



B1

ISSN: 2595-1661

ARTIGO ORIGINAL

Listas de conteúdos disponíveis em [Portal de Periódicos CAPES](https://portaldeperiodicos.capes.gov.br)

Revista JRG de Estudos Acadêmicos

Página da revista:

<https://revistajrg.com/index.php/jrg>

ISSN: 2595-1661

Revista JRG de
Estudos Acadêmicos

Análise Comparativa entre os Modelos Digitais de Elevação dos Sensores Alos Palsar e SRTM em Estudos Ambientais do Município de Areia-PB

Comparative Analysis Between the Digital Elevation Models of the Alos Palsar and SRTM Sensors in Environmental Studies in the City of Areia-PB



DOI: 10.55892/jrg.v7i14.1261
ARK: 57118/JRG.v7i14.1261

Recebido: 14/04/2024 | Aceito: 30/06/2024 | Publicado on-line: 02/07/2024

Joelson Nunes Freire¹

<https://orcid.org/0009-0004-0045-3824>

<https://lattes.cnpq.br/2354592981317991>

Universidade Federal da Paraíba, PB, Brasil
E-mail: joelsonjonunes@hotmail.com

Guttemberg da Silva Silvino²

<https://orcid.org/0000-0002-9199-2732>

<http://lattes.cnpq.br/7469382161768585>

Universidade Federal da Paraíba, PB, Brasil
E-mail: guttemberg.silvino@gmail.com

Felipe dos Santos Silva Diniz³

<https://orcid.org/0009-0002-9995-6848>

<http://lattes.cnpq.br/2675981938811796>

Universidade Federal da Paraíba, PB, Brasil
E-mail: felipediniz.agro@yahoo.com

Adailson Túlio dos Santos Silva⁴

<https://orcid.org/0000-0002-6647-3885>

<http://lattes.cnpq.br/3258606744886335>

Universidade Federal da Paraíba, PB, Brasil
E-mail: adailsontulio6@gmail.com

Maurício Javier de León⁵

<https://orcid.org/0000-0001-9084-2751>

<http://lattes.cnpq.br/8143357594165784>

Universidade Federal da Paraíba, PB, Brasil
E-mail: mjleon@gmail.com

Witoria de Oliveira Araujo⁶

<https://orcid.org/0000-0002-7676-2648>

<http://lattes.cnpq.br/6196668683574461>

Universidade Federal da Paraíba, PB, Brasil
E-mail: witoria.agronoma@gmail.com

Resumo

Um dos primeiros e mais comuns processos executados em análises hidrológicas ou ambientais é a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas. O presente estudo objetivou realizar a caracterização morfométrica das bacias hidrográficas e extração de nascentes das microbacias inseridas no município de Areia-PB a partir de técnicas de geoprocessamento. Para geração dos resultados foram utilizados o SIG de uso livre QGIS e o MDE – Modelo Digital de elevação das imagens ALOS PALSAR de 12,5 m de resolução, no sentido de gerar uma base de dados ambiental, subsidiando informações para o entendimento da dinâmica hidrológica e do manejo e conservação do solo e da água. Para localização e verificação das nascentes em campo foi utilizado um GPS de navegação, das quais foram validadas 6 (seis) nascentes. A DPA – Divisão Política Administrativa, lançada em 2022 e o MDE de 12,5 m de resolução alteraram a quantidade de microbacias delimitadas e os valores

¹ Graduado em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba.

² Graduado em Engenharia Civil. Mestre em Engenharia Agrícola. Doutor em Recursos Naturais.

³ Graduado em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba.

⁴ Graduando em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba.

⁵ Graduado em Engenharia Agrônoma. Mestre em Máquinas Agrícolas. Doutor em Agronomia.

⁶ Graduada em Agronomia. Mestranda em Ciências do Solo pela Universidade Federal da Paraíba.

de seus respectivos parâmetros morfométricos comparados aos obtidos através do MDE de 30 m de resolução e DPA atualizada para 2018, fornecendo informações mais precisas. Do ponto de vista de delimitação e caracterização morfométrica, a última versão da DPA de 2022 e o Modelo Digital de Elevação do ALOS PALSAR de 12,5 m de resolução mudou o cenário das microbacias hidrográficas inseridas no município de Areia em relação a DPA e MDE utilizado por Andrade e Machado (2018), o que justifica a necessidade da replicação desse tipo de pesquisa utilizando base de dados mais atualizadas e precisas. O MDE do ALOS PALSAR pode ser utilizado para identificação de nascentes, podendo subsidiar estudos mais aprofundados sobre a qualidade da água e o estado de conservação das demais nascentes, o que fica como recomendação para futuras pesquisas, pois das nascentes selecionadas apenas uma nascente encontra-se em bom estado de conservação.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Microbacias hidrográficas. Recursos hídricos. Morfometria. Hidrologia.

Abstract

One of the first and most commonly implemented methods in hydrological or environmental analyzes is the morphometric characterization of hydrographical basins. The present study aimed to execute the morphometrical characterization of hydrographical basins and the extraction of its headwaters at the municipality of Areia, Paraíba, through methods of geoprocessing. The results were obtained through the free, open-source Geographic Information System (QGIS) and through the Digital Elevation Model (MDE) from ALOS PALSAR 12,5 m resolution images, generating an environmental basis that subsidizes informations to the comprehension of the hydrological dynamics and the handling and conservation of its soil and water. A navigation GPS we utilized to locate and verify the headwaters in site, from which 6 (six) were validated. The Administrative Political Division (DPA), established in 2022, and MDE of 12,5 m resolution altered the quantity of delimited hydrographical basins and its respective morphometric parameter values compared to those obtained through MDE of 30 m resolution and through the updated 2018 DPA version, offering more accurate data to future research on hydrological dynamics. From the perspective of morphometrical delimitation and characterization, the last DPA version, from 2022, and the Digital Elevation Model from ALOS PALSAR 12,5 m resolution images changed the scenario of hydrographical microbasins in the municipality of Areia in counterpoint to the use of DPA and MDE by Andrade e Machado (2018), what supports the necessity of replication of this type of research utilizing updated and more precise geotechnologies and databases to assist the handling and planning of sustainable hydrographical basins. The MDE of ALOS PALSAR can be used to identify headwaters, subsidizing denser studies on the quality of its water and its conservation condition, a subject that is proposed to further research, because, from the analyzed headwaters, only one of those is well preserved.

Keywords: Geoprocessing. Hydrographic basins. Water resources. Morphometry. Hydrology.

1. Introdução

A caracterização morfométrica, também denominadas morfológicas ou simplesmente físicas da bacia hidrográfica (GUIMARÃES et al., 2018) é um dos primeiros e mais comuns processos executados em análises hidrológicas ou ambientais (TEODORO et al., 2007, p. 137) tendo como objetivo esclarecer questões sobre o entendimento das dinâmicas, locais e regionais, da infiltração, quantidade de deflúvio, evapotranspiração, e do escoamento superficial e subsuperficial, associando a elementos físicos e bióticos de uma bacia hidrográfica (SILVA et al., 2018, p. 245).

A análise quantitativa das relações entre a fisiografia da bacia e a sua dinâmica hidrológica é a definição do estudo morfológico de bacias hidrográficas (SANTOS, 2012, p. 197). O exame de parâmetros morfológicos têm grande relevância nesses estudos, pois através da perspectiva quantitativa, pode-se ter uma melhor ideia do comportamento hidrológico, uma vez que, tais parâmetros são bons indicadores da capacidade de escoamento superficial (Nunes et al., 2006, apud SANTOS, 2012, p. 197). Além dos parâmetros morfológicos, outro indicativo fundamental na caracterização e gestão de bacias hidrográficas, são as nascentes, pois são resultado da infiltração de água em uma bacia hidrográfica e responsáveis por dar origem aos cursos d'água, (GOMES et al., 2018, apud CARVALHO, 2020, p. 14).

Andrade e Machado (2018) realizaram a delimitação e caracterização de microbacias hidrográficas inseridas no município de Areia, no Estado da Paraíba (PB). Para isso, utilizaram o Modelo Digital de Elevação (MDE) da Missão de Topografia Radar Shuttle (acrônimo em inglês SRTM) com resolução espacial de 30 m e uma Divisão Político Administrativa (DPA) do município de Areia atualizada para a época do desenvolvimento do seu trabalho.

A DPA é disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), através da representação vetorial das linhas definidoras das confrontações estaduais e limites municipais, as quais são atualizadas, incorporando-se as alterações territoriais provenientes de nova legislação; decisões judiciais (liminares e mandados); alterações cartográficas (relatórios técnicos dos órgãos estaduais responsáveis pela DPA que atualizam os memoriais descritivos legais a luz das novas geotecnologias), sendo, portanto, a cada atualização, lançada uma nova Malha Municipal, como é o caso da última versão lançada em 2022 (IBGE, 2023).

De acordo com Macêdo e Surya (2018), o MDE da SRTM pode ser adquirido na plataforma TOPODATA de dados geomorfométricos disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e os MDEs ALOS PALSAR podem ser obtidos gratuitamente, já corrigidos e projetados no sistema UTM WGS84, nas resoluções baixa e alta, de 30 m e 12,5 m, respectivamente. Os autores desenvolveram o estudo de comparação entre modelos digitais de elevação dos sensores SRTM, com resolução espacial de 30 m, e ALOS PALSAR de 12,5 m de resolução para análise digital de terreno, no qual, dentre suas conclusões, destacam-se que, nos modelos ALOS, de maior resolução, é possível distinguir uma maior quantidade de feições morfológicas não mapeáveis nos modelos SRTM; o MDE ALOS é adequado para mapeamento de morfologias de mega e mesoescalas, enquanto que o MDE SRTM, disponibilizado pelo INPE, é apropriado apenas para megaescala, e que, em razão da diferença do tamanho do pixel o MDE SRTM tende a suavizar a superfície enquanto que os detalhes se destacam no MDE ALOS.

Desse modo, entende-se que a última versão da DPA lançada em 2022, juntamente com o MDE ALOS PALSAR de 12,5 m de resolução, podem apresentar

um cenário mais preciso e atualizado do ponto de vista de delimitação e características morfométricas das microbacias inseridas no município de Areia.

Este trabalho teve por objetivo realizar a extração da rede de drenagem, a Delimitação e Caracterização Morfométrica das microbacias hidrográficas inseridas no município de Areia-PB, utilizando o Sistema de Informação Geográfica QGIS, as imagens do MDE ALOS PALSAR de 12,5 m de resolução e a última versão da DPA lançada em 2022, para fins de comparação com os resultados obtidos através do MDE da SRTM de 30 m de resolução e DPA de 2018, subsidiando informações para o entendimento da dinâmica hidrológica. Além disso, realizar a extração de nascentes do MDE ALOS PALSAR de 12,5 m de resolução, validá-las em campo e avaliar o estado de conservação das mesmas, bem como, comparar a rede de drenagem e nascentes extraídas do MDE ALOS PALSAR, com a rede de drenagem e respectivas nascentes da AESA.

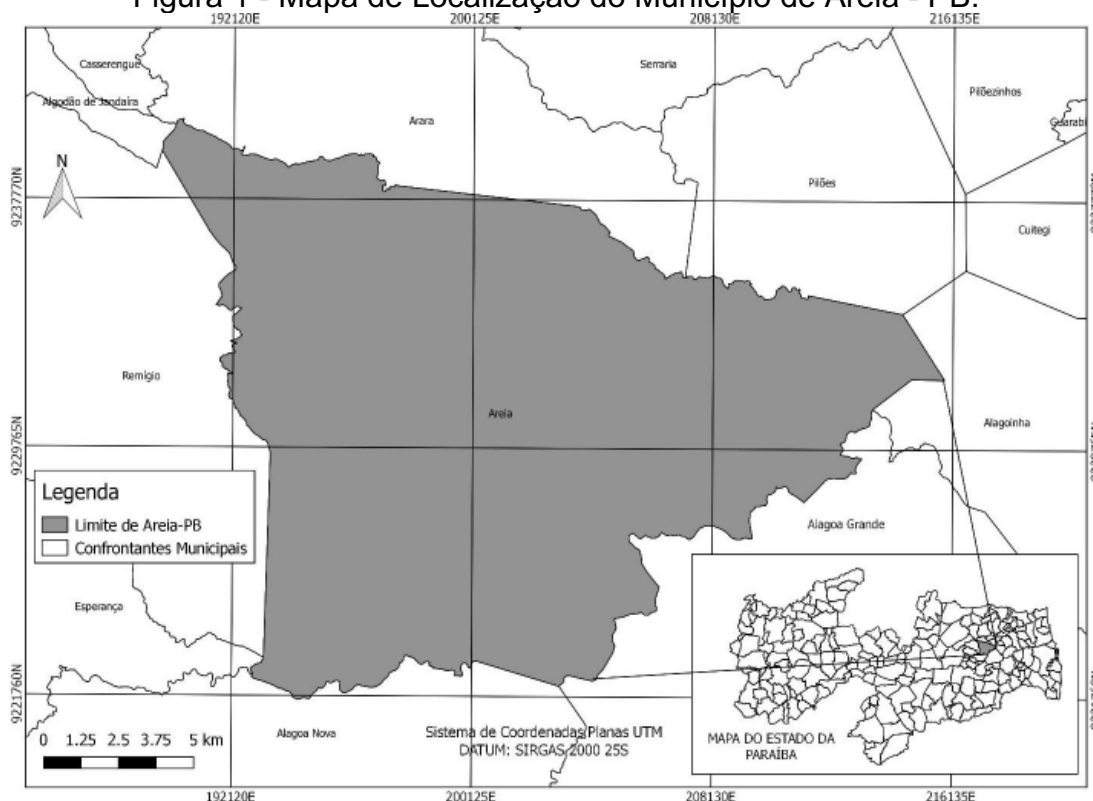
2. Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido nas dependências do Laboratório de Topografia e Geoprocessamento (LabTGeo) situado no Departamento de Solos e Engenharia Rural (DSER) do Centro de Ciências Agrárias (CCA), pertencente a Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Areia, Paraíba, Brasil.

2.1 Caracterização da Área de Estudo

O município de Areia está localizado na mesorregião do Agreste paraibano, especificamente na Microrregião do Brejo Paraibano, a 122 km de João Pessoa, capital da Paraíba, apresentando, de acordo com o último censo demográfico em 2022, uma população de 22.633 habitantes, e uma área de 269,130 km² (IBGE, 2022). Ainda de acordo com o IBGE (2022), o limite geográfico do município de Areia tem como confrontantes, os municípios de Alagoa Grande, Alagoa Nova, Alagoinha, Algodão de Jandaíra, Arara, Esperança, Pilões e Remígio, estando sua sede a uma altitude de 618 m, com sua localização determinada pelas coordenadas 6° 57' 48" de Latitude Sul, e 35° 41' 30" de Longitude Oeste de Greenwich (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de Localização do Município de Areia - PB.



Fonte: Autor (2023).

2.2 Obtenção da Base de Dados

O arquivo Shapefile da atual Divisão Político Administrativa (DPA) do município de Areia-PB foi adquirido, gratuitamente, na base de dados do IBGE. Já o Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado foi proveniente da Agência de Exploração Aeroespacial do Japão – Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), disponibilizado, gratuitamente, na base de dados da plataforma Alaska Satellite Facility, com resolução espacial de 12,5 m. Quanto à hidrografia da Paraíba, esta foi adquirida, gratuitamente, no GeoPortal da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA).

2.3 Processamento dos Dados

O processamento dos dados foi desenvolvido em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando-se o software gratuito Qgis 2.18.28.

Após a obtenção das bases de dados descritas no tópico anterior, o primeiro passo foi reprojeta-las. Tal procedimento foi realizado, individualmente para cada arquivo, utilizando a opção “salvar como” e selecionando uma pasta, o Datum e o Sistema de Coordenadas desejado, nesse caso, utilizou-se o Datum SIRGAS 2000, zona 25S e o Sistema de Coordenadas Planas UTM. Feito isso, através da ferramenta Raster/Extrair/Recorte, realizou-se o recorte do MDE com base no arquivo vetorial da DPA do município de Areia, obtendo-se um novo MDE apenas do município, o qual, em seguida passou por um pré-processamento, através da ferramenta SAGA/Fill Sinks para a devida correção dos pixels sem valores elevação. Desse modo, foi gerado um novo MDE corrigido.

A partir do MDE corrigido, realizou-se de forma automática a delimitação das microbacias hidrográficas, extração da rede de drenagem e das nascentes, utilizando-

se para tal procedimento a ferramenta SAGA/Terrain Analysis-Channels/Channel Networks and drainage basins.

Por fim, ainda no Qgis, através da ferramenta de layout de impressão, foram confeccionados os mapas apresentados nos resultados.

2.4 Validação de Nascentes

Das nascentes extraídas, foram selecionadas as sete mais próximas do Centro de Ciências Agrárias (CCA) e de fácil acesso, as quais foram nomeadas como Nascente 01, Nascente 02, Nascente 03, Nascente 04, Nascente 05, Nascente 06 e Nascente 07, e tiveram suas respectivas coordenadas exportadas para o GPS (Global Positioning System – Sistema Global de Posicionamento) de navegação da Garmin®, modelo 76CSx.

Com as coordenadas inseridas no GPS, este direcionou a localização geográfica das nascentes selecionadas, o que possibilitou a comprovação em ambiente terrestre, quanto a veracidade da existência e/ou precisão da localização das mesmas. Ao chegar nas nascentes foram feitos os registros fotográficos e realizadas as observações para classificá-las quanto ao estado de conservação, conforme a classificação proposta por Pinto et al. (2004).

2.5 Caracterização Morfométrica

Delimitadas as microbacias e gerada a rede de drenagem, com o objetivo de comparar os resultados aqui obtidos oriundos da base de dados do MDE ALOS PALSAR na resolução de 12,5 m e DPA de 2022 com os resultados alcançados através do MDE SRTM de 30 m de resolução e DPA atualizada para 2018, bem como, comparar com a hidrografia da AESA, nesta etapa, para o cálculo dos parâmetros morfométricos, foi utilizada a mesma metodologia adotada por Andrade e Machado (2018).

3. Resultados e Discussão

Os resultados da delimitação e caracterização morfométrica das microbacias hidrográficas inseridas no município de Areia-PB, decorrente da utilização do MDE ALOS PALSAR de 12,5 m de resolução e da DPA de 2022, estão sendo apresentados nas tabelas 1, 3 e 5. Para fins de comparação entre os resultados aqui obtidos e os alcançados por Andrade e Machado (2018), foi adaptada a tabela por eles elaborada, a qual pode ser consultada nas tabelas 2, 4 e 6, bem como, foram elaborados mapas para ilustrar e comparar os cenários das microbacias delimitadas no presente trabalho com as delimitadas pelos autores citados, quanto a classificação de Densidade de drenagem (Dd), Densidade hidrográfica (Dh), Fator de forma (F) e Índice de sinuosidade (Is).

Ao realizar uma análise dos dados da presente pesquisa e comparando os valores obtidos de cada variável morfométrica para cada microbacia delimitada, observou-se uma diversidade nos resultados, situação que confirma a necessidade de realização da caracterização morfométrica em cada microbacia hidrográfica. Essa situação também foi observada por Guimarães et al (2018), afirmando que essa diversidade de resultados leva em consideração características (físicas – geométricas, da rede de drenagem, e relevo) próprias de cada região, justificando que esse tipo de pesquisa seja replicada quantas vezes forem necessárias, auxiliando no planejamento e manejo sustentável de bacias hidrográficas.

3.1 Delimitação de Microbacias

Andrade e Machado (2018), utilizando uma DPA atualizada para o ano de desenvolvimento de seus estudos e o MDE da SRTM com resolução espacial de 30 m, isolou 19 microbacias inseridas no município de Areia-PB, as quais os autores atribuíram denominações de acordo, segundo os mesmos, com as principais localidades ou bairros inseridas nelas, a saber, Barra do Camará, Chã da Pia, Grotão, Juçara, Mata Limpa, Mazagão, Quati, Riacho de Facas, Santa Maria, Saulo Maia, Serra, Sítio Velho, Tauá, Vaca Brava, Vaca Brava de Baixo, Várzea 1, Várzea 2, Várzea 3 e Várzea 4 (Figura 2).

Figura 2 - Microbacias do Município de Areia-PB delimitadas por Andrade e Machado (2018), através do MDE SRTM.

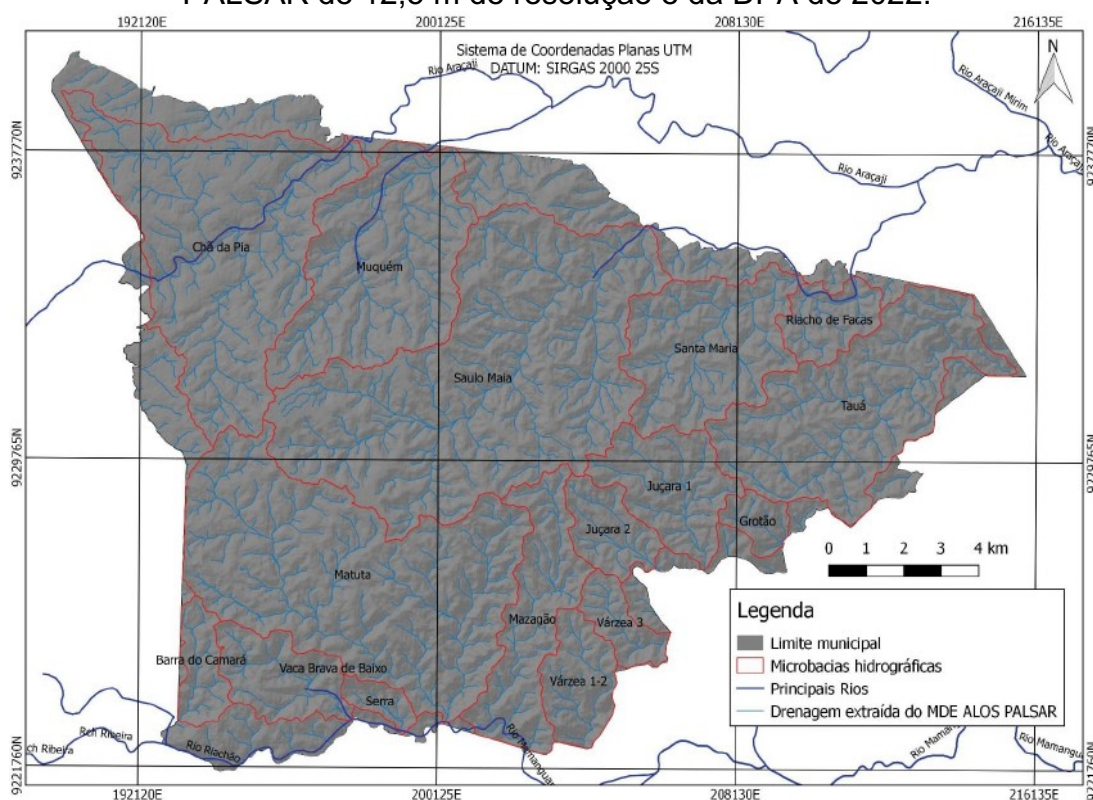


Assim, para facilitar a comparação entre os resultados obtidos no presente trabalho, com os alcançados pelos autores citados, atribuímos, para as microbacias aqui delimitadas, as respectivas denominações utilizadas pelos mesmos. Contudo, o MDE da imagem ALOS PALSAR de 12,5 m de resolução e a DPA de 2022 permitiram a delimitação de 91 microbacias, as quais possuem suas áreas variando entre 0,4 km² e 50,56 km². Destas, foram selecionadas e caracterizadas morfologicamente apenas aquelas com áreas superiores a 1,50 km², resultando em 16 microbacias selecionadas (Figura 3).

Como DPA de 2022, alterou os limites e a área do município de Areia, conseqüentemente, a rede de drenagem aumentou e diminuiu em alguns locais no interior de seus limites, resultando, por ocasião do aumento, na confluência de algumas microbacias geradas anteriormente por Andrade e Machado (2018). Foi o caso das microbacias Quati e Mata Limpa, as quais convergiram para um mesmo ponto de saída, tornando-se, assim, uma única microbacia, a qual foi aqui atribuído o

nome de Muquém, bem como, foi o caso das microbacias Várzea 1 e Várzea 2, as quais, também convergiram para um mesmo ponto de saída, passando a torna-se uma única microbacia, sendo esta nomeada como Várzea 1-2. E por fim, também as microbacias Vaca Brava e Sítio Velho convergiram para um mesmo ponto de saída, formando uma única microbacia, a qual, foi aqui nomeada como Matuta. O quadro 1 demonstra a relação entre as microbacias delimitadas e denominações a elas atribuídas no estudo de Andrade e Machado (2018) e as delimitadas e nomeações atribuídas no presente trabalho.

Figura 3 - Microbacias do Município de Areia-PB delimitadas através do MDE ALOS PALSAR de 12,5 m de resolução e da DPA de 2022.



Fonte: Autor (2023).

Já por ocasião da diminuição dos limites do município em razão da utilização da DPA de 2022, a microbacia Várzea 4 delimitada por Andrade e Machado (2018) foi extinta da área do município como pode ser observado nas figuras 2 e 3, bem como, ainda como consequência da diminuição dos limites do município e consequentemente diminuição da rede de drenagem, a microbacia Juçara, no presente trabalho, foi dividida em duas microbacias, as quais foram aqui nomeadas como Juçara 1 e Juçara 2 (Quadro 1).

Quadro 1 - Demonstrativo da relação entre as microbacias delimitadas e denominações a elas atribuídas no estudo de Andrade e Machado (2018) e as delimitadas e nomeações atribuídas no presente trabalho.

	Microbacias atuais	Andrade e Machado (2018)
Denominações das microbacias	Barra do Camará	Barra do Camará
	Chã da Pia	Chã da Pia
	Grotão	Grotão
	Juçara 1	Juçara
	Juçara 2	
	Muquém	Mata Limpa
		Quati
	Mazagão	Mazagão
	Riacho de Facas	Riacho de Facas
	Santa Maria	Santa Maria
	Saulo Maia	Saulo Maia
	Serra	Serra
	Matuta	Sítio Velho
		Vaca Brava
	Tauá	Tauá
	Vaca Brava de Baixo	Vaca Brava de Baixo
	Várzea 1-2	Várzea 1
		Várzea 2
	Várzea 3	Várzea 3
-	Várzea 4	

Fonte: Autor (2023).

3.2 Características Geométricas

Com relação às áreas das microbacias, todas apresentaram diferenças em seu tamanho quando comparadas com as delimitadas por Andrade e Machado (2018), sendo encontrada as mais expressivas diferenças nas microbacias Chã da Pia (33,32 km²) e Mazagão (11,06 Km²) no presente trabalho e 31,77 km² e 10,14 km² para as respectivas microbacias no trabalho de Andrade e Machado (2018). Também houve redução nos tamanhos, como nos dois mais significativos casos, Grotão (2,08 km²) e Barra do Camará (3,33 km²) no presente trabalho, quando comparadas às delimitadas pelos citados autores, 2,99 km² e 3,95 km², respectivamente.

Da delimitação da microbacia Muquém resultou uma área de 21,85 km², havendo um aumento de 2,91 km², quando comparado ao somatório das áreas das microbacias Mata Limpa e Quati (18,94 km²). Na área da microbacia Matuta (40,43 km²) ocorreu um pequeno aumento de 0,15 km², quando comparada com o somatório das microbacias Sítio Velho e Vaca Brava (40,28 km²). Já a área da microbacia Várzea 1-2 (5,47 km²) obteve um aumento de 1,01 km², quando comparada ao somatório das microbacias Várzea 1 e Várzea 2 (4,46 km²). E do somatório de Juçara 1 e Juçara 2 (13,09 km²) houve uma redução de 1,92 km², quando comparada a microbacia Juçara (15,01 km²) delimitada por Andrade e Machado (2018).

De acordo com Peruzzo (2023, p.31) a variável de área “auxilia na questão territorial, permitindo assim identificar as comunidades inseridas dentro dos seus limites”. “Logo, é importante a participação efetiva da comunidade na resolução dos problemas ambientais locais” (EBERHARDT et al., 2007, p. 57), ou seja, nos limites da área de drenagem.

Sendo assim, a bacia hidrográfica constitui-se numa área propícia para realização de diagnósticos socioambientais que resultam em ações de planejamento ambiental e gestão dos recursos naturais, exatamente porque todos os processos, tanto naturais (degradação e deposição, infiltração, solifluxões, enchentes e condução de materiais, entre outros), quanto antrópicas (desmatamentos, aceleração do processo de intemperismo e erosão, urbanização, construção de estradas, abertura de áreas para o cultivo agrícola, degradação ambiental, entre outros) são gerados no interior de uma bacia de drenagem e qualquer território pode ser dividido em redes hidrográficas de múltiplas dimensões, facultando a regionalização e a adoção de uma área para o planejamento e gestão ambiental (ROSS, 1998, apud SIMON e NOAL, 2004, p. 2-3). Desse modo, as microbacias aqui delimitadas, subsidiam informações para realizações de diagnósticos socioambientais visando o planejamento e gestão ambiental das mesmas.

Esses valores de área aqui obtidos influenciaram diretamente outras variáveis morfométricas, como Densidade de drenagem (Dd), Densidade hidrográfica (Dh), Coeficiente de compacidade (Kc), Índice de Circularidade (IC) e Fator de forma (F); e indiretamente as variáveis Coeficiente de manutenção (Cm), Coeficiente de torrencialidade (Ct), e Índice de rugosidade (Ir).

Para analisar a forma da bacia hidrográfica, bem como sua suscetibilidade a enchentes, três índices devem ser avaliados conjuntamente, são eles: coeficiente de compacidade (Kc), índice de circularidade (IC), e o fator de forma (F) (PEREIRA et al., 2015; GUIMARÃES et al., 2018).

Com relação a variável do coeficiente de compacidade (Kc), todas as microbacias aqui delimitadas, apesar de apresentarem diferenças nos valores de Kc em relação aos valores obtidos por Andrade e Machado (2018), a grande maioria se mantiveram na mesma classe de Kc, com exceção das microbacias Muquém (tendência mediana a grandes enchentes – TMGE), Matuta (não sujeita a grandes enchentes – NSGE) e Várzea 1-2 (tendência mediana a grandes enchentes – TMGE), as quais divergem dos resultados das respectivas microbacias por elas representadas (Quadro 1) no trabalho de Andrade e Machado (2018), são elas Mata Limpa (TMGE) e Quati (NSGE), Sítio Velho (TMGE) e Vaca Brava (NSGE), e Várzea 1 (alta propensão a grandes enchentes – APGE) e Várzea 2 (TMGE), como podem serem vistos nas tabelas 1 e 2.

Já no tocante da variável fator de forma (F), todas as microbacias geradas com o MDE da imagem ALOS PALSAR de 12,5 m de resolução e a DPA de 2022 divergiram dos valores de suas respectivas microbacias representadas no trabalho de Andrade e Machado (2018). No entanto, como pode ser observado na tabela 1, as microbacias Barra do Camará, Mazagão, Muquém, Santa Maria, Saulo Maia, Serra, Tauá, Matuta, Vaca Brava de Baixo, Várzea 1-2 e Várzea 3 se mantiveram, respectivamente, na mesma classificação de F de suas microbacias representadas no estudo dos citados autores (tabela 2), todas classificadas como NSGE em ambos os trabalhos. Contudo, divergem da classificação de F, as microbacias Chã da Pia (NSGE), Grotão (TMGE), Juçara 1 (NSGE) e Juçara 2 (APGE), e Riacho de Facas (NSGE) de suas respectivas microbacias geradas no trabalho de Andrade e Machado (2018), TMGE, APGE, TMGE e TMGE.

Tabela 1 - Valores das variáveis morfométricas (geométricas) das microbacias do município de Areia-PB, delimitadas através do MDE ALOS PALSAR.

Características morfométricas (geométricas)							
Autor (2023)							
Microbacias	A = Área (km ²)	P = Perímetro (km)	Kc = Coeficiente de compacidade	Classe de Kc	Ic = Índice de circularidade	F = Fator de forma	Classe de F
Barra do Camará	3,33	9,65	1,48	TMGE ²	0,45	0,30	NSGE ¹
Chã da Pia	33,32	35,41	1,72	NSGE ¹	0,33	0,31	NSGE ¹
Grotão	2,08	6,61	1,28	TMGE ²	0,60	0,50	TMGE
Juçara 1	8,66	15,41	1,47	TMGE ²	0,46	0,40	NSGE ¹
Juçara 2	4,43	10,16	1,35	TMGE ²	0,54	0,97	APGE ³
Mazagão	11,06	23,35	1,97	NSGE ¹	0,25	0,16	NSGE ¹
Muquém	21,85	24,11	1,44	TMGE ²	0,47	0,33	NSGE ¹
Riacho de Facas	4,33	10,23	1,38	TMGE ²	0,52	0,34	NSGE ¹
Santa Maria	14,78	21,01	1,53	NSGE ¹	0,42	0,39	NSGE ¹
Saulo Maia	50,56	40,10	1,58	NSGE ¹	0,40	0,33	NSGE ¹
Serra	1,59	6,10	1,36	TMGE ²	0,54	0,34	NSGE ¹
Tauá	23,29	27,75	1,61	NSGE ¹	0,38	0,24	NSGE ¹
Matuta	40,43	35,30	1,55	NSGE ¹	0,41	0,35	NSGE ¹
Vaca Brava de Baixo	6,44	13,19	1,46	TMGE ²	0,47	0,33	NSGE ¹
Várzea 1-2	5,47	10,50	1,26	TMGE ²	0,62	0,39	NSGE ¹
Várzea 3	3,07	9,02	1,44	TMGE ²	0,47	0,33	NSGE ¹

Fonte: Autor (2023).

NSGE¹: não sujeita a grandes enchentes;

TMGE²: tendência mediana a grandes enchentes;

APGE³: alta propensão a grandes enchentes.

Tabela 2 - Valores das variáveis morfométricas (geométricas) das microbacias do município de Areia-PB, delimitadas através do MDE SRTM.

Características morfométricas (geométricas)							
Andrade e Machado (2018)							
Microbacias	A = Área (km ²)	P = Perímetro (km)	Kc = Coeficiente de compacidade	Classe de Kc	Ic = Índice de circularidade	F = Fator de forma	Classe de F
Barra do Camará	3,95	10,10	1,42	TMGE ²	0,49	0,28	NSGE ¹
Chã da Pia	31,77	31,90	1,58	NSGE ¹	0,39	0,56	TMGE ²
Grotão	2,99	8,17	1,32	TMGE ²	0,56	1,10	APGE ³
Juçara	15,01	18,56	1,34	TMGE ²	0,55	0,66	TMGE ²
Mata Limpa	5,98	12,69	1,45	TMGE ²	0,47	0,30	NSGE ¹
Mazagão	10,14	21,31	1,87	NSGE ¹	0,28	0,19	NSGE ¹
Quati	12,96	19,45	1,51	NSGE ¹	0,43	0,29	NSGE ¹
Riacho de Facas	4,34	9,91	1,33	TMGE ²	0,56	0,66	TMGE ²
Santa Maria	14,99	21,26	1,54	NSGE ¹	0,42	0,35	NSGE ¹
Saulo Maia	50,59	38,78	1,53	NSGE ¹	0,42	0,35	NSGE ¹
Serra	1,54	6,07	1,37	TMGE ²	0,53	0,30	NSGE ¹
Sítio Velho	13,57	19,15	1,46	TMGE ²	0,47	0,39	NSGE ¹
Tauá	23,13	26,68	1,55	NSGE ¹	0,41	0,36	NSGE ¹
Vaca Brava	26,71	28,61	1,55	NSGE ¹	0,41	0,29	NSGE ¹
Vaca Brava de Baixo	6,47	12,74	1,40	TMGE ²	0,50	0,32	NSGE ¹
Várzea 1	1,95	5,87	1,18	APGE ³	0,71	0,47	NSGE ¹
Várzea 2	2,51	8,05	1,42	TMGE ²	0,49	0,30	NSGE ¹
Várzea 3	3,15	8,76	1,38	TMGE ²	0,52	0,44	NSGE ¹
Várzea 4	1,56	6,04	1,35	TMGE ²	0,54	0,38	NSGE ¹

Fonte: Andrade e Machado (2018), adaptada pelo Autor (2023).

NSGE¹: não sujeita a grandes enchentes;

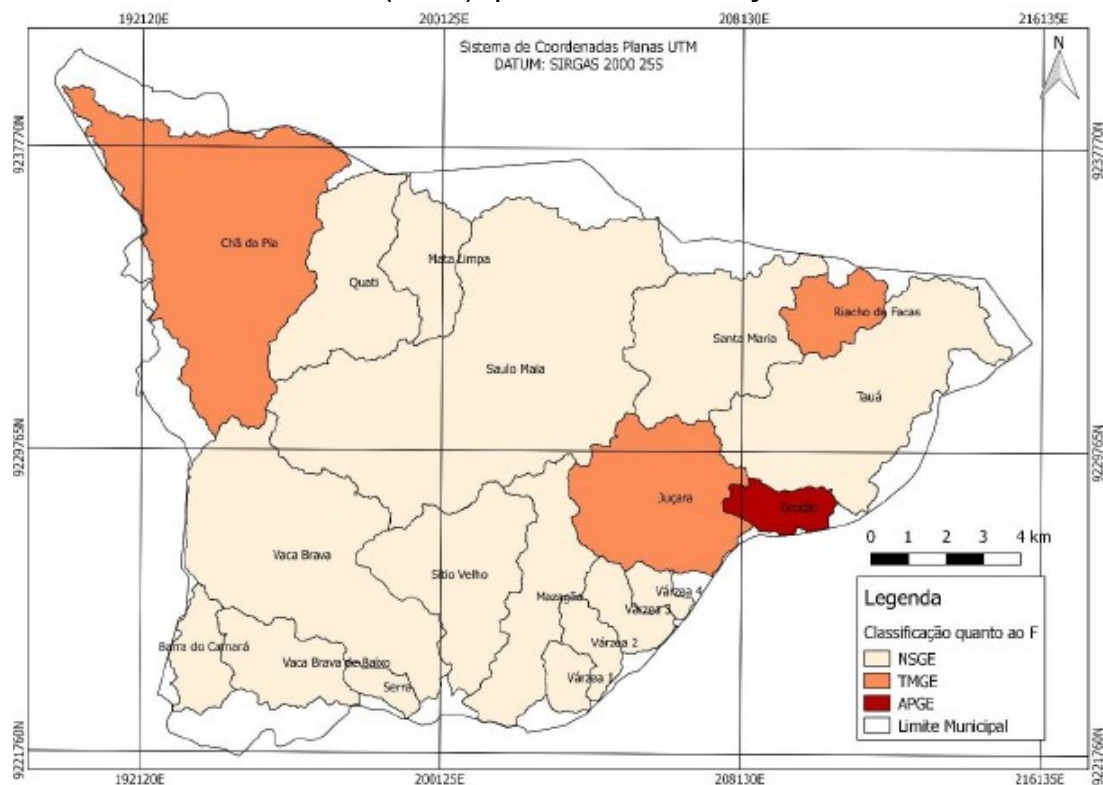
TMGE²: tendência mediana a grandes enchentes;

APGE³: alta propensão a grandes enchentes.

O Índice de Circularidade (IC) das microbacias geradas no presente trabalho variou de 0,25 para Mazagão e 0,62 para Várzea 1-2, obtendo-se uma média geral de 0,46, enquanto que Andrade e Machado (2018) obteve resultados variando de 0,28 para Mazagão e 0,71 para Várzea 1, resultando em uma média geral de 0,48. Estas diferenças estão diretamente relacionadas aos diferentes valores das variáveis de área e perímetro que compõem o cálculo do IC. Resultado semelhante foi encontrado por Peruzzo (2023, p.31), para as microbacias de Remígio-PB, no qual obteve uma média de 0,44, valor o qual no seu entendimento, indica que as microbacias possuem baixa propensão à ocorrência de enchentes.

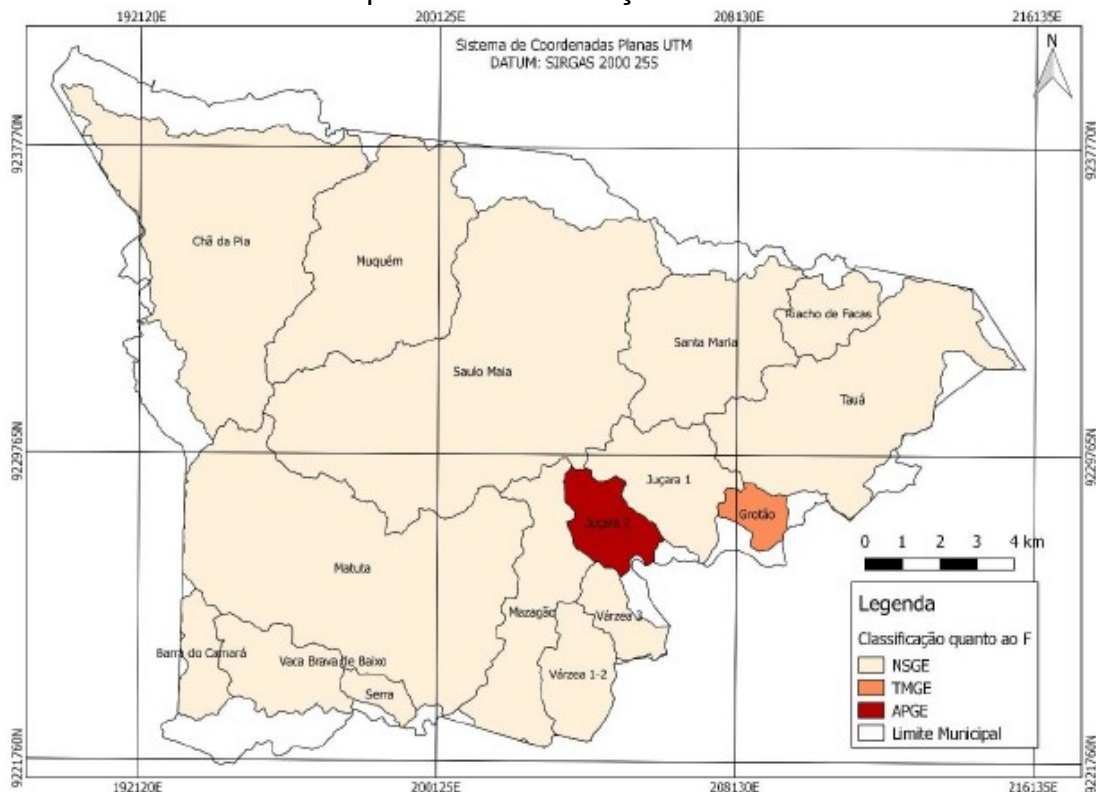
De acordo com Borsato (2005, p. 29-30), quanto mais próximo for de 1,0 o valor de IC, mais próxima da forma circular estará a bacia. Peruzzo (2023, p.31), cita que segundo Bier (2013), em uma microbacia de forma circular, na ocorrência de chuvas com altas concentrações, ao atingir seu tempo de concentração da bacia, praticamente toda sua superfície estará coberta por água atuando no ponto do seu exutório, diferentemente das bacias de forma alongada, que é o caso das microbacias delimitadas no município de Areia, tanto no presente trabalho quanto no de Andrade e Machado (2018), com exceção da microbacia várzea 1 delimitada pelos citados autores que apresenta o valor de IC de 0,71 se aproximando de uma forma circular. Desse modo, é compreensível que, tanto no presente trabalho, quanto no de Andrade e Machado (2018), os valores de IC de cada microbacia ratificam, respectivamente, o parâmetro referente ao F, o que, de acordo com os resultados de ambos os trabalhos, apresentados nas tabelas 1 e 2, para fins de comparação, configuram os cenários das microbacias ilustrados nas figuras 4 e 5 quanto a classificação de F.

Figura 4 - Configuração do cenário das microbacias delimitadas por Andrade e Machado (2018) quanto a classificação de F.



Fonte: Andrade e Machado (2018); adaptada pelo Autor (2023).

Figura 5 - Configuração do cenário das microbacias delimitadas no presente trabalho quanto a classificação de F.



Fonte: Autor (2023).

3.3 Rede de Drenagem

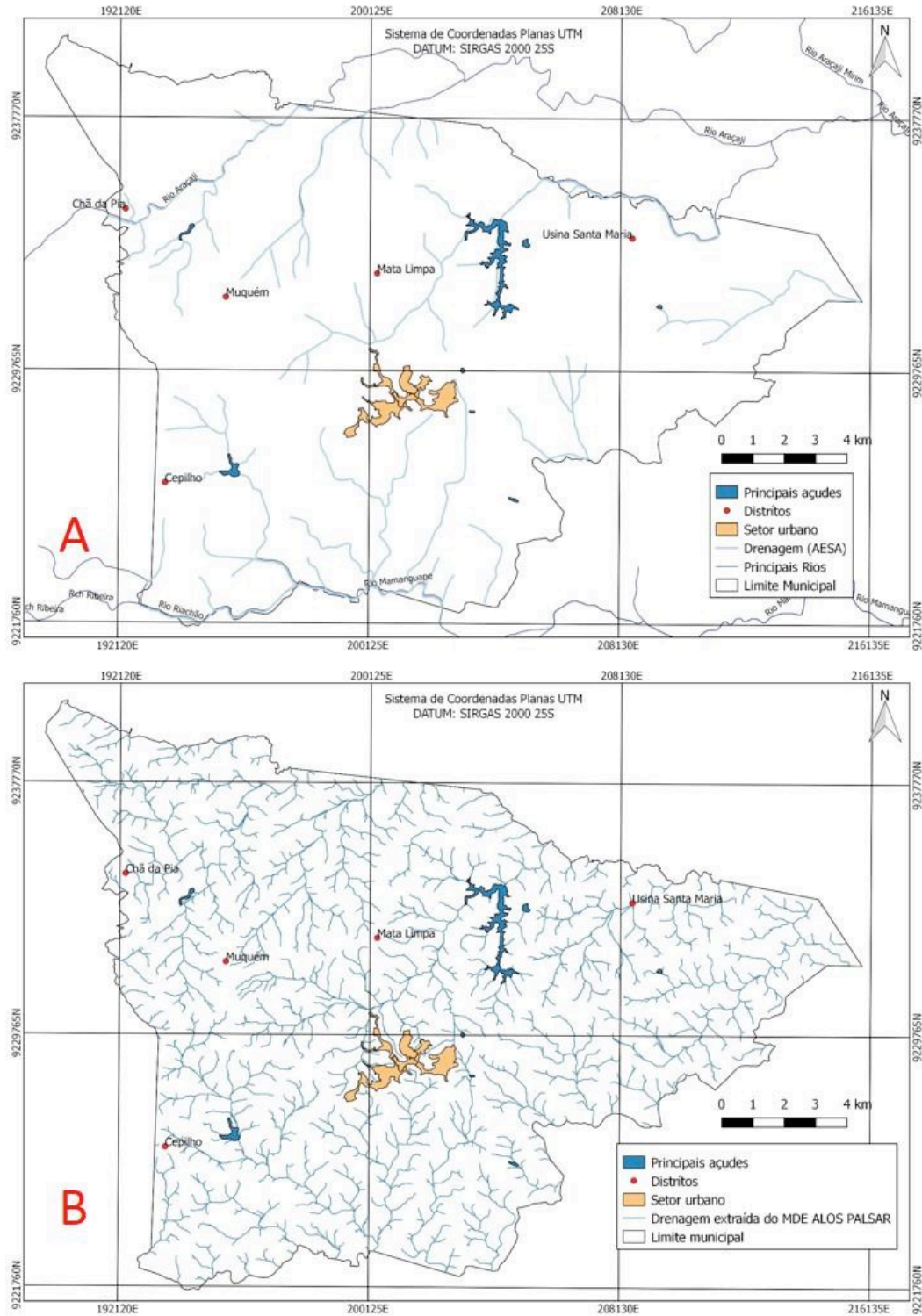
Da rede de drenagem extraída do MDE da imagem ALOS PALSAR e da DPA de 2022, obteve-se, do somatório do comprimento total dos canais (Lt) de todas as microbacias geradas, o valor de 789 km. Do comprimento total dos canais (apenas os inseridos no município de Areia) da rede hidrográfica disponibilizada pela AESA, obteve-se o valor de 156,59 km. A figura 6 ilustra a comparação entre a rede de drenagem extraída do MDE da imagem ALOS PALSAR e a rede hidrográfica disponibilizada pela AESA, na qual fica constatado que o maior detalhamento do MDE ALOS PALSAR possibilita a extração de uma maior rede de drenagem, e consequentemente, a produção de características morfológicas mais precisas.

Andrade e Machado (2018), obtiveram o valor de 545,73 km referente ao comprimento total dos canais de todas as microbacias. A diferença entre o somatório do Lt aqui obtido, e o obtido por Andrade e Machado (2018), é de 243,27 km, o que representa, para nível de comparação, praticamente a soma dos Lts das microbacias Chã da Pia e Matuta, geradas no presente trabalho. Ou seja, na extração da rede de drenagem, o MDE ALOS PALSAR por apresentar uma maior quantidade e maior detalhamento de feições de altitudes do terreno, proporcionou um aumento da rede de drenagem em relação a extraída do MDE SRTM, corroborando com as conclusões de Macêdo e Surya (2018).

Vale destacar, que, individualmente, a grande maioria das microbacias delimitadas no presente trabalho apresentaram o comprimento total dos canais (Lt), ou seja, sua rede de drenagem, maior que o Lt das delimitadas por Andrade e Machado (2018), onde juntamente com seus respectivos valores da variável área (A), influenciaram diretamente em suas densidade de drenagem (Dd), e consequente classificação, como pode ser visto nas tabelas 3 e 4, e figuras 7 e 8. Bem como,

influenciou, indiretamente, nos resultados das variáveis de índice de rugosidade (I_r), coeficiente de manutenção (C_m) e coeficiente de torrencialidade (C_t).

Figura 6 - Comparação entre a rede de drenagem disponibilizada pela AESA (A) e a rede de drenagem extraída do MDE da imagem ALOS PALSAR (B).



Fonte: Autor (2023).

Tabela 3 - Valores das variáveis morfométricas (rede de drenagem) das microbacias do município de Areia-PB, delimitadas através do MDE ALOS PALSAR.

Características morfométricas (rede de drenagem)												
Microbacias	Autor (2023)											
	Lt = Comprimento total dos canais (km)	N = Total de canais de 1ª ordem	L' = Comprimento do canal principal (km)	Dd = Densidade de drenagem (km/km ²)	Classe de Dd	Dh = Densidade hidrográfica (canais/km ²)	Classe de Dh	Is = Índice de Sinuosidade (%)	Classe de Is	Ev = Equivalente vetorial em linha reta (km)	Cm = Coeficiente de manutenção (m)	Ct = Coeficiente de torrencialidade
Barra do Camará	11,00	24,00	3,77	3,34	Muito boa	7,21	Alta	11,67	Muito reto	3,33	299,40	9,01
Chã da Pia	113,00	239,00	14,66	3,39	Muito boa	7,17	Alta	29,20	Reto	10,38	294,99	9,39
Grotão	7,00	14,00	2,23	3,15	Muito boa	6,73	Média	8,07	Muito reto	2,05	317,46	9,60
Juçara 1	29,00	64,00	5,80	3,37	Muito boa	7,39	Alta	19,83	Muito reto	4,65	296,74	9,58
Juçara 2	15,00	31,00	2,37	3,32	Muito boa	7,00	Alta	10,13	Muito reto	2,13	301,20	9,48
Mazagão	36,00	85,00	10,54	3,27	Muito boa	7,69	Alta	20,30	Reto	8,4	305,81	9,94
Muquém	72,00	145,00	9,63	3,31	Muito boa	6,64	Média	15,58	Muito reto	8,13	302,11	8,74
Riacho de Facas	15,00	37,00	4,29	3,42	Muito boa	8,55	Alta	16,78	Muito reto	3,57	292,40	10,85
Microbacias	Lt = Comprimento total dos canais (km)	N = Total de canais de 1ª ordem	L' = Comprimento do canal principal (km)	Dd = Densidade de drenagem (km/km ²)	Classe de Dd	Dh = Densidade hidrográfica (canais/km ²)	Classe de Dh	Is = Índice de Sinuosidade (%)	Classe de Is	Ev = Equivalente vetorial em linha reta (km)	Cm = Coeficiente de manutenção (m)	Ct = Coeficiente de torrencialidade
Santa Maria	50,00	108,00	7,02	3,40	Muito boa	7,31	Alta	11,25	Muito reto	6,23	294,12	9,20
Saulo Maia	170,00	356,00	14,33	3,37	Muito boa	7,04	Alta	13,54	Muito reto	12,39	296,74	9,18
Serra	6,00	11,00	2,44	3,52	Excepcional	6,92	Média	11,48	Muito reto	2,16	284,09	9,43
Tauá	80,00	168,00	12,32	3,42	Muito boa	7,21	Alta	19,89	Muito reto	9,87	292,40	9,19
Matuta	136,00	296,00	13,12	3,36	Excepcional	7,32	Alta	18,06	Muito reto	10,75	297,62	9,55
Vaca Brava de Baixo	21,00	44,00	5,31	3,23	Muito boa	6,83	Média	17,14	Muito reto	4,40	309,60	8,85
Várzea 1-2	18,00	43,00	4,66	3,29	Muito boa	7,86	Alta	19,74	Muito reto	3,74	303,95	10,06
Várzea 3	10,00	22,00	3,47	3,39	Muito boa	7,17	Alta	12,39	Muito reto	3,04	294,99	8,47

Fonte: Autor (2023).

Tabela 4 - Valores das variáveis morfométricas (rede de drenagem) das microbacias do município de Areia-PB, delimitadas através do MDE SRTM.

Características morfométricas (rede de drenagem)												
Andrade e Machado (2018)												
Microbacias	Lt = Comprimento total dos canais (km)	N = Total de canais de 1ª ordem	L' = Comprimento do canal principal (km)	Dd = Densidade de drenagem (km/km ²)	Classe de Dd	Dh = Densidade hidrográfica (canais/km ²)	Classe de Dh	Is = Índice de Sinuosidade (%)	Classe de Is	Ev = Equivalente vetorial em linha reta (km)	Cm = Coeficiente de manutenção (m)	Ct = Coeficiente de torrencialidade
Barra do Camará	8,38	12,00	3,78	2,12	Boa	3,04	Média	17,8	Muito reto	3,11	471,41	6,44
Chã da Pia	69,57	91,00	10,81	2,19	Boa	2,86	Baixa	31,5	Divagante	7,4	456,63	6,27
Grotão	6,28	10,00	2,18	2,10	Boa	3,34	Média	26	Reto	1,61	476,23	7,02
Juçara	32,84	38,00	5,54	2,19	Boa	2,53	Baixa	18,7	Muito reto	4,5	457,03	5,54
Mata Limpa	12,71	15,00	4,79	2,13	Boa	2,51	Baixa	13,2	Muito reto	4,16	470,44	5,33
Mazagão	22,58	27,00	8,91	2,23	Boa	2,66	Baixa	20,7	Reto	7,07	449,09	5,93
Quati	27,16	34,00	7,49	2,10	Boa	2,62	Baixa	19,2	Muito reto	6,05	477,15	5,5
Riacho de Facas	9,30	12,00	3,89	2,14	Boa	2,76	Baixa	44,1	Sinuoso	2,18	466,74	5,92
Santa Maria	30,73	50,00	7,45	2,05	Boa	3,34	Média	15,9	Muito reto	6,27	487,75	6,84
Microbacias	Lt = Comprimento total dos canais (km)	N = Total de canais de 1ª ordem	L' = Comprimento do canal principal (km)	Dd = Densidade de drenagem (km/km ²)	Classe de Dd	Dh = Densidade hidrográfica (canais/km ²)	Classe de Dh	Is = Índice de Sinuosidade (%)	Classe de Is	Ev = Equivalente vetorial em linha reta (km)	Cm = Coeficiente de manutenção (m)	Ct = Coeficiente de torrencialidade
Saulo Maia	111,93	150,00	14,21	2,21	Boa	2,97	Baixa	23,1	Reto	10,93	451,99	6,56
Serra	3,33	4,00	2,11	2,16	Boa	2,60	Baixa	18	Muito reto	1,73	462,39	5,62
Sítio Velho	30,35	38,00	6,89	2,24	Boa	2,80	Baixa	19,1	Muito reto	5,57	447,07	6,26
Tauá	48,30	60,00	11,73	2,09	Boa	2,59	Baixa	33,1	Divagante	7,85	478,86	5,42
Vaca Brava	56,96	77,00	12,70	2,13	Boa	2,88	Baixa	31,1	Divagante	8,75	468,93	6,15
Vaca Brava de Baixo	12,94	18,00	5,19	2,00	Boa	2,78	Baixa	19,3	Muito reto	4,19	499,81	5,57
Várzea 1	3,96	6,00	2,04	2,03	Boa	3,08	Média	16,5	Muito reto	1,7	492,45	6,25
Várzea 2	5,11	8,00	3,48	2,04	Boa	3,19	Média	25,9	Reto	2,58	490,97	6,49
Várzea 3	6,52	11,00	3,26	2,07	Boa	3,49	Média	25,2	Reto	2,44	482,97	7,23
Várzea 4	3,27	3,00	1,85	2,10	Boa	1,92	Baixa	11,4	Muito reto	1,64	477,26	4,03

Fonte: Andrade e Machado (2018), adaptada pelo Autor (2023).

De acordo com a classificação da densidade de drenagem proposta por Villela e Mattos (1975), as microbacias aqui delimitadas variaram entre muito boa e excepcional, sendo a maioria muito boa, como pode ser consultada na tabela 3 e figura 8, enquanto que no trabalho de Andrade e Machado (2018) as por eles delimitadas se apresentam na classe de boa (tabela 4 e figura 7). Freire et al., (2020), encontrou o valor de 1,77 km/ km² para densidade de drenagem, estando a bacia hidrográfica por eles delimitada classificada como boa, contribuindo para que a bacia não sofra riscos de enchentes. Desse modo, é o mesmo entendimento para as microbacias aqui delimitadas e rede de drenagem extraída, uma vez que aqui se obteve valores superiores aos de Freire et al. (2020).

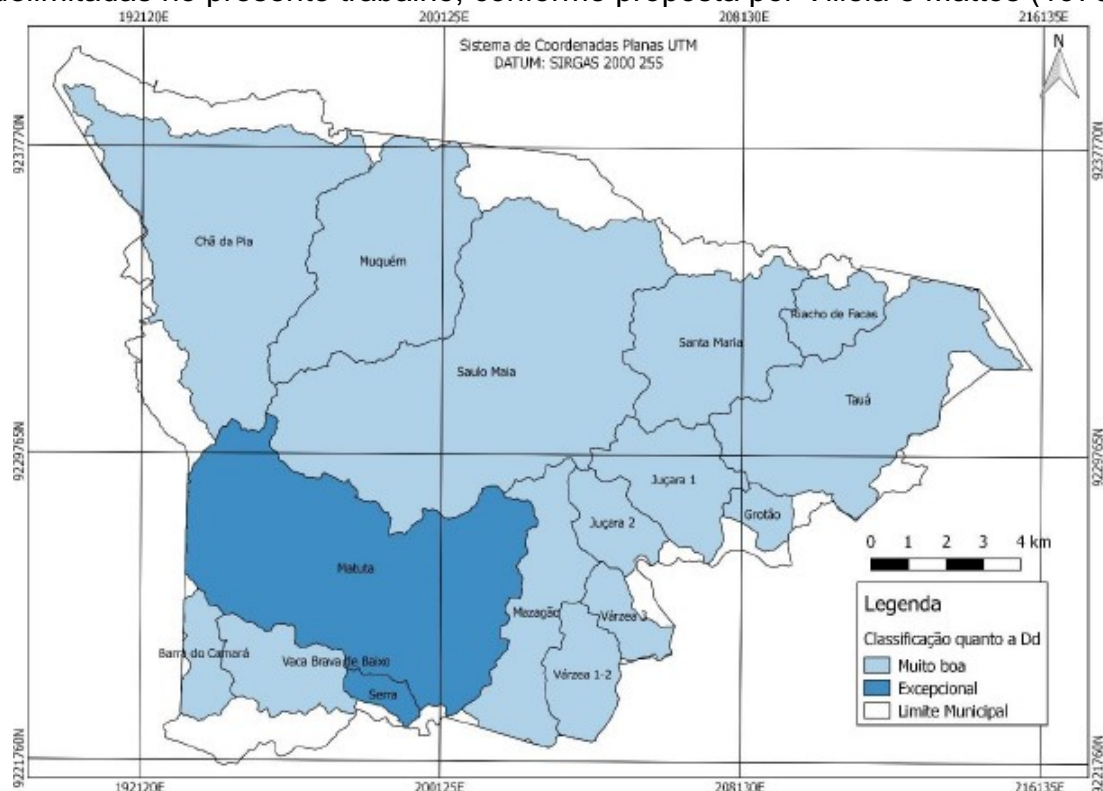
Outra variável que aqui aumentou como consequência da maior quantidade e maior detalhamento de feições de altitudes do terreno, apresentando uma maior rede de drenagem, foi o “número de canais de primeira ordem” (N), ocorrendo, na microbacia Saulo Maia aqui delimitada, um aumento de 206 N em relação ao resultado alcançado por Andrade e Machado (2018). O número de canais de primeira ordem encontrado no presente trabalho foi de 1.687 canais, enquanto que segundo Andrade e Machado (2018), em sua pesquisa foram extraídos 751 canais de primeira ordem.

Figura 7 - Classificação da densidade de drenagem (Dd) das microbacias delimitadas por Andrade e Machado (2018), conforme proposta por Villela e Mattos (1975).



Fonte: Andrade e Machado (2018), adaptada pelo Autor (2023).

Figura 8 - Classificação da densidade de drenagem (Dd) das microbacias delimitadas no presente trabalho, conforme proposta por Villela e Mattos (1975).



Fonte: Autor (2023).

Conforme sugestão de Christofolletti (1969), a variável N compõe a equação da densidade hidrográfica (Dh), a qual no presente trabalho apresentou valores superiores aos obtidos por Andrade e Machado (2018), chegando a apresentar valor 3 (três) vezes maior que os obtidos pelos citados autores, como é o caso da microbacia Riacho de Facas (tabelas 3 e 4). De acordo com a classificação de Lollo (1995) as microbacias do presente trabalho variaram entre média e alta (tabela 3 e figura 10), enquanto que as delimitadas por Andrade e Machado (2018), variaram entre baixa e média (tabela 4 e figura 9). A única microbacia que se manteve na mesma classe (média) de Dh em ambos os trabalhos foi a microbacia Grotão.

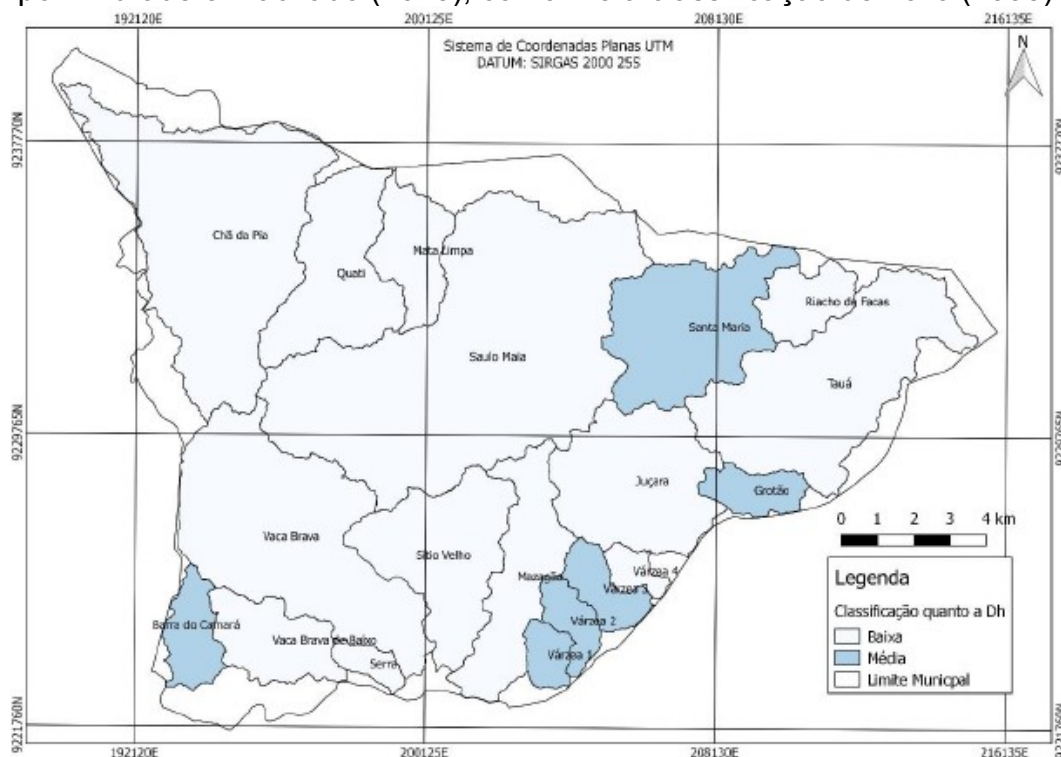
De acordo com Pereira et al. (2015), “os processos erosivos tendem a ser mais severos na região mais alta da bacia hidrográfica, que é formada basicamente pelos rios de primeira ordem”. Desse modo, a extração da rede de drenagem através do MDE ALOS PALSAR traz informações mais precisas, tornando-se necessário que seja realizados diagnósticos socioambientais nas microbacias delimitadas, para que se promova o planejamento e gestão ambiental das mesmas, a fim de minimizar os processos erosivos, principalmente na maior microbacia, Saulo Maia, a qual apresentou o maior N e onde se localiza o Açude Saulo Maia, responsável pelo abastecimento da cidade de Areia e cidades circunvizinhas, reduzindo o processo de assoreamento do mesmo.

Com relação ao índice de sinuosidade (Is), todos aqui obtidos decorrentes da imagem ALOS PALSAR, tiveram seus valores reduzidos em comparação aos alcançados por Andrade e Machado (2018) com a imagem SRTM, chegando, em alguns casos haver uma redução de 3 vezes menor, como é o caso da microbacia Grotão (tabelas 3 e 4). Conforme a classificação de Christofolletti (1980), as microbacias aqui delimitadas variam entre a classe de muito reto e reto (tabela 3 e

figura 12), já as delimitadas por Andrade e Machado (2018), variam entre muito reto e sinuoso (tabela 4 e figura 11). Apesar disso, em ambos os trabalhos, algumas microbacias se mantiveram na mesma classe de Is. No entanto, divergiram entre os trabalhos quanto a classe de Is, as microbacias Chã da Pia, Grotão, Riacho de Facas, Santa Maria, Tauá e Várzea 3.

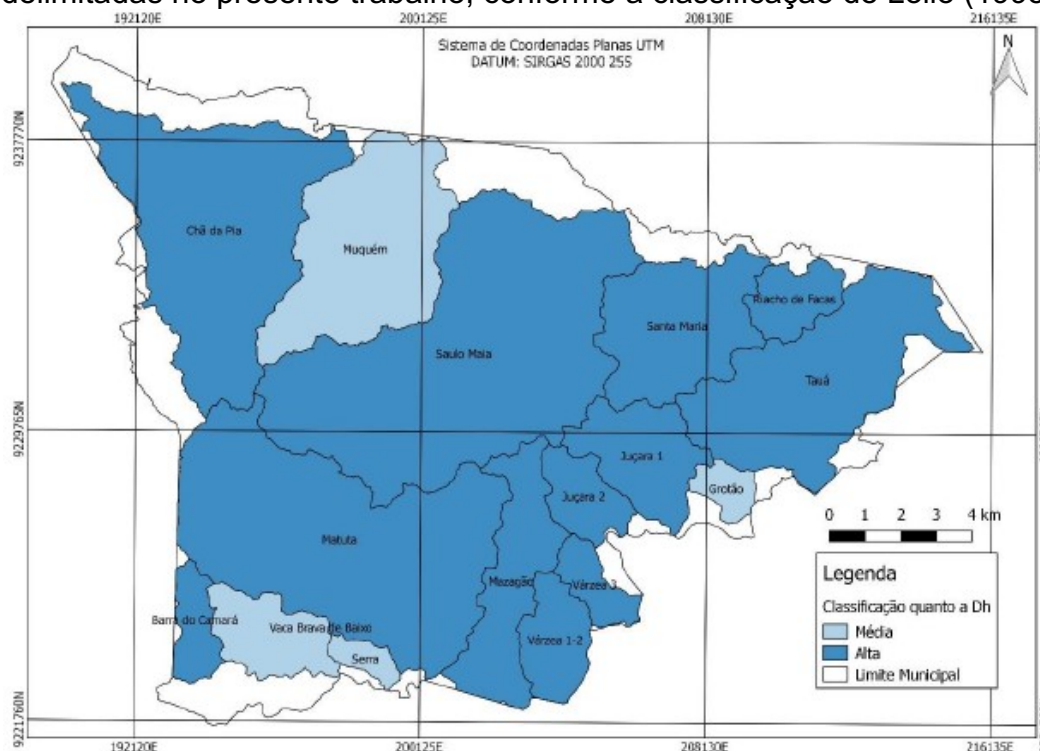
Segundo Borsato (2005, p. 41) a sinuosidade do curso d'água é um fator controlador da velocidade do fluxo d'água, pois quanto maior a sinuosidade, maior a dificuldade encontrada pela água de percorrer o caminho do canal até o seu exutório, portanto menor a velocidade, e no caso de canais poluídos, quanto menor a velocidade, mais demorado será o tempo em que os poluentes atingiram toda a sua extensão à jusante do lançamento, e maior a possibilidade de parte do poluente se depositar ao longo das margens. Desse modo, entende-se que do contrário, ou seja, quanto menor a sinuosidade, como é o caso das microbacias aqui delimitadas que variam de muito reto a reto, maior será a velocidade da água até alcançar o exutório ou algum barramento, como é o caso do Açude Saulo Maia, o qual, dada sua importância, ressalta-se mais uma vez a relevância da aplicação de diagnóstico socioambiental na microbacia no qual o açude está inserido, principalmente porque muitos dos seus canais de primeira ordem, como pode ser observado na figura 6B, estão no entorno ou dentro do perímetro urbano onde há, possivelmente, deposição de resíduos e esgotamento sanitário, além da inexistência de vegetação protetora de suas nascentes e margens.

Figura 9 - Classificação da densidade hidrográfica (Dh) das microbacias delimitadas por Andrade e Machado (2018), conforme a classificação de Lollo (1995).



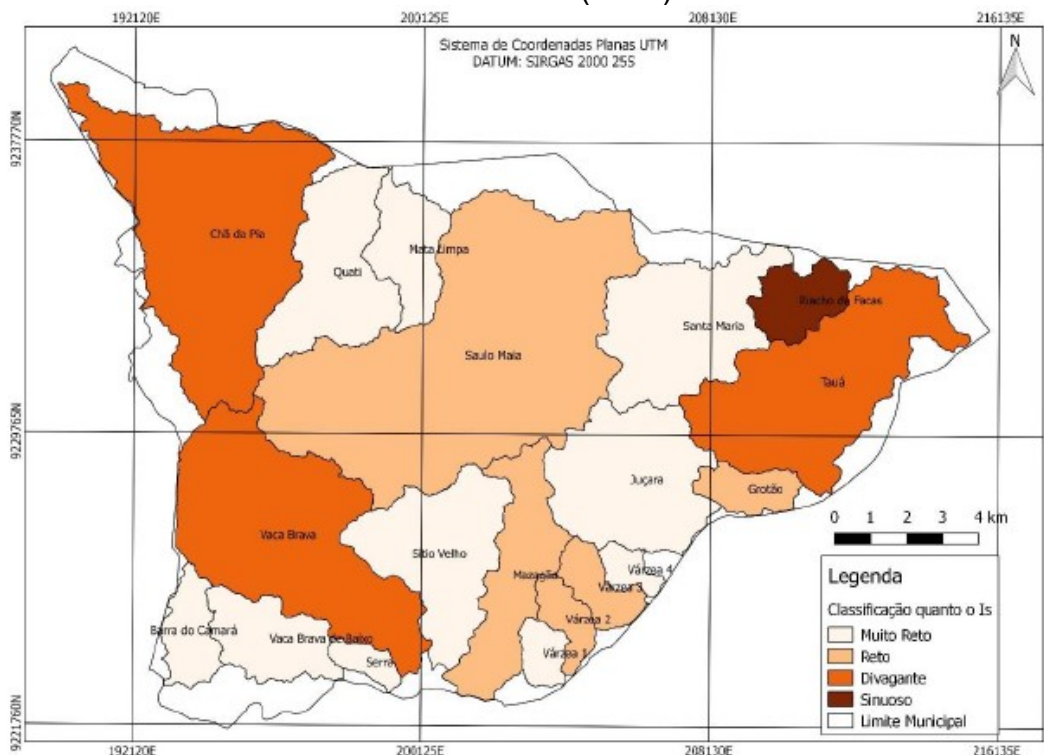
Fonte: Andrade e Machado (2018), adaptada pelo Autor (2023).

Figura 10 - Classificação da densidade hidrográfica (Dh) das microbacias delimitadas no presente trabalho, conforme a classificação de Lollo (1995).



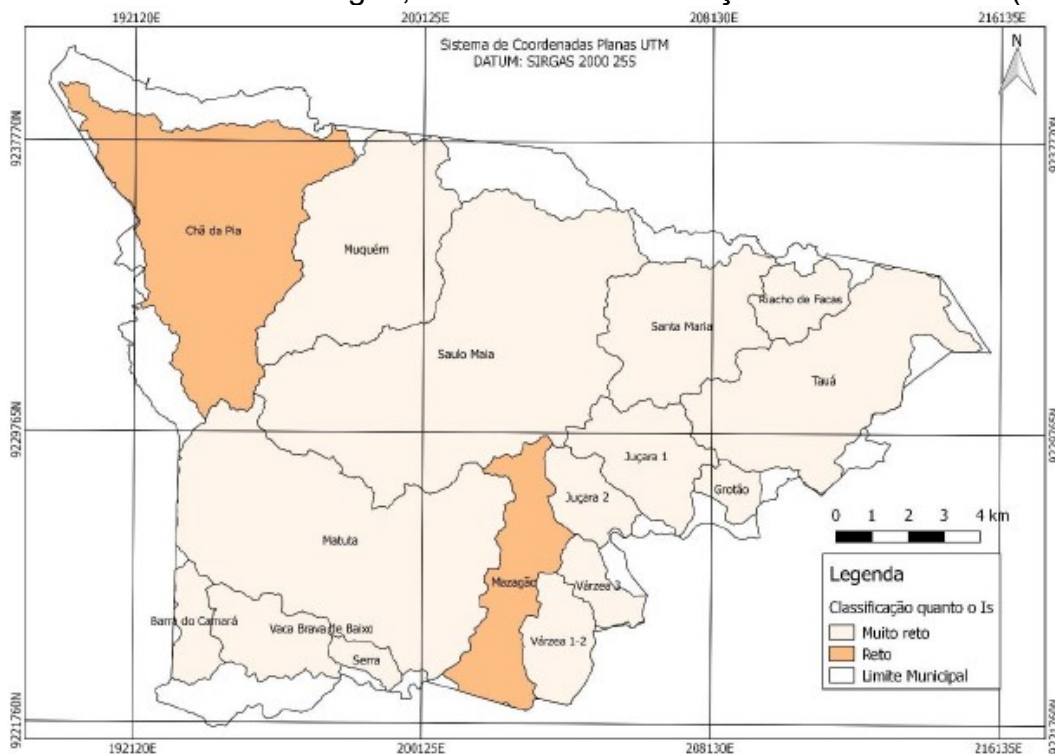
Fonte: Autor (2023).

Figura 11 - Classificação das microbacias delimitadas por Andrade e Machado (2018) quanto a sinuosidade dos cursos d'água, conforme a classificação de Christofoletti (1980).



Fonte: Andrade e Machado (2018), adaptada pelo Autor (2023).

Figura 12 - Classificação das microbacias delimitadas no presente trabalho quanto a sinuosidade dos cursos d'água, conforme a classificação de Christofoletti (1980).



Fonte: Autor (2023).

Como o MDE ALOS PALSAR apresenta um maior detalhamento em relação ao MDE SRTM, proporcionou uma maior densidade de drenagem (D_d), que consequentemente influenciou na variável coeficiente de manutenção (C_m). A D_d , compõe o cálculo do C_m , e quanto maior for a D_d , menor será o C_m . Desse modo, como a D_d das microbacias aqui delimitadas é maior do que as delimitadas por Andrade e Machado (2018), as microbacias do presente trabalho apresentam valores de C_m inferiores aos valores das microbacias delimitadas pelos citados autores, como pode ser consultado nas tabelas 3 e 4. De acordo com Santos et al. (2012) o C_m “permite representar qual seria a área necessária para a manutenção de um metro de curso fluvial perene”. Portanto a microbacia Serra é a que necessita de uma menor área de manutenção, com valor de 284,09, enquanto que a microbacia Grotão é a que necessita de uma maior área, com valor de 317,46.

Já o coeficiente de torrencialidade (C_t), é o resultado da multiplicação da densidade de drenagem (D_d) pela densidade hidrográfica (D_h). Como pode ser observado na tabela 3, no presente trabalho obteve-se valores de C_t superiores aos obtidos na pesquisa de Andrade e Machado (2018) (tabela 4). Essa diferença se dá em razão do maior detalhamento do MDE ALOS PALSAR, que proporcionou uma maior D_d e, principalmente, uma maior D_h , quando comparado aos respectivos dados obtidos pelos citados autores.

3.4 Relevô

Como consequência dos valores da amplitude altimétrica máxima (H_m) e, principalmente, do Comprimento do canal principal (L'), decorrentes do MDE ALOS PALSAR, a variável de relação de relevo da bacia (R_r) apresentou, para todas microbacias, valores inferiores aos obtidos através do MDE SRTM (tabelas 5 e 6). Santos et al. (2012) obtiveram índice de 37,5 m/km para a sub-bacia do Perdiz, e 44,6

m/km para a sub-bacia do Fojo inseridas no município de Campos do Jordão-SP, na região Serrana do Vale do Paraíba, afirmando que esses resultados reforçam que essas duas bacias apresentam escoamento rápido. Considerando que os resultados encontrados pelos autores são inferiores aos obtidos no presente trabalho que variou entre 50,93 m/km para microbacia Chã da Pia e 169,08 m/km para Várzea 1-2, entende-se que as microbacias aqui delimitadas também apresentam escoamento rápido.

Já o índice de rugosidade (Ir), como consequência dos valores de Hm e, principalmente, da Dd que compõe seu cálculo, no presente trabalho, apresentou valores superiores aos encontrados por Andrade e Machado (2018) (tabelas 5 e 6). “Os valores extremamente altos do índice de rugosidade ocorrem quando ambos os valores são elevados, isto é, quando as vertentes são íngremes e longas” (Strahler, 1958, apud RAFAELI NETO, 1991, p. 47).

Freire et al., (2020) encontrou em seu estudo o valor de 962,64 para o Ir da sub-bacia hidrográfica do Açude São Gonçalo, localizado na mesorregião do Sertão Paraibano. Valor este que segundo os autores, representa alto risco de degradação ambiental. Resultados semelhantes e superiores foram encontrados no presente trabalho para as microbacias Vaca Brava de Baixo, Mazagão, Tauá, Matuta e Várzea 1-2 (tabela 5), as quais apresentam alto risco de degradação ambiental.

Tabela 5 - Valores das variáveis morfométricas (relevo) das microbacias do município de Areia-PB, delimitadas através do MDE ALOS PALSAR.

Características morfométricas (relevo)					
Autor (2023)					
Microbacias	P1 = Ponto mais alto da bacia (m)	P2 = Ponto mais baixo da bacia (m)	Hm = Amplitude altimétrica máxima (m)	Rr = Relação de relevo da bacia (m/km)	Ir = Índice de rugosidade
Barra do Camará	600,00	455,00	145,00	74,68	511,37
Chã da Pia	630,00	435,00	195,00	50,93	688,07
Grotão	495,00	250,00	245,00	164,06	781,43
Juçara 1	600,00	355,00	245,00	101,73	845,71
Juçara 2	600,00	415,00	185,00	120,17	634,09
Mazagão	610,00	240,00	370,00	113,97	1212,67
Muquém	620,00	390,00	230,00	74,12	774,01
Riacho de Facas	510,00	320,00	190,00	91,73	666,85
Santa Maria	550,00	345,00	205,00	77,37	717,24
Saulo Maia	630,00	380,00	250,00	66,04	868,53
Serra	510,00	310,00	200,00	128,04	732,78
Tauá	540,00	140,00	400,00	113,96	1396,08
Matuta	630,00	315,00	315,00	86,96	1119,91
Vaca Brava de Baixo	595,00	320,00	275,00	119,34	902,54
Várzea 1-2	525,00	160,00	365,00	169,08	1217,27
Várzea 3	525,00	345,00	180,00	96,63	627,45

Fonte: Autor (2023).

Tabela 6 - Valores das variáveis morfométricas (relevo) das microbacias do município de Areia-PB, delimitadas através do MDE SRTM.

Características morfométricas (relevo)					
Andrade e Machado (2018)					
Microbacias	P1 = Ponto mais alto da bacia (m)	P2 = Ponto mais baixo da bacia (m)	Hm = Amplitude altimétrica máxima (m)	Rr = Relação de relevo da bacia (m/km)	Ir = Índice de rugosidade
Barra do Camará	606	450	156	80,49	330,92
Chã da Pia	638	436	202	73,7	442,37
Grotão	498	253	245	190,67	514,46
Juçara	605	344	261	119,63	571,08
Mata Limpa	618	402	216	101,93	459,14
Mazagão	612	253	359	132,56	799,4
Quati	625	403	222	85,56	465,26
Riacho de Facas	514	319	195	121,73	417,79
Santa Maria	558	341	217	84,98	444,9
Saulo Maia	637	377	260	75,19	575,24
Serra	519	309	210	139,94	454,16
Sítio Velho	628	306	322	132,84	720,25
Tauá	549	153	396	139,56	826,97
Vaca Brava	635	306	329	106,52	701,59
Vaca Brava de Baixo	600	314	286	135,06	572,22
Várzea 1	486	226	260	182,3	527,97
Várzea 2	529	224	305	179,82	621,22
Várzea 3	533	325	208	127,44	430,67
Várzea 4	532,00	271,00	261,00	183,68	546,87

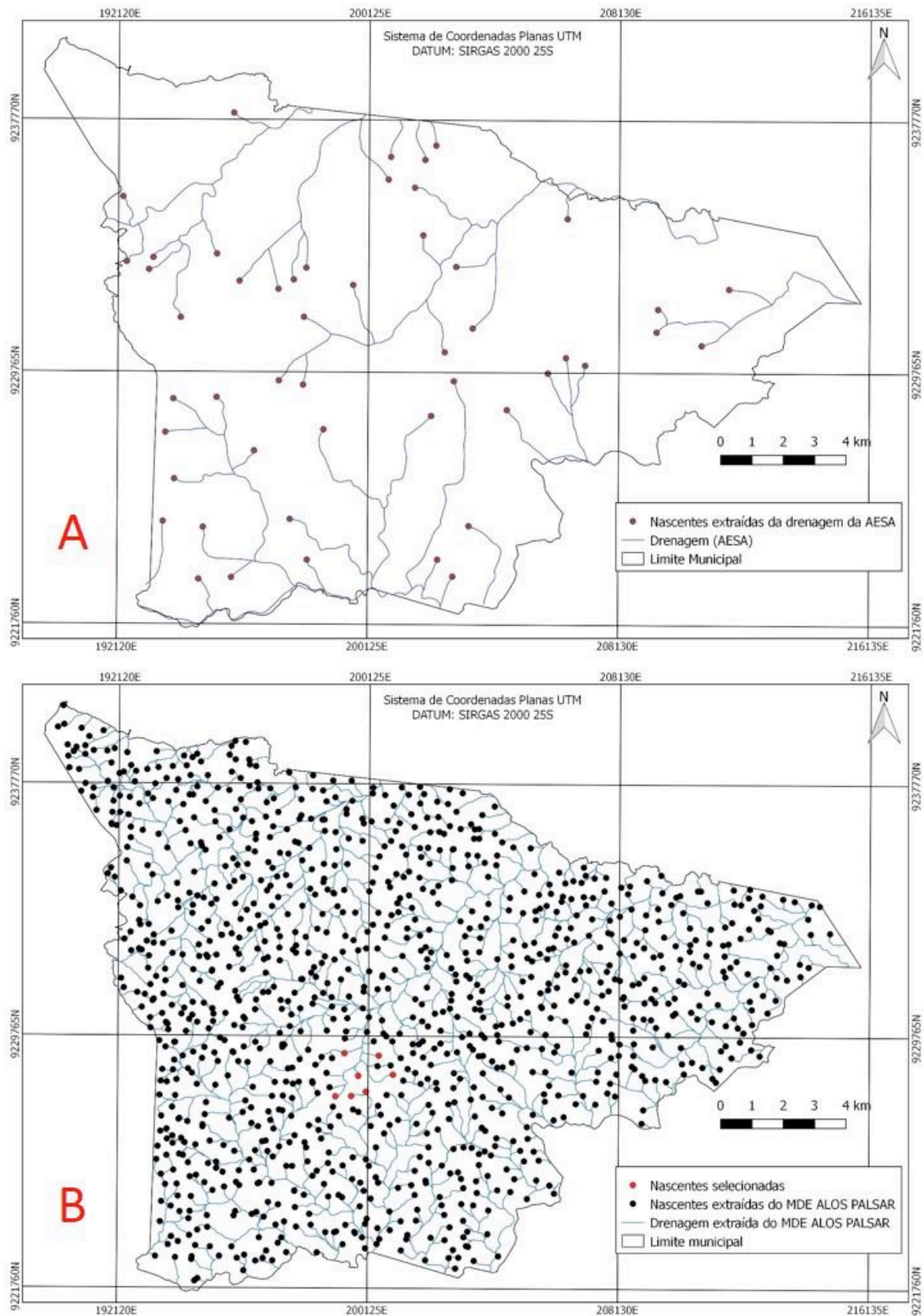
Fonte: Andrade e Machado (2018), adaptada pelo Autor (2023).

3.5 Validação das Nascentes

Uma diferença considerada foi observada na extração das nascentes através do MDE ALOS PALSAR e das nascentes que dão origem aos cursos d'água da rede de drenagem da AESA. O MDE ALOS PALSAR possibilitou a extração de 1.687 nascentes, das quais foram selecionadas 7 (sete) para validação em campo (figura 13B). Enquanto que o total das nascentes da rede de drenagem da AESA é de 50 nascentes (figura 13A). Assim, o detalhamento do MDE ALOS PALSAR permite a obtenção de número consideravelmente maior desse tipo de informação, possibilitando a validação das mesmas em campo, bem como os seus estados de conservação.

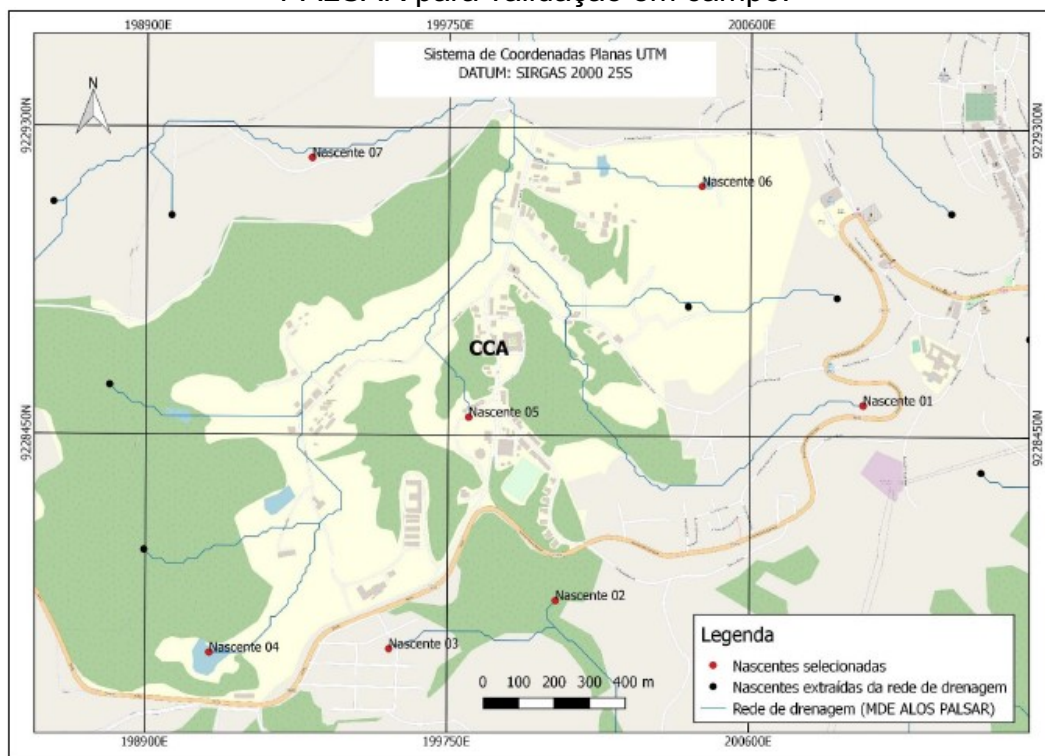
Das nascentes selecionadas e extraídas do MDE ALOS PALSAR (figura 14), apenas a Nascente 05 não foi encontrada/validada em campo. De acordo com Machado (2018, p.13), a destruição de nascentes, de cursos d'água e conseqüentemente a diminuição dos volumes e da qualidade da água é decorrente do desmatamento de encostas, das matas ciliares, do uso inadequado do solo e da má gestão dos recursos hídricos. Desse modo, entende-se que a nascente pode ter deixado de existir por algum, ou mais de um desses motivos, ou o MDE de 12,5 m de resolução não seja tão preciso para gerar com confiabilidade esse tipo de informação. As demais nascentes selecionadas, apesar do GPS não ter direcionado ao local exato das nascentes, foi possível localizá-las e comprovar sua existência em campo.

Figura 13 - Nascentes da rede de drenagem da AESA (A), e nascentes extraídas do MDE ALLOS PALSAR (B).



Fonte: Autor (2023)

Figura 14 - Localização das nascentes selecionadas e extraída do MDE ALOS PALSAR para validação em campo.



Fonte: Autor (2023).

A dificuldade na localização exata das nascentes pode estar associada a imprecisão do GPS, pois, de acordo com Silva Junior; Meurer; Carvalho (2010, p. 22-23), na medição de um ponto, com aparelhos GPS de Navegação Civil, a coordenada obtida poderá estar contida num círculo de 5 a 15 metros, inviabilizando diversas aplicações que requerem mais precisão. Além disso, o MDE ALOS PALSAR tem uma resolução de 12,5 m, o que também dificulta a localização exata de ponto.

As nascentes foram classificadas quanto ao seu estado de conservação conforme a classificação proposta por Pinto et al. (2004), com exceção da Nascente 05 que não foi constatada sua existência em campo. O quadro 2 apresenta a classificação das nascentes e suas respectivas coordenadas e microbacias.

Quadro 2 - Relação das nascentes selecionadas para validação em campo com suas respectivas coordenadas referenciadas ao Sistema de Coordenadas Planas UTM, DATUM: SIRGAS 2000, zona 25S, com exceção da Nascente 05 que não foi constatada sua existência em campo.

Denominações	Direção E	Direção N	Microbacia Hidrográfica	Classificação
Nascente 01	200917,893	9228536,759	Saulo Maia	Perturbada
Nascente 02	200054,846	9227994,273	Matuta	Preservada
Nascente 03	199586,335	9227858,651	Matuta	Degradada
Nascente 04	199080,836	9227846,322	Saulo Maia	Perturbada
Nascente 06	200461,711	9229140,892	Saulo Maia	Perturbada
Nascente 07	199364,409	9229214,868	Saulo Maia	Perturbada

Fonte: Autor (2023).

Abaixo estão apresentadas as figuras 15, 16, 17, 18, 19 e 20 com ilustrações das nascentes selecionadas e seus respectivos entornos.

Figura 15 - Ilustrações da Nascente 01 e de seu entorno.



Fonte: Autor (2023).

Figura 16 - Ilustração da Nascentes 02 e de seu entorno.



Fonte: Autor (2023).

Figura 17 - Ilustração da Nascente 03 e de seu entorno.



Fonte: Autor (2023).

Figura 18 - Ilustração da Nascentes 04 e de seu entorno (A) e ilustração da “Nascente 05” (B).



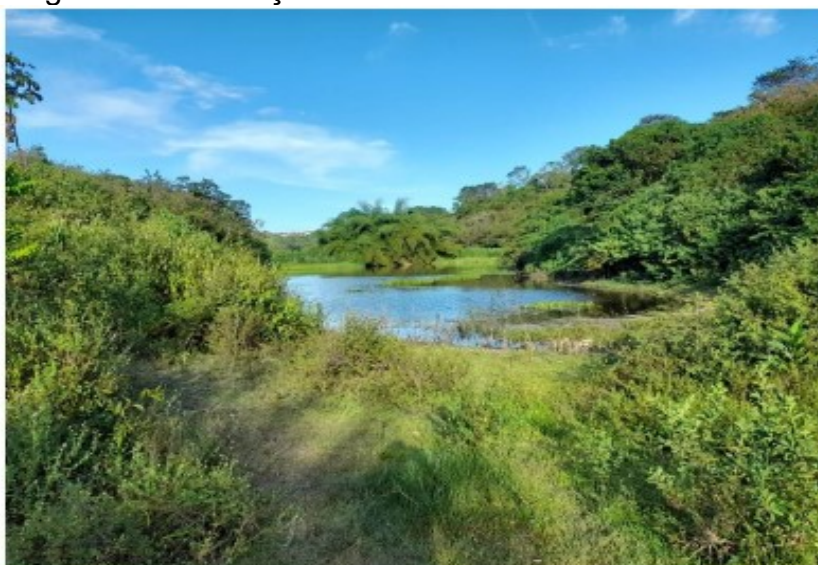
Fonte: Autor (2023).

Figura 19 - Ilustração da Nascentes 06 e de seu entorno.



Fonte: Autor (2023).

Figura 20 - Ilustração da Nascente 07 e de seu entorno.



Fonte: Autor (2023).

6. Conclusão

Do ponto de vista de delimitação e caracterização morfométrica, a última versão da Divisão Político Administrativa (DPA) de 2022 e o Modelo Digital de Elevação do ALOS PALSAR de 12,5 m de resolução mudou o cenário das microbacias hidrográficas inseridas no município de Areia em relação a DPA e MDE utilizado por Andrade e Machado (2018), o que justifica a necessidade da replicação desse tipo de pesquisa utilizando geotecnologias e base de dados mais atualizadas e precisas auxiliando no planejamento e manejo sustentável de bacias hidrográficas.

Tanto a DPA de 2022 e o MDE de 12,5 m de resolução, quanto a DPA e MDE de 30 m de resolução utilizados por Andrade e Machado (2018) apresentaram as microbacias variando, quanto à classificação do Fator de forma (F), entre NSGE e APGE. Porém o MDE de 12,5 m de resolução apresentou uma maior densidade de drenagem das microbacias delimitadas, o que configura que estas não sofram riscos de enchentes. Contudo, o MDE 12,5 m de resolução apresentou maior densidade hidrográfica, onde é contabilizado o número de canais de 1ª ordem por área, onde

nesses canais são mais severos os processos erosivos. Assim, o presente trabalho subsidia informações para que se promova o planejamento de minimização de processos erosivos, contribuindo para o manejo e conservação do solo e da água.

Apesar do baixo número de amostras selecionadas de nascentes para suas validações em campo, bem como da baixa precisão do GPS de navegação e da resolução de 12,5 m da imagem do MDE utilizado para extração das nascentes, ficou evidente que o MDE do ALOS PALSAR pode ser utilizado para identificação de nascentes, podendo subsidiar estudos mais aprofundados sobre a qualidade da água das mesmas e o estado de conservação das demais nascentes, o que fica como recomendação para futuras pesquisas, pois das nascentes selecionadas apenas a Nascente 02 encontra-se em bom estado de conservação.

O fator limitante de utilizar o MDE – Modelo Digital de Elevação ALOS PALSAR é na geração dos resultados, uma vez que demanda uma maior capacidade do computador para o processamento das informações.

Referências

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.

GeoPortal. 2023. Disponível em:

<http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/index.php>. Acesso em: 10 out. 2023.

ANDRADE, L. A.; MACHADO, C. C. C. **Diagnóstico geoambiental integrado do município de areia – paraíba, como subsídio para o planejamento e gestão ambiental:** Caracterização Hidrológica e Morfométrica das Microbacias dos Rios Mamanguape e Araçagi Inseridas no Município de Areia-PB, Areia, Paraíba, 2018.

ASF DAAC. Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center.

Disponível em: <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/alos-palsar-about/>. Acesso em: 26 set. 2023.

BIER, F. B. **Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, Florianópolis-SC.** 2013. 115f. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis-SC, 2013.

BORSATO, Fabiano Hugo. **Caracterização física das bacias de drenagem do município de Maringá e os postos de combustíveis como potenciais poluidores.** 2005. 257 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

CARVALHO, Carla Gisele dos Santos. **Uso de geotecnologias na avaliação macroscópica de impactos ambientais em nascentes do Rio de Ondas Barreiras-BA.** 2020. 57 f. Monografia (Especialização) - Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, Universidade do Estado da Bahia, Barreiras, 2020.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícias Geomorfológicas**, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial: o canal fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, p. 313, 1980.

EBERHARDT, Denise Antonia; ARAUJO, Ronaldo Kanopf de; SILVA, Neila Terezinha dos Santos; BURIOL, Galileo Adeli. Diagnóstico socioambiental da comunidade da Bacia Escola Hidrográfica Urbana, Santa Maria – RS. **Disciplinarum Scientia: Ciências Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-68, 2007.

FREIRE, Joelson Nunes; PEREIRA, Maria Cristina dos Santos; PERUZZO, Jeremias Sousa; SILVA, Luiz Daniel Rodrigues da; LEON, Maurício Javier de; SILVINO, Guttemberg da Silva. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do açude São Gonçalo, semiárido nordestino. In: SILVA, João Manoel da; SANTOS, Tania Marta Carvalho dos; CARTAXO, Paulo Henrique de Almeida; FREITAS, Ana Beatriz Torres Melo de; GONZAGA, Kennedy Santos; PEREIRA, Maria Cristina dos Santos; SANTOS, João Paulo de Oliveira. **Ciências agrárias: pesquisas e perspectivas no nordeste brasileiro**. Ananindeua: Itacaiúnas, 2020. p. 216.

GOMES, E. C. F. et al. A nova legislação ambiental brasileira e seus efeitos sobre a reestruturação de nascentes e remanescentes florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018.

GUIMARÃES, H. S.; PEREIRA, M. C. S.; GONDIM, S. C.; LEON, M. J.; SANTOS, E.G. Aplicação do SIG na Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Açude Cachoeira dos Alves, Semiárido Brasileiro. In: FRANCISCO, Paulo Roberto Megna; SÁ, Talita Freitas Filgueira de; BRAGA JÚNIOR, Joel Martins (org.). **Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação**. Campina Grande: Epgraf, 2018. v. 3. p. 88-98.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal 2022**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 08 set. 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Portal Cidades: Areia - Paraíba**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/areia/panorama>. Acesso em: 08 out. 2023.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. 1995. Tese (Doutorado em Geotécnica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

MACÊDO, Renê Jota Arruda de; SURYA, Leandro. Comparação entre modelos digitais de elevação dos sensores SRTM e ALOS PALSAR para análise digital de terreno. **Revista Contexto Geográfico**, [S.L.], v. 3, n. 6, p. 47-55, 6 fev. 2018. Universidade Federal de Alagoas. <http://dx.doi.org/10.28998/contegeo.v3i6.6968>. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/ojs2-somente-consulta/index.php/contextogeografico/article/view/6968>. Acesso em: 26 set. 2023.

MACHADO, Carolina Barroso. **Identificação e preservação das nascentes no estado do Ceará**. 2018. 39 f. Monografia (Especialização) - Curso de Gestão de

Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2018.

NUNES, F. G.; RIBEIRO, N. C.; FIORI, A. P. **Propriedades morfométricas e aspectos físicos da bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba-Paraná.** In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6., 2006, Goiânia. Artigos... Goiânia: UFG, 2006.

PEREIRA, B. D. F.; MACIEL, M.; OLIVEIRA, F.; FERREIRA, B.; RIBEIRO, E. Geotecnologias com apoio de índices morfométricos para a caracterização da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, Nordeste Paraense. **Enciclopédia Biosfera**, [s.l.], p.1351-1372, 3 dez. 2015.

PERUZZO, Jeremias Sousa. **Geotecnologias aplicadas ao planejamento e gestão de microbacias hidrográficas em âmbito municipal.** 2023. 60 p. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Departamento de Solos e Engenharia Rural, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2023.

PINTO, L. V. A. et al. **Estudo da vegetação como subsídio para propostas de recuperação das nascentes da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG.** Viçosa, 2005.

RAFAELI NETO, Silvio Luis. **Análises morfométricas em bacias hidrográficas integradas a um sistema de informações geográficas.** 1994. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches & PRETTE, Marcos Estevan D. Recursos Hídricos e as Bacias Hidrográficas: Âncoras do Planejamento Ambiental. In: **Revista do Departamento de Geografia.** São Paulo: N 12, 1998.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W.. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 195-211, 31 dez. 2012. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.945>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/tYpMVzyHC7Gw49N4FvHF7qb/?lang=pt>. Acesso em: 28 set. 2023.

SILVA JUNIOR, Carlos Antonio da; MEURER, Ismael; CARVALHO, Laércio Alves de. Análise da precisão de receptores GPS de navegação em planimetria territorial. **Agrarian**, [S.L.], v. 2, n. 5, p. 21-31, 18 fev. 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Antonio-Silva-Junior/publication/278963991_Analise_da_precisao_de_receptores_GPS_de_navegacao_em_planimetria_territorial/links/55881f7408ae65ae5a4e1bc9/Analise-da-precisao-de-receptores-GPS-de-navegacao-em-planimetria-territorial.pdf>. Acesso em: 24 out. 2023.

SILVA, G. C., ALMEIDA, F. P.; ALMEIDA, R. T. S.; MESQUITA, M.; JUNIOR, J. A. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do riacho Rangel-Piauí, Brasil.

Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.15 n.28; p. 244, 2018.

SIMON, A. L. H., & NOAL, R. E. (2004). **A Relevância do Diagnóstico Socioambiental nas ações de planejamento ambiental e gestão dos recursos naturais**: Uma discussão sobre sua aplicação na Microbacia Hidrográfica do Arroio Santa Bárbara-Município de Pelotas-RS. Anais do V Simpósio Nacional de Geomorfologia & I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia. Santa Maria.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913–920, 1957.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B.. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. **Revista Brasileira Multidisciplinar - Rebram**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 137-156, 7 jan. 2007. <http://dx.doi.org/10.25061/2527-2675/rebram/2007.v11i1.236>. Disponível em: <https://revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/236>. Acesso em: 28 set. 2023.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1975.