



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Análise espacial do índice de aridez na sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia-Piauí

Livânia Norberta de Oliveira¹, Cláudia Maria Sabóia de Aquino²

¹ Dra. em Geografia, Universidade Federal do Piauí, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, s/n - Ininga, Teresina - PI, 64049-550 . (86) 3215-5514. livaniageo@gmail.com (autor correspondente). ² Dra. Professora adjunta, Universidade Federal do Piauí, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, s/n - Ininga, Teresina - PI, 64049-550 . (86) 3215-5514. cmsaboia@gmail.com.

Artigo recebido em 24/04/2020 e aceito em 19/04/2021

RESUMO

O objetivo deste estudo foi estimar o índice de aridez (IA) para o ano de 2017 através da análise da pluviometria anual média e da evapotranspiração potencial anual média da sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia, pertencente a atual fronteira agrícola brasileira em território piauiense, com o propósito de observar seus efeitos na distribuição do espaço e nas ações antrópicas para subsidiar ações voltadas para a sustentabilidade ambiental. A pesquisa foi realizada em três etapas: pesquisa bibliográfica, pesquisa de campo e de gabinete. Utilizou-se do software ArcGis para o desenvolvimento dos mapas temáticos. Verificou-se que em 64,4% da bacia o IA ficou caracterizado como clima semiárido (no setor Norte e Centro-Sudeste), em 35,6% o IA corresponde a tipologia climática subúmido seco em (setor Centro-Norte e Sudoeste). Constatou-se que a análise espacial da distribuição do IA é relevante para observar sua influência na composição da paisagem, que pode ser utilizado como parâmetro para o planejamento ambiental na sub-bacia, assim como ações voltadas a orientação da população envolvida acerca de técnicas agrícolas adequadas para a manutenção dos ecossistemas envolvidos, tendo em vista a ocorrência de intensos processos erosivos em municípios que compõe a sub-bacia, tais como Gilbués e Monte Alegre do Piauí.

Palavras-chave: índice de aridez, bacia hidrográfica, rio Gurgueia, erosão.

Spatial analysis of the aridity index in the Gurgueia-Piauí river sub-basin

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the daily and seasonal variations of the components of the radiation balance and photosynthetically active radiation for the Caatinga during a dry year in Pernambuco Semi-Arid. The experiment was conducted during the year 2012 in Petrolina, PE, located in the Brazilian semiarid region. To determine the components of the radiation balance we used a balance radiometer CNR1 model installed the 13.3 meters of surface. Additionally, we analyzed the interaction between vegetation and radiation using sensors to monitor the photosynthetically active radiation above and in different positions under the canopy of scrub. These data were used to calculate the fraction of intercepted photosynthetically active radiation (fRFAi) and absorbed (fRFAa). A wide seasonal variation of solar radiation and net radiation was observed that reached daily averages around 23 MJ m⁻² d⁻¹ and 15 MJ m⁻² d⁻¹, respectively. In this case, it was observed that the magnitude of the component values of the radiation balance was mainly affected due to the cloudiness and changes in vegetation which mainly affected the levels of emittance and reflection surface. With regard to fractions of intercepted and absorbed photosynthetic active radiation, it was observed that they had daily average values over the next years, which were equal to 0.69 and 0.64 in order. This data can be extremely useful for a better understanding of the interaction between the savanna and the atmosphere under natural climatic conditions.

Keywords: aridity index, hydrographic basin, Gurgueia river, erosion.

Introdução

A aridez no meio ambiente é um fenômeno natural complexo e com vários atributos, que tem influência em várias questões econômicas e ambientais, principalmente em regiões agrícolas (Amani et al., 2017). Neste aspecto, considera-se a bacia hidrográfica como recorte geográfico eficaz

para análise do índice de aridez, bem como aplicar políticas de gestão ambiental, principalmente onde ocorre a expansão do agronegócio de grãos, como ocorre na bacia hidrográfica do rio Gurgueia (BHRG) no estado do Piauí, pertencente a atual fronteira agrícola denominada MATOPIBA, expressão que resulta de um acrônimo criado com

as iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

Destacam Santos et al. (2018) a importância da realização de estudos voltados ao conhecimento do nível de aridez em bacias hidrográficas, tendo em vista, implicar tanto na forma de ocupação humana, quanto na estrutura e dinâmica dos ambientes naturais ali encontrados.

Conforme Lopes et al (2018) conhecer os elementos climáticos que mais apresentam variações e, consequentemente, promoveram alterações no valor do índice de aridez, são importantes para compreender as origens das modificações climáticas que ocorrem em uma determinada região.

Para Steinck et al. (2017), a Evapotranspiração Potencial (ETP) diz respeito à quantidade de água que seria utilizada por uma extensa superfície vegetada com gramado e sem restrição hídrica. É considerada um fator crucial para o plantio, sendo possível estipular a demanda de água para a plantação em determinados períodos do ano. Porém, destacam estes autores que, as aplicações capazes de efetuar o cálculo da ETP é pequeno, e as opções de metodologias ainda menores, sendo necessário calcular através de planilhas eletrônicas.

Thornthwaite & Mather (1955) propuseram um balanço hídrico tendo com variáveis de saída a evapotranspiração potencial total anual, deficit anual de umidade na atmosfera, excedente anual de água no solo, entre outras. Além disso, estes autores consideraram que o Índice de Aridez (Ia) é a razão entre o deficit anual de umidade e a evapotranspiração potencial, o Índice de Umidade (Iu) é o excedente anual de água no solo dividido pela evapotranspiração potencial, e o Índice Efetivo de Umidade (Im) é o (Iu) multiplicado por 100 menos 0,6 vezes (Ia), multiplicado por 100.

O monitoramento dos valores de aridez, assim como a avaliação dos impactos na agricultura no ambiente e na economia são importantes para o desenvolvimento de políticas que favoreçam o gerenciamento dos riscos de aridez (Amani et al., 2017). Na região sudoeste do estado do Piauí, onde está inserida a área de estudo, existem áreas que demonstram fragilidade ambiental em relação às características climáticas como no município de Gilbués e Monte Alegre.

Ressalta-se a existência de uma correlação direta entre as condições climáticas e a produção agrícola na região Nordeste brasileira. Neste aspecto, relata Castro (2012), que a agricultura nesta região possui grande variabilidade, tanto nas culturas exploradas, quanto na tecnologia empregada para a produção agrícola, tal situação

aliada à dinâmica climática, como os anos de secas e chuvas intensas que se alternam de formas irregular, dificulta o desenvolvimento, levando à deterioração do solo e dos corpos hídricos.

O clima da região Nordeste é marcado por distribuição irregular de chuvas, com volumes concentrados em curto período de tempo, além de temperaturas e totais de evapotranspiração potencial elevado. Nesse contexto, insere-se a sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia (BHRG), localizada na região Sudoeste do Piauí, que a partir dos aspectos climáticos supracitados torna-se importante analisar o nível de aridez.

Silva et al. (2019) estudaram as oscilações do índice de aridez interanual e sua vulnerabilidade à desertificação para a área da bacia do rio Ipojuca em Pernambuco, considerando o método do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite durante o período de 1962 e 2015, os quais diagnosticaram a suscetibilidade das famílias frente ao fenômeno da desertificação.

A definição de desertificação elaborada pela United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD, 1992) e referenciada por Brito da Silva e Oliveira (2017), é considerada a degradação da terra em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as atividades humanas, assim como as variações climáticas. Destacam ainda estes autores, que a desertificação expressa o resultado da combinação de condições naturais, climáticas e socioeconômicas, e das formas de utilização dos recursos naturais, especialmente para a produção agrícola e para o desenvolvimento rural.

Segundo Brito da Silva; Oliveira (2017) os espaços semiáridos e subúmidos secos na região Nordeste brasileira e no Norte do Estado de Minas Gerais foram denominados e institucionalizados como as Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD) no Brasil, por ocasião do lançamento do Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PANBRASIL (Brasil, 2004). Destaca-se ainda, que o IA é um parâmetro empregado mundialmente para definir as Áreas Suscetíveis a desertificação (ASDs) - oficialmente difundido pela UNEP/UNCCD.

Diversos estudos têm sido desenvolvido para mensuração da aridez de diferentes áreas na região Nordeste do Brasil (NEB). No Piauí o Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação do Piauí (PAE – PI), descreve que dentre as características preponderantes indicativas de áreas propensas à desertificação no Estado, destacam-se a presença de litologias vulneráveis à erosão, o clima semiárido e/ou subúmido seco, a baixa umidade do ar; valores anuais de evaporação,

o aumento progressivo do escoamento superficial, os processos erosivos já existentes num determinado local, os núcleos urbanos em expansão, as intensas atividades (cultivo sob irrigação, agricultura de sequeiro e solos para pastoreio extensivo) realizadas sem o devido controle que ocasionam impactos ambientais, dentre eles a erosão do solo, a degradação e o aumento de áreas suscetíveis à desertificação (Piauí, 2010).

Neste aspecto, o sensoriamento remoto tem sido uma importante ferramenta aplicada no monitoramento dos impactos ambientais, por favorecer uma análise rápida e com precisão para o planejamento ambiental em bacias hidrográficas.

Brito da Silva e Oliveira (2017) afirmam que o avanço das tecnologias da geoinformação tem contribuído para o desenvolvimento das pesquisas voltadas para o estudo da degradação da terra e da desertificação.

Conforme Amani et al. (2017) várias pesquisas já foram realizadas, utilizando o sensoriamento remoto para desenvolver valores para índice de aridez em diferentes contextos, tais como: o Índice de Seca Perpendicular (PDI, Ghulam et al., 2007a), Índice de Seca Perpendicular Modificado (MPDI, Ghulam et al., 2007b) e o Índice de Seca Perpendicular Modificado (MPDI1, Li; Tan, 2013) que usam suas informações para estimar diretamente os valores de aridez.

Diante do exposto, verifica-se a ampla relação dos fenômenos integradores da aridez com os processos ambientais, socioeconômicos e climáticos. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi estimar o IA através da análise da pluviometria anual média e de evapotranspiração potencial média anual da sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia para o ano de 2017, por ser o período com melhor disponibilidade de dados para análise neste recorte geográfico. Com o propósito de observar seus efeitos na distribuição do espaço e nas ações antrópicas para subsidiar ações voltadas para a sustentabilidade ambiental, tendo em vista constituir na atualidade uma área atrativa para o agronegócio de grãos, devido à grande disponibilidade de terras e às características físicas do solo com a possibilidade de mecanização em larga escala, entretanto, existem áreas vulneráveis com complexos processos erosivos como em Gilbués. Tornou-se assim, relevante uma pesquisa neste âmbito, como forma propor subsídios para o planejamento ambiental.

Material e métodos

Para alcançar os objetivos propostos desenvolveu-se a pesquisa em três etapas: pesquisa

bibliográfica, pesquisa de campo e de gabinete com o desenvolvimento do geoprocessamento dos dados coletados. Na primeira etapa, buscou-se embasamento teórico, utilizando-se como fonte de pesquisa, revistas, periódicos especializados com artigos científicos que abordam a temática estudada.

A pesquisa de campo foi outra etapa essencial, realizada entre os meses de janeiro a junho de 2017, assim como, entre os dias nove e onze de julho de 2019, desde o município de Jerumenha até São Gonçalo do Piauí percorrendo quase a totalidade da sub-bacia, quando foram feitos registros fotográficos e observações dos aspectos ambientais e das atividades sócioeconômicas desenvolvida.

Em seguida, fez-se a pesquisa de gabinete, sendo essencial para a estimativa do Índice de Aridez (IA). Primeiramente fez-se a aquisição de dados de precipitação de dez postos pluviométricos localizados dentro e próximos da área de estudo (Figura 1) para o ano de 2017, junto ao Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWEB) da Agência Nacional de Águas (ANA, 2019), destes postos descartou-se os dados de duas estações meteorológicas devido a distância espacial da área em estudo. Os procedimentos para refinamento desses dados foram realizados no pacote de programas USUAI, conforme sugerem Oliveira; Sales (2016), considerando as seguintes etapas:

- ✓ FALHAS: correção das falhas nos dados pluviométricos associada à técnica de ponderação regional proposto em Tucci (1993);
- ✓ CRIATEMP: criação de arquivo individual para cada posto pluviométrico;
- ✓ CRIACHUV: inserção e gravação dos dados de precipitação média mensal;
- ✓ BHVMED: geração do valor médio para o índice de aridez (IA).

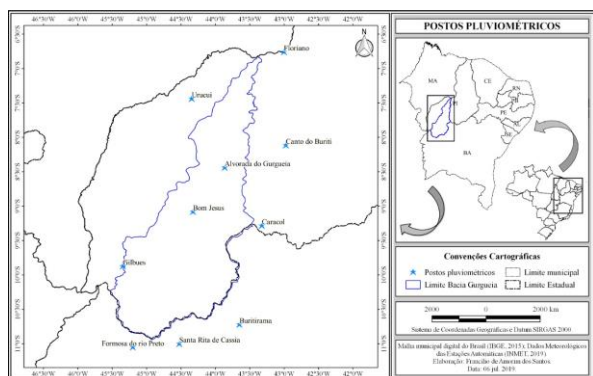
Figura 1- Localização da sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia e das estações pluviométricas usadas na pesquisa Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Ressalta-se que o IA foi uma proposta, inicialmente, desenvolvida por Thornthwaite (1941) e, posteriormente, aperfeiçoada por Penman (1953). O IA constitui um índice que é partir por meio do quociente entre a pluviometria anual média e a evapotranspiração potencial anual média, a partir da Equação 1.

$$Ia = \frac{P}{E_{tp}} \quad (2)$$

Onde:

IA = índice de aridez;



P = pluviometria anual média;

Etp = Evapotranspiração potencial anual média.

O processo de fatiamento das classes do IA, para delimitação dos níveis de aridez na bacia estudada considerou-se as áreas de risco para os variados climas, conforme proposto pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 1991), como está exposto na Tabela 1.

Tabela 1 - Intervalos, classes atribuídas e notas ao índice de aridez (Ia).

Intervalo do Ia	Tipo climático	Notas
0,21 a 0,50	Semiárido	2
0,51 a 0,65	Subúmido seco	1

Fonte: UNEP (1991).

Foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS, versão 2.14, para integração dos componentes ambientais, que permitiu o desenvolvimento do IA e do *software* ArcGIS, versão 10.2, cuja licença foi adquirida pela Universidade Federal do Piauí (UFPI).

Resultados e discussão

Caracterização da Área de Estudo

A sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia (BHRG) localiza-se na região do Sul do Estado do Piauí, envolve 33 municípios, possui extensão aproximada de 532 km, abrange área com 48.826 km², o que corresponde a 19% da área territorial do Piauí, sendo a segunda maior sub-bacia do Estado (Oliveira e Aquino, 2019), a qual sofre influência da ação antrópica, principalmente em função do avanço do agronegócio nas últimas décadas.

A geologia da BHRG é do tipo sedimentar, na região Centro-Norte verifica-se a ocorrência de rochas correspondentes as formações Poti, Piauí, Longá, além de depósitos aluvionares, constituintes da bacia sedimentar do Parnaíba. Na região Sul, ocorre arenitos, siltitos e conglomerados associados às formações Urucuia e Areado, unidades litoestratigráficas pertencentes a

região setentrional da Bacia Sedimentar do São Francisco (MORAIS, 2018).

A BHRG apresenta predominância de relevo do tipo suave ondulado, com declividade de 3-8% em aproximadamente 39% da bacia, bem como apresenta declividade acima de 8% em 24% da área, possuindo também áreas de relevo ondulado acima de 20% de declividade (Oliveira e Aquino, 2019).

França, et al. (2016) mapearam as áreas prioritárias a conservação em função da declividade e altimetria do terreno na sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia, identificaram que as maiores inclinações estão associadas aos terrenos de maiores altitudes, com declividades montanhosas e forte-montanhosas, encontradas principalmente nas bordas de tabuleiros e encostas de morros. Verificaram também, que as áreas de maiores altitudes estão inseridas ao centro-sul da bacia hidrográfica, com valores de 628 a 824 m, enquanto as de menores altitudes foram verificadas ao norte, entre 124 a 284 m.

Quanto aos solos presentes na BHRG, o Latossolo Amarelo ou Vermelho-Amarelo, de textura média a argilosa e de boa drenagem predomina sobre os chapadões na margem esquerda do rio Gurgueia. O mesmo tipo ocorre no talvegue e na margem direita, de menor altitude, porém, nesses locais estão associados a Aluviões, Neossolos Quartzarênicos Órticos e Neossolos Litólicos. No vale do Gurgueia, os aluviões recentes, situados ao nível do rio, sofrem alagamentos periódicos de janeiro a abril e possuem bons níveis de fertilidade natural (Brasil, 2006).

Na BHRG uma classe de solos que merece destaque é a constituída dos Neossolos Quartzarênicos Órticos, que tem como características: textura arenosa com finíssimos grãos de quartzo, pouca argila em seu complexo granulométrico, baixa capacidade para retenção de umidade e acentuada drenagem. Os Neossolos Litólicos, Latossolos e Argissolos podem estar associados a esses solos (Brasil, 2006).

A vegetação dominante no topo das chapadas e na margem do rio Gurgueia é do tipo Cerrado, especificamente com fisionomia de campos cerrados. As árvores são distribuídas com pequena densidade, distanciadas entre si por espaços abertos, em que a superfície do terreno é completamente recoberta por um estrato arbustivo e herbáceo, de moitas e gramíneas. Também estão presentes áreas com enclaves de caatinga, especialmente na região do Alto Gurgueia entre Gilbués e Corrente, bem como existem pequenas áreas de contato caatinga-cerrado (Gov-PI, 2016).

Segundo pesquisa desenvolvida por Oliveira e Aquino (2019) sobre o uso e cobertura do solo na bacia do rio Gurgueia no período de 1987 e 2017, a vegetação da área sofreu redução de 31,76%, principalmente nas margens do rio e na região do alto-médio curso do rio Gurgueia, onde acontece a expansão do agronegócio desde a década de 1990 principalmente nos topos das chapadas, como também no seu baixo curso, entre os municípios de Elizeu Martins e Jerumenha.

O rio Gurgueia é o maior afluente do rio Parnaíba pela sua margem direita, sua nascente está localizada a uma altitude média de 500 metros no sopé da Chapada das Mangabeiras. Possui drenagem intermitente no trecho entre os municípios de São Gonçalo do Gurgueia e Redenção, na estação seca apresenta baixa vazão e na estação chuvosa as cheias médias máximas ocorrem com descarga de 200 m³/s e a descarga média anual está em torno de 39 m³/s (Brasil, 2006).

Destaca-se, a existência de aquíferos na BHRG representada pelos sedimentos clásticos, médios a grosseiros, às vezes conglomeráticos, que constituem os aquíferos Serra Grande e Cabeças, e o Poti/Piauí. Já as formações Pimenteirias e Longá, constituídas por sedimentos clásticos finos ou pelíticos, caracterizam-se mais como confinantes das formações mais arenosas subjacentes (Gov-PI, 2016).

A BHRG tem como principais atividades econômicas a agricultura de subsistência e a pecuária extensiva, no entanto, este cenário tem passado por modificações importantes nas últimas décadas com a expansão da fronteira agrícola de grãos.

Segundo Oliveira e Aquino (2019), as principais culturas temporárias desenvolvidas na microrregião do alto-médio Gurgueia em 1987 eram: arroz, feijão, milho, mandioca e cana-de-açúcar. Já no ano de 2017, as principais culturas desenvolvidas nesta mesma área eram: feijão, milho e soja.

Conforme se observa no gráfico 1, a produção da soja ultrapassou 6 mil toneladas em seis municípios na BHRG no ano de 2017, sendo eles: Alvorada do Gurgueia, Palmeira do Piauí, Monte Alegre do Piauí, Gilbués, Currais e Bom Jesus, este último com maior produção na bacia. Desta forma, constata-se a alteração na paisagem em determinados setores, principalmente nos topos de serra, onde as mudanças estão associadas a substituição da cobertura vegetal por extensos cultivos de agricultura mecanizada. Na figura 2 é possível observar a transformação da paisagem através da produção de soja, nas margens da Transcerrado na Serra do Quilombo, município de

Bom Jesus do Gurgueia no período de julho de 2017.

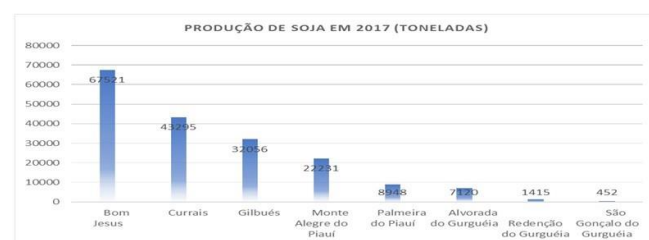


Gráfico 1: produção de soja em 2017 no alto e médio curso da sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia

Fonte: IBGE, 2019



Figura 2: Produção de soja às margens da rodovia Transcerrado em Bom Jesus

Fonte; Autores, julho de 2019

Ações importantes têm sido tomadas, como a criação do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Gurgueia em 22 de março de 2014, com o propósito de que uma gestão participativa com os atores sociais envolvidos possa garantir maior sustentabilidade da sub-bacia.

Índice de Aridez na bacia hidrográfica do rio Gurgueia

O clima predominante na BHRG é do tipo seco a subúmido, megatérmico, conforme a classificação de Köppen, com pequeno período chuvoso. A pluviometria média anual varia de 900 mm a 1.200 mm, sendo o trimestre mais chuvoso entre janeiro e março, já o mais seco entre julho e setembro (Piauí, 2010), tal circunstância proporciona a redução da vazão do rio Gurgueia e seus tributários no período de estiagem.

Conforme análise histórica dos aspectos climáticos na região hidrográfica do Gurgueia para o período de 1973-2016 do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2017), foi observado que o rio Gurgueia apresentou comportamento abaixo da média histórica, com cota mínima de 58 cm no mês de agosto.

A partir do levantamento pluviométrico das estações instaladas dentro da área da BHRG, verificou-se que a média de precipitação para o ano de 2017 foi de 655 mm, distribuídos principalmente entre os meses de dezembro a março. Na figura 3, observa-se a variação da evapotranspiração para o ano de 2017, verifica-se menor intensidade para a região Sul da sub-bacia (23% aproximadamente), em comparação a região Norte com (20%) entre os municípios de Jerumenha e Alvorada do Gurgueia com maior intensidade, assim como na região central com 57% entre Redenção do Gurgueia e Palmeira do Piauí.

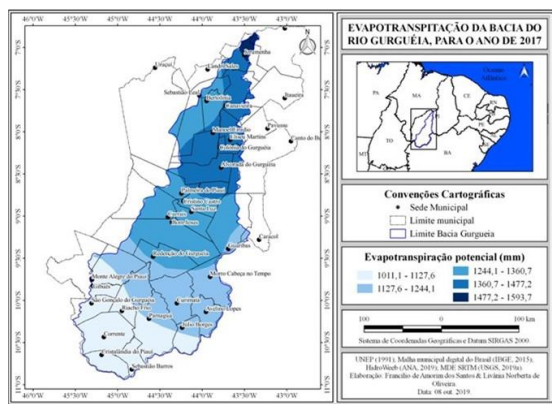


Figura 3: Evapotranspiração da sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia para o ano de 2017

Quanto ao IA, ficou classificado em semiárido em 2017 em 64,4% da área na sub-bacia (figura 4), principalmente na região Norte, que envolve os municípios de Jerumenha, Bertolínia e Canavieira, bem como na região Centro-Sudeste, entre os municípios de Palmeira do Piauí e Parnaguá.

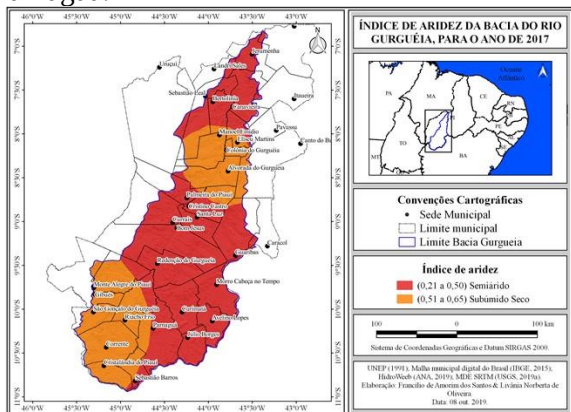


Figura 4 – Índice de aridez da sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia no ano de 2017

Fonte: Autores, 2019

O IA caracterizou-se como subúmido seco (35,6%), principalmente na região Centro-Norte, entre os municípios de Manoel Emídio e Palmeira do Piauí, assim como na região Sudoeste, envolvendo os municípios: Monte Alegre do Piauí, Gilbués, São Gonçalo do Gurgueia, Corrente, Riacho Frio e Cristalândia do Piauí, dentre estes destaca-se o processo de erosão existente entre os municípios de Gilbués e Monte Alegre do Piauí (Figura 5) área interpretada suscetível a desertificação por autores como Crepani (2009), Lopes et al. (2011), Patrício et al. (2012) e França et al. (2017). Todavia, destaca-se que a classificação da região de Gilbués como Núcleo de Desertificação é contestada por Sales (1997) e Sousa Silva et al. (2016).



Figura 5: Processo erosivo no município de Gilbués em julho de 2019

Fonte: Autores, 2019

Para Sousa Silva et al. (2016), ao considerar a questão climática, onde os índices de aridez (IA) oscilam entre 0,86 e 0,96, a região de Gilbués está fora da zona adotada pela Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação. Pela proposta da ONU as áreas preferencialmente sujeitas à desertificação teriam índices de aridez inferiores a 0,65, portanto, a região de Gilbués não se enquadra das zonas suscetíveis ao fenômeno, por apresentar valores/índice de aridez bem acima do valor de referência da ONU.

Sousa Silva et al. (2016) consideram o processo de arenização em Gilbués complexo por se localizar em um ambiente frágil com condições climáticas bem dinâmicas com alta variabilidade pluviométrica, em torno de 1.200 mm/ano. Desta forma, relatam estes autores, que sob essas condições, a paisagem se modifica mais rapidamente, alterando as formas das vertentes, tornando os processos morfogenéticos e morfodinâmicos mais intensos. Esses processos atuam concomitantemente dependendo das condições climáticas e morfopedológicas.

Conforme Sousa Silva et al. (2019) Gilbués possui clima tropical subúmido (ausência

de semiaridez), abundância hídrica e embasamento sedimentar, solos profundos constituídos de argila e areia, domínio do cerrado, chapadas, morros testemunhos e rampas longas como principais feições geomorfológicas.

A economia do município se baseia na criação de gado para corte, tendo como principais produtos agrícolas o arroz, mandioca, manga, feijão, milho e banana. A população total do município é de 10.402 habitantes, onde 55,8% da população vivem nas áreas rurais, numa área de 3.495 km² (IBGE, 2010).

Para Crepani (2009), os processos erosivos em Gilbués não tem ligação direta com fatores climáticos, mas exclusivamente a atividades humanas nas últimas centenas de anos, caracterizadas pela alteração/retirada da cobertura vegetal que expõe o solo, que possui alta fertilidade e pouca resistência à erosão às severas condições regionais de concentração pluviométrica (alta intensidade pluviométrica) o que implica na exposição do embasamento rochoso sedimentar que, por sua vez, é responsável pela redução ou perda da fertilidade e da produtividade biológica ou econômica, sintomática da degradação de terras.

Em termos de dinâmica pluviométrica, a discussão realizada por França et al. (2017) sobre Gilbués é que a precipitação influencia no impacto das gotas que podem fragmentar os solos frágeis, sobretudo em áreas de solo exposto, sem cobertura vegetal, desta forma, o escoamento superficial, além de expandir os processos erosivos, é responsável pelo carreamento e remoção de nutrientes do solo, responsável, principalmente pela geração de mais problemas ambientais, tais como o assoreamento dos rios, conforme diagnosticado nas (Figuras 6 a, b).



Figuras 6 A e B: Assoreamento do rio Gurgueia em Gilbués

Fonte: França et al. 2017

Quanto a alteração da paisagem em função do agronegócio em Gilbués, Sousa Silva et al. (2019) ao realizar uma análise temporal entre os anos de 1987 e 2009, constataram que as mudanças na dinâmica da cobertura e uso das terras com a expansão agrícola em áreas de cerrado denso, ocasionou a redução da cobertura vegetal na região norte com o aumento da produtividade, com isso

houve a ampliação de áreas de solo exposto que resultaram em feições erosivas do tipo *badland*.

Com o apoio do Governo Federal foi implantado em 2003 o Núcleo de Pesquisa de Recuperação de Áreas Degradadas - NUPERADE, desde então vem sendo desenvolvidas pesquisas com tecnologias de baixo custo para o enfrentamento do problema, tais como a utilização de pequenas barragens de terra para captação da água da chuva, contenção do escoamento superficial, aumento da infiltração de água no solo, contribuindo para a recarga do lençol freático e identificação de espécies vegetais adequadas para plantio e recomposição florestal (Lopes et al., 2011).

Considerações finais

Diante das discussões apresentadas neste artigo, verifica-se a que a análise espacial da distribuição do índice de aridez é relevante para observar sua influência na composição da paisagem, assim como ser utilizado como parâmetro para o planejamento ambiental na sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia, que se intensificou nas últimas décadas a prática agrícola do agronegócio.

Constata-se que, o sensoriamento remoto é uma importante ferramenta para estimar o valor de aridez, bem como para o monitoramento de secas devido à natureza oportuna e econômica dessa tecnologia, a qual pode ser usada em diferentes escalas espaciais e de tempo, favorecendo uma análise mais rápida e de baixo custo para aplicações relevantes com precisão para o planejamento em bacias hidrográficas

Foi possível observar que o IA resultou em classificação semiárida (64,4%) principalmente na região Norte e Centro-Sudeste, o que demonstra maior atenção para as práticas agrícolas desenvolvidas envolvendo esta área, como nos municípios de Bom Jesus, Currais e Redenção do Gurgueia. Deve-se por tanto, ser aplicado um planejamento sustentável do manejo dos recursos naturais, assim como orientar a população envolvida das técnicas adequadas para o uso e a manutenção do ecossistema a médio e longo prazo.

Verificou-se também que o IA foi mensurado em subúmido seco em 35,6% da BHRG, na região Centro-Norte e Sudoeste, onde está inserido os municípios de Gilbués e Monte Alegre do Piauí, em que pesquisas apontam para uma complexa problemática, representada pelos diferentes usos territoriais, referentes à cobertura e ocupação das terras, com graves processos erosivos, relacionados tanto pelas condições climáticas como das ações antropogênicas a longo prazo. Deve-se portanto haver uma ação mais

intensiva de recuperação ambiental por parte da sociedade local e das instâncias governamentais responsáveis.

Observou-se que os aspectos pluviométricos da BHRG, somados aos solos expostos têm desencadeado também em assoreamento dos corpos hídricos, na redução da vazão do rio Gurgueia, sendo tais realidades mais notáveis no alto e médio curso do rio Gurgueia.

Destaca-se que, o avanço da fronteira agrícola na bacia associada a retirada da vegetação em larga escala, pode tornar o ambiente mais vulnerável, caso não haja um planejamento adequado das formas de manejo do solo, como a rotação de culturas e policulturas.

Desta forma, recomenda-se a continuidade do monitoramento do índice de aridez nesta sub-bacia em diferentes escalas de tempo para maior observação da alteração da paisagem e suas consequências, assim como a atuação do comitê da bacia hidrográfica do rio Gurgueia, para fins de planejamento ambiental diante da alteração significativa da paisagem e dos impactos a médio e longo prazo e seus efeitos para o ambiente e a sociedade, principalmente nas áreas de expansão agrícola de grãos sobre o domínio fitogeográfico do cerrado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa Nacional de Pós-Graduação (PNPD/CAPES) pelo financiamento da pesquisa e ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Piauí pelo estágio de Pós-doutorado.

Referências

ANA. Agência Nacional de Águas. 2017. HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas. Séries históricas: ano 2017. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em 23 julho de 2019.

Amani, M., Salehi, B., Mahdavi, S., Masjedi, A., Dehnavi, S. 2017. Temperature-Vegetation-soil Moisture Dryness Index (TVMDI). Remote Sensing of Environment v.197, p. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.05.026>

Aquino, C.M.S., Oliveira, J.G. 2012. Avaliação de indicadores biofísicos de degradação/desertificação no núcleo de São Raimundo Nonato, Piauí, Brasil. Equador. 1

Aquino, I.O., Campos, A.R., Ratke, R.F. 2004. Caracterização da fitofisionomia e de solos na Sub-bacia hidrográfica do Alto Médio Gurgueia por Sistemas de Informações Geográficas – SIG. In: XXIII Seminário de iniciação científica da UFPI, Teresina-PI,

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 2004. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PANBRASI. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_desertif/_arquivos/pan_brasil_portugues.pdf. Acesso em 02 de junho de 2019

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 2006. Caderno da região hidrográfica do Parnaíba. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente. 184p

Brito da Silva, É. G., Oliveira, V. P. V. 2017. Identificação das áreas susceptíveis à desertificação no estado do Ceará: antecedentes cartográficos. Revista Brasileira de Geografia Física v.10, n.04, p. 1269-1280. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.4.p1269-1280>

Castro, C. N. 2012. A agricultura no Nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento. Brasília: IPEA.

Crepani, E. 2009. O Núcleo de Desertificação de Gilbués observado pelo Sensoamento Remoto e pelo Geoprocessamento. In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, INPE. p. 5185-5192.

França, L. C. J., Piuzana, D., Ross, J. L. S. 2017. Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente em núcleo de desertificação no semiárido brasileiro (Gilbués, Piauí). Revista espacios. vol. 38, n. 31, pág. 21-38

Ghulam, A., Qin, Q., Zhan, Z. 2007^a. Designing of the perpendicular drought index. Environmental Geology, v.2, n. 6, p.1045-1052. doi: [10.1007/s00254-006-0544-2](https://doi.org/10.1007/s00254-006-0544-2)

Ghulam, A., Qin, Q., Teyip, T., LI, Z.L. 2007^b. Modified perpendicular drought index 737 (MPDI): a real-time drought monitoring method. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v.62, n.2, pp.150-164, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2007.03.002>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento sistemático da produção agrícola. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=o-que-e->. Acesso em 22 de julho de 2019.

IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change 2008. Climate change and Land. Genebra. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srccl/>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2020.

Governo do Piauí. Caracterização bacia do Rio Gurgueia. 2016. Disponível em: <http://www.ccom.pi.gov.br/download/GURG.pdf> Acesso em: 30 de maio de 2019.

- Li, Z.; Tan, D. The Second Modified Perpendicular Drought Index (MPDI1): A Combined Drought Monitoring Method with Soil Moisture and Vegetation Index. *J Indian Soc Remote Sens.* v.41, p.873–881, 2013. <https://doi.org/10.1007/s12524-013-0264-5>
- Lopes, L.S. de O.; Santos, R.W.P.; Miguel Filho, M.A. Núcleo de desertificação de Gilbués (PI): causas e intervenções. *Revista Geografia (Londrina).* v.20, n.02, mai/ago. 2011. disponível em: < <http://www.uel.br/seer/index.php/geografia/article/view/7829/10646> >
- Lopes, I., Melo, J. M. M. de., Carvalho, A. A. de., Moura, G. B. de A., Leal, B. G. 2018. Análise multivariada no estudo da variação do Índice de Aridez da Bahia e Pernambuco. *Agrometeoros, Passo Fundo*, v.26, n.1, p.93-102, doi: 10.31062/agrom.v26i1.26345
- Morais, R. C. DE S. 2018. Contribuição metodológica para a elaboração do diagnóstico físico-conservacionista (dfc) em bacias hidrográficas: aplicação na bacia do alto Gurgueia, Piauí (BRASIL). Tese (doutorado).Fortaleza, 151f.
- Oliveira, J.G.B., Sales, M.C.L. 2016. Usuais: programas para uso em análise ambiental. *Revista Equador, Teresina*, v.5, n.2, p.36-60, jan./jun.
- Oliveira, V. G. de., Corrêa, I. C. P., Brito, J. I. B. de; Costa, A, de S. 2017. Variabilidade dos índices de umidade e aridez para as cidades de Crato e Paracurú no estado do Ceará. *Journal of Environmental Analysis and Progress.* v. 02, n. 04, p. 549-554. DOI: <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1670.549-554>
- Oliveira, L. N. de., Aquino, C.M.S. 2019. Dinâmica temporal do uso e cobertura da Terra Na Fronteira agrícola do MATOPIBA: análise na sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia-Piauí. *Revista Equador (UFPI)*, v. 9, n.1, 2019, p.317 – 333.
- Patrício, M. da C. M., Silva, V.M. de A., Ramo, A. R.D. 2012. Gilbués - núcleo de desertificação do Piauí, caracterização física, variabilidade climática e impactos ambientais. *Reforma editorial.* v. 11, n. 3. DOI:<https://doi.org/10.12957/polemica.2012.3738>
- Piauí. Bacia do rio Gurgueia. 2010. Disponível em: <<http://www.ccom.pi.gov.br/download/GURG.pdf>>. Acesso em: 02 de junho de 2019.
- Sales, M. C. L. 1997. Estudo da degradação ambiental em Gilbués-PI: Reavaliando o “núcleo de desertificação”. São Paulo, USP. Dissertação de Mestrado. São Paulo, 181p.
- Santos, F. de A. dos., Mendes, L. M. S., Cruz, M. L. B. da. 2018. Análise do índice de aridez da bacia hidrográfica do rio Piracuruca - Ceará-Piauí, Nordeste do Brasil . *Geosul, Florianópolis*, v. 33, n. 67, p. 181-199, mai./ago. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2018v33n67p181>
- CPRM. Serviço Geológico Do Brasil. 2017. Relatório situacional dos recursos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Parnaíba . Disponível em:https://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Parnaiba/20171116_10-20171116%20-%20103332.pdf. Acesso em: 02 de junho de 2019
- Silva, C.J., França, M.V., Medeiros, R.M., Holanda, R.M. 2019. O índice de aridez e sua tendência à desertificação na bacia do Rio Ipojuca-PE. *Journal of Environmental Analysis and Progress.* v. 04 n. 01, p. 021-030. doi:<https://doi.org/10.24221/jeap.4.1.2019.1875.021-030>
- Soares, D. B., Mota Filho, F. O., Nóbrega, R. S. 2011. Sobre o processo de desertificação. *Revista Brasileira de Geografia Física.* v.01, p.174-188. doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4.1.p174-188>
- Sousa Silva, I. A., Suertegaray, D. M. A., Barros, J. R. 2019. Entre chapadas e malhadas: transformações da paisagem e a expansão agrícola em Gilbués-Piauí. *Geographia (UFF)*, v. 21, p. 47-69, doi: <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2019.v21i45.a14288>
- Sousa Silva, I. A., Barros, J. R., Suertegaray, D. M. A. 2016. Variabilidade climática e seus efeitos no processo de arenização em Gilbués-Piauí. *Revista de Geociências do Nordeste*, 2, 405-415,
- Steinck, R. N., Branco, B. V. L., Varela, L. dos A., Silveira, V. C. da, Gonçalves, J. L. 2017. Cálculo da evapotranspiração potencial pelos métodos de Priestley-Taylor, Penman-Monteith e Thornthwaite. *RETEC.* 7, n. 1
- Thornthwaite, C.W. 1941. Atlas of Climatic Types in the United States. Miscell Publ. n.421. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geography Review*, 38, 55-94.
- Thornthwaite, C. W.; Mather, J. R. 1955. The water balance: publications in climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology. 104p.
- Tucci, C.E.M. 1993. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Eds. da UFRGS e da USP, 943p.
- United States Geological Service (Serviço Geológico dos Estados Unidos). Digital

elevation: SRTM 1 Arc-Second Global. 2019. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 23 jul. 2019a.

_____. Collection: Landsat archive. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 23 julho 2019b.

United Nations Environment Programme. 1991. Status of desertification and implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification. Nairóbi.