

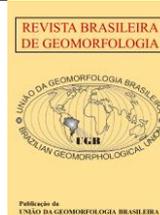


<https://rbgeomorfologia.org.br/>  
ISSN 2236-5664

# Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 25, nº 1 (2024)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v25i1.2444>



Artigo de Pesquisa

## Hidrogeomorfologia de Áreas Úmidas da Chapada do Araripe, Nordeste do Brasil

### *Hydrogeomorphology of wetlands in Chapada do Araripe, Northeast Brazil*

Mirelle Oliveira Silva <sup>1</sup>, Jonas Otaviano praça de Souza <sup>2</sup> e Maria Daniely Freire Guerra <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Geociências. Cidade Universitária, João Pessoa, Paraíba. CEP: 58051-900. Brasil. E-mail: mirelleoliveirasilva18@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4856-7503>

<sup>2</sup> Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Geociências. Cidade Universitária, João Pessoa, Paraíba. CEP: 58051-900. Brasil. E-mail: jonas.souza@academico.ufpb.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1405-0944>

<sup>3</sup> Universidade Regional do Cariri, Departamento de Geociências. Rua Coronel Antônio Luiz, Pimenta, Crato, Ceará. CEP: 63105-000. Brasil. E-mail: daniely.guerra@urca.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5772-9095>

Recebido: 14/07/2023; Aceito: 29/10/2023; Publicado: 07/02/2024

**Resumo:** Este trabalho buscou identificar e caracterizar as Áreas Úmidas (AUs) de cabeceiras de drenagem na Chapada do Araripe, no semiárido brasileiro, a partir do reconhecimento dos fatores ambientais, controladores de sua gênese e dinâmica. A identificação das AUs ocorreu por meio de sensoriamento remoto e dados de campo. A análise deu-se pela avaliação dos parâmetros ambientais, e, posteriormente, foram definidos pontos representativos para detalhamento. Os resultados apontaram a relação existente entre as condições hidrogeológicas e hidrogeomorfológicas no desenvolvimento e na manutenção das AUs. Foram visitados 36 pontos, dos quais 11 enquadraram-se como AUs. Para o desenvolvimento deste trabalho, 6 pontos foram considerados como representativos, sendo analisados por meio de parâmetros, como o TWI, a curvatura do terreno, a declividade, a altitude, a área de captação e a amplitude altimétrica. Entre esses, apenas os 4 primeiros parâmetros se mantiveram constantes, mostrando-se oportunos para o estudo relativo às AUs em áreas de cabeceira. Outro ponto destacado foi o intenso uso da terra, pois são ambientes que dispõem de um maior aporte hídrico, podendo tal fato associar-se com a intermitência, que 4 das 6 AUs apresentaram. Portanto, as AUs da Chapada do Araripe são mantidas, sobretudo pelas condições hidrogeomorfológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas.

**Palavras-chave:** Semiárido brasileiro; Áreas Úmidas; Hidrogeomorfologia; Parâmetros ambientais.

**Abstract:** This work sought to identify and characterize the wetlands of drainage headwaters in Chapada do Araripe, in the Brazilian semi-arid region, based on the recognition of environmental factors, which control their genesis and dynamics. The identification of AUs occurred based on remote sensing and field data. The analysis was carried out by evaluating environmental parameters, and subsequently representative points were defined for greater detail. The results highlighted the relationship between hydrogeological and hydrogeomorphological conditions in the development and maintenance of wetlands. In general, 36 points were visited, of which 11 qualified as AUs. For the development of this work, 6 points were considered representative, which were analyzed based on parameters such as TWI, terrain curvature, slope, height, catchment area and altimetric range. Among these, only the first four parameters remained constant, proving to be opportune for the study related to wetlands in headwater areas. Another point highlighted was the intense use of land, since these are environments that have a greater water supply, which may be associated with intermittency, which 4 of the 6 wetlands presented. Therefore, the wetlands of Chapada do Araripe are maintained, mainly due to hydrogeomorphological, geomorphological and hydrogeological conditions.

**Keywords:** Brazilian semi-arid region; Wetlands; Hydrogeomorphology; Environmental parameters.

## 1. Introdução

As Áreas Úmidas (AUs), grosso modo, definidas como espaços periodicamente ou continuamente inundados com solos encharcados (CUNHA *et al.*, 2015), são ambientes que podem se formar em uma variedade de paisagens e configurações climáticas, incluindo terras áridas (TOOTH, *et al.*, 2015). Todavia, em áreas secas, a manifestação desses ambientes expõe substancial importância, visto que, em regiões de estresse hídrico, as AUs emergem como principais fornecedoras de água e de alimentos (SCOONES, 1992; TOOTH *et al.*, 2015). Ademais, apresentam grande relevância ambiental, funcionando como abrigo para uma diversidade de organismos, aquáticos ou não, sendo provedoras de água potável, atuando como medida de controle de cheias etc. (DAROLD; IRIGARAY, 2018; RAMESH *et al.*, 2020).

Nesse sentido, internacionalmente, inúmeros estudos com foco na dinâmica de AUs em terras secas foram desenvolvidos, tais como na África do Sul (e.g.; TOOTH, McCARTHY, 2007; OLLIS, *et al.*, 2013; MELLY *et al.* 2017; TOOTH, 2017; LIDZHEGU, ELLERY, MANTEL, 2019), na Austrália (e.g FENSHAM *et al.* 2004; JAMES *et al.* 2007), na Espanha (VALIENTE; CATAÑO; GÓMEZ-ALDAY, 2015), entre outros. Contudo, no cenário nacional, embora haja o desenvolvimento de pesquisas relacionadas, consideram-se escassos os estudos atrelados à ocorrência de AUs em contextos semiáridos (e.g. GUERRA *et al.*, 2020). Assim, há a necessidade do desenvolvimento de pesquisas que possam contribuir com o entendimento do funcionamento desses ambientes, seguidas de ações que possam protegê-los legalmente.

Nessa perspectiva, este estudo teve como objetivo identificar e caracterizar as AUs associadas à cabeceiras de drenagem na Chapada do Araripe, no semiárido brasileiro, a partir do reconhecimento dos fatores ambientais, controladores de sua gênese e dinâmica. Foram considerados, sobretudo, os contextos geomorfológicos, hidrogeológicos e hidrogeomorfológicos, atentando-se para as diferenciações das áreas geradas a partir da ação desses controladores. A escolha pela Chapada do Araripe é justificada pelo fato de essa apresentar diferentes contextos ambientais no seu entorno, gerando uma diversidade de AUs (GUERRA *et al.*, 2020).

A análise desses condicionantes, realizada por meio de sensoriamento remoto e de dados de campo, visou a aplicação e a determinação de parâmetros que permitissem a avaliação das AUs de modo acurado, buscando identificar quais se incluiriam de forma oportuna na estruturação das AUs em terras secas. É necessário ter em vista que, para esses espaços se desenvolverem em condições áridas e/ou semiáridas, é necessária a atuação de uma série de condicionantes ambientais, os quais viabilizam seu funcionamento, levando em consideração que, nessa condição de estresse hídrico, o volume de água incorporado ao sistema é restrito.

## 2. Área de Estudo

A Chapada do Araripe, embasada sobre as formações da Bacia Sedimentar do Araripe, localiza-se entre os estados do Ceará, Pernambuco e Piauí (Figura 1). De modo geral, a bacia sedimentar supracitada se configura como uma bacia intracratônica, situada dentro dos limites da província Borborema (SILVA *et al.* 2003; MORAIS-NETO *et al.* 2005) e entre os lineamentos de Patos e Pernambuco. Considerando as séries deposicionais, a Chapada é constituída, sobretudo, por três camadas litoestratigráficas de idade cretácea: formação Exu, Araripina e Santana (ASSINE, 2007). A Figura 1 apresenta essas unidades geológicas, com exceção da formação Araripina, tendo em vista que se encontra capeada pela formação Exu, assim como as áreas circundantes, formadas especialmente por terrenos cristalinos.

A formação Exu, localizada abundantemente no topo da Chapada em destaque, corresponde a uma camada permeável, constituída de arenitos, bem como de arenitos conglomeráticos. A camada correspondente à formação Araripina é composta, grosso modo, por ritmitos, arenitos finos e lamitos de colorações avermelhadas, arroxeadas e amareladas, ocorrendo, ainda, intercalação dos corpos lenticulares. A formação Santana, por sua vez, encontra-se nos rebordos da Chapada. De modo genérico, as camadas componentes da formação Santana são compostas por calcário, calcilutito, marga e siltito (ASSINE, 2007; ASSINE *et al.*, 2014). A interação entre essas camadas com características distintas é responsável pela manutenção do aquífero superior, o qual possibilita o surgimento de inúmeras nascentes nos rebordos da Chapada (GUERRA *et al.*, 2020). Essas surgências alimentam canais de 1ª ordem e, em ambientes de acumulação de sedimentos, propiciam o aparecimento e a manutenção das AUs.

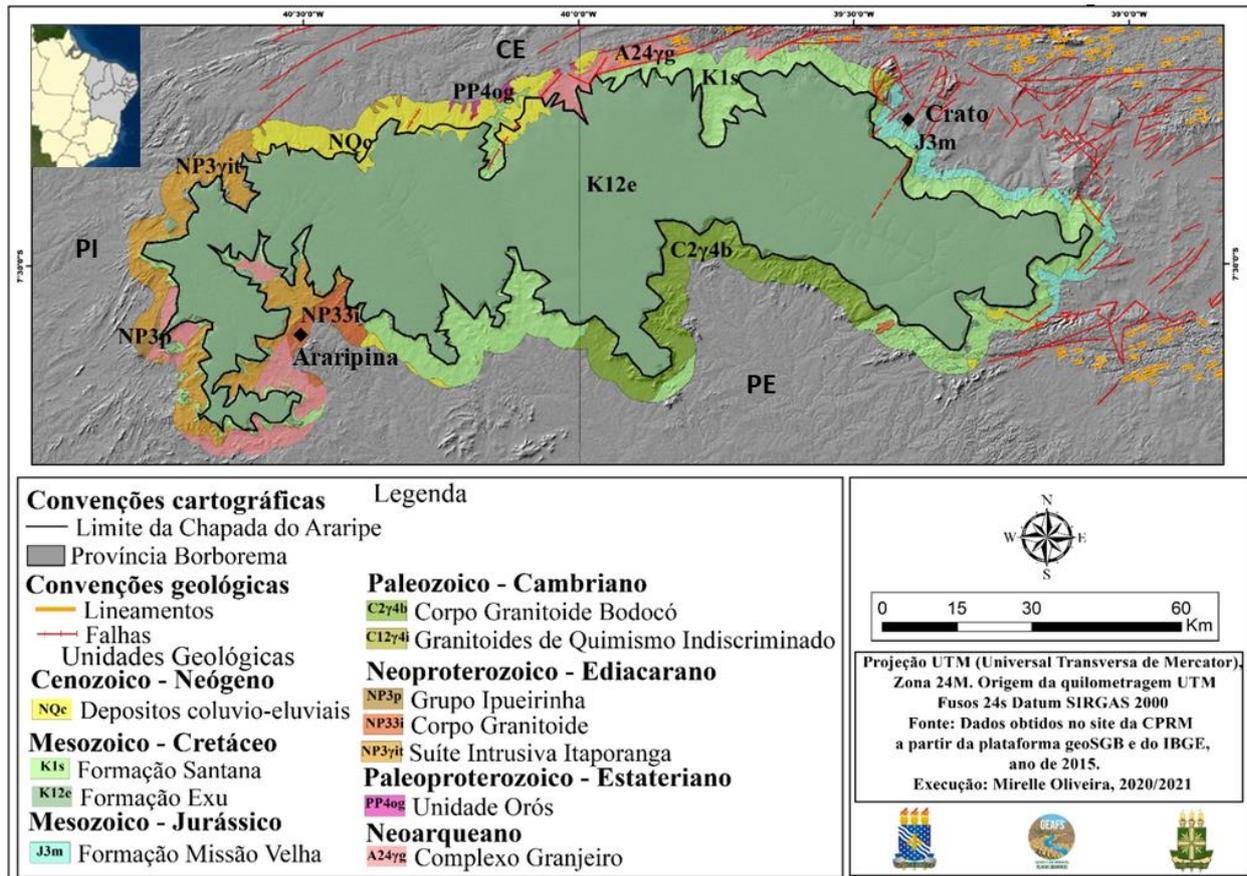


Figura 1. Mapa das unidades geológicas componentes da Chapada do Araripe e áreas adjacentes.

A Chapada do Araripe possui extensão de 190km de leste a oeste e é a principal unidade geomórfica da área. No que se refere às altitudes observadas, destaca-se que essas ultrapassam os 1000m (Figura 2), diminuindo suavemente para oeste (PEULVAST; BERTARD, 2015). Todavia, sua largura média permanece entre 30 e 60km aproximadamente. Quanto à declividade, nota-se que o platô varia de plano a suave ondulado (Figura 2B), ausente de feições de dissecação, uma vez que a permoporosidade da formação Exu não permite a formação de redes de drenagem (CEARÁ/FUNCEME, 2012). Contrariamente, as escarpas erosivas exibem declividade que oscilam do forte ondulado ao escarpado. Estas são formadas por rochas sedimentares da formação Exu, Araripina, Santana, bem como por rochas do estrato cristalino, especialmente na porção oeste do relevo.

A distribuição da precipitação atrela-se, nessa área, à altitude e à disposição do relevo. As porções com maiores níveis de chuva concentram-se na região de barlavento, a nordeste da Chapada, a qual atua no barramento da umidade proveniente do deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para sul, durante o verão e o outono (DANTAS *et al.*, 2018). Por outro lado, os setores localizados a sul, noroeste e oeste apresentam índices pluviométricos que não alcançam os 800mm.

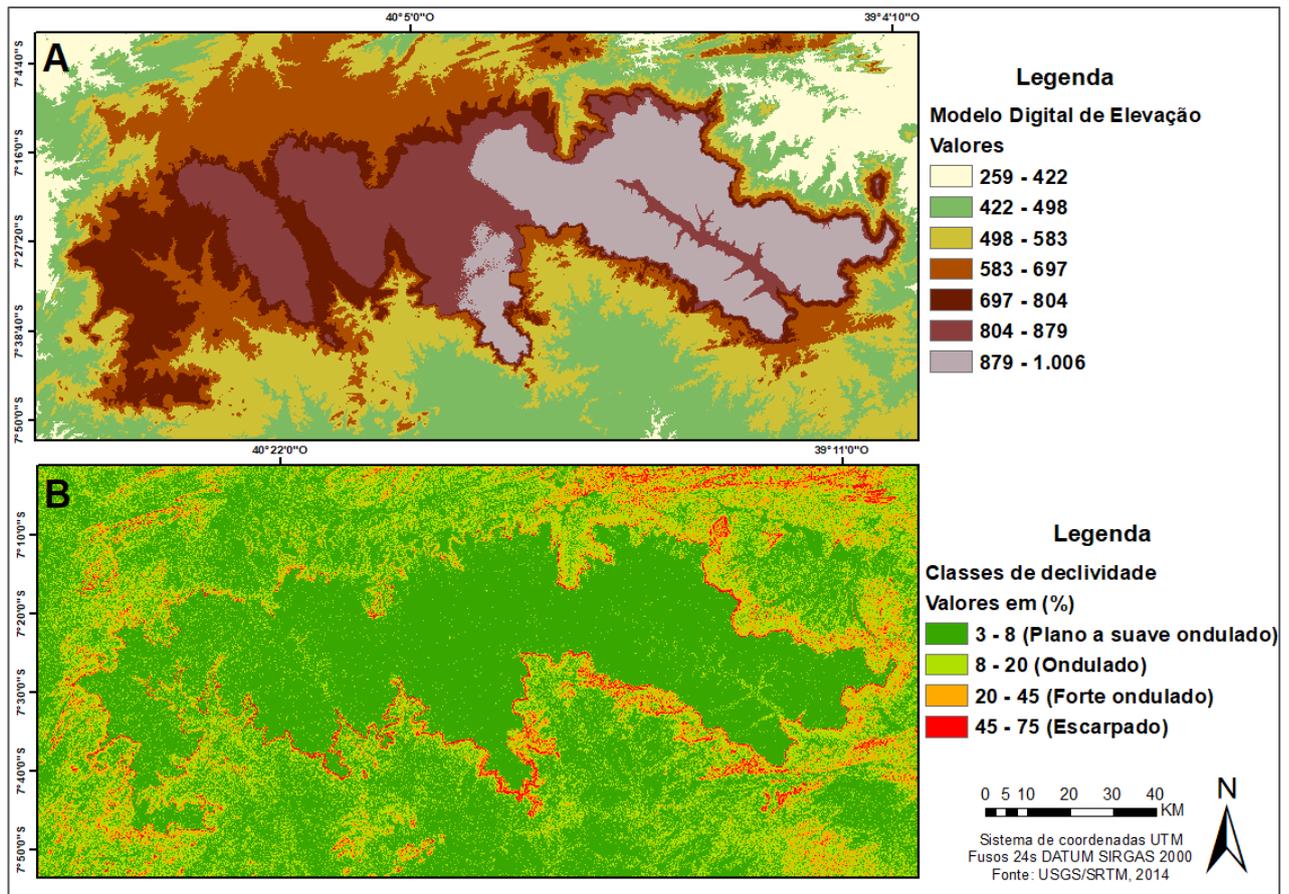


Figura 2. Mapas da Chapada do Araripe. (a) mapa hipsométrico; (b) mapa de declividade.

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1 Identificação e reconhecimento das AUs

De modo inicial, para a seleção das AUs, foram preliminarmente definidos pontos a serem visitados em campo. Essa escolha ocorreu a partir de dados de sensoriamento remoto, como o uso do *Google Earth*, especialmente, e por meio de dados secundários (GUERRA *et al.*, 2020). Foram selecionadas áreas do sopé e/ou encosta da Chapada do Araripe que apontassem possíveis indicadores para origem e manutenção dessas no referido ambiente. Assim, foram destacados ambientes correspondentes a áreas de cabeceiras de drenagem e inseridas em vales encaixados. Ao todo, 36 pontos foram definidos.

Para a identificação das áreas que acomodassem AUs, os 36 pontos foram visitados em campo. O campo foi realizado durante o período seco. Por esse motivo, a maior parte das AUs não apresentaram água superficial. Ademais, a definição dos ambientes ocorreu a partir das observações e das análises realizadas *in loco*, embasadas em parâmetros utilizados para fundamentar a diferenciação entre os pontos que abrigavam AUs e os que não abrigavam. Os parâmetros definidos foram: fundo de vale com baixa declividade, área preenchida por sedimento, solos com características hidromórficas e disposição em vale estreito.

#### 3.2 Estabelecimento dos parâmetros ambientais e dos pontos representativos

Para a análise das AUs de modo mais específico, foi destacada uma série de parâmetros naturais e antrópicos, delineados a partir de leituras feitas sobre o tema (GUASSELLI, *et al.*, 2020; GUERRA *et al.*, 2020; MELLY, *et al.*, 2017; TOOTH; McCARTHY, 2007), bem como a partir das análises realizadas em campo. Esses parâmetros ambientais derivam dos controladores considerados neste trabalho, como a geologia, hidrogeologia, geomorfologia, hidrogeomorfologia, e ainda fatores antrópicos, pedológicos, vegetacionais e hidrográficos (Quadro 1). Assim, os parâmetros foram distribuídos seguindo a seguinte divisão: parâmetros geradores e mantenedores das AUs; fatores resultantes da presença das AUs; aspectos que integram ambas as dimensões

(Quadro 1). Além disso, essa disposição entre parâmetros e controladores ambientais se fez necessária para que se pudesse entender quais desses se enquadrariam de forma efetiva na estruturação e nas dinâmicas das AUs em cabeceiras de drenagem e quais não, considerando, nesse contexto, as áreas da Chapada do Araripe.

**Quadro 1.** Parâmetros definidos para análise das AUs na Chapada do Araripe.

Controladores	Parâmetros originadores e mantenedores das Aus	Fatores resultantes da presença das AUs	Aspectos que integram ambas as dimensões
<b>Geológicos</b>	Tipo de litologia Camadas impermeáveis sotopostas a áreas permoporosas	_____	_____
<b>Hidrogeológicos</b>	Potencial hidrogeológico local Presença de nascentes	_____	_____
<b>Geomorfológicos</b>	Vale estreito Amplitude altimétrica Declividade moderada a baixa Forma da encosta Área de deposição de sedimentos	_____	_____
<b>Hidrogeomorfológicos</b>	Potencial para acumulação de água (TWI) Área de Captação da AU	_____	_____
<b>Antrópicos</b>	Formas de uso do solo Captação da água	_____	_____
<b>Pedológicos</b>	_____	Solos hidromórficos	_____
<b>Vegetacionais</b>	_____	Vegetação hidrófila e higrófila	_____
<b>Hidrográficos</b>	_____	_____	Regime hidrográfico (presença ou ausência de lâmina d'água superficial); Fonte de alimentação hídrica (pluvial e/ou subterrânea)

Dentre esses, há os que foram obtidos por meio de sensoriamento remoto e de técnicas de geoprocessamento e os que foram reconhecidos e observados durante a atividade de campo. O **Quadro 2** apresenta os parâmetros, detalhando-os acerca das informações usadas e de como foram obtidos.

**Quadro 2.** Informações detalhadas acerca dos dados utilizados para análise e formas de obtenção de cada parâmetro.

PARÂMETROS	
<b>Geológicos</b>	<b>Informações usadas</b>
<b>Tipos de litologia</b>	Dados secundários (BRASIL, 1996; ASSINE, 2007; ASSINE <i>et al.</i> , 2014), mapas e dados digitais (IBGE e CPRM), trabalho de campo.
<b>Camadas impermeáveis sotopostas a camadas permoporosas</b>	Dados secundários (Guerra <i>et al.</i> , 2020, Assine, 1992; 2007, Assine <i>et al.</i> , 2014, Brasil, 1996).
<b>Hidrogeológicos</b>	
<b>Potencial hidrogeológico e presença ou ausência de nascentes</b>	Dados secundários: Brasil (1996), Kimura e Celso (2004), entre outros; trabalho de campo.
<b>Hidrogeomorfológicos</b>	
<b>Potencial para acumulação de água a partir do TWI</b>	$MDE (SRTM, 30m) - TWI = \ln \left( \frac{\alpha}{\tan\beta} \right)$ $\alpha$ = área de contribuição $\beta$ = declividade da região (LOTTE, 2015).
<b>Área de Captação da AU</b>	MDE (SRTM, 30m).
<b>Antrópicos</b>	
<b>Formas de uso do solo e captação de água nas AUs</b>	Trabalho de campo; Imagens de drone.
<b>Pedológicos</b>	
<b>Presença ou ausência de solos hidromórficos</b>	Dados secundários (GUERRA <i>et al.</i> , 2020) Trabalho de campo: foi feita análise de cor, textura, concentração orgânica, localização na paisagem etc.
<b>Vegetacionais</b>	
<b>Presença ou ausência de vegetação do tipo higrófila e hidrófila</b>	Dados secundários (GUERRA <i>et al.</i> , 2020). Trabalho de campo: a identificação das espécies ocorreu a partir de observações em campo e do registro fotográfico.
<b>Hidrográficos</b>	
<b>Presença ou ausência de lâmina d'água superficial</b>	Trabalho de campo: observação de áreas que possuíam umidade constante, por meio da presença da água superficial; análise de ambiente com presença de água subsuperficial, identificada a partir da instalação de poços artesianos.
<b>Fonte de alimentação hídrica (pluvial e/ou subterrânea)</b>	Dados obtidos a partir da análise dos parâmetros hidrogeológicos; Trabalho de campo: identificação direta e a partir de informações das comunidades.
<b>Geomorfológicos</b>	
<b>Vale estreito (largura do vale)</b>	MDE (SRTM, 30m).
<b>Amplitude altimétrica</b>	MDE (SRTM, 30m).
<b>Declividade e forma da encosta (curvatura)</b>	MDE (SRTM, 30m).

### 3.3 Detalhamento dos pontos representativos

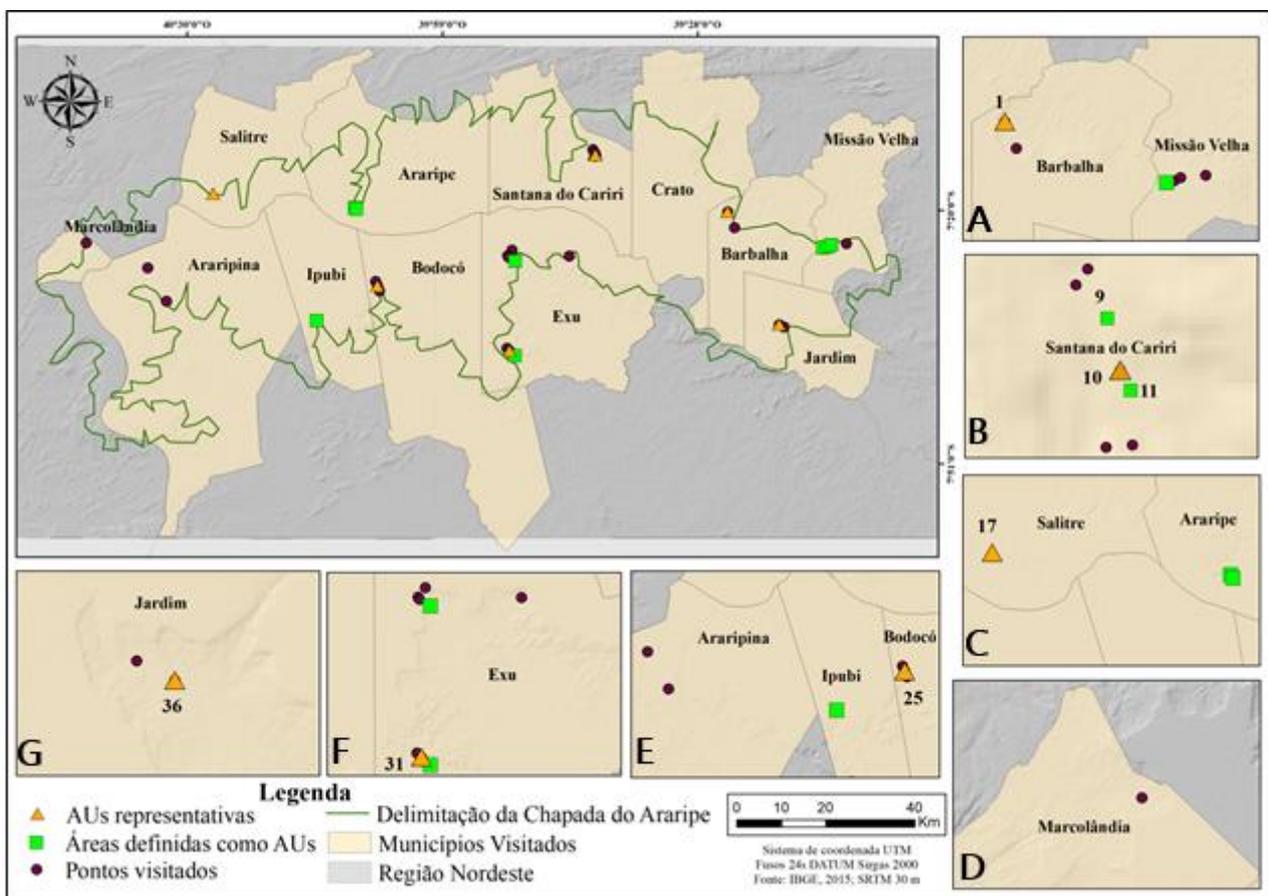
Para a definição das AUs representativas, utilizaram-se as áreas com diferentes características, mas que conseguissem representar os demais pontos visitados. Assim, para a caracterização dessas, foram obtidas informações detalhadas, com ênfase na geomorfologia e na hidrogeomorfologia. Nesse contexto, foi aplicado o TWI, calculada a declividade média, a amplitude altimétrica, a largura do vale, a curvatura vertical, área de captação e a altitude. Ademais, gerou-se um MDE a partir das imagens de drone, bem como um mosaico que apresenta características específicas dos ambientes. As informações foram analisadas de forma integrada, visando identificar padrões ambientais. Dessa forma, foram escolhidas 6 AUs, extraídas dos 11 pontos anteriormente

selecionados. Tais ambientes encontram-se nos municípios de Jardim, Salitre, Santana do Cariri e Barbalha, no estado do Ceará, e em Exu e Bodocó, no estado de Pernambuco. É válido salientar que foram expostas, neste trabalho, apenas imagens de 3 AUs representativas, selecionadas para representar as demais, considerando que a exposição de todas seria inviável.

#### 4. Resultados e discussões

##### 4.1. Caracterização inicial das áreas visitadas

Para a caracterização inicial, a qual analisou, grosso modo, os 11 pontos, dos 36 visitados selecionados previamente, os parâmetros gerais (Quadro 1) foram adequados, tendo em vista que, a partir deles, foi possível definir tais áreas. Destaca-se que todos os pontos compostos por AUs apresentaram fundo de vale com baixa declividade e área de deposição de sedimento, sendo estes parâmetros basilares na composição desses ambientes úmidos.



**Figura 3.** Mapa dos pontos visitados, evidenciando as áreas compostas por AUs e os pontos representativos. A figura apresenta a distribuição das AUs e dos pontos representativos em dois estados: CE/PE.

Considerando o encarte A, nota-se que foram identificados dois pontos como AUs, nos municípios de Barbalha/CE e Missão Velha/CE. Essas localizam-se sobre rochas sedimentares da Formação Santana. Em ambas as áreas, foi observada presença de lâmina d'água superficial, todavia, em Barbalha, essa água superficial não consegue alimentar a AU durante o período seco, tendo em vista sua restrição ao pequeno canal que corta o ambiente. Em Missão Velha, foram encontradas espécies da Palmeira Buriti (*Mauritia Flexuosa*), a qual é adaptada às condições de saturação, junto à linha d'água. Essa condição também é descrita no trabalho de Guerra *et al.*, (2020). Considerando os dois ambientes, notou-se um maior uso da terra na AU em Barbalha, sendo espaço utilizado para agricultura e construção de parques aquáticos.

Por outro lado, as AUs encontradas em Santana do Cariri, alocadas no encarte B, possuem vegetação mais conservada, especificamente nos trechos encharcados. Essas AUs encontram-se também sobre rochas sedimentares da Formação Santana e, assim como em Missão Velha, apresentam a *Mauritia Flexuosa* ao longo do curso d'água. Essas AUs também possuem regime perene e exibem áreas encharcadas mais extensas, se comparadas com as AUs elencadas no encarte A.

As AUs presentes no encarte C, localizadas na porção noroeste da Chapada do Araripe, encontram-se sobre a Formação Santana, como a AU em Araripe, e sobre depósitos colúviais, considerando a AU em Salitre. Ambas possuem regime hídrico intermitente não expondo água superficial durante o período seco. Além disso, são áreas intensamente utilizadas na agropecuária, com vegetação nativa substituída por pastos e demais culturas.

O encarte D apresenta um ponto visitado não identificado como AU. Esse ponto situa-se sobre o embasamento cristalino, especificamente em trechos da Suíte Intrusiva Itaporanga. Nessa área, não foram encontrados indícios de hidromorfismo, visto que ela não consegue acumular água por um longo período, apenas de modo breve. A área encontra-se totalmente descampada, com vastas áreas de solo exposto, o que facilita a erosão e dificulta a infiltração da água que chega até o sistema.

Essa condição apresenta-se de maneira semelhante em Araripina, no encarte E, considerando que os pontos visitados não foram considerados AUs. Encontrada sob as mesmas condições geológicas que o ponto destacado no encarte D, a área, embora geomorfologicamente apresente características similares às demais, não consegue reter umidade por muito tempo. Por outro lado, em Bodocó e Ipubi, também alocados nesse encarte, foram visitados pontos definidos como AUs. Esses localizam-se sobre a Formação Santana. Em Ipubi, não foi encontrada água superficial, todavia, o solo apresentou-se úmido, além da vegetação, uma vez que essa dispõe de trechos conservados, arbóreos, arbustivos e ainda gramíneas que ajudam a manter a umidade no ambiente. Em contrapartida, a AU em Bodocó expôs lâmina d'água superficial advinda de nascentes perenes, assim como nas AUs descritas nos encartes A e B. Parte dessa AU encontra-se descampada, com suas águas drenadas em valetas, uma vez que essa estrutura facilita o uso da terra.

As AUs elencadas nos encartes F e G são encontradas sobre rochas cristalinas do Corpo Granitoide Bodocó e da Formação Santana, respectivamente. Essas não possuem regime perene, porém são pontos que conseguem manter a umidade durante um período, em virtude das condições geomorfológicas apresentadas. Nesses ambientes, a vegetação nativa foi substituída por pasto e é bastante utilizada na agropecuária.

Nesse sentido, observou-se, grosso modo, que, entre os espaços visitados, apenas em Barbalha, Missão Velha, Santana do Cariri e Bodocó foram encontradas nascentes perenes. As demais áreas são mantidas a partir de fluxos intermitentes, que se manifestam durante o período chuvoso, quando o nível freático é alimentado pela precipitação. Quanto à degradação das AUs, notou-se que essa é preponderante nos ambientes visitados. Grande parte são áreas descampadas parcialmente ou totalmente.

#### 4.2. AUs representativas: dinâmica e estruturação

Com o intuito de conhecer de modo acurado a dinâmica e a estruturação das AUs da Chapada do Araripe, selecionaram-se, a partir da análise inicial, AUs representativas, as quais serão analisadas com maior detalhamento. Para tanto, foram escolhidos espaços que agrupassem características ambientais, com o objetivo de representar as demais áreas, destacando a presença de outros parâmetros identificados posteriormente. As áreas selecionadas foram: AU situada em Jardim, Santana do Cariri, Barbalha e em Salitre, no estado do Ceará; Exu e Bodocó, em Pernambuco (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores médios de parâmetros estabelecidos para as AUs representativas.

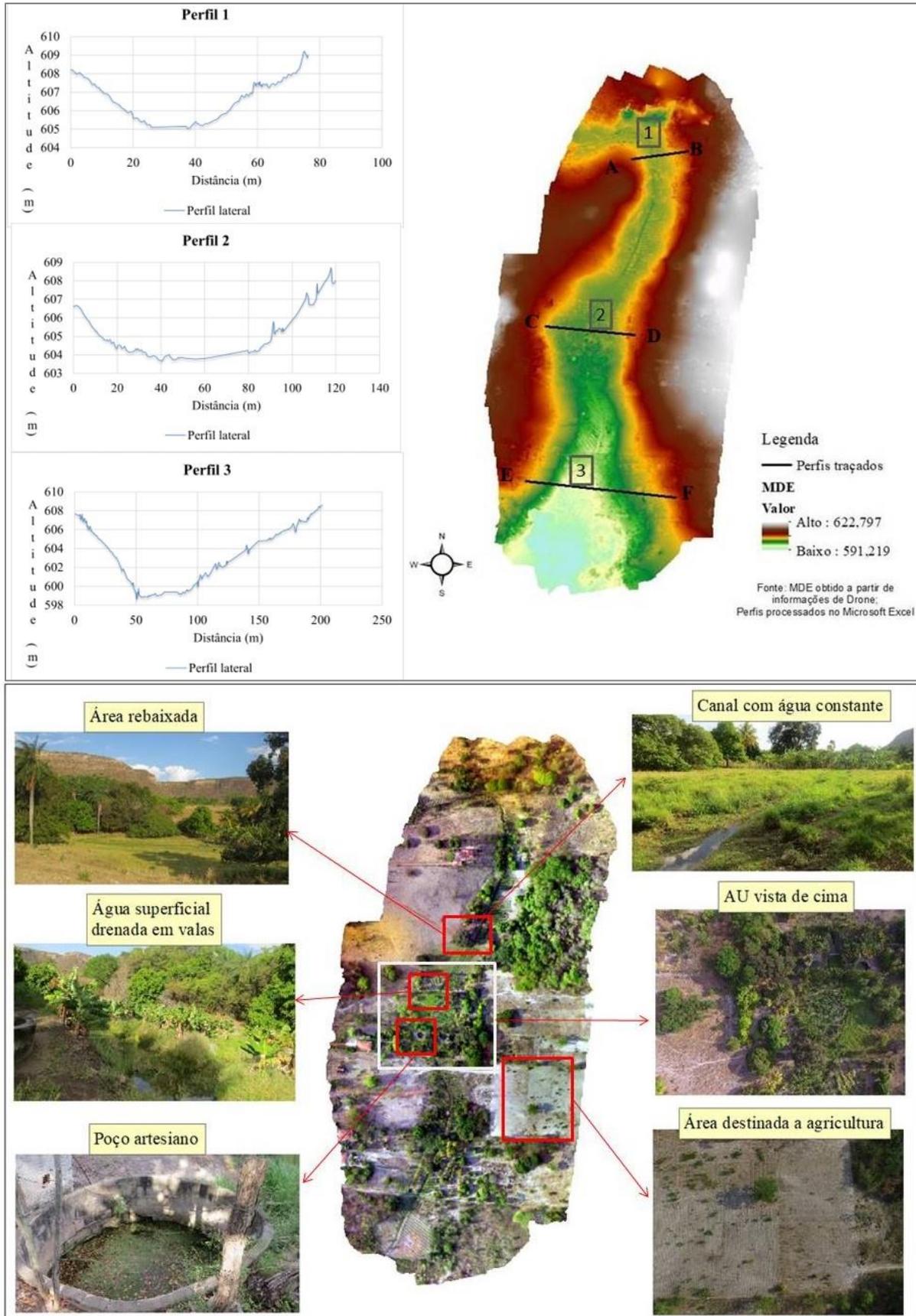
	Regime hídrico superficial perene		Regime hídrico superficial intermitente			
	Bodocó	Santana do Cariri	Barbalha	Exu	Salitre	Jardim
<b>Média TWI</b>	6,84	7,23	7,12	7,49	7,71	6,70
<b>Média declividade</b>	4,69%	13,17%	7,41%	9,07%	6,57%	2,89%
<b>Curvatura do relevo</b>	0,07	0,19	0,03	0,10	0,13	0,06
<b>Área de captação</b>	36,9 km <sup>2</sup>	94,3km <sup>2</sup>	0,2km <sup>2</sup>	23,2km <sup>2</sup>	3,5km <sup>2</sup>	1,1km <sup>2</sup>
<b>Altitude</b>	605m	703m	684m	557m	695m	631m
<b>Amplitude altimétrica</b>	140m	250m	200m	250m	100m	160m

#### 4.2.1. Áreas Úmidas com regime hídrico perene

Dentre os pontos representativos, apenas as AUs dos municípios de Santana do Cariri/CE e Bodocó/PE apresentam hidrologia superficial perene. Ambas encontram-se sobre rochas sedimentares da Formação Santana, mas diferem quanto à posição na paisagem. Enquanto a AU em Bodocó situa-se em trechos do sopé, a AU em Santana está presente em setores correspondentes ao setor médio da encosta da Chapada do Araripe. Por esse motivo, os valores da altitude, assim como dos demais parâmetros destacados na **Tabela 1**, foram distintos, considerando esses dois ambientes.

A AU em Bodocó/PE (Figura 4) é alimentada por meio de nascentes que apresentam fluxo constante, originadas em trechos das escarpas e que se direcionam até o local. No período seco, o fluxo da água diminui, tendo em vista que não há alimentação pelo regime pluvial, bem como devido ao intenso uso da terra. Todavia, a área permanece encharcada, com o recurso disponível, mesmo que em menor proporção.

O TWI da área corrobora essa informação, uma vez que apresentou o valor de 6,84, permanecendo entre os três maiores valores. Além do regime perene, a AU apresentou regularidade no terreno, com o valor da declividade de 4,49%. A área situa-se em trecho do sopé da Chapada, com altitudes que não ultrapassam os 605,8m em média. Nesse trecho, as escarpas apresentam uma leve diminuição na altitude, por esse motivo, a amplitude altimétrica expôs o valor de 140m. Esses números explicam o resultado obtido da área de captação dessa AU, sendo 36,9km<sup>2</sup> aproximadamente, uma vez que se trata de uma área concentrada em trechos mais baixos, e, por essa razão, consegue drenar e concentrar mais os fluxos de água que chegam ao ambiente. Além disso, no que se refere à curvatura vertical, a AU em Bodocó/PE permaneceu entre as três menores, apresentando uma área com feições mais retilíneas associadas às côncavas.

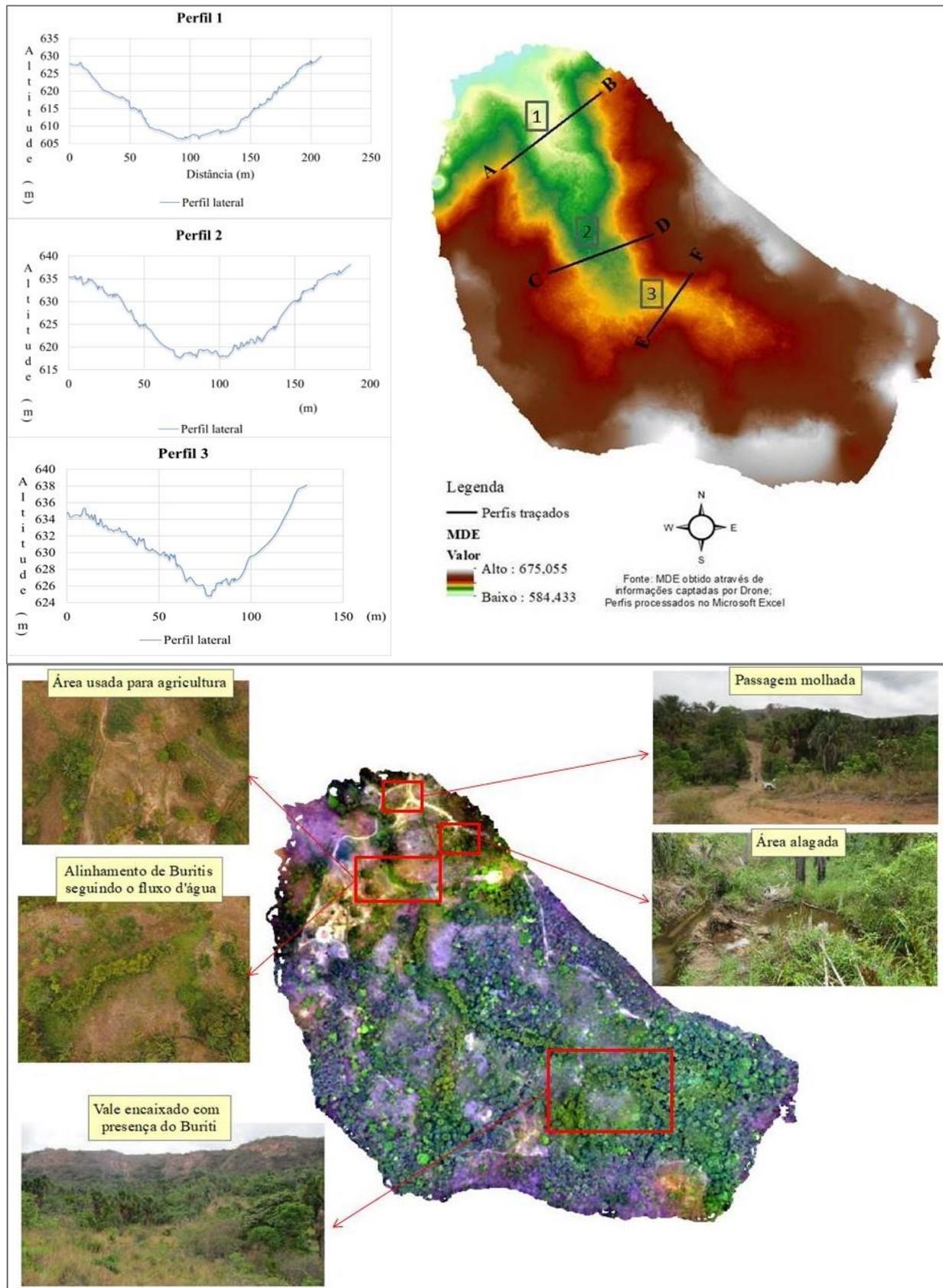


**Figura 4.** MDE, perfis laterais e mosaico correspondentes a AU localizada em Bodocó/PE. Esses dados apresentam a distribuição das áreas, com ênfase na altitude e na forma do terreno.

A AU em Santana do Cariri (Figura 5) está localizada em terreno ondulado, constituindo a área com a maior declividade, sendo 13,17% em média. Ademais, essa AU foi a que apresentou a maior altitude, alcançando os 703m. Por esse motivo, a média do TWI foi de 7,23, tendo em vista que a AU possui regime perene, permanecendo durante todo ano com a presença da lâmina d'água superficial. Todavia, em virtude da altitude em que a área se encontra, o valor do índice, mesmo com a umidade constante, não foi o mais elevado, sendo, entre as médias obtidas nas outras AU, o quarto mais alto.

A amplitude altimétrica apresentou o valor de 250m, sendo o maior resultado obtido nesse parâmetro. A curvatura do terreno também foi a maior dentre as AUs, chegando a 0,19. Esse número evidencia a distribuição de formas côncavas na área, com trechos pouco nítidos de feições retilíneas e convexas. A área de captação expôs o valor de 94,3km<sup>2</sup>, evidenciando que, embora a área se concentre em trechos mais elevados, a composição e a disposição dos elementos geomorfológicos permitem uma considerável captação e concentração de fluxos.

De modo geral, é válido salientar que ambas as áreas são bastante utilizadas para agricultura e pecuária, em virtude da disponibilidade hídrica que apresentam durante todo o ano. Dessa forma, ambas as AUs possuem áreas descampadas, usadas para o plantio de várias culturas. Entretanto, a AU de Santana do Cariri possui a vegetação mais conservada, em virtude de a área apresentar-se como uma Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN). O plantio nessa AU é especialmente destinado à agricultura de subsistência, desempenhada por moradores da comunidade local.



**Figura 5.** MDE, perfis laterais e mosaicos correspondentes a AU localizada em Santana do Cariri/CE. Os perfis apontam para a localização da AU em áreas de vale estreito, seguindo os trechos mais baixos do terreno. O mosaico evidencia os trechos ocupados pela AU. Essa encontra-se alinhada com os renques de Buritis, vegetação adaptada a essa condição de alagamento.

#### 4.2.2 Áreas Úmidas com regime hídrico intermitente

As AUs localizadas nos municípios de Barbalha, Jardim, Salitre, no Ceará, e Exu, em Pernambuco, possuem regime hídrico intermitente. Geologicamente, as duas primeiras AUs localizam-se sobre rochas sedimentares da Formação Santana. A AU em Salitre encontra-se sobre superfícies colúviais e a área em Exu, sobre o embasamento cristalino, composto predominantemente pelo Corpo Granitoide Bodocó. Essas AUs, assim como as de regime hídrico perene, são alimentadas a partir da exsudação do nível freático, o qual alcança a superfície através de nascentes. Essas AUs intermitentes, associam-se ao período chuvoso, tendo em vista que a precipitação abastece as águas subsuperficiais, além de alimentar diretamente o ambiente.

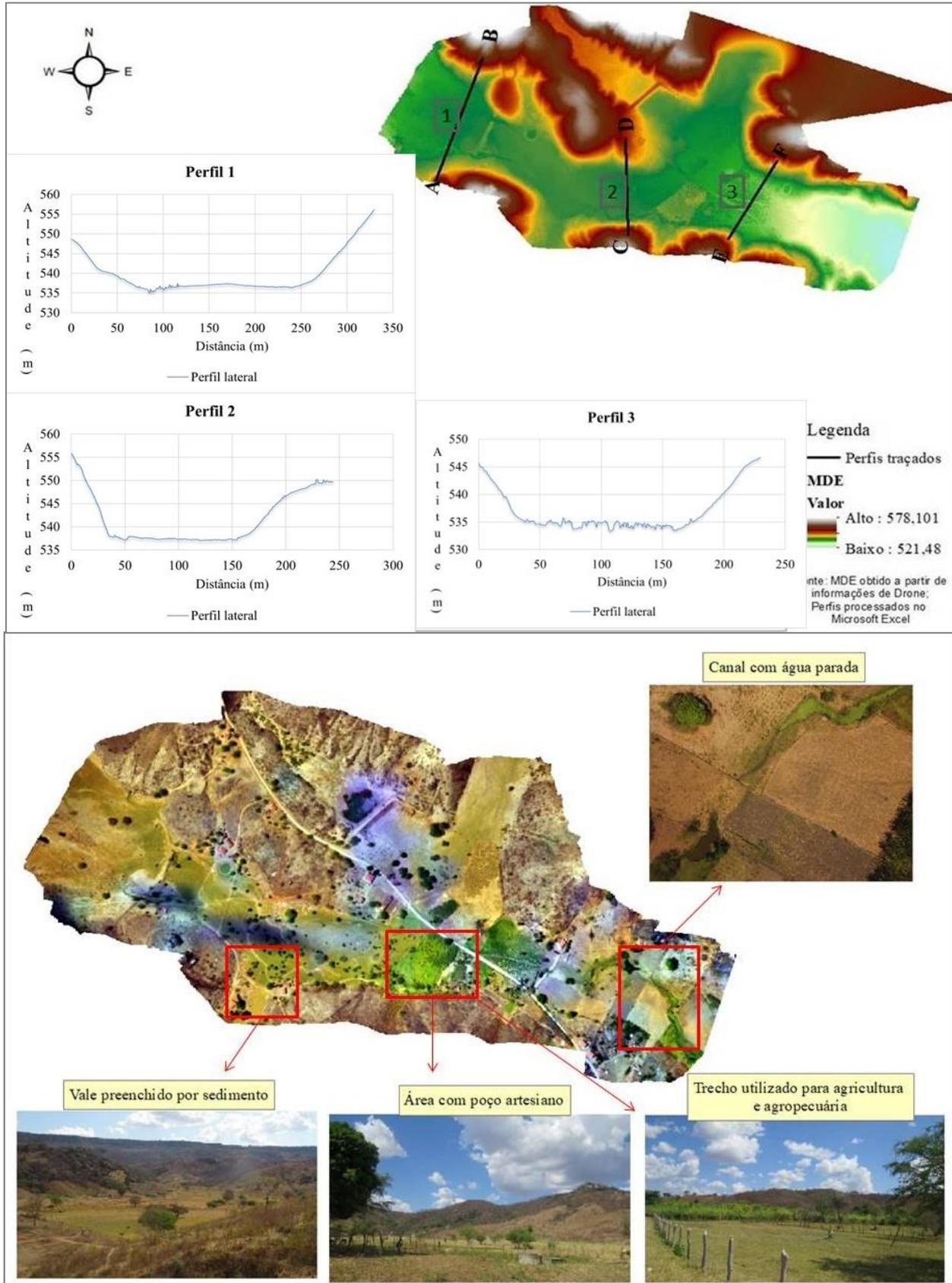
Em Jardim e em Salitre, as AUs apresentaram declividade entre o plano ao suave ondulado, com altitudes que variaram de 631 a 695m em média. A amplitude altimétrica dessas áreas foi de 160m, em Jardim, e 100m, em Salitre. A diferença nesse valor é explicada pela leve diminuição das escarpas da Chapada a oeste. O valor da curvatura vertical expôs a condição e disposição maior entre os relevos convexo e retilíneo na AU em Jardim, com valor de 0,06, e de 0,13 em Salitre, sugerindo que essa AU é composta por feições de relevo côncavo de maneira significativa, mas considerando a presença das outras formas, especialmente a retilínea.

O índice TWI expôs médias de 6,70, para Jardim, e 7,71, para Salitre. Na primeira AU, o índice obtido foi o menor, evidenciando que, embora a área consiga concentrar fluxos de água e sedimentos, a mesma não consegue manter por longos períodos. Contrariamente, em Salitre, o valor do índice foi o maior. Tal fato indica a alta capacidade da área de reter e manter umidade. Considerando a área de captação, ambas apresentaram valores que permaneceram entre 1,1 e 3,5km<sup>2</sup>.

As AUs em Barbalha e Exu (Figura 6) apresentaram declividade, de modo geral, suave ondulada e altitudes entre 557 e 684m. A diferença na amplitude altimétrica de ambas foi de 50m, com valor de 200, para Barbalha, e 250, para Exu. A curvatura vertical da AU em Barbalha foi 0,03, apontando para a disposição de relevo mais convexo e retilíneo. Por outro lado, em Exu, o valor médio desse parâmetro encontra-se entre os três maiores. Esse indica a presença de aspecto mais expressivo de relevo côncavo, tendo feições retilíneas e convexas com pouca manifestação.

O TWI apresentou valores similares para ambas as áreas, estando entre os quatro maiores valores. Nesse sentido, essas AUs apresentam elevada capacidade de reter umidade que o ambiente apresenta, embora não sustentem o ano todo. Quanto à área de captação, o valor obtido em Barbalha foi o mais baixo, 0,2km<sup>2</sup>, já o exposto pela AU em Exu, de 23,2km<sup>2</sup>, enquadra-se entre os três maiores.

No que se refere à conservação dessas AUs, grosso modo, nota-se que essas também encontram-se intensamente degradadas, visto que a vegetação nativa foi retirada, dando espaço a plantações de culturas como cana-de-açúcar, árvores frutíferas e áreas para uso pecuário, com extensos fragmentos usados no cultivo do capim. Dentre essas AUs, a localizada em Barbalha/CE foi a que apresentou trechos de áreas com resquícios de vegetação nativa, especificamente em setores situados nas bordas do pequeno riacho, o qual corta o ambiente.



**Figura 6.** MDE, perfis laterais e mosaico correspondentes à AU localizada em Exu/PE. A figura expõe trechos de áreas planas em fundo de vale, as quais abrigam as AUs. O mosaico mostra os caminhos preferenciais do fluxo d'água, seguidos pelos trechos em que a vegetação encontra-se verde. Nesses trechos acomoda-se a AU, alimentada por esse fluxo de maneira intermitente.

É válido salientar que, nas AUs, as áreas destinadas à agricultura localizam-se próximas ao canal, devido ao processo de irrigação. Em contrapartida, a AU em Salitre/CE expôs degradação intensa. A área é utilizada intensivamente para a agricultura e pecuária, por isso tem grandes trechos descampados com frangimentos escassos de vegetação nativa.

Ressalta-se que a AU localizada em Barbalha/CE é alimentada por nascentes perenes que surgem em trechos mais elevados e que têm suas águas drenadas para a AU por meio do curso d'água de um pequeno riacho que corta o ambiente. Devido à retirada da vegetação para fins agrícolas, assim como para construção de parques aquáticos ou chácaras, a umidade do ambiente, no que se refere aos trechos alagados, não consegue se sustentar durante todo o ano. A lâmina d'água em grande parte do ano se restringe ao curso do riacho, que se mantém estreito, entre 1 e 2 m. Além disso, nessa área, há quebras mais abruptas entre os patamares de entorno e a área que abriga a AU.

As AUs apresentadas, embora exponham características convergentes, a declividade, de modo geral, assim como a retenção de água e de sedimentos, exibe diferenças que as tornam singulares. As distinções entre as AUs residem no tipo de regime hídrico, na posição no relevo (altitude), na distribuição da vegetação, nas condições geológicas, na distribuição pluviométrica e, ainda, nas formas de uso e de ocupação.

Essas diferenças apontam para um quadro diversificado de AUs da Chapada do Araripe, considerando as destacadas neste trabalho. Nesses cenários distintos que continuam a evoluir, tem-se a disposição de formas e funções as quais moldam e caracterizam o ambiente. Tratam-se de aspectos geomorfológicos, os quais são moldados a partir da ação conjunta dos condicionantes supracitados. Essa ação refere-se à funcionalidade das AUs, processo que permite o desenvolvimento e o estabelecimento de ambientes como esses em regiões onde o clima atual não favorece sua gênese e manutenção.

#### 4.3 Análise relativa aos parâmetros destacados no trabalho

Para a análise de AUs, de forma geral, os condicionantes e seus respectivos parâmetros destacados neste trabalho são válidos e indispensáveis, tendo em vista a complexidade que esses ambientes apresentam. Entretanto, a avaliação e a aplicação desses tornam-se distintas a depender da configuração climática que a região expõe. Nesta investigação, os condicionantes hidrogeológicos, geomorfológicos e hidrogeomorfológicos se sobrepuseram aos demais, com destaque, ainda, para o aspecto antrópico. Tal questão justifica-se considerando que as AUs da Chapada do Araripe foram moldadas e dispostas em trechos específicos, condicionadas pelas formas esculpidas a partir do arranjo morfoestrutural, bem como pelas condições atuantes, incorporadas a essa conjuntura, como a alimentação hídrica, advinda de nascentes perenes e/ou intermitentes.

O condicionante de ordem hidrogeológica, tendo em vista as circunstâncias locais, emerge como elemento determinante na constituição desses ambientes, especialmente em condições climáticas áridas e/ou semiáridas. Essa condição é amplamente discutida no trabalho desenvolvido por Guerra *et al.* (2020), no qual é apontada a disposição do aquífero superior na Chapada do Araripe como condição *sine qua non* para o estabelecimento e a manutenção das AUs na referida área, pois é por meio dessa estruturação que surgem as nascentes que alimentam as AUs, de modo constante ou periódico. Condição semelhante é tratada no estudo feito por Melly *et al.* (2017), a partir do desenvolvimento de uma camada rochosa impermeável, a qual consegue acomodar o lençol freático, possibilitando a formação de AUs em terras secas na África do Sul.

Inserida nesse condicionante, tem-se a consideração da presença ou ausência de nascentes. Em Santana do Cariri/CE, a AU é mantida substancialmente pela distribuição de água através de surgências perenes, assim como em Bodocó/CE. Em Barbalha/CE, há também a presença de nascentes perenes, embora estas não consigam alimentar toda a extensão da AU durante o período seco, como nas AUs citadas anteriormente. Nas outras áreas, as nascentes se comportam de modo intermitente, associando-se à distribuição pluvial durante o período chuvoso. Nessa perspectiva, salienta-se que, para o reconhecimento e classificação das AUs em regiões de clima seco, a avaliação desses parâmetros torna-se oportuna para um maior detalhamento das condições estruturais e hidrológicas que mantêm essas áreas.

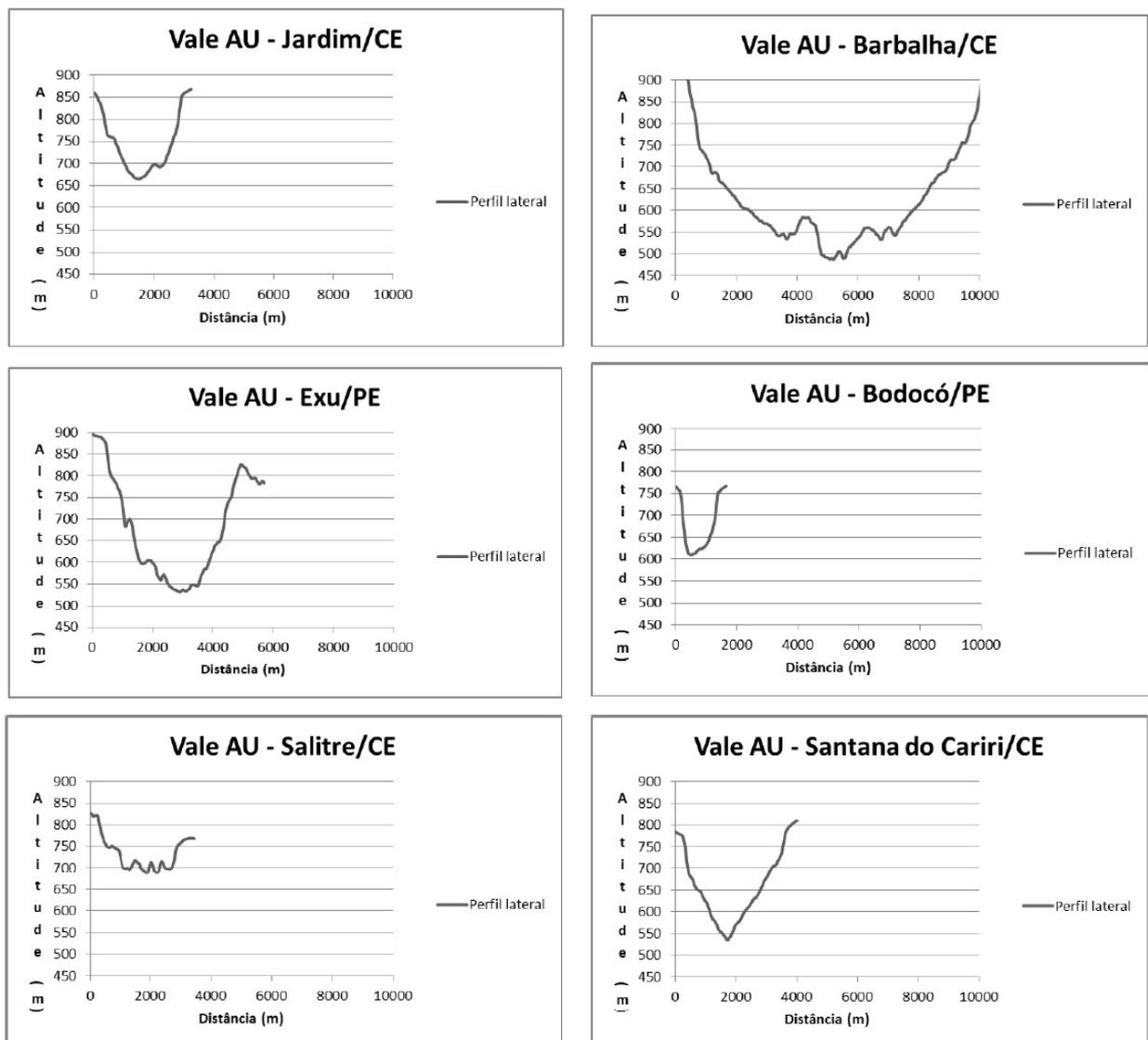
Os parâmetros ambientais de ordem geomorfológica foram gerados a partir do geoprocessamento. Esses buscaram analisar a forma que as AUs se apresentam, com o intuito de verificar a existência ou não de um padrão com as AUs investigadas. A análise iniciou-se com a identificação de vales estreitos. A **Figura 7** aponta a disposição dos vales onde localizam-se as AUs representativas. Com base nos gráficos, verifica-se a existência de um padrão na distribuição das AUs em áreas de vales encaixados, considerando que a maior parte delas situa-se em vales que

variam entre 2 e 6km, aproximadamente, com exceção da AU em Barbalha, que apresentou maior distância entre as áreas do platô.

Essas reentrâncias permitem o maior acúmulo de água e de sedimentos, tornando o ambiente propício para a acomodação de AUs. Todas as áreas analisadas, como esperado, apresentaram áreas de acumulação de sedimentos advindos das partes mais elevadas. A forma da encosta também foi considerada um parâmetro essencial para a manutenção de AUs na Chapada do Araripe. Esse critério é fundamental para entender a dinâmica dessas áreas. As áreas mais planas e côncavas tendem a concentrar fluxos, auxiliando na retenção de água e na formação de áreas encharcadas (GOMES; MAGALHÃES JUNIOR, 2020).

No que se refere à declividade, observou-se que as AUs representativas exibiram declividade que variaram do plano ao ondulado, conforme as classes de declividade propostas pela EMBRAPA (1979). Embora essa classe seja comumente encontrada em AUs de planície alagada (GOMES; MAGALHÃES-JUNIOR, 2018), as AUs de cabeceira, nas porções mais rebaixadas, apresentaram declividade que não ultrapassou os 13%. Desse modo, as AUs exibiram cenários de acumulação de água e de sedimento, os quais são também condicionados pela declividade baixa. Ollis *et al.* (2013) apresentaram em seu trabalho esse parâmetro como basilar na compreensão das AUs.

A altitude e a amplitude altimétrica, embora apareçam no trabalho como formas de análises, não se apresentaram suficientes para entender o comportamento das AUs. Ambas não exibiram um padrão que pudesse fornecer informações acerca do estabelecimento das áreas nos seus respectivos ambientes.



**Figura 7.** Gráficos destacando a disposição dos vales onde se desenvolvem AUs da Chapada do Araripe.

No que se refere ao condicionante hidrogeomorfológico, nota-se que esse tem sido cada vez mais incorporado aos trabalhos acerca das AUs. Todavia, no Brasil, caracterizações assim como classificações que considerem esse controlador ambiental são escassas e restringem-se a regiões de clima mais úmido (e.g. GOMES; MAGALHÃES JUNIOR, 2020). Neste trabalho, consideraram-se os parâmetros potencial para acumulação de água (TWI) e área de captação, como aspectos hidrogeomorfológicos para reconhecer a dinâmica e classificar as AUs da Chapada do Araripe.

O TWI representa processos de saturação do solo, assim como a elevação do aquífero gerado por convergência do escoamento nas áreas a jusante e por queda do gradiente hidráulico nas áreas planas (GUASSELLI *et al.*, 2020). Os valores para as AUs da Chapada do Araripe variaram de 6,70 a 7,71, apresentando um padrão quanto à disposição da umidade atrelado à topografia nas AUs. É válido pontuar que os maiores valores do TWI se apresentaram nas áreas em que os valores da curvatura também foram os mais altos, indicando um ambiente com concavidades mais expressivas, evidenciando a possibilidade maior de acumulação de água.

Guasseli *et al.* (2020) apontam o TWI como elemento indicador de AUs ou de áreas potenciais para acomodação desses ambientes, destacando a aplicação do TWI a partir de 4 MDEs: Alos Palsar I DEM-12,5m; Aster GDEM-30m; SRTM-30m; SRTM-90m. Salienta-se que, nessa investigação, é apontado que o TWI extraído a partir do MDE SRTM-30m pode ser aplicado com precisão superior a 70% para o mapeamento de AUs em áreas de topografia semelhante (GUASSELLI *et al.*, 2020), como é o caso da Chapada do Araripe.

Os valores do parâmetro destacado como área de captação, assim como a altitude e a amplitude, também não apresentaram um padrão o qual pudesse subsidiar investigações e análises da dinâmica das AUs. Os resultados obtidos apresentaram-se discrepantes mesmo nas áreas representativas, exibindo características geomorfológicas e hidrológicas semelhantes. Por esse motivo, com base nos números expressos na **Tabela 1**, destaca-se a não adequação desse parâmetro no reconhecimento da estruturação e dinâmica, bem como na classificação de AUs, seja na Chapada do Araripe.

#### 4.4 Apontamentos sobre a conservação das Áreas Úmidas para manutenção das condições ecológicas/ambientais

As AUs constituem sistemas importantes para a manutenção do equilíbrio ecológico, biológico e hidrológico, assegurando a permanência da biodiversidade que depende das condições expostas pelo ambiente, além de demonstrarem ampla relevância cultural, econômica e recreativa. Entretanto, por serem provedoras de diversos serviços ecológicos, as AUs são frequentemente ameaçadas, principalmente pelo uso desordenado da terra e pela exploração inadequada da água (FONSECA; DE-CAMPOS, 2011; CUNHA *et al.*, 2015; DAROL; IRIGARAY, 2018). Assim sendo, torna-se evidente a necessidade de preservação desses ambientes, considerando que a sua degradação contribui para diminuição da extensão e/ou desaparecimento da AU.

Dito isso, salienta-se que as AUs visitadas apresentaram trechos usados para diversos fins. Ambientes como as AUs em Exu/PE, Salitre/CE e Jardim/CE exibiram espaços maiores destinados ao plantio de culturas, principalmente o capim, cana-de-açúcar e árvores frutíferas, assim como áreas utilizadas para bovinocultura associada a esses outros espaços. Esses usos do solo provocam uma séria de mudanças na dinâmica da AU, incluindo alterações no regime hídrico. Essas AU apresentam regime hídrico intermitente, fator que se associa, ainda, com a forma de uso e de ocupação da área.

Em Bodocó/PE, os serviços providos pela AU são utilizados para plantio da bananeira, mas com destaque para o uso excessivo da água, a qual é usada no abastecimento da comunidade local e até de residências na zona urbana, quando a disponibilidade hídrica é afetada na cidade. Além disso, nessa AU, a água é drenada em valas, com o intuito de evitar o completo alagamento do local, deixando-o propício para o manejo do solo. Nessa AU, em virtude de tais atividades, há o intenso desmatamento da área. Esse fator emerge como uma das causas que provocam o desaparecimento desses ambientes (FONSECA; DE-CAMPOS, 2011), especialmente se tratando de áreas com pequena extensão territorial inserida em contexto climático semiárido.

As AUs em Santana do Cariri/CE e Barbalha/CE apresentaram áreas, de modo geral, mais vegetadas, notadamente nos trechos próximos às áreas adjacentes a riachos. Diferentemente das demais, a área em Barbalha/CE é muito usada para construção civil, no que se refere a chácaras e a parques aquáticos, uma vez que a disponibilidade hídrica sustentada por nascentes na área atrai esses tipos de investimentos. Já em Santana do Cariri, as áreas usadas para agricultura e pecuária são menores, se comparada às demais. Além disso, a AU encontra-se inserida em uma área de conservação, por esse motivo há uma maior preocupação quanto à gestão e à proteção do ambiente.

Essas AUs que apresentaram condições ambientais mais preservadas demonstraram, também, maior equilíbrio ecológico e hidrológico, constituindo áreas que possuem maior nível de resiliência, de acordo com o discutido em Tooth (2017). As demais, em virtude das condições de uso da terra, tendem a não se recuperar de maneira favorável, pois suas funções ecológicas, de modo geral, encontram-se prejudicadas.

Considerando esse cenário, salienta-se que essas AUs, especialmente as que estão em estado de desequilíbrio ecológico, tendo sua área diminuída, podem desaparecer futuramente, em virtude da dificuldade de reter água superficial e subsuperficial, embora a área apresente estrutura, forma e funcionalidade aptas a manter uma AU. Essas alterações inibem o desenvolvimento da biodiversidade, além de contribuírem para seu desarranjo ambiental e seu possível desaparecimento. À vista disso, ressalta-se a importância da preservação, do uso consciente desses ambientes, os quais mostram-se importantes para sua sustentação, como também para a retenção da água, recurso indispensável à manutenção da vida.

## 5. Conclusões

AUs são sistemas complexos que necessitam de um conjunto de fatores – tratados neste trabalho como controladores e parâmetros – para sua estruturação e funcionamento, especialmente em ambientes secos. Nesse sentido, destaca-se que as AUs da Chapada do Araripe são mantidas, sobretudo pelas condições hidrogeomorfológicas e hidrogeológicas. Ambas, atreladas aos parâmetros geomorfológicos, apresentaram-se imprescindíveis para a caracterização e a classificação de AUs na Chapada em destaque.

A caracterização das AUs, considerando os parâmetros destacados no trabalho, torna-se fundamental para entender sua estrutura e sua funcionalidade, sendo esses passíveis de serem usados em outras caracterizações, assim como classificações de AUs em regiões de clima seco.

Embasada na caracterização, notou-se que a maior parte das AUs possui regime hídrico intermitente. Todavia, ressalta-se que a conjuntura hidrológica – perene e intermitente – não depende exclusivamente de fatores hidrogeológicos, hidrogeomorfológicos, climáticos etc., mas ainda das formas de uso da terra. A utilização acentuada do solo provoca mudanças na dinâmica da AU, como o tempo de permanência da lâmina d'água superficial, a manutenção da água subsuperficial, restrição da área encharcada, implicação na manutenção da vegetação nativa, na infiltração da água, aumento dos processos erosivos, entre outros. Nessa perspectiva, é relevante destacar que a conservação desses ambientes contribui diretamente para o desenvolvimento adequado de suas funções, auxiliando, ainda, na manutenção do equilíbrio ecológico, em especial em ambientes de clima seco, onde o desenvolvimento e a manutenção das AUs são limitados.

**Contribuições dos Autores:** Todos os autores contribuíram na coleta, análises dos dados e revisão do artigo.

**Financiamento:** Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida a primeira autora.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem as sugestões feitas pelos revisores. Agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida a primeira autora, e agradecem ainda a contribuição do Grupo de Estudos em Ambientes Fluviais Semiárido (GEAFS) pelo apoio nas atividades de campo e pelos materiais disponibilizados para serem utilizados na pesquisa.

**Conflito de Interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.

## Referências

1. ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. **Boletim Geociências Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 371-389, Rio de Janeiro, 2007.
2. ASSINE, M. L. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 289-300, set. 1992.
3. ASSINE, M. L.; PERINOTTO, J.A. de J; CUSTÓDIO, M. A; NEUMANN, V. H; VAREJÃO, G. F; MESCOLOTTI, P. C. Sequências deposicionais do Andar Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. B. **Geoci. Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 3-28, jan. /jun. 2014.
4. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto avaliação hidrogeológica da bacia sedimentar do Araripe**. Recife: DNPM, 1996.

5. CEARÁ. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da Mesorregião do Sul Cearense**. Fortaleza: FUNCEME, 2012.
6. CUNHA, C. N da; PIEDADE, M. T. F; JUNK, W. J. **Classificação e delineamento das Áreas Úmidas brasileiras e de seus macrohabitats**. Recurso eletrônico (E-book): modo de acesso: www.editora.ufmt.br. Cuiabá, EdUFMT, 2015, ISBN 978-85-327-0557-0.
7. DANTAS, M. E; FERREIRA, R. V; EDGAR SHINZATO, E; BRANDÃO, R. DE L; TEIXEIRA, W. G; FREITAS, L.C. **Geodiversidade da Chapada do Araripe: de Padre Cícero a Luiz Gonzaga**. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. EMBRAPA Solos, 2018 **Cartilha**.
8. DAROLD, F. R; IRIGARAY, C. T. J. H. A importância da preservação e conservação das áreas úmidas como mecanismo de efetivação do direito constitucional ao meio ambiente ecologicamente equilibrado para as futuras gerações. **Revista direito e justiça: reflexões sociojurídicas**, v. 18, n. 31, p. 167-180, 2018 DOI.org/10.31512/rdj.v18i31.2535.
9. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979.
10. FENSHAM, R. J. FAIRFX, R. J; POCKNEE, D; KELLEY, J. Vegetation patterns in permanent spring wetlands in arid Australia. **Australian Journal of Botany**, v. 52, n. 6, p. 719-728, 2004. DOI:10.1071/BT04043.
11. FONSECA, C. A. B; DE-CAMPOS, A. B. Degradação ambiental das terras úmidas do cerrado: exemplo da alta bacia do rio araguaia-estado de Goiás. **Geografia**, v. 36, n. 2, p. 371-396, 2011.
12. GOMES, C. S; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Classes hidrogeomorfológicas de Áreas Úmidas em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia. (Online)**, São Paulo, v.21, n.2, (Abr-Jun) p.313-327, 2020, DOI.org/10.20502/rbg.v21i2.1794.
13. GOMES, C. S; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Sistemas de classificação de Áreas Úmidas no Brasil e no mundo: panorama atual e importância de critérios hidrogeomorfológicos. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 33, 2018. E-ISSN 1981-9021.
14. GUASSELLI, L. A; SIMIONI, J. D; LAURENT, F. Mapeamento e classificação de Áreas Úmidas usando Topographic Wetness Index (TWI) a partir de modelos digitais de elevação, na bacia hidrográfica do Rio Gravataí - Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, nº 3. p. 640-659, 2020, DOI.org/10.20502/rbg.v21i3.1714.
15. GUERRA, M. D. F; DE SOUZA, M. J. N; DA SILVA, E. V. Veredas da Chapada do Araripe: subespaços de exceção no semiárido do estado do Ceará, Brasil. **Ateliê Geográfico**, v. 14, n. 2, p. 51-66, 2020, DOI: 10.5216/ag.v14i2.62824.
16. JAMES, C. S.; SAMANTHA, J. CAPON, M. G. SCOTT, W. C. THOMS, R. M. C. Spatial variability of the soil seed bank in a heterogeneous ephemeral wetland system in semi-arid Australia. **Plant Ecology**, v. 190, p. 205-217, 2007. <https://doi.org/10.1007/s11258-006-9201-9>.
17. KIMURA, G; CELSO, O. L. Reservas Hídricas Subterrâneas do Gráben Crato-Juazeiro (CE). XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, **Anais...**p. 1-11, 2004.
18. LIDZHEGU, Z; ELLERY, F; MANTEL, S. K. Incorporating Geomorphic Knowledge in the Management of Wetlands in Africa's Drylands: a Rapid Assessment of the Kafue Wetland. **Wetlands conservation**. Society of Wetland Scientists, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13157-019-01172-9>.
19. LOTTE, R. G; ALMEIDA, C. M de; VALERIANO, M. M. Aquisição do Índice de Saturação do Solo (TWI) para a avaliação de suscetibilidade a movimentos de massa na região de São Sebastião-SP. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Anais... João Pessoa-PB, INPE. 2015, p. 7117- 7124, ISBN: 978-85-170076-8.
20. MELLY, B. L., SCHAEEL, D. M., GAMA, P. T. Perched wetlands: An explanation to wetland formation in semi-arid áreas. **Journal of Arid Environments** 141, p. 34-39, 2017. DOI i.org/10.1016/j.jaridenv.2017.02.004.
21. MORAIS NETO, J. M. de; HEGARTY, K; KARNER, G. D. Abordagem preliminar sobre paleotemperatura e evolução do relevo da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil, a partir da análise de traços de fissão em apatita. **Boletim Geociências Petrobras**, v. 14, n. 1, p. 113-119, Rio de Janeiro, 2005-2006.

22. OLLIS, D.J; SNADDON, C.D; JOB, N.M; MBONA, N. **Classification System for Wetlands and other Aquatic Ecosystems in South Africa**. User Manual: Inland Systems. SANBI Biodiversity Series 22. South African National Biodiversity Institute, Pretoria, 2013, ISBN 978-1-919976-75-4.
23. PEULVAST, J-P; BÉTARD, F. A history of basin inversion, scarp retreat and shallow denudation: The Araripe basin as a keystone for understanding long-term landscape evolution in NE Brazil. **Geomorphology**, v. 233, p. 20-40, 2015, DOI.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.009.
24. RAMESH, R. K.; HANTUSH, M.; REZAEINZADEH, M.; ANDERSON, C. Challenges Calibrating Hydrology for Groundwater-Fed Wetlands: a Headwater Wetland Case Study. *Environmental Modeling & Assessment*, v. 25, p. 355-371, 2020. DOI.org/10.1007/s10666-019-09684-8.
25. SCOONES, I. **Wetlands in drylands: key resources for agricultural and pastoral production in Africa**. Drylands Network Programme. International Institute Environment and Development, p. 2-8, 1992.
26. SILVA, A, J. P. DA; LOPES, R. C; VASCONCELOS, A. M; B. C. BAHIA, R. B. C. Serviço Geológico do Brasil. **Bacias sedimentares paleozóicas e meso-cenozóicas interiores**. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. CPRM, Brasília, p. 56-85, 2003, ISBN 85-230-0790-3.
27. TOOTH, S. The geomorphology of wetlands in drylands: Resilience, nonresilience, or ...?. **Geomorphology**, p. 1-16, 2017, DOI.org/10.1016/j.geomorph.2017.10.017.
28. TOOTH, S; McCARTHY, T. S. Wetlands in drylands: geomorphological and sedimentological characteristics, with emphasis on examples from southern Africa. **Progress in Physical Geography**, 31(1), p. 3–41, 2007, DOI 10.1177/0309133307073879.
29. TOOTH, S; GRENFELL, M; THOMAS, A; ELLERY, F. Wetlands in Drylands: ‘Hotspots’ of Ecosystem Services in Marginal Environments. **GSDR - Science Brief**, p. 1-4, 2015.
30. VALIENTE, N.; SANZ, D.; CASTAÑO, S.; GÓMEZ-ALDAY, J. J. HUMEDALES EN ZONAS CONTINENTALES ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS: LAGOS SALADOS. **El papel del agua subterránea en el funcionamiento de los humedales**. Segundas jornadas. AIH-GE. Girona 2015. ISBN 978-84-938046-1-9.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.