso (ALVES, 2009).

Pouco tempo atrás, Alves (2007, 2008) e Nascimento & Alves (2008a) que estudou a caatinga do semiárido paraibano, afirmam que a floresta seca, com suas diferentes formas, seria a formação primitiva de onde, por degradação teriam originado a caatinga.

4.3 Metodologia para a Coleta de Dados

Para a análise do comportamento climático foram utilizados dados de precipitação adquiridos na Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AES/A). Primeiramente, os dados foram analisados e em seguida foram compactados em planilha eletrônica do programa *Microsoft Excel*, para a elaboração de gráficos que possibilitou avaliar os anos mais críticos e de baixa precipitação e suas influências, para fins de realização dos cálculos do índice de aridez, relacionando os valores de precipitação e de evapotranspiração.

Conhecer o comportamento da precipitação da região de estudo é fundamental, já que é um parâmetro necessário para o cálculo do índice de aridez, determinando assim a variação desse índice por toda microrregião, além desse fator é possível também investigar se há influências dos fenômenos de escala global, El Niño e La Niña na precipitação e conseqüentemente interferindo no índice de aridez.

Segundo Gilvan Sampaio (1998), o El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, e que pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento a nível mundial, e afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias e ainda afirma que o La Niña representa um fenômeno oceânico-atmosférico com características opostas ao EL Niño, e que caracteriza-se por um esfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical. Alguns dos impactos de La Niña tendem a ser opostos aos de El Niño, mas nem sempre uma região afetada pelo El Niño apresenta impactos significativos no tempo e clima devido à La Niña.

Para que se determine o Índice de Aridez em um determinado local, de acordo com a (UNEP, 1991) inicialmente deve-se obter o total anual de precipitação Pr e estimativa da evapotranspiração potencial ETp , neste trabalho calculado pelo método de Thornthwaite & Mather (1955). Dada à equação Ia por:

$$Ia = \frac{Pr}{ETp} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

Ia : representa o índice de aridez;

Pr : corresponde a precipitação pluviométrica

ETp : evapotranspiração potencial.

A partir do cálculo do Índice de Aridez foram determinados os riscos à desertificação, assim como, a classificação climática que delimitam as zonas climáticas estabelecidas pela UNEP (1991), que está expressa na Tabela 1:

Quadro 3 - Classes climáticas para os Índices de Aridez

Classe Climática Índice de Aridez (IA)
Hiper-Árido < 0,03
Árido 0,03 – 0,20
Semiárido 0,21 – 0,50
Subúmido e seco 0,51 – 0,61
Subúmido e úmido > 0,65

Fonte: UNEP, 1991

4.4 Métodos de Análises dos Índices de Aridez

O Índice de Aridez é de relevante utilização nos estudos não só de áreas secas, como também mais especificamente nos estudos da desertificação, sendo consenso que a susceptibilidade a este processo está diretamente associada ao nível de aridez do local (FREITAS, 2005; DUARTE, 2003; MATALLO JÚNIOR, 2003). Já em 1977 este índice foi aplicado no Plano de Ação de Combate à Desertificação das Nações Unidas (MATALLO JÚNIOR, 2003).

Existem várias metodologias utilizadas para a determinação da aridez de uma região. A definição elaborada pelas Nações Unidas (UNESCO, 1979) baseia-se na

metodologia desenvolvida por Thornthwaite (1941), com posterior ajuste por Penman (1953), segundo a qual o índice de aridez (IA) de uma região consiste na razão entre a quantidade de água advinda da chuva (Precipitação) e as potenciais perdas de água para a atmosfera (Evapotranspiração Potencial). Neste trabalho adotou-se o método de Thornthwaite & Mather (1955), conforme demonstra o item anterior com equação e classes de classificação adotada.

4.5 Produção dos Mapas

Na metodologia adotada foram utilizados dados do censo do IBGE, que auxiliaram na produção de mapas e na interpretação dos dados. Após a confecção dos índices de aridez foi elaborada uma planilha eletrônica com os dados obtidos e suas geolocalizações (latitude e longitude) e utilizando o software Surfer 7.0, foi realizada a estatística utilizando a metodologia de interpolação de dados do tipo *Krigagem*, onde foi elaborado o mapa de distribuição e recortado utilizando-se o limite da microrregião em estudo (IBGE, 2005).

Para a análise da distribuição espacial dos dados foi utilizado o método de interpolação denominado *Krigagem* para determinar a média, desvio padrão, variância e coeficiente de variação. Segundo Flores (2000), este método possibilita a melhor representação da continuidade dos fenômenos geográficos e, mais especificamente, do fenômeno pluvial e térmico, permitindo desta forma uma melhor espacialização dos dados predominantes na área de estudo em diferentes escalas de análise. De acordo com Silva et al. (2010) este método foi escolhido por ser um dos mais eficientes e utilizados em estudos sobre interpolação de dados espaciais (MELLO et al., 2003; REMACRE et al., 2008). O estimador da *Krigagem* é obtido, segundo Matheron (1963), conforme equação 2.

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(X_i) \quad \text{Equação (2)}$$

Em que: $Z^*(X_0)$ é o atributo da variável estimado no ponto; λ_i são os ponderadores de *Krigagem*; $Z(X_i)$ é o valor observado da variável Z no i -ésimo ponto.

Para a *Krigagem* ser ordinária deve-se satisfazer a condição de que:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad \text{Equação (3)}$$

Os ponderadores são obtidos pela resolução de um sistema de equações lineares do tipo $AX=B$, denominado sistema de *Krigagem*, de acordo com Rocha et al. (2007) pode ser escrito como segue:

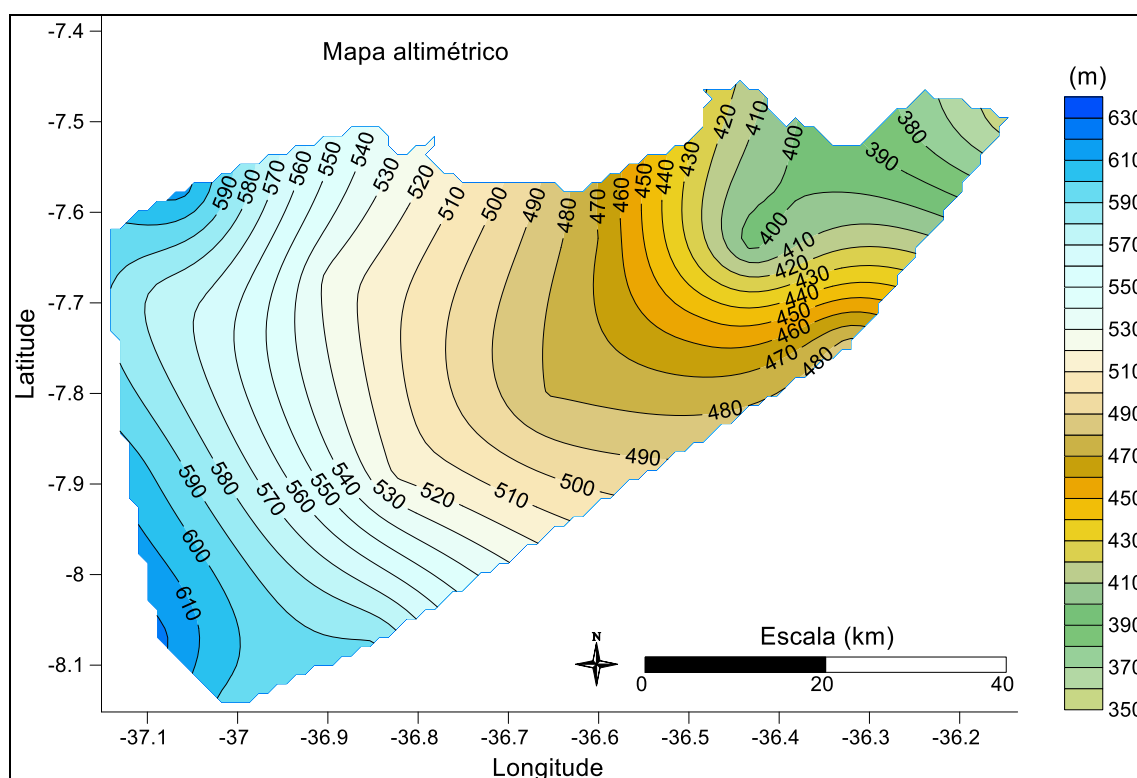
$$\begin{bmatrix} \gamma(x_1; x_1) & \cdots & \gamma(x_1; x_n)1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \quad \vdots \\ \gamma(x_n; x_1) & \cdots & \gamma(x_n; x_n)1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_1; x_0) \\ \vdots \\ \gamma(x_n; x_0) \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{Equação (4)}$$

Em que: $\gamma(x_n; x_n)$ é a variância espacial da n-ésima amostra com relação a ela mesma; μ é o Multiplicador de Lagrange; e $\gamma(x_n; x_0)$ é a variância espacial entre a n-ésima amostra e o ponto x_0 que será estimado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices de aridez são de grande importância nos estudos não só de regiões secas, como também para a determinação de regiões desertificadas, que por sua vez é uma característica do clima, que liga a ausência de precipitação propícia para manter uma vegetação (PROENÇA DO AMARAL et al., [s.d.]). Por meio dessa pesquisa, onde foram realizados o mapeamento e delineamento, possibilitou calcular o Índice de Aridez para a Região do Alto Paraíba, em diversos parâmetros conforme detalha-se a seguir.

MAPA 1 - Mapa Altimétrico da sub-bacia do Alto Paraíba

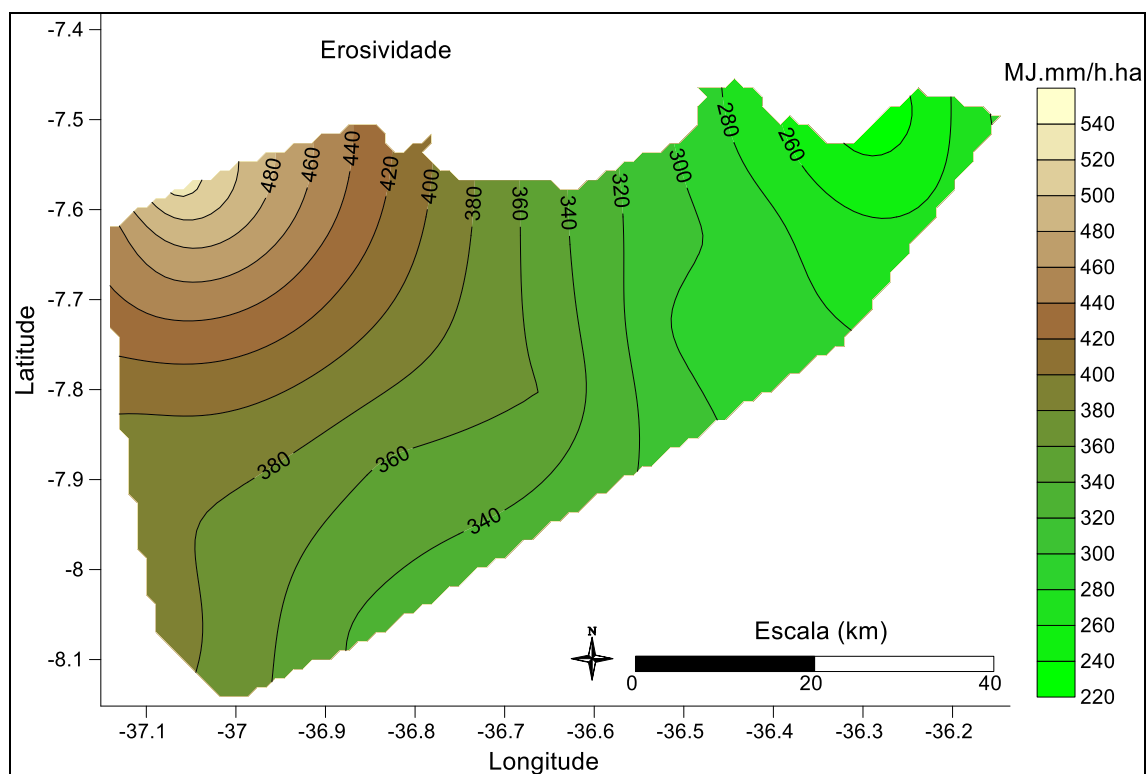


Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

O Mapa 1 traz a Altimetria da Sub-Bacia do Alto da Paraíba, ou seja, a medição de sua altitude. Por meio da imagem é possível observar como se comporta a sua forma de relevo. O corte apresentado na imagem, no entanto, nos proporciona ver a equidistância do ponto de maior e menor cota altimétrica (equidistância fixada em 10 metros entre as curvas). O ponto de maior cota altimétrica atinge 630 metros acima do nível do mar. Já o ponto de menor cota altimétrica dentro da área em estudo é de 350 metros acima do nível do mar e é onde predomina a suavidade no terreno. A compartimentação altimétrica do terreno, levou em consideração a quantidade e cota das

curvas de nível da Sub-Bacia do Alto Paraíba e através dela obtemos seis classes altimétricas distintas. A primeira representa a parte contígua à jusante da Sub-Bacia, possui seus limites marcados pelas curvas de nível entre 350 e 420 metros. Nesta classe o relevo é relativamente plano e, portanto, é nesta área que ocorrer a maior parte do processo de deposição fluvial dos sedimentos trazidos pela rede de drenagem ao baixo curso da bacia hidrográfica. Também é nesta classe que encontrasse uma maior abrangência de terrenos pouco inclinados entre as curvas de nível o que, conseqüentemente, configura um relevo predominantemente de planícies apresentando, frequentemente, declividades menores que 2%. Entre as cotas de 430 a 460 metros em relação ao nível do mar, encontra-se a segunda classe altimétrica da Sub-Bacia em estudo. Da cota 470 a 490 metros a terceira classe, sendo a segunda e terceira classes pouco representativas. A quarta classe altimétrica com cotas entre 500 a 520 metros acima do marca a parte final da escarpa e o início dos patamares e, portanto é uma classe de transição entre os terrenos com declividade acentuada. A quinta classe altimétrica apresenta limites entre de cota entre 530 a 580 metros e representa a parte inicial e pouco erodida. A sexta e última classe está situada entre 590 a 630 metros acima do nível do mar. Esta classe comporta a maioria das nascentes.

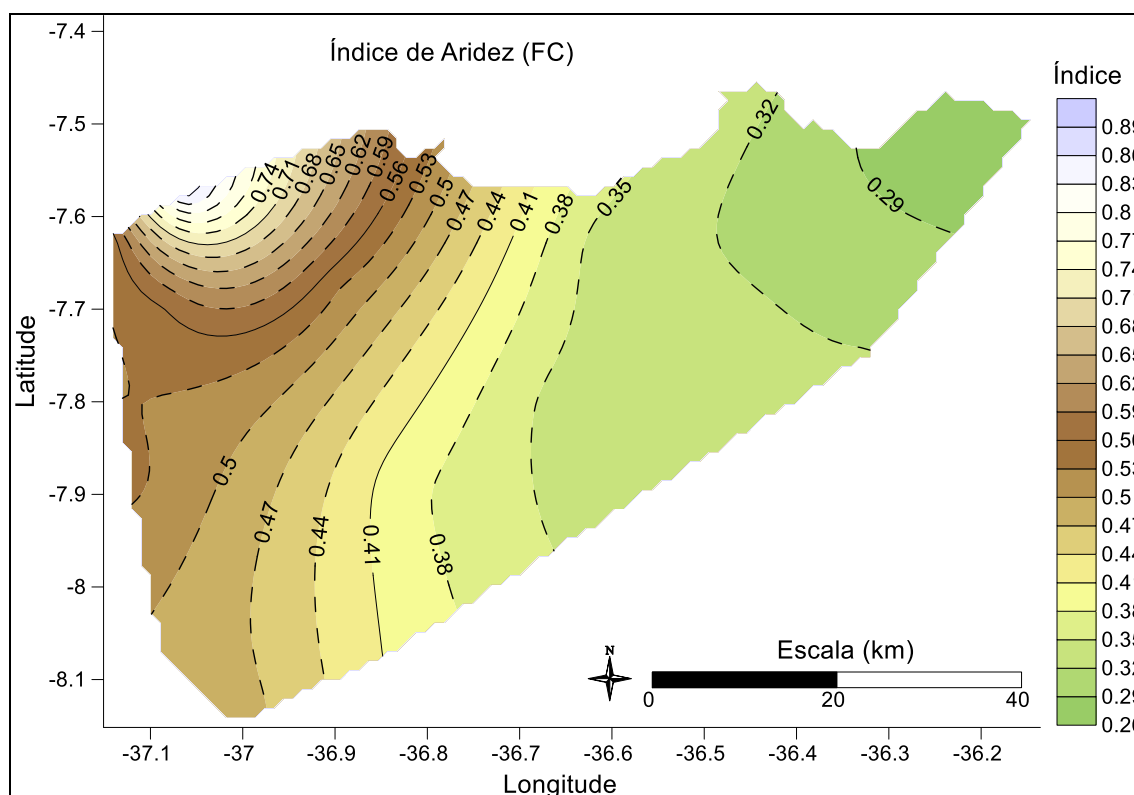
MAPA 2 - Mapa de Erosividade sub-bacia do Alto Paraíba



Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

Ainda levando em consideração as curvas de níveis, percebe-se que no Mapa 2 a maior erosividade acontece na compartimentação entre as cotas 400 a 480 metros. Contudo, na parte do Mapa em que está nuançado em verde, isto é, entre as cotas 220 a 320 metros acima do nível do mar, essa erosividade é suave. Vale ressaltar que entre as cotas 340 a 380 metros essa erosividade vai aumentando gradativamente. No Mapa 2 a equidistância foi de 30 metros.

MAPA 3 - Índice de Aridez utilizando o Fator de Correção (FC) para a sub-bacia do Alto Paraíba

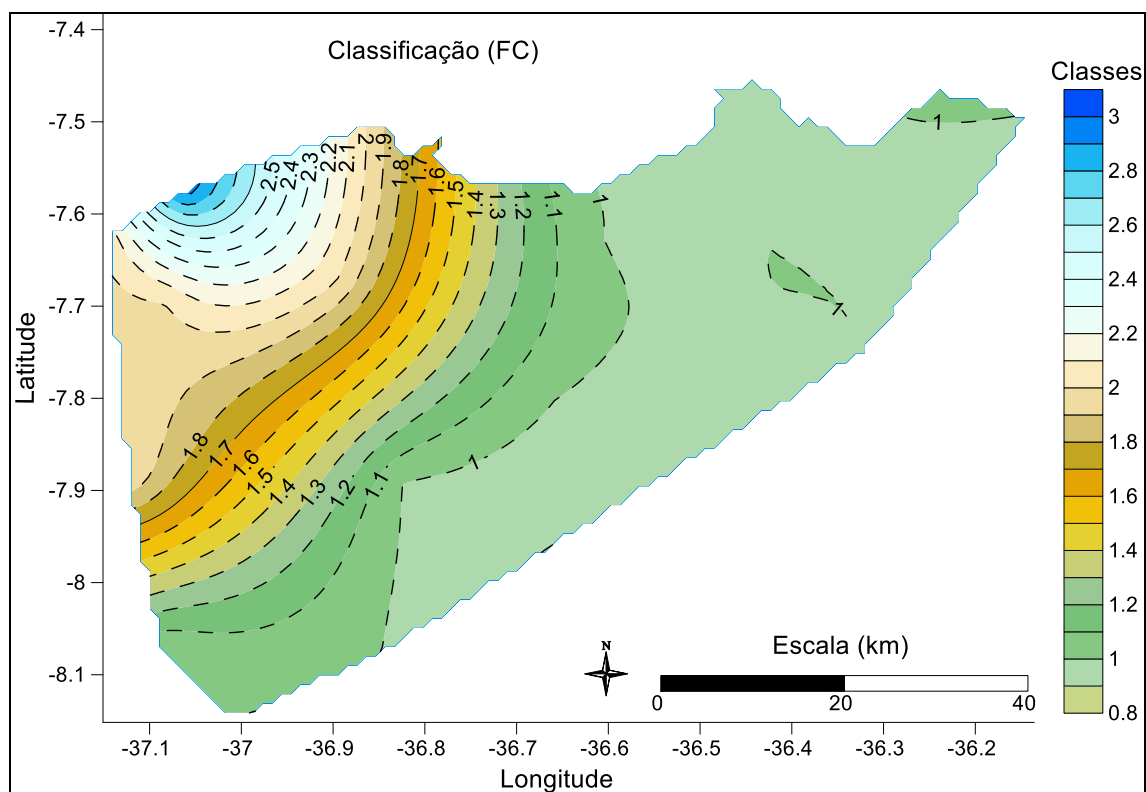


Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

O Mapa 3 retrata o índice de aridez utilizando o Fator de Correção (FC) que varia entre 0,26 a 0,89. Compreende-se que, quanto menor o Índice de Aridez maior será o caráter árido do local, sendo assim, observa-se que entre as cotas 0,26 a 0,50 a Sub-Bacia do Alto da Paraíba apresenta-se semiárida. Entre as cotas 0,53 a 0,65 é classificado como Subúmido Seco. E da cota 0,68 a 0,89 a classificação climática de acordo como IA é Subúmido Úmido. É possível, ainda, notar que a Sub-Bacia do Alto da Paraíba não apresenta a classe climática Hipeárida e Árida. No entanto, nos níveis que encontram-se menor que o valor de classe de classificação 0,65 é passível de

acontecer a desertificação. Considerando, ainda, os níveis de suscetibilidade à desertificação⁶ estabelecidos a partir de valores do Índice de Aridez vê-se que é moderada a alta.

MAPA 4 - Classificação quanto às classes climáticas para o IA utilizando o Fator de Correção (FC) na sub-bacia do Alto Paraíba. (1-semiárido; 2-sub-úmido seco; 3-sub-úmido úmido)

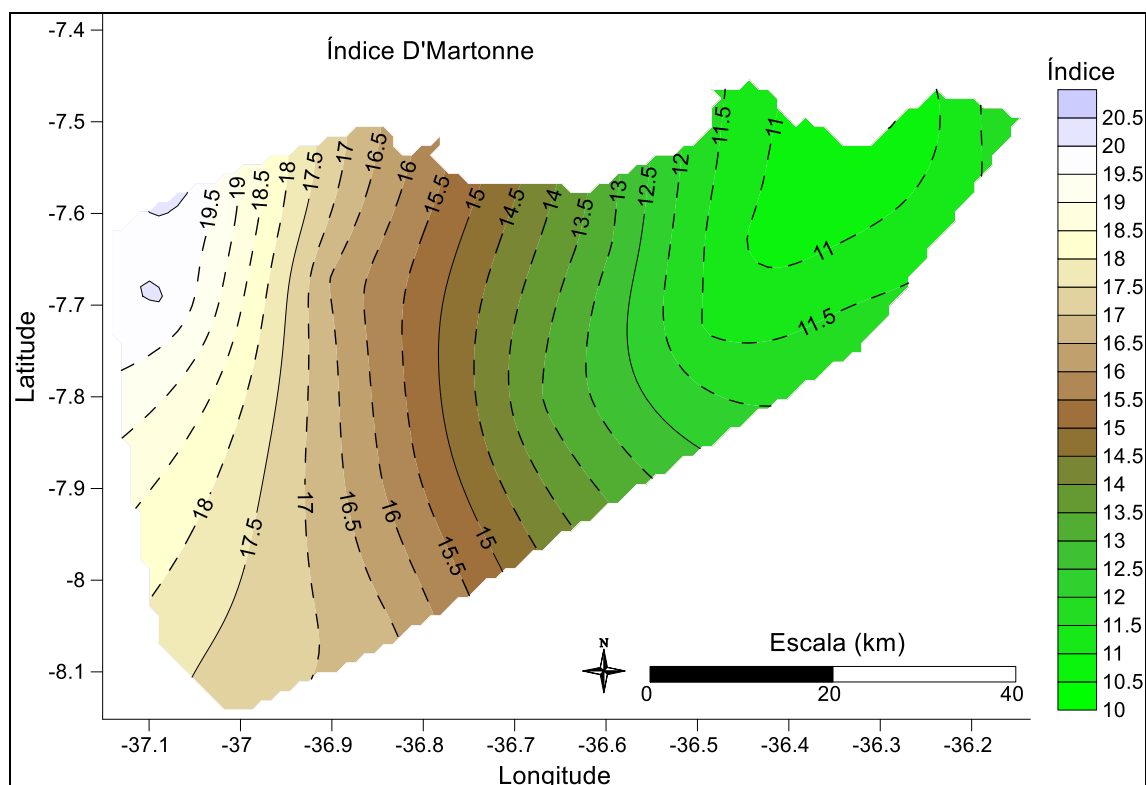


Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

O Mapa 4 retrata o índice de aridez considerando a classificação quanto às classes climáticas para o IA utilizando o Fator de Correção (FC) na sub-bacia do Alto Paraíba, que varia entre 0,8 a 3. Observando o Mapa 3 nota-se que no Mapa 4 há predomínio, apenas, da classe de classificação climática Subúmido Úmido, uma vez que a classe apresentada é superior a 0,65.

⁶ Muito alta de 0,05 até 0,20; alta de 0,21 até 0,50 e moderada de 0,51 até 0,65.

MAPA 5 - Índice de aridez utilizando o método D'Martonne para a sub-bacia do Alto Paraíba



Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

O Índice de Aridez de Martonne relaciona a temperatura e a precipitação. Este índice serve como uma ferramenta discreta, útil em ilustrar a transição lenta entre ambientes áridos, semiáridos, e úmidos. Considerando, portanto, as médias estabelecidas por Martonne⁷, vê-se que não há Zonas Árida e Semidesértica na Sub-Bacia. De acordo com o Índice de Aridez de Martonne a Sub-Bacia do Alto Paraíba apresenta ao Zona Semiárida Mediterrânea nos locais onde ocorrem as cotas de 10 a 20. Também, Zona Subúmida na cota 20 a 20,5. No entanto, não é visualizada a Zona Superúmida, que segundo o IA de Martone ocorre em cotas superiores a 60.

⁷ Para análise utilizou-se a seguinte disposição: de 0 – 5 (Zona Árida); de 5-10 (Zona Semidesértica); de 10-20 (Zona Semiárida Mediterrânea); de 20-30 (Zona Subúmida); de 30-60 (Zona Úmida) e >60 (Zona Superúmida).

6. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos neste estudo sobre os Índices de Aridez (IA) na Sub-Bacia Alto da Paraíba, concluiu-se que apesar de apresentar, em determinados locais, relevo relativamente plano a Sub-Bacia apresenta classes de classificação em transição entre os terrenos com declividade acentuada. Conforme analisada a Altimetria, a erosividade também levou em consideração as curvas de níveis. A partir daí, percebeu-se que a maior erosividade acontece na compartimentação entre as cotas 400 a 480 metros. Contudo entre as cotas 220 a 320 metros acima do nível do mar, essa erosividade é suave. Vale ressaltar a erosividade do local em estudo vai aumentando gradativamente.

Sobre o Índice de Aridez utilizando o Fator de Correção (FC) viu-se que variou de 0,26 a 0,89. Compreendendo que, quanto menor o Índice de Aridez maior será o caráter árido do local, foi observado que a Sub-Bacia do Alto da Paraíba pode apresentar-se como Semiárida, Subúmido Seco e Subúmido Úmido. É possível, ainda, notar que a Sub-Bacia do Alto da Paraíba não apresenta a classe climática Hiperárida e Árida. No entanto, nos níveis que encontram-se menor que o valor de classe de classificação 0,65 é passível de acontecer a desertificação. Considerando, ainda, os níveis de suscetibilidade à desertificação estabelecidos a partir de valores do Índice de Aridez vê-se que é moderada a alta.

Por fim, viu-se que uma vez considerando as médias estabelecidas por Martonne não há Zonas Árida, Semidesértica e Superúmida na Sub- Bacia. Sendo assim, de acordo com o Índice de Aridez de Martonne a Sub-Bacia do Alto Paraíba apresenta ao Zona Semiárida Mediterrânea e Zona Subúmida.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, Luciano. Degradação do solo e desertificação no Nordeste do Brasil. Disponível em: <<https://blog.mettzer.com/referencia-de-sites-e-artigos-online/>> Acesso em: 23 de maio de 2018.

AESA. Agencia Executiva de Gestão das Águas. 2018. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/comite-de-bacias/rio-paraiba/>. Acesso em: 04 jul 2018.

ANA. Agencia Nacional de Águas, 2017. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br>. Acesso em 27 set 2017.

ANDRADE, H. P. DA S. E S. DE M. Brasil um País de Terras Secas: problemática, dimensão e alternativas de tecnologias apropriadas para o Semi-Árido. p. 152, 2003.

ANDRADE, K. D. A. A. P.; RAPOSO, R. W. C.; ROSA, P. R. O.; JR, E. P. índices de aridez aplicados ao semiárido paraibano: de martonne, lang, meyer, ccd e xerotérmico (gaussen)•. Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí – UFG, n.10, p. 164 – 176 jan-jun, 2008.

ALMEIDA, A. V.; OLIVEIRA, M. A. B. A História da Estação Ecológica do Tapacurá (São Lourenço da Mata, PE) baseada no relatório de Vasconcelos Sobrinho de 1976. Recife. p. 61. 2009.

ALVES, M. F. A.; ALVES, L. R. A.; SARMENTO, E. B.; LIMA, G. A.; CRISPIM, D. L. Análise da precipitação pluvial de Pombal-PB relacionada com sistemas atmosféricos atuantes. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 10, n.2, p. 169 - 175 abr-jun, 2015.

ALVES, J. J. A. 2007. Geocologia da caatinga no semi-árido do Nordeste brasileiro. CLIMEP: Climatologia e Estudos da Paisagem, Rio Claro, v.2, n.1, p 58 -71.

ALVES, J. J. A. 2008. **Bio_geografia**. João Pessoa: Ed. Fotograf, ISBN: 978-85-904116-6-6. 108 p.

ALVES, J. J. A.; DE SOUZA, E. N.; DO NASCIMENTO, S. S. Nucleous of desertification in Paraíba state . Núcleos de desertificação no estado da Paraíba, n. 17, p. 139–152, 2009.

ALVES, J. J. A. Caatinga Do Cariri Paraibano. Geonomos, v. 17, n. 1, p. 19–25, 2009.

ARAÚJO, L. E. DE. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. p. 94, 2006.

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 332p.

ATLAS DAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO DO BRASIL / MMA, Secretaria de Recursos Hídricos, Universidade Federal da Paraíba; Marcos Oliveira Santana, organizador. Brasília: MMA, 2007. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_desertif/_arquivos/129_08122008042625.pdf. Acesso: 05 dezembro de 2017.

AUBREVILLE, A. Climats, forêts et désertification de l’Afrique Tropicale. Paris: Société d’Editions Géographiques, Maritimes et Coloniales, 1949.

AZEVEDO, P.V.; DA SILVA, B. B.; e RODRIGUES, M. F. G., 1998. Previsão Estatística das Chuvas de Outono no Estado do Ceará. Rev. Bras. de Meteor., v. 13, no. 1, 19-30.

BARROS, K. DE O. ÍNDICE DE ARIDEZ COMO INDICADOR DA SUSCEPTIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NA MESORREGIÃO NORTE DE MINAS Monografia. 2010.

BRASIL. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca/ PAN-Brasil. Brasília (DF): Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos, 2004. 214p

BRASIL. Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca Pan-Brasil. p. 220, 2004.

BRITO, José Ivaldo Barbosa de. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba-UFPB, 2000. (Tese de Doutorado em Recursos Naturais, Defendida em 2000.)

BRITO NEVES, B. B.; VAN SCHMUS, W.R.; SANTOS, E.J.; CAMPOS NETO, M.C. and KOZUCH, M., 1995. O evento Cariris Velhos na Província Borborema: integração de dados, implicações e perspectivas. *Revista Brasileira de Geociências* 25, 279-296.

CARVALHO, O. A desertificação no Brasil e no Nordeste brasileiro. I Seminário Internacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca. Superintendência de Recursos Hídricos-SRH, Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Governo da Bahia. Salvador, 2007. (Palestra).

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). El Niño e La Niña. INPE. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 20 dezembro de 2017.

DE LUNA GALINDO, I. C. et al. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba, PE. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 32, n. 3, p. 1283–1296, 2008.

DUARTE, J.J. Desertificação do Semi-árido paraibano. *Revista Conceitos*. João Pessoa. v. 9. nº9. p. 53-60. jan/jun. 2003.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. Índices para a quantificação da seca: relatório do ano de 2009. Santo Antônio de Goiás, 2009. 41 p. (Embrapa Arroz e Feijão.Documentos, 244).

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M.; MATOS, R. M.; BANDEIRA, M. M.; SANTOS, D. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2015, 15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Bra.

FREITAS, M. A. S. Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas. Revista Tecnologia (UNIFOR), Fortaleza, v. Suplem, p. 84-95, 2005.

IBAMA. **Desertificação no Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2003. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br>>. Acesso em 14/05/18.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml>> Consultado: 04 jul. 2018.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G.A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Scientia*, Santa Maria, v.2, n.1, p.171-182, jan./dez. 2001.

LACERDA, M. A. D. DE; LACERDA, R. D. DE. Planos de combate a desertificação no nordeste brasileiro. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 4, n. 1, p. 14, 2004.

LUCIA, T. et al. Indicadores Socioeconômicos e a Desertificação no Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba 1. [s.l: s.n.].

LUZ, M. J. S. A Desertificação é uma Realidade no Brasil. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Algodão. Embrapa Algodão. Documentos 182. p. 28. dez. 2007.

MAINGUET, M. Stratégies de combat contre la degradation de l'environnement dans les écosystèmes secs: les responses des Nations Unies, de la C.E.I., de la Chine et du Sahel. *Bull. Assoc. Géograph. França*, Paris, n.5 p. 425. 1992.

MARENGO, J. A. et al. No Semiárido Brasileiro. [s.l: s.n.].

MANUEL, E. S. Ã. O.; RIBEIRO, A.; MARTINS, D. Classificação Climática para os Municípios de Botucatu E São Manuel, SP. v. 14, p. 1–11, 2009.

MARIANO NETO, B. Ecologia e Imaginário nos Cariris Velhos do Paraíba: memória cultural e natureza no cerimonial da vida. p. 167, 1999.

MATALLO JUNIOR., H. **A desertificação no mundo e no Brasil**. In: SCHENKEL, C. S. e MATALLO JR, H (Org). Desertificação. Brasília: UNESCO, 2003.

MATALLO JÚNIOR, H. Indicadores de Desertificação: histórico e perspectivas. – Brasília: UNESCO, 2001.

MEDEIROS, E. R. de; BARROS, M. J. V; ROSA, P. R. de O. Degradação da caatinga no Seridó paraibano e as tendências ao processo de “desertificação”. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2003. Rio de Janeiro.

NASCIMENTO, S.S.; ALVES, J.J.A. Um Alerta Ambiental do Grau da Desertificação no Estado da Paraíba. Encontro Internacional de Geografia: Tradições e Perspectivas. Universidade de São Paulo-USP, 1 a 5 de dezembro de 2008a.

NOBREGA, R. S. Um pensamento crítico sobre classificações climáticas: de Köppen até Strahler. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v.3, n.1, p.18-22, maio/ago. 2010.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais : possíveis impactos nos ecossistemas do país. Parcerias Estratégicas, v. 12, p. 239–258, 2001.

PROENÇA DO AMARAL, V. et al. ESTIMATIVA DE SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO POR MEIO DOS ÍNDICES DE ARIDEZ APLICADOS NO MUNICÍPIO DE PETROLINA-PE. [s.d.].

RODRIGUES FERREIRA, R.; IVALDO BARBOSA DE BRITO, J. Avaliação Da Susceptibilidade a Desertificação Em Barbalha (Ce) E Conceição Do Araguaia (Pa) Através Do Índice Aridez. n. 1, 2011.

ROXO, M. J. PANORAMA MUNDIAL DA DESERTIFICAÇÃO. [s.d.].

SOARES, D. B.; FILHO, F. D. O. M.; NÓBREGA, R. S. Sobre o Processo de Desertificação. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 4, n. 1, p. 174–188, 2011.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. Bragantia. Campinas. v.66, n.4, p.711-720, 2007.

SALES, M. C. L. Evolução dos estudos de desertificação no Nordeste brasileiro. Geosp, Espaço e Tempo. São Paulo. nº11. p. 115-126. 2002.

SAMPAIO, E.V.S.B. & SAMPAIO, Y. Desertificação: conceitos, causas, conseqüências e mensuração. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, 2002. 85p. (Documento, 1)

SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R.; KOZUCH, M. and BRITO NEVES, B.B., 2010. The Cariris Velhos Tectonic Event in Northeast Brazil. Journal of South American Earth Sciences 29, 61-76.

SOUZA, B. I.; SILANS, A. M. B. P.; SANTOS, J. B. Contribuição ao estudo da desertificação na Bacia do Taperoá. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande. v.8, n.2/3, p.292-298, 2004.

SOUSA, R. F.; BARBOSA, M. P.; SILVA, J. M.; FERNANDES, M. F. Avaliação das Classes de Cobertura Vegetal e do Uso das Terras do Sítio Agreste - Itaporanga-PB. In: XIII SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007. p. 4283-4288.

SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. de. Políticas Públicas, uso do solo e desertificação nos Cariris Velhos (PB/Brasil). Scripta Nova, v. 14, n. 311, 2010.