

Universidade de Brasília  
Instituto de Ciências Humanas  
Departamento de Geografia  
Programa de Pós-Graduação em Geografia

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ANÁLISE DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS NA  
IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PROPÍCIAS A OCORRÊNCIA DE  
VEREDAS: UM ESTUDO DE CASO NAS BACIAS DOS RIOS  
PIPIRIPAU E ACAMPAMENTO E NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE  
ÁGUAS EMENDADAS, NO DISTRITO FEDERAL.**

**Juliana de Castro Freitas**  
Dissertação de Mestrado

Brasília-DF, 11 de julho de 2018.



Universidade de Brasília  
Instituto de Ciências Humanas  
Departamento de Geografia  
Programa de Pós Graduação em Geografia

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ANÁLISE DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS NA  
IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PROPÍCIAS A OCORRÊNCIA DE  
VEREDAS: UM ESTUDO DE CASO NAS BACIAS DOS RIOS  
PIPIRIPAU E ACAMPAMENTO E NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE  
ÁGUAS EMENDADAS, NO DISTRITO FEDERAL.**

Juliana de Castro Freitas

Orientador: Prof. Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

Dissertação de Mestrado

Brasília-DF, 11 de julho de 2018.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ANÁLISE DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS NA  
IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PROPÍCIAS A OCORRÊNCIA DE  
VEREDAS: UM ESTUDO DE CASO NAS BACIAS DOS RIOS  
PIPIRIPAU E ACAMPAMENTO E DA VEREDA GRANDE DA  
ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ÁGUAS EMENDADAS, NO DISTRITO  
FEDERAL.**

Juliana de Castro Freitas

Dissertação de Mestrado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Mestre em Geografia, área de concentração Gestão Ambiental e Territorial, linha de pesquisa Geoprocessamento, opção Acadêmica.

Aprovado por:

---

Roberto Arnaldo Trancoso Gomes, Doutor (UnB)  
Orientador

---

Osmar Abílio de Carvalho Júnior, Doutor (Universidade de Brasília)  
Examinador Interno

---

Fabrizio de Luiz Rosito Listo, Doutor (Universidade Federal de Pernambuco)  
Examinador Externo

Brasília (DF), 11 de julho de 2018.

FREITAS, JULIANA DE CASTRO

Análise de parâmetros morfométricos na identificação de áreas propícias a ocorrência de veredas: um estudo de caso nas bacias dos Rios Pipiripau e Acampamento e na Estação Ecológica de Águas Emendadas, Distrito Federal, 75 p, 297 mm, (UnB-GEA, Mestre em Gestão Ambiental e Territorial, 2018).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Departamento de Geografia.

- |                       |               |
|-----------------------|---------------|
| 1. Morfometria        | 2. Veredas    |
| 3. Áreas úmidas       | 4. HAND       |
| 4. Índice Topográfico | 5. Topografia |
| 6. UnB-IH-GEA         |               |

É concedida à Universidade de Brasília - UnB permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Juliana de Castro Freitas

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Xango, minha força primordial que me desafia e me dá estrutura para superá-los e aprender sempre.

Agradeço a minha família: minha mãe, Railda, luz e sorriso na minha vida, pelo eterno apoio.

Agradeço a Marcelo Costa Nunes, meu pai, meu mestre, quem tudo me ensina e por sempre esperar meu melhor.

Agradeço a meu marido Marcelo Takatsu, por sempre ser meu apoio, meu consolo, e por sempre me lembrar que eu consigo.

Agradeço a minha madrinha, Florence Dravet e meu padrinho Gustavo de Castro, por sempre acreditarem e sempre apontarem o meu melhor.

Agradeço a meu orientador, Roberto Gomes, pelo apoio técnico e pessoal, por entender sempre meus compromissos, por confiar, por acreditar.

Agradeço a Tatiane Correia, pela inspiração, paciência e amizade.

Agradeço a Paula Daniela França, Alisson Neves, Ana Gabriela Ortiz, Amanda Porto, Natanael Abade, Dilberto Silva, José Flavio, Jales Falcão, por acreditar e apoiar sempre.

## RESUMO

A delimitação dos ambientes de vereda de acordo com o estipulado na legislação para geração da área de preservação permanente tem encontrado dificuldades frente a dinâmica da gestão ambiental que busca técnicas mais precisas para aplicação de políticas. A padronização de um metodologia para delimitação de vereda afasta o aspecto subjetivo e apresenta aspectos técnicos e precisos trazendo seguridade ambiental na área rural e na preservação ambiental. Considerando a capacidade de identificação geomórfica das veredas, este trabalho pretendeu apresentar uma metodologia dentro dos princípios da geomorfometria para delimitação. Foram utilizados como insumo dois modelos digitais hidrologicamente consistidos (de escala 1:10.000): o primeiro na região que engloba a unidade hidrográfica do Ribeirão Pípiripau e a Estação Ecológica de Águas Emendadas; e o segundo, na região que engloba o Rio do Acampamento, na porção sul do Parque Nacional de Brasília. As análises se basearam em padrões morfométricos e duas ferramentas específicas foram exploradas: o índice topográfico e o modelo HAND. Os dois são obtidos a partir das relações entre declividade, área de contribuição e direção de fluxo. O índice topográfico é calculado a partir da fórmula de BEVEN & KIRKBY (1979), enquanto que o HAND é um modelo computacional, definido por RENNÓ et al (2008) que equaliza o MDT a partir da drenagem. Os resultados do IT apresentaram o limiar 11 e do HAND um intervalo entre 3,8-4,0 em áreas com vegetação nativa preservada e 3,0-3,2 em áreas antropizadas. Os resultados do IT foram satisfatórios quanto a tomada de decisão no momento do mapeamento das veredas, utilizando a metodologia como insumo secundário, mas não para delimitação. Os resultados do HAND permitiram a delimitação dos ambientes, e, assim como o IT, não se mostra satisfatório como insumo primário de mapeamento. Conjuntamente, os dois modelos se complementam para a classificação das veredas em relação ao padrão geomorfológico em que se insere, a delimitação e a caracterização correta do ambiente como tal. Conclui-se que o IT e o HAND se complementam na metodologia para identificação de possíveis área e orientação para delimitação do ambiente de vereda.

## ABSTRACT

The delimitation of palm swamp environments according to what is stipulated in the legislation for the generation of the permanent preservation area has encountered difficulties in face of the dynamics of the environmental management that seeks more precise techniques for the application of policies. The standardization of a methodology for delimitation of palm swamps distances the subjective aspect and presents technical and precise aspects providing environmental security in the rural area and in the environmental preservation. Considering the capacity of geomorphic identification of palm swamps, this work intended to present a methodology within the principles of geomorphometry for delimitation. Two digital terrain models – DTM's, hydrological consisted, were used, of scale 1: 10,000, first in the region that encompasses the river Pípiripau hydrographic unit and the Estação Ecológica de Águas Emendadas were used as input, and the second, in order to compare the results for validation, of the region that encompasses the river Acampamento, in the southern portion of the Parque Nacional de Brasília. The analyzes were based on morphometric patterns and two specific tools were explored: the topographic index and the HAND (height above the nearest drainage) model. The two are obtained from the relationships between slope, contribution area and flow direction. The topographic index is calculated from the formula of Beven & Kirkby (1979), while HAND is a computational model, defined by RENNÓ et al. (2008) that equalizes the DTM from drainage. The IT results presented threshold 11 and HAND a range between 3.8-4.0 in areas with preserved native vegetation and 3.0-3.2 in anthropic areas. The IT results were satisfactory in terms of decision making at the time of mapping the paths, using the methodology as a secondary input, but not for delimitation. The results of the HAND allowed the delimitation of the environments, and, like IT, is not satisfactory as a primary input of mapping. Together, the two models complement each other for the classification of the palm swamps in relation to the geomorphological pattern in which it is inserted, the delimitation and the correct characterization of the environment as such. It is concluded that IT and HAND are complementary in the methodology for identifying possible areas and orienting the delimitation of the palm swamp environment.



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>10</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
2.1. Veredas.....	14
2.2. Delimitação de Áreas Úmidas .....	18
2.3. Geomorfometria na análise de ambientes úmidos (veredas).....	23
2.4. Modelagem Hidrológica.....	27
2.5. Índices Topográficos na identificação de áreas úmidas (veredas) .....	28
2.6. Modelo HAND .....	30
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>33</b>
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>44</b>
4.1. Etapas do trabalho .....	44
4.2. Mapeamento das Veredas.....	44
4.3. Levantamento dos dados topográficos .....	45
4.4. Modelagem hidrológica.....	46
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>50</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>68</b>
<b>7. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....</b>	<b>70</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama explicativo das zonas de composição de uma vereda de superfície tabular. Fonte: (BOAVENTURA, 2007).....	17
Figura 2. Representação da organização do algoritmo do HAND.. Fonte: Rennó et al, 2008 .....	30
Figura 3. Representação ilustrativa da normalização do HAND sobre um modelo digital. Fonte: Rennó et al, 2008.....	31
Figura 4. Localização da UH do Ribeirão Pipiripau e ESECAE .....	33
Figura 5. Localização da Vereda Grande, dentro dos limites da ESECAE, com fotografia de março de 2018.....	34
Figura 6. Localização do Rio do Acampamento, no Parque Nacional de Brasília. ....	36
Figura 7. Pedologia da ESECAE e UH Pipiripau, nos limites do DF. Adaptado de Embrapa, 2004 .....	38
Figura 8. Pedologia da Região do Córrego do Acampamento. Adaptado de Embrapa, 2004. ....	39
Figura 9. Geomorfologia do DF. Fonte: ZEE-DF (Acesso em 01/2018).....	40
Figura 10. Vertentes do DF. Fonte: MARTINS (2004).....	41
Figura 11. Mapa das Unidades Geológicas DF. Fonte: Zonemaento Ecológico-Econômico – ZEE/DF. Secretaria de Estado de Meio Ambiente do DF – SEMA.....	43
Figura 12. Fluxo de trabalho para geração do Índice Topográfico.....	47
Figura 13. Fluxo de trabalho para geração do Modelo HAND. ....	49
Figura 14. Mapeamento de veredas da UH Pipiripau e ESECAE. ....	50
Figura 15. Mapeamento das veredas do Rio do Acampamento, no limite do Parque Nacional de Brasília. ....	51
Figura 16. Identificação das veredas alvo de avaliação da metodologia deste trabalho. ....	53
Figura 17. (a) Vereda com presença de vegetação arbustiva e alguns indivíduos da palmeira Buriti. (b) Registro de vegetação arbustiva em ambiente alagado. (c) Antropização em ambiente de vereda: captação de água, desmatamento e cultivo. (d) Vereda preservada com vegetação herbácea bem característica, poucos arbustos e indivíduos arbóreos na porção central. (e) Vereda com maior presença de vegetação arbustiva com mata de galeria próxima.....	55
Figura 18. Mapa de Declividade da UH do Ribeirão Pipiripau e da região da Vereda Grande dentro da ESECAE. Classificação da declividade conforme Resolução nº 387, de 27 de dezembro de 2006 (CONAMA).....	56

Figura 19. Mapa de área de contribuição da UH do Ribeirão Pipiripau e da região da Vereda Grande dentro da ESECAE.....	57
Figura 20. Mapa de área de contribuição da região do rio do Acampamento. ....	58
Figura 21. Mapa de Declividade da região do rio do Acampamento, dentro da ESECAE. Classificação da declividade conforme Resolução nº 387, de 27 de dezembro de 2006 (CONAMA).....	58
Figura 22. Padrão dispersivo da relação entre área de contribuição e declividade. ....	59
Figura 23. Veredas Id 1 (acima) e Id 3 (abaixo). Áreas em declividade mais acentuada. ....	60
Figura 24. Dificuldade de acesso para as veredas Id 1 (esquerda) e 3 (direita). Vista do vale onde se encontra a vereda Id1, na porção baixa do terreno (a). Vista das copas dos buritis no horizonte, em área de declive mais acentuado (b) .....	60
Figura 25. Padrão dispersivo da mediana do Índice Topográfico nas áreas de veredas. ....	61
Figura 26. Aproximação das Veredas Id 1 (acima) e 3 (abaixo) e a resposta do IT.....	62
Figura 27. Padrão dispersivo da mediana do HAND nas áreas de vereda. ....	63
Figura 28. Vereda Id 3 e a resposta do HAND, com classificação expandida para atingir o alvo. ....	63
Figura 29. Imagem aerofoto (primeira coluna), resultado IT (segunda coluna) e resultado HAND (terceira coluna).....	65
Figura 30. Espacialização das respostas do IT, HAND e visualização do uso do local na aerofoto de 2015.....	66
Figura 31. Imagem de 1964 com destaque para a região da Vereda Id 09. ....	67

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o Distrito Federal (DF) sofreu uma elevada expansão urbana e agrícola que avançou sobre áreas antes isoladas e preservadas. Essa ação antrópica veio de diferentes formas nas diferentes regiões do DF, podendo ocorrer com avanço urbano desordenado, urbanização, instalação de agroindústrias de forma intensiva e pressão antrópica em áreas de preservação. Mesmo em áreas de grande importância para abastecimento de água, não houve planejamento ambiental que mantivesse a preservação dos remanescentes de vegetação, a conservação do solo e a preservação da qualidade dos aquíferos e dos cursos d'água.

Hoje, para garantir a seguridade ambiental das ocupações, estudos estão sendo realizados para identificação das Áreas de Preservação Permanente (APP) com foco na conservação de fitofisionomias protegidas em lei, como é o caso do Produtor de Águas da Bacia do Ribeirão Pípiripau, Plano de Conservação da Água e Solo, entre outros.

Os entraves dessa iniciativa esbarram em discussões conceituais em relação a alguns tipos de APP, como por exemplo a identificação e definição dos limites das veredas para constituição das faixas de preservação permanente, estipuladas na lei 12.651 de 25 de maio de 2012 (Código Florestal).

Art. 4o Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

(...)

XI - em veredas, a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado.

(BRASIL, 2012)

Quanto a sua classificação na unidade de paisagem, as veredas se constituem como paisagem entre a savana e palmeiral cujas funcionalidades ecossistêmicas se tornam relevantes ao serem pequenas áreas de suporte a recursos hídricos com vegetação características presente de forma isolada. Sua função puramente ambiental a aproxima de nascentes difusas que originam importantes cursos d'água assim como também fontes de recarga.

Apesar da importância ambiental dessa fitofisionomia, poucos são os dados existentes sobre o espaço permanentemente brejoso, como estipulado em lei, para delimitação

da área de preservação permanente. Essa escassez causa divergências de interpretação e entendimento da faixa legal de preservação.

As divergências quanto a interpretações a olho humano podem trazer entraves às análises processuais da regularidade ambiental tanto em áreas de uso rural como urbano. Um procedimento que permita padronização na definição de limites de veredas poderá proporcionar análises dentro dos conceitos de sustentabilidade, deixando claro ao agricultor sua área útil para consumo e a porção essencial legal de relevância ambiental para preservação.

A utilização do geoprocessamento tem crescido exponencialmente na gestão ambiental, pois afasta as análises da visão subjetiva, trazendo mais parâmetros concretos que certificam uma análise com critérios. Nesse sentido, a geomorfometria tem sido utilizada para identificação e delimitação de paisagens, principalmente no que tange ao contexto de uma bacia hidrográfica. A geomorfometria é o estudo quantitativo da topografia e utiliza técnicas de processamentos matemáticos, quantitativos e de imagem para armazenar diferentes aspectos de uma paisagem em categorias geomórficas (ROVERE et al., 2015). É uma técnica que classifica paisagens geográficas utilizando padrões de reconhecimento (JASIEWICZ *et al.*, 2013). Considerando a vereda uma área úmida com características topográficas específicas, é essencial definir os parâmetros morfométricos a serem avaliados na tentativa de sua delimitação.

Considerando que as veredas possuem uma característica morfométrica passível de ser identificada, entende-se que a geomorfometria pode auxiliar na delimitação de potenciais áreas permanentemente encharcadas. Além disso, Creed et al (2003) destacam a importância das áreas saturadas como um indicador para compreensão dos processos hidrológicos no que tange aos caminhos superficiais da água na paisagem.

No conceito das veredas, em relação a sua morfometria, entende-se que são áreas úmidas que desempenham um papel de acumulador de água localizados em regiões de lençol freático raso onde predominam processos de infiltração sobre aqueles de vazão. São “*vales rasos, com vertentes côncavas e arenosas de caimento pouco pronunciado e fundo plano, preenchidos por argilas hidromórficas*” (BOAVENTURA, 2007). Em relação a sua vegetação, a delimitação se baseia em uma faixa bem característica de espécies de gramíneas e pequenos arbustos que fazem a transição para outra fitofisionomia do cerrado.

Deste modo, o objetivo principal deste trabalho é analisar parâmetros geomorfométricos, a partir de um Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente Consistido (MDTHC), para obter unidades espaciais contínuas com características morfológicas de áreas úmidas, encontrando assim seu padrão geomorfométrico.

Para avaliar a metodologia foram utilizadas veredas que se localizam em três regiões diferentes: as bacias dos rios Pípiripau e Acampamento, duas áreas distintas, sendo a primeira uma Unidade Hidrográfica com intensa presença da agricultura e a outra região que se localiza no limite sul do Parque Nacional de Brasília, área preservada mas já com influência antrópica próxima por se localizar no limite da unidade de conservação. A terceira área se refere a Estação Ecológica de Águas Emendadas, área preservada.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Veredas**

De acordo com o Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2003): *“vereda é uma zona deprimida de forma ovalada, linear ou digitiforme dentro de área estruturalmente plana ou aplanada por erosão. É resultante de processos de exsudação do lençol freático, cujas águas geralmente convergem para um talvegue, assinalada por vegetação típica, caracterizada por palmeiras de diferentes espécies, particularmente buritis, podendo conter área com turfa. Ocorre nas chapadas das bacias e coberturas sedimentares, bem como em planaltos pertencentes a outras áreas sujeitas à atuação de sistemas morfoclimáticos de cerrado”*.

No Brasil, a vereda é uma fitofisionomia característica do Cerrado que geralmente ocorre próximo às matas de galeria. Caracterizada pela presença de solos hidromórficos, tendem a garantir a umidade em estrato superficial mesmo em períodos de seca, tornando-se refúgio de fauna e flora, assim como local de abastecimento hídrico.

Segundo QUEIROZ (2015), é complexo definir o termo vereda. Na tentativa de generalizar conceitos buscando correspondência nos termos em língua estrangeira, a autora percebe que a equivalência dos termos é limitada pelas particularidades e diferenças de condicionantes ambientais de cada área geográfica.

Em adaptação para a língua inglesa, o termo vereda aparece como *palm swamp*, em tradução livre, pântano de palmáceas. Na Venezuela encontram-se os *morichales*, cuja correspondência com a vereda e buritizais é irrefutável pela predominância da palmeira *Mauritia flexuosa*, a *moriche* (QUEIROZ, 2015).

Já a expressão inglesa *wetland*, mais conhecida na literatura por abranger situações mais genéricas que se encaixam em diversos conceitos de diferentes paisagens, possui sinônimos como pântano, pantanal, turfeira, brejo, charco, prado encharcado, zona úmida e área saturada.

Dessa forma, entende-se que o conceito de áreas úmidas possui abordagem genérica, podendo inclusive incluir paisagens artificiais. No caso do Brasil, a maioria das áreas úmidas são sazonais ou temporárias (QUEIROZ, 2015).

Na tentativa de delimitar o conceito de veredas e solos hidromórficos dentro da generalidade das áreas úmidas, CUNHA, PIEDADE e JUNK (2015) afirmam que tanto as veredas como os buritizais são áreas que se encontram inundadas tanto no período seco como chuvoso, ou apenas na época chuvosa, são delimitados por uma borda úmida, e deveriam ser definidos pelo nível da média máxima de inundação. Já no caso dos solos permanentemente encharcados, com vegetação característica – aquática ou pantanosa – deveriam ser definidos pela extensão do solo hidromórfico.

Os limites externos das áreas úmidas são marcados pela descontinuidade do solo hidromórfico e/ou ausência de vegetação adaptada a solos permanentemente encharcados. Mesmo quando existem áreas permanentemente secas dentro das bordas úmidas, as mesmas são incluídas dentro da classificação por fazerem parte da funcionalidade ecológica daquele ambiente (CUNHA; PIEDADE; JUNK, 2015).

CARVALHO (2015) define veredas como “*fitofisionomia comum na formação savânica, sendo uma comunidade vegetal localizada em áreas planas, encharcadas, com a presença de espécies vegetais herbáceo-arbustivas e da palmeira Buriti.*” Encontram-se geralmente em porções deprimidas do relevo, se apresentando como represas naturais, cumprindo importante papel no ciclo hidrológico do Cerrado.

Localizam-se em porções deprimidas do relevo, funcionam como represas naturais da área armazenadas nas chapadas, sendo importante para o ciclo hidrológico do Cerrado.

Ocorrem principalmente em regiões de chapadões nivelados por aplainamentos de cimeira do Brasil Intertropical, pois são áreas relativamente estáveis quanto à presença de umidade, cuja inundação se dá pelo excesso de água de chuva ou pela oscilação do lençol freático (AB’SABER, 2005).

Dentro do contexto legal de proteção das veredas, a lei 12.651/2012 (BRASIL, 2012) traz o seguinte conceito: “*fitofisionomia de savana, encontrada em solos hidromórficos, usualmente com a palmeira arbórea *Mauritia flexuosa* – buriti emergente, sem formar dossel, em meio a agrupamentos de espécies arbustivo-herbáceas.*” QUEIROZ (2015) concorda que o critério de solo hidromórfico é um caráter identificador da fitofisionomia, devendo assim, segundo as definições legais, ser o critério mais relevante para determinação de veredas.

Comumente, o Buritizal é confundido com as Veredas, no entanto, nesta fitofisionomia, mesmo quando não há a formação de dossel contínuo, não existe uma vegetação arbustivo-herbácea associada aos buritis como ocorre nas Veredas. A *Mauritia flexuosa*, espécie vegetal perenifólia e higrófila, não está restrita a estes dois subsistemas, ela pode ocorrer também em ambientes de campo limpo, mata de galeria paludosa e mata de galeria seca (CARVALHO, 2015).

Em decorrências dos seus componentes geoambientais, principalmente os elementos florísticos, muitas áreas úmidas do ambiente cerrado se assemelham ao ambiente de vereda. Mas diferenciam-se destas por serem constituídas apenas por palmeiras ou por espécies herbáceas e não pela associação desses elementos (arbóreo e arbustivo-herbáceo) (CARVALHO, 2015). A confusão também pode se dar pela mata de galeria paludosa que apesar da presença de elementos arbóreos de médio porte não serem características de veredas, a localização, os elementos arbustivos, a presença dos buritis e a umidade do solo pode gerar uma classificação errônea quando visual.

QUEIROZ (2015) ainda faz uma importante consideração para a conclusão do solo hidromórfico, como elemento preponderante da conceituação de veredas: em relação ao termo “usualmente” presente no artigo da lei 12.651/2012 (BRASIL, 2012), entende-se que a presença dos Buritis é eventual, o que validaria a proteção de áreas úmidas de configurações semelhantes, inclusive com outros tipos de palmáceas na definição, a exemplo o açazeiro. Por outro lado, ressalta-se que as condições de hidromorfismo abordadas na legislação

parecem ser um requisito à ocorrência da citada vegetação, mesmo não sendo a condição única para sua identificação.

Na literatura, existem diferentes definições para o subsistema de Vereda, mas tendem a contemplar alguns aspectos, não abarcando toda a complexidade que esses ambientes representam - não contemplam todas as características geoambientais que o constituem. De modo geral, a Vereda é uma paisagem típica do Cerrado, que se desenvolve em locais com condições ideais de umidade do solo, associados geralmente à exsudação do lençol freático e áreas de nascentes de pequenos cursos d'água. Costumam ser áreas pequenas e sua ocorrência pode estar relacionada a áreas de relevo mais plano e planícies aluviais de vales pouco profundos, geralmente de fundo chato com solos mal drenados ricos em matéria orgânica (MELO, 2008).

Em relação a sua composição superficial, pode-se entender que as veredas possuem geralmente 4 zonas (Figura 1). Zona de infiltração, na porção mais externa da vereda a qual contribui para o afloramento do lençol freático nas porções mais centrais. Geralmente se apresenta por vegetação herbácea em transição com cerrado mais arbustivo. Zona semi-úmida, com vegetação herbácea, onde se inicia a umidade mais caracterizada, podendo variar sazonalmente a depender da situação de preservação dos arredores da vereda. Zona de encharcamento, área mais alagada, podendo ou não haver o afloramento do lençol freático extravasando no canal, sendo o fundo plano da vereda normalmente preenchida por uma camada rasa de turfa. Por último a Zona do Canal, que se refere ao canal de drenagem que pode ocorrer, onde há o escoamento da água superficial pelo solo turfoso (BOAVENTURA, 2007).

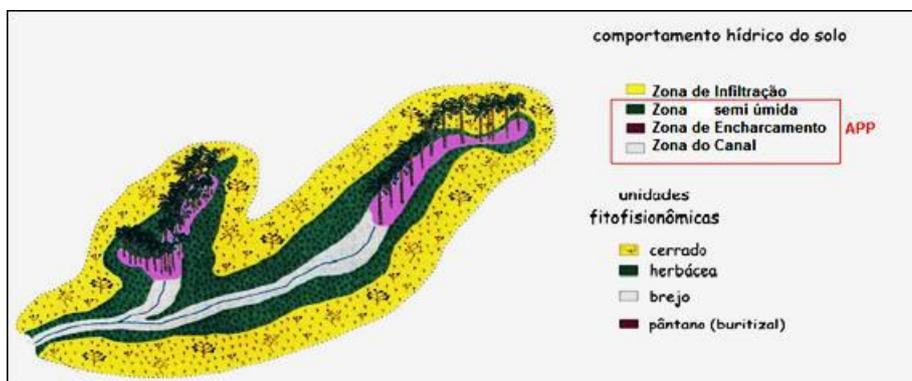


Figura 1. Diagrama explicativo das zonas de composição de uma vereda de superfície tabular. Fonte: (BOAVENTURA, 2007)

## 2.2. Delimitação de Áreas Úmidas

Quando se trata de conceituação em nível internacional, a fitofisionomia de vereda é caracterizada como área úmida, de acordo com a Convenção de Ramsar para Áreas Úmidas. Essa convenção ocorreu em 1971 sendo o primeiro grande evento em escala mundial com a preocupação da preservação das áreas úmidas. A Convenção define zonas úmidas como áreas de pântano, charco, turfa ou água, natural ou artificial, permanente ou temporária, com água estagnada ou corrente, doce, salobra ou salgada, incluindo áreas de água marítima com menos de seis metros de profundidade na maré baixa (JUNK et al, 2013).

A Convenção da Ramsar para Áreas Úmidas provocou ações em nível mundial para identificação em diversos países. Várias metodologias foram desenvolvidas para levantar essas áreas para construção dos Inventários de Áreas Úmidas.

A motivação para o desenvolvimento dos Inventários em alguns países se deu pela assinatura da Convenção, e a publicação da Lista das Zonas Úmidas de Importância Internacional (Sítios Ramsar). De uma forma geral, os países signatários organizaram projetos que visavam a conservação e utilização correta dessas áreas e seus recursos, gerando programas de cooperação internacional para este propósito. (BRASIL, 2017).

Diversos estudos foram desenvolvidos em vários países e muitos tinham o objetivo de auxiliar e atualizar Inventários em países como Canadá (LI & CHEN, 2005), EUA (DAVIS et al, 1996; WAKELEY, 1994), entre outros, e também regionais, como a bacia do Seine na França (CURIE et al, 2007), a região de Grandes Lagos no Canadá (KEOUGH et al, 1999), entre outros. O Brasil aderiu ao ato em 1992, época em que vários países já haviam assinado a convenção. Hoje já conta com mais de 150 Estados-Partes (BRASIL, 2017).

Além de uso adequado, estabelecimento de reservas naturais e cooperação internacional, os dispositivos do ato obrigam seus partícipes a listarem as zonas úmidas em seus territórios. *“Cada parte deve designar ao menos uma zona úmida para fazer parte da Lista de Zonas Úmidas de Importância Internacional, com base em sua importância ecológica, botânica, zoológica, limnológica e hidrológica, e preservar suas características ecológicas”* (BRASIL, 2017).

Esses trabalhos de atualização dos Inventários de Áreas Úmidas podem ser encontrados nas décadas de 90 e 2000, quando diversas técnicas de geoprocessamento foram testadas para aumentar a qualidade desses inventários por diversos motivos, entre eles, pela

dificuldade de acesso de algumas áreas úmidas, necessitando assim de ferramentas mais precisas de identificação, caracterização e delimitação remota (WAKELEY, 1994; DAVIS et al, 1996; KEOUGH et al, 1999; LI & CHEN, 2005; BARTSCH et al, 2007; TIELANG et al, 2008; REBELO, FINLAYSON & NAGABHATLA, 2009)

Quando se trata de conceituação de áreas úmidas, pode-se entender que as *“áreas úmidas são zonas resultantes de dois fatores correlacionados, a geomorfologia e os recursos hídricos de um determinado ambiente. O relevo apresenta características que favorecem o acúmulo de água que, por sua vez, controla a vida animal e vegetal deste ambiente”* (STEINKE, 2007. p.56).

Li e Chen (2005) trazem um levantamento bibliográfico do conceito de áreas úmidas que permite o entendimento da grande relevância que esse ambiente alcançou nos últimos tempos. Seu conceito e entendimento permeiam os grandes temas que preocupam estudiosos em escala mundial: as áreas úmidas são um recurso natural valioso para a recarga de água subterrânea, controle de cheias e melhoria da qualidade da água. Eles fornecem habitat para um grande número de espécies selvagens, incluindo muitas espécies ameaçadas de extinção, e suportam uma rica biodiversidade. As áreas úmidas também desempenham um papel importante nos ciclos globais de carbono e metano, podendo, assim, ser fortemente reavivadas e afetadas pelas alterações climáticas (IPCC, 2001).

De acordo com Wakeley (1994), que cita o Manual para delimitação de áreas úmidas do U.S. Army Corps of Engineers – USACE, as áreas úmidas são identificadas e delineadas em campo pela presença de um indicador de cada um dos três parâmetros essenciais: vegetação hidrófila, solo hídrico e hidrologia de áreas úmidas. Cada parâmetro é avaliado separadamente em cada ponto da amostra e o limite da área úmida é projetado a partir do ponto mais alto onde o gradiente evidencia todos os três parâmetros.

Esse conceito de delimitação de áreas úmidas apresentado por Wakeley (1994) é interessante quando não se enfrenta as adversidades de um trabalho de campo. Verificar em campo o solo e a vegetação, apesar das variações que podem ocorrer, é muito mais simples do que verificar a hidrologia de uma área em apenas uma visita. A hidrologia é a força direcionadora por trás do estabelecimento e manutenção de uma zona úmida. Solo e vegetação são apenas resultados de um regime hidrológico prolongado.

Wakeley (1994) aponta a subjetividade na definição da hidrologia de uma área. Diante de determinadas condições, a delimitação de uma área úmida terá que se basear na

experiência pretérita do local e o melhor julgamento do profissional, o que pode resultar em diferentes resultados para uma mesma área.

Davis et al (1996) aplicaram a mesma metodologia em outra região da Flórida, concordando com as conclusões de Wakeley (1994). Os autores ao testarem a metodologia do Manual para delimitação de áreas úmidas do U.S. Army Corps of Engineers – USACE, tanto na versão de 1987 como de 1989, afirmam que áreas úmidas ocorrem em ampla gama de condições hidrológicas, e os critérios do manual são estáticos para abarcar essas condições. Entender a dinâmica hidrológica da área é essencial para a identificação de áreas úmidas.

Keough et al. (1999) trazem o entendimento de que para uma correta gestão das áreas úmidas, no intuito de aferir o real impacto das atividades existentes no ecossistema, é importante ter noção da condição de referência ou não-manipulada. O autor conceitua área úmida como local de interface entre água e terra, notoriamente dinâmico em quase cada feição. Nenhuma área úmida é igual a outra pois estão sempre influenciadas por diferentes fatores como seu tamanho ou de sua bacia, variação e natureza hidrológica, configuração geomórfica, vegetação e idade local.

Li e Chen (2005) aplicaram uma técnica para mapear as áreas úmidas do Canadá utilizando imagens de radar e modelo digital de elevação. Segundo os autores, o sensoriamento remoto é uma das melhores formas para mapear o monitorar áreas úmidas de forma temporal em uma grande área e por isso foi a técnica escolhida para desenvolvimento do Inventário de Áreas Úmidas do Canadá.

A metodologia usada combina imagens do sensor RADARSAT-1/SAR, imagens LANDSAT e o modelo digital de elevação, se mostrando mais eficaz que na opção de se utilizar os insumos isoladamente no caso de mapeamento de grandes áreas. Li e Chen (2005) levantaram uma revisão de técnicas utilizadas para delimitação de áreas úmidas em grandes áreas e concluem que todos os métodos em que sensoriamento remoto e radar foram empregados em grandes áreas como o Canadá tiveram sucesso. No entanto, à época, em áreas menores, ainda não havia sucesso no levantamento.

Curie et al. (2007) apresentam duas abordagens para delimitação de caracterização de áreas úmidas. A primeira se refere à utilização do índice topográfico desenvolvido por Beven e Kirkby (1979), o TOPMODEL, um modelo que relaciona topografia e geomorfologia, entendendo que o gradiente hidráulico do lençol freático raso é igual ao ângulo de inclinação topográfico local. Essa abordagem assume que a topografia é a força

direcionadora do movimento hídrico na bacia e é considerado um método fácil, pois necessita apenas de um modelo digital para sua utilização. Para tanto foi utilizado um MDE (Modelo Digital de Elevação) com 100m de resolução.

A segunda abordagem se refere a uma classificação geomorfológica de corredores fluviais. Realizando um *buffer* de 2km de largura na hidrografia mapeada da bacia do Seine na França, a classificação aborda a geologia, incluindo a dinâmica e tipo de deposições, idade geológica e a descrição hidrogeomorfológica que pode ser observada nos vales. Diferentemente da abordagem do índice topográfico, a qual possui insumo de fácil alcance, a classificação geomorfológica de corredores fluviais somente poderá ser realizada em bacias que possuem os insumos necessários (CURIE et al., 2007).

A avaliação das duas abordagens, índice topográfico e a classificação geomorfológica de corredores fluviais confirma que as duas apresentam resultados semelhantes e satisfatórios, afirmando que a geomorfologia é o fator de primeira ordem na distribuição das áreas úmidas em uma bacia. Os autores confirmam também que as duas abordagens são complementares, pois a utilização do índice topográfico dentro dos corredores permite identificar subzonas com maior presença de água, se apresentando como excelente ferramenta complementar as lacunas no levantamento de áreas úmidas em grandes bacias (CURIE et al, 2007).

Tieliang et al. (2008) utilizam a técnica 3S (Sensoriamento Remoto, Sistema de Informação Geográfica e Sistema de Posicionamento Global) com o objetivo de identificar e classificar áreas úmidas, calcular suas áreas e armazenar a informação para gestão ambiental. Os autores trabalham com o tratamento da imagem de sensoriamento remoto, incluindo, por exemplo, o alinhamento geométrico, entre outras necessidades do insumo, e realizam uma classificação supervisionada das áreas úmidas que é confrontada com outras feições presentes no sistema de informação utilizado para depois ser validado e ajustado com as informações de campo. O foco deste trabalho não foi validar a metodologia, mas obter um sistema de classificação da realidade para gestão local, o qual se trata da segunda maior região de pântanos do mundo. Dessa forma, o resultado foi satisfatório já que as classes são claramente definidas pelo uso da terra.

Rebelo, Finlayson e Nagabhatla (2009) revisitam as áreas úmidas dos sítios Ramsar com técnicas de sensoriamento remoto e SIG para análise das mudanças e melhor gestão. Realizam um levantamento de iniciativas para identificação e classificação de sítos

Ramsar em nível global, onde a detecção das mudanças em cada sítio foi atualizada para melhor gestão. Os autores deixam claro que diferentes técnicas devem ser aplicadas de acordo com as diferenças e escalas espaciais e temporais locais.

Adam, Mutanga e Rugege (2010) avaliam a análise multiespectral e hiperspectral para identificar as áreas úmidas. Nesse caso, o foco da análise foi na identificação da vegetação de áreas úmidas, o que inclui estimativas de área, biomassa e utilização de índice de vegetação. Os autores encontram desafios para tal busca no que diz respeito às limitações em relação à resolução espacial e espectral da imagem trabalhada e, ao fato da performance hiperspectral mesmo sendo muito eficaz, estar condicionada à resposta espectral do alvo que está diretamente influenciada pela variação ambiental local.

Observa-se que mesmo a utilização do sensoriamento remoto, com ferramentas de interpretação espectral, seja tão largamente utilizada para identificação de médias e grandes áreas úmidas, o detalhamento mais apurado ainda encontra desafios (ADAM; MUTANGA; RUGEGE, 2010; BOWEN et al., 2010; FEI; SHAN; HUA, 2011; FROHN; AMICO; LANE, 2012; TIAN et al., 2015). Esses desafios são contornados quanto mais técnicas são utilizadas de forma associada.

Serran e Creed (2015) abordam a classificação automática orientada ao objeto para mapear áreas úmidas em uma bacia hidrográfica regional, considerando que as variações climáticas e sazonais influenciam diretamente as áreas úmidas é essencial capturar tanto seu formato como sua morfometria. Foi de interesse dos autores avaliar a metodologia para mapeamento de pequenas áreas úmidas, ditas mais sensíveis dentro da paisagem. Os autores afirmam que o método permitiu o mapeamento de pequenas áreas úmidas e uma melhor captura de seus limites. Esse método utilizou como insumos o modelo digital de terreno gerado por meio do LiDAR de 3m de resolução, fotografias aéreas de escala 1:20.000 e pontos de controle.

Siefert (2012) questiona a legislação brasileira, na definição das áreas de preservação permanente como faixas de proteção de áreas sensíveis e apresenta o termo Áreas Hidrológicamente Sensíveis (AHS). Para compreender a funcionalidade de ambientes e definir com mais segurança as áreas necessárias para preservação, o autor entende que processos hidrogeomorfológicos, como mecanismos de geração de escoamento, devem ser considerados para delimitação das áreas de preservação.

A importância da compreensão da dinâmica da água na paisagem vem desde a teoria de infiltração-escoamento de Horton (1933 apud SIEFERT, 2012). Evoluindo deste teoria, o conceito de Área Variável de Afluência (AVA) surge na década de 60, valorizando áreas onde o escoamento superficial por saturação é dominante, com dinâmica espacial e temporal, sendo fontes primárias essenciais na dinâmica hidrológica de uma bacia hidrográfica (SIEFERT, 2012).

Evoluindo do conceito de AVA, as AHS vêm à tona por constituírem determinadas áreas da bacia hidrográfica que apresentam maior probabilidade de geração de escoamento superficial por saturação (SIEFERT, 2012). Argumentando contra o tamanho fixo das faixas de preservação das áreas de preservação permanente estipulados no antigo Código Florestal, Lei 4.771 (BRASIL, 1965), e que se mantiveram na Lei 12.651 (BRASIL, 2012), Siefert (2012) busca encontrar o limite de sensibilidade hidrológica de Áreas Hidrologicamente Sensíveis a partir de modelagem de processos hidrogeomorfológicos e da relação solo-vegetação em ambientes hidromórficos.

### **2.3. Geomorfometria na análise de ambientes úmidos (veredas)**

Geomorfometria é o instrumento que espacializa dados geomorfológicos para representar a gênese das formas de relevo, sua relação com a estrutura e processo. É uma evolução da morfometria, a qual procurava representar informações métricas do relevo baseadas em cartas topográficas. A geomorfometria se baseia em métodos específicos, combinando geociência e ciência da computação com matemática para tratar tanto formas de terreno específicas como paisagens contínuas (PIKE, 2000).

A análise geomorfométrica descreve “*parâmetros morfológicos e seus processos, no intuito de diagnosticar mudanças, com ou sem interferências antrópicas.*” A análise e combinação desses parâmetros permite a compreensão da dinâmica dos aspectos físicos da paisagem, sujeitos a alterações diante de condicionantes internas e externas ao ambiente. Para tanto, conhecer as características morfométricas de uma bacia permite a compreensão do comportamento hidrológico atual, e o acompanhamento das interferências que possam modificar essa dinâmica hidrológica, sendo essencial para a conservação dos recursos hídricos (FERREIRA, MOURA & CASTRO, 2015).

Diversos autores utilizaram da geomorfometria para identificar e analisar os padrões da geomorfologia de uma bacia (BORGES et al., 2007; COUTO; FORTES; FERREIRA, 2013; FERREIRA et al., 2015; LORENZON et al., 2014; MORELI; PEREIRA; SILVA, 2014; PRASANNAKUMAR; VIJITH; GEETHA, 2013; SENA-SOUZA et al., 2013). Dentro desta abordagem, o Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) tem sido o principal dado de entrada muito devido a sua facilidade de acesso.

A utilização de métodos morfométricos para descrever bacias hidrográficas inicia-se com Horton (1932 apud CARVALHO, 2009), o que baseou o estudo quantitativo de rede de drenagem. As tentativas de mensuração de parâmetros de bacias continuam com Strahler (1952) em seus estudos sobre ordem dos canais, utilizando métodos estatísticos para descrição do relevo e vertentes. Já Chorley (1957, 1966 apud CARVALHO, 2009) evoluiu essas técnicas estatísticas na descrição de bacias hidrográficas, dentro da lógica sistêmica, entendendo os parâmetros como componentes de um sistema que deveriam ser analisados de forma combinada para entender o todo.

A caracterização morfométrica de bacias hidrográficas é feita com a integração de informações de relevo em ambiente SIG, representadas por uma estrutura numérica de dados, como os modelos digitais de terreno (MDT), obtidos por meio da interpolação de curvas de nível (extraídas de cartas topográficas ou imagens captadas por sensores remotos). É possível ainda condicionar o MDT a hidrografia existente, capacitando o mesmo a simular o comportamento real do escoamento superficial, estando consistente com a realidade, gerando assim o modelo digital de terreno hidrologicamente consistido (MDTHC) (FERREIRA et al, 2015).

Segundo Carvalho (2009), o desenvolvimento do MDT na década de 1960 foi a revolução para a geomorfometria. A partir de então, processos e programas foram sendo criados, em diferentes escalas (espaço e tempo), buscando diferentes aspectos fisiográficos do relevo e processos morfológicos de dadas regiões – descrição de novas classificações de relevo, conceito de assinatura geométrica na paisagem, entre outras análises estatísticas para descrição da paisagem.

Os modelos digitais do terreno são muito usados para identificar diferentes formas de relevo por meio de atributos morfométricos. Por meio desses modelos, a classificação geomorfológica tem apresentado um acelerado crescimento nos últimos anos devido aos

avanços obtidos em tecnologia de processamento de dados e uma melhor disponibilidade de modelos digitais de terreno de alta resolução (VANNAMETEE et al., 2014).

O padrão de drenagem e relevo de uma bacia refletem características morfométricas que possuem correção direta com os tipos de solos, as estruturas geológicas e as fitofisionomias da paisagem. Essas informações são a base para compreender a dinâmica hidrológica de uma bacia. Por exemplo, em locais cujo solo é mais compactado devido ao uso intensivo antrópico ou a própria condição de exposição do solo, com pouca vegetação, impede a devida infiltração da água e, conseqüentemente, acarreta maior escoamento superficial. Essa situação obriga o aporte dessa água na rede de drenagem, aumentando a esculturação das margens dos rios e a erosão de veios de drenagem (PISSARA, POLITANO & FERRAUDO, 2003).

Os parâmetros utilizados pela geomorfometria são vários, a depender do alvo que se pretende encontrar. Partindo da altimetria, considerada dado primário, pode-se extrair a declividade e orientação da vertente ou aspecto (primeira derivada) e as curvaturas vertical e horizontal (segunda derivada), sendo estas as principais variáveis geomorfométricas locais (CORREIA, 2016).

Classificando e combinando essas variáveis, é possível gerar mapas de classes de declividade e formas de terreno. Além disso, as linhas de drenagem e do divisor de águas podem ser gerados a partir da altimetria, entendendo a área de contribuição da drenagem a partir da declividade local (VALERIANO, 2008).

Devido a estreita relação com processos de transporte gravitacional (escoamento superficial, erosão, deslizamento, entre outros), a declividade é variável básica para entendimento e distribuição da dinâmica de vários temas essenciais ao planejamento territorial, como hidrologia, geomorfologia, vegetacional, solos, etc. É definida como o ângulo de inclinação da superfície do terreno em relação a horizontal, podendo variar de 0° a 90°, sendo também expressado em porcentagem. No MDT, sua estimativa se baseia na análise dos desníveis entre pixels vizinhos (VALERIANO, 2008)

Para entender as condições de conservação de uma bacia é importante utilizar como insumos da análise a declividade, formas de relevo, escoamento superficial e a rede de drenagem (RODRIGUES et al, 2011b). Esses elementos fornecem informações quantitativas e qualitativas, permitindo o entendimento das paisagens em relação a degradação e

preservação, sendo interessante fonte de informações para planejamentos territoriais e ambientais (MORELI, 2006).

Além da declividade, o conceito e as relações entre outros parâmetros morfométricos, como a curvatura e o aspecto permitem o entendimento da dinâmica da paisagem. A curvatura de perfil expressa a variação da declividade em direção do aspecto, que influencia o escoamento de água e conseqüentemente a erosão do solo e carreamento de sedimentos. . Pode ser classificada como “*côncava (declividade diminui na direção do aspecto, com menor potencial erosivo), convexa (declividade aumenta na direção do aspecto, com maior potencial erosivo) ou retilínea (declividade inalterada, ou seja, inclinação constante ou superfície plana)*” (FLORINSKY, 2000 In MINELLA; MERTEN, 2012)

A curvatura vertical é utilizada na identificação de unidades homogêneas devido a correlação com o processos de formação do relevo. Está diretamente associada a migração e acúmulo de matéria que se distribuem na paisagem pela gravidade, influenciando a distribuição hídrica local e as conseqüências físicas originadas da alterações na paisagem. (VALERIANO, 2008).

Curvatura mínima e máxima; curvatura longitudinal, horizontal e vertical, e secção cruzada foram utilizados por VASCONCELOS et al (2012) para entender os solos e a geomorfologia de uma área. Já Carvalho e Carvalho (2012) trabalharam com plano de curvatura (concavidade e convexidade), potencial hidráulico, hipsometria e imagem sombreada do relevo na busca de uma metodologia para descrição de habitats.

Com o entendimento das relações que ocorrem entre as formas de terreno e as propriedades dos solos, FARIAS (2008), ao analisar os solos do Parque Nacional de Brasília, classificou as formas do terreno em côncavas, retilíneas e convexas. Quando trata de solos hidromórficos, afirma que estão associados a vertentes côncavas em relevo plano ou suave-ondulado, configuração essa que permite a concentração hídrica e a baixa capacidade de escoamento, proporcionando a formação das veredas.

Evoluindo o entendimento dos parâmetros morfométricos e avançando na combinação dos mesmos, Vasconcelos et al (2012) apresentam o conceito de assinatura geomorfométrica na análise quantitativa da superfície topográfica. Assinatura geomorfométrica consiste na “*formulação de um espectro de medidas topográficas capaz de distinguir as diferentes paisagens*”. Os autores utilizam o cruzamento de duas classificações – componentes de altimetria e declividade (formas de terreno); forma, inclinação, orientação e

posicionamento da paisagem (elementos do terreno). Cruzando a duas classificações e utilizando técnicas de reconhecimento de padrões como utilizado na composição de bandas do sensoriamento remoto, tem-se a classificação espectral de 14 assinaturas geomorfológicas - ambientes homogêneos considerando as diferentes variações do relevo. O objetivo dos autores foi aplicar os métodos para a definição das formas de relevo.

#### **2.4. Modelagem Hidrológica**

De acordo com Rennó & Soares (2017) *“a modelagem matemática é uma representação simplificada da realidade, auxiliando no entendimento de seus processos”*. Considerando que os modelos permitam uma avaliação sistêmica do alvo, condicionando a análise a diversos elementos essenciais na paisagem, os mesmos têm sido muito utilizados para compreensão dos impactos na cobertura da terra e previsão de cenários futuros nos ecossistemas (RENNÓ & SOARES, 2017).

Modelos que tratam da distribuição espacial da água em bacias hidrográficas requerem dados baseados nas suas características topográficas. Eles objetivam simular os caminhos preferenciais das rotas de escoamento superficial. Por se tratarem de elementos de ligação entre paisagem e os canais perenes, sua identificação auxilia na análise de áreas prioritárias para preservação ambiental (SIEFERT, 2010).

A topografia é determinante no transporte de materiais e na distribuição espacial em uma bacia hidrográfica. Diante disso, elementos derivados da topografia (declividade, formas do terreno, entre outros) combinados com parâmetros hidrológicos, como rede de drenagem, área de contribuição, direção de fluxo, entre outros, devem ser considerados para compreensão da dinâmica hídrica da paisagem (O’LOUGHLIN, 1986).

As relações das derivações da topografia com a compressão do comportamento dos solos diante da dinâmica hídrica permitem o melhor entendimento da distribuição das zonas de saturação na paisagem (O’LOUGHLIN, 1986).

Montgomery e Dietrich (1993) procuraram entender a dinâmica de formação de canais de drenagem utilizando parâmetros como área de contribuição, comprimento da bacia e declividade. Os autores concluem que existe uma similaridade básica geométrica entre bacias de drenagem e menores bacias nela contidas – não importa a escala de análise da bacia, o padrão geométrico se reproduz da mesma forma nas diferentes escalas. Nesse sentido,

dentro de uma bacia, não importa a grandeza do canal, a regra de formação na lógica da relação de parâmetros morfométricos e hidrológicos pode ser estipulado para toda bacia. É essa lógica que permite que índices sejam estipulados para toda a bacia para compreensão de aspectos da paisagem.

Correia (2016) aplica esse entendimento para encontrar o limiar de escoamento de uma bacia, analisando a relação área de contribuição e declividade. O propósito foi a diferenciação entre canais efêmeros e perenes. A autora entende que a partir das relações entre declividade e área de contribuição é possível diferenciar os canais efêmeros de perenes. Para tanto, foi utilizado o limiar de escoamento e o índice topográfico para definição de parâmetros para classificação dos canais.

A topografia é condição determinante para os processos de formação do relevo e determinação dos ambientes da paisagem. A própria evolução da paisagem fica condicionada a estrutura geológica e sensibilidade a agentes tanto internos quanto externos, cuja erosão desenha a paisagem, definindo as formas de terreno e conseqüentemente toda a dinâmica hídrica da região. No caso das veredas, a manutenção da declividade descendente permite o desenvolvimento de cursos com baixo gradiente e fraco entalhamento de talvegues, proporcionando com certa frequência o desenvolvimento das veredas. Nesses ambientes ocorre a diminuição da capacidade de transporte pela estrutura descendente da declividade e a conseqüente redução da vazão (CASSETI, 2005).

## **2.5. Índices Topográficos na identificação de áreas úmidas (veredas)**

Os índices topográficos são muito utilizados para representação de processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos. Tendo a topografia como elemento essencial, os índices avaliam elementos da paisagem a partir das características de relevo condicionadas pela topografia: fluxos de materiais e energia na paisagem. É a partir do relevo que esses elementos são distribuídos na paisagem e permitem o entendimento do funcionamento de uma bacia. A utilização dos índices tem como objetivo a representação de variáveis complexas da paisagem, devido a magnitude dos processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos. (MINELLA; MERTEN, 2012).

O índice topográfico foi desenvolvido, inicialmente, por BEVEN & KIRKBY (1979) para o modelo hidrológico TOPMODEL que tenta definir as zonas saturadas na

paisagem. A formulação do índice topográfico ocorreu pela verificação destes autores que em algumas regiões a saturação do solo ocorre geralmente na convergência do relevo e próximo às linhas de drenagem. Essas zonas saturadas variam sua forma de acordo com a precipitação, os solos, o movimento subsuperficial da água e à topografia. As características topográficas da bacia são o fator controlador no mecanismo de movimento da água e a distribuição das zonas de saturação e do fluxo da água (O'LOUGHLIN, 1986).

Buscando avaliar a importância da variável topográfica para entendimento da distribuição da malária em uma região do Quênia, COHEN et al. (2010) utilizaram o índice topográfico para identificar as áreas de maior acumulação de água. O índice foi gerado a partir de um modelo digital de terreno, gerando resultados satisfatórios em análises em que, é incluído o IT como variável juntamente com a cobertura do solo. Os resultados deste estudo indicam que os dados de elevação e acumulação de água muito contribuem para os padrões de distribuição da malária em pequenas regiões. Pessoas que vivem em áreas com altos valores de IT estão significativamente mais em risco do que em áreas com valores menores de IT. A realidade observada pelos autores é que a variável ocupação de solo é importante para entender a situação atual dentro de modelos de controle da doença, mas quando associada ao IT, juntos podem produzir cenários de prevenção da doença na região, com políticas mais eficazes de vigilância.

O índice topográfico é geralmente calculado através da proporção entre a área de contribuição de qualquer ponto da paisagem com a declividade local, correspondendo à quantidade de água que deveria entrar em uma unidade espacial dividida pela taxa da água que deveria fluir para fora da unidade espacial (COHEN et al., 2010).

$$IT = \ln (Ac/\tan\beta)$$

Onde  $Ac$  é área de contribuição específica de cada pixel (m) e  $\beta$  é o ângulo da declividade (em radianos).

## 2.6. Modelo HAND

O modelo HAND (Height Above the Nearest Drainage<sup>1</sup>) foi desenvolvido por pesquisadores do INPE. Ele permite a determinação de faixas de variação da profundidade do lençol freático através da combinação da topografia do terreno e da rede de drenagem, por meio da diferença de cota entre dois pontos ao longo de uma trajetória de fluxo (RODRIGUES et al., 2011a).

A figura 2 apresenta um diagrama para entendimento de como o processamento do HAND se dá, utilizando como único insumo um modelo digital que pode ser de terreno ou superficial. A partir dele, realiza-se a correção topológica para evitar picos e depressões e correções de direção de fluxo. Com isso, são realizados processamentos para gerar parâmetros hidrológicos como direção de fluxo e área de contribuição, os quais juntamente com a declividade são as bases principais para aplicação do processamento que gera o HAND (RENNÓ et al., 2008).

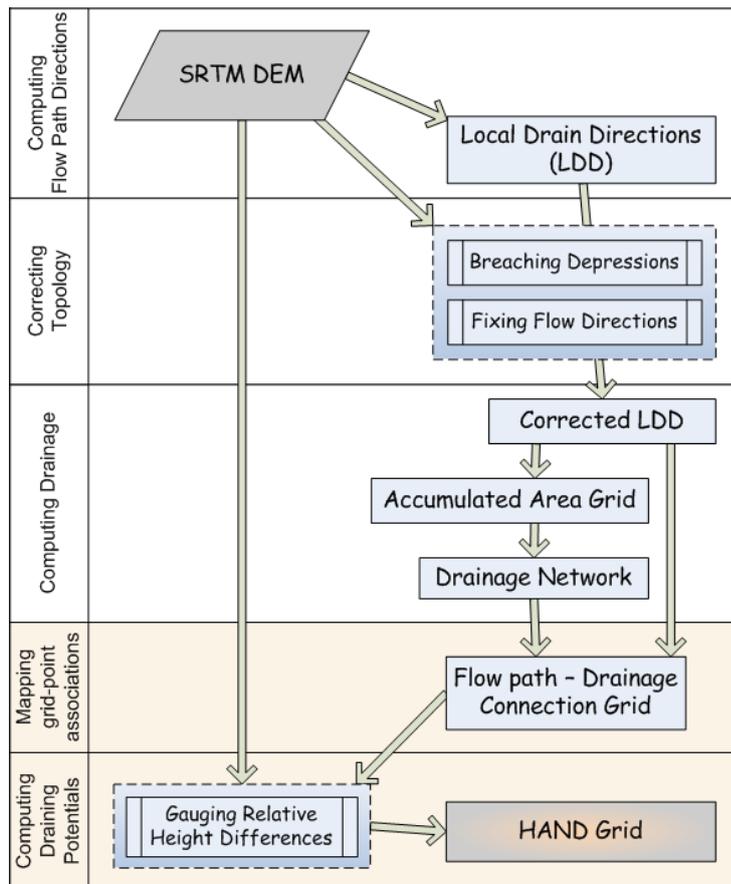


Figura 2. Representação da organização do algoritmo do HAND.. Fonte: Rennó et al, 2008

<sup>1</sup> Altura a partir da drenagem mais próxima (tradução livre)

PIRES & BORMA (2013) ao explicar o HAND afirmam que o modelo “*mede a diferença altimétrica entre qualquer ponto da grade do MDT e o respectivo ponto de escoamento na drenagem mais próxima, considerando a trajetória superficial de fluxo que liga topologicamente os pontos da superfície com a rede de drenagem.*” A figura 3 traz uma representação explicativa da normalização da proposta do HAND em um modelo digital (RENNÓ et al., 2008).

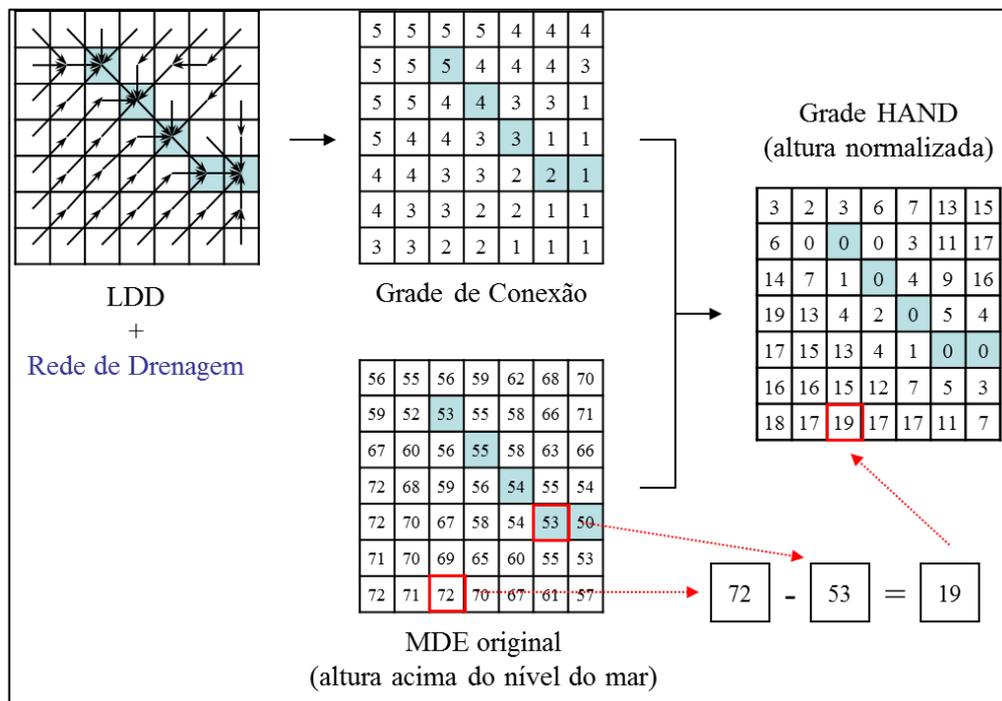


Figura 3. Representação ilustrativa da normalização do HAND sobre um modelo digital.  
Fonte: Rennó et al, 2008

O modelo aplica entendimento que a distribuição do lençol freático superficial na paisagem está diretamente relacionada a topografia e a drenagem mais próxima, considerando que esses pontos estão geralmente em áreas vizinhas aos cursos d’água. “*O modelo indiretamente descreve os terrenos de acordo com a profundidade do lençol freático*”. Em outras palavras, a altura é determinada em relação ao ponto da rede de drenagem mais

próximo, então cursos d'água e lagos possuem cota zero para facilitar sua identificação (BRESSIANI, 2016).

Extraindo as informações da drenagem, entende-se que todos os pontos dessa rede possuem cota zero, na tentativa de prever a umidade do solo através da informação topográfica. O HAND oferece dados topográficos (declividade, posição no relevo, entre outros) e hidrológicos (profundidade do lençol freático, distância para o curso d'água, entre outros), propiciando informações para alocação de atividades indicando as suscetibilidades ambientais e de uso da região de análise (BRESSIANI, 2016).

O modelo tem sido usado no mapeamento de condições hidrológicas estacionárias do terreno e, também, no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação. Os autores apresentam resultados satisfatórios na geração de curvas de nível normalizadas (HAND *contour*) com o objetivo de traçar a superfície potencial de inundação apenas com a topografia digital sem a necessidade de parâmetros fluviográficos (MOMO; PINHEIRO; CUARTAS, 2016).

PIRES & BORMA (2013) consideraram o resultado do modelo HAND satisfatório para representar a drenagem da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu, mas apontam problemas quanto à localização de nascentes. Os autores consideram que a performance do HAND tende a ser melhor em escalas regionais com maiores variações de altitude. O sucesso da utilização do modelo para avaliação da profundidade do lençol freático está diretamente ligado ao uso de um modelo digital de terreno preciso.

MOMO, PINHEIRO & CUARTAS (2016) também afirmam que o modelo HAND está estreitamente relacionado com a qualidade (resolução espacial) do dado topográfico. Os autores em seu trabalho avaliam de forma satisfatória o desempenho do HAND com um MDT de alta resolução espacial com objetivo de mapear áreas inundáveis em municípios de Blumenau e Brusque, em Santa Catarina.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para avaliar a aplicação da geomorfometria na delimitação de veredas, utilizou-se as seguintes áreas no DF:

- Unidade Hidrográfica do Ribeirão Pípiripau na Região Administrativa de Planaltina no DF – UH Pípiripau;
- Vereda do Córrego Vereda Grande, dentro da Estação Ecológica de Águas Emendadas – fitofisionomia de contribuição das Unidades Hidrográficas do Rio São Bartolomeu e Rio Maranhão.
- Veredas do Rio do Acampamento, dentro do Parque Nacional de Brasília.

Conforme Figura 4, a ESECAE e a UH do Pípiripau são próximas, ambas se localizam na porção nordeste do Distrito Federal, na Região Administrativa de Planaltina e compõem uma região de característica preferencialmente plana com presença de veredas em sua fitofisionomia.

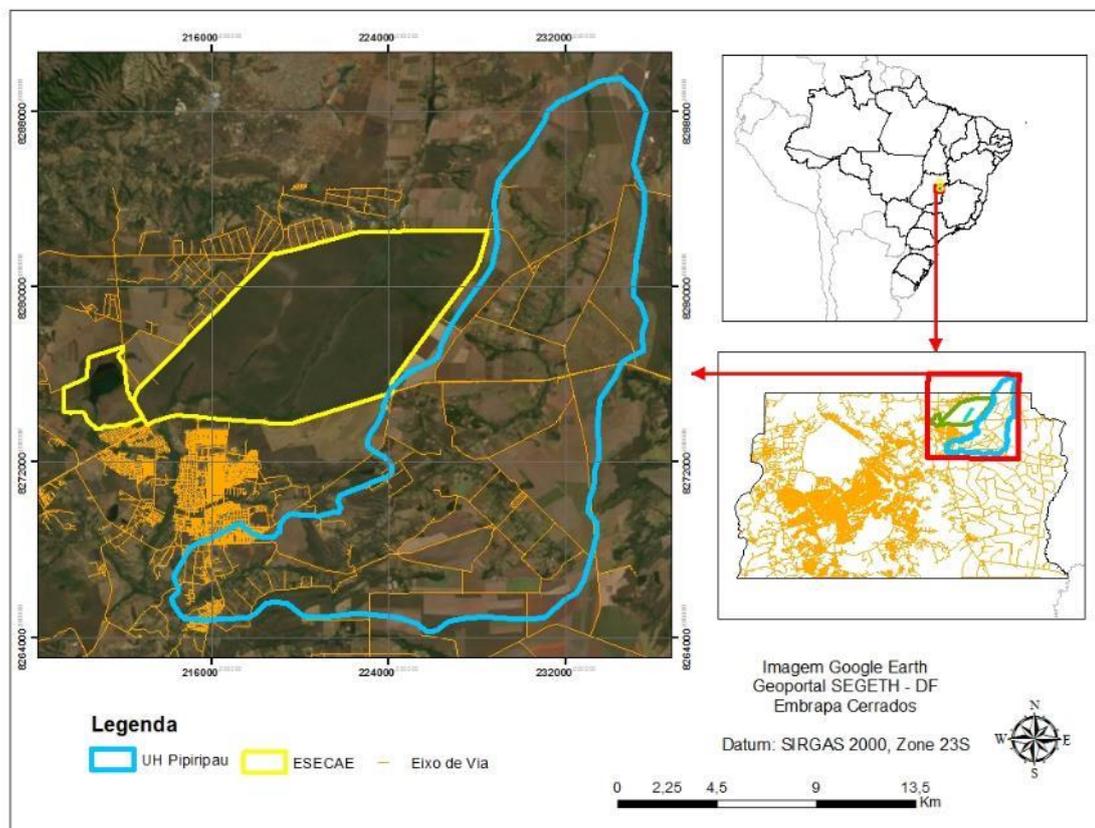


Figura 4. Localização da UH do Ribeirão Pípiripau e ESECAE

Na UH do Pipiripau ocorre predominância da influência antrópica voltada para agropecuária, com grande concentração na produção de grãos. Ocupa uma área de aproximadamente 23.527 hectares, estando sua maior porção dentro do DF (90,3%), enquanto que os 10% restantes localizam-se no Estado de Goiás, o qual engloba a nascente do curso principal.

Já a região da Vereda da ESECAE, encontra-se em área de preservação ativa como vegetação original, como apontado na Figura 5. A vereda possui extensão de aproximadamente 6 km, sendo a nascente do Córrego Vereda Grande.

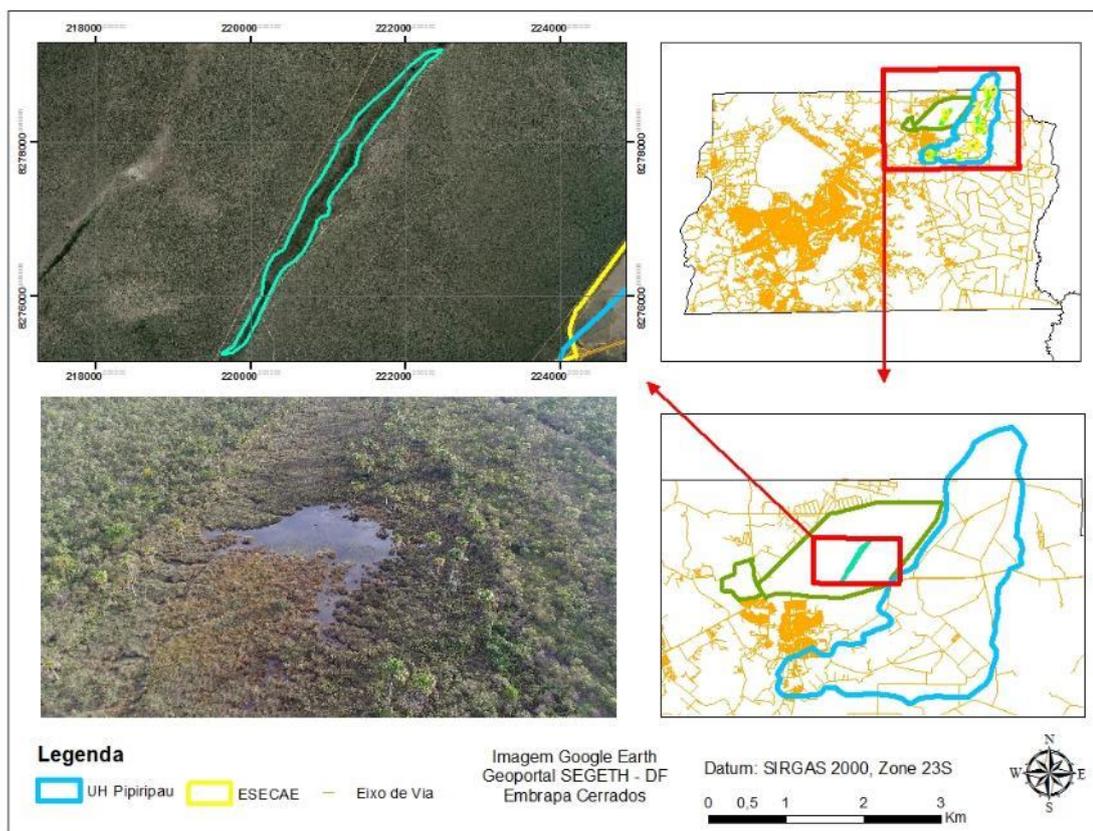


Figura 5. Localização da Vereda Grande, dentro dos limites da ESECAE, com fotografia de março de 2018.

A ESECAE é uma unidade de conservação de instância distrital, criada em 1988 destina-se a realização de pesquisas básicas aplicadas a Ecologia, à proteção do ambiente natural e ao desenvolvimento da educação conservacionista. Ali se abriga o fenômeno geográfico de dispersão das águas. Vertendo de um mesmo ponto para duas grandes bacias hidrográficas em direção oposta, o Córrego Vereda Grande contribui com a Unidade

Hidrográfica do Rio Maranhão que vai alimentar o Rio Tocantins, e, para o sul, onde o Córrego Brejinho alimenta o Córrego Fumal em direção ao Rio São Bartolomeu e depois o Rio Corumbá, o qual desagua no Rio Paranaíba e fazendo parte da formação do Rio Paraná. A Vereda do Córrego Vereda Grande possui cerca de 6 km de extensão, e o fenômeno de dispersão de águas faz dela um dos acidentes geográficos de maior expressão no território nacional.

Criada inicialmente com cerca de 4.000 hectares (Decreto nº 771 de 12/08/1986) com status de Reserva Biológica, teve sua área ampliada para 10.000 hectares, sendo recategorizada como Estação Ecológica, por meio do Decreto nº 11.137 de 16/06/1988 (MAURY; RAMOS; OLIVEIRA, 1994).

Tanto a UH do Ribeirão Pípiripau como a ESECAE fazem parte da região considerada “berço das águas”, que é o encontro de 3 grandes bacias brasileiras: o Rio Maranhão (bacia do Rio Tocantins), o Rio Preto (bacia do Rio São Francisco) e os rios São Bartolomeu e Descoberto (bacia do Rio Paraná). (CORREIA, 2016)

No entorno da ESECAE e da UH do Pípiripau também encontram-se outras áreas destinadas a preservação ambiental: Área de Proteção de Manancial – APM do Pípiripau, a Área de Proteção Ambiental (APA) do Planalto Central, a APA do Rio São Bartolomeu, o Parque Ecológico Vale do Amanhecer, o Parque Ecológico do Pípiripau e o Parque Ecológico dos Pequizeiros.

Já o Parque Nacional de Brasília, unidade de conservação de gestão federal, foi criado na época da construção de Brasília, por meio do Decreto nº 241, de 29 de novembro de 1961. Com seus limites já expandidos, hoje engloba aproximadamente 42.000 hectares de área preservada. Sua criação foi motivada pela proteção dos rios que contribuem para a represa de Santa Maria, fornecedora de água potável para o DF, equilíbrio das condições climáticas, prevenção da erosão do solo e preservação da vegetação original (MMA, 2018).

O Rio do Acampamento, fica na parte sul do Parque, já no limite da área, e deságua do Lago Paranoá, conforme Figura 6. Como está no limite do Parque, possui proximidade com área preservada e sofre influencia direta da zona de amortecimento da unidade. Optou-se por utilizar este rio especificamente dentro do Parque pela presença de veredas e facilidade para o mapeamento. Assim, a metodologia aqui pretendida foi delimitada apenas para abranger a área de contribuição do Rio do Acampamento.

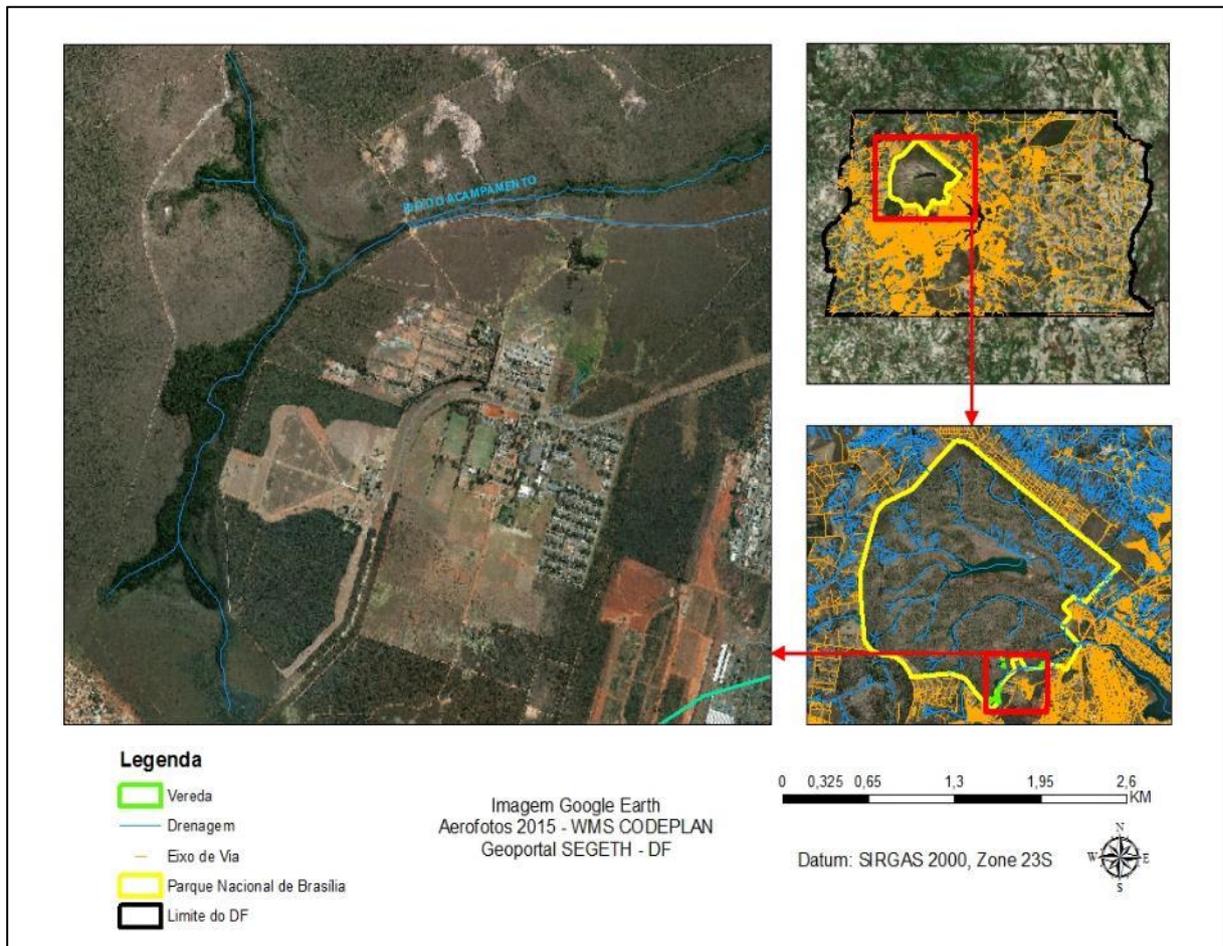


Figura 6. Localização do Rio do Acampamento, no Parque Nacional de Brasília.

Em relação ao clima, é evidenciado por sazonalidade bem característica: período seco e período chuvoso. O período seco ocorre entre maio e setembro sendo evidenciado pela baixa precipitação, baixa nebulosidade, alta taxa de evaporação com baixas taxas de umidade relativa. O período chuvoso vai de outubro a abril, com padrões contrastantes, sendo que 47% da precipitação anual se concentra entre os meses de dezembro a março. A precipitação média anual é de 1500 mm, com distribuição irregular. (CAMPOS, 2004)

O Distrito Federal encontra-se no domínio climático controlado pelas massas equatoriais e tropicais. A Região Centro-Oeste é frequentemente dominada pela massa Tropical Atlântica com ação relevante durante o ano todo. No verão, a massa se desestabiliza pelo aquecimento basal ocasionado pelo contato com o continente, agravado pelo efeito

orográfico do sistema atlântico. Durante o inverno a massa se estabiliza, diminuindo a ocorrência de nebulosidade e chuva (MONTEIRO, 1963).

Já a influência da massa Equatorial Continental ocorre durante o verão, atraída pelos sistemas depressionários do interior do continente. Originada na planície amazônica, a massa quente e de elevada umidade provoca aumento da temperatura, umidade e precipitação (MONTEIRO, 1963).

Quanto a circulação atmosférica, os sistemas de circulação responsáveis pelas condições de tempo e de clima na Região Centro-Oeste são anticiclone subtropical semifixo do Atlântico Sul, do sistema de correntes perturbadas de oeste a nordeste das linhas de instabilidade tropicas e o sistema de correntes perturbadas de sul a sudoeste da frente polar atlântica (NIMER, 1979).

De acordo com o Mapa Pedológico da EMBRAPA (escala 1:100.000), a distribuição dos solos está associado à evolução geomorfológica local. A UH do Ribeirão Pipiripau possui Neossolos, Cambissolos, Nitossolos, Solos Hidromórficos, e Latossolos, sendo que este último em maior evidência na região (Figura 7). Por consequência, existe um predomínio na região por solos intemperizados com minerais do grupo caulinita, óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos de Ferro e Alumínio, como hematita, goethita, gibbsita e outros, tendo o quartzo como mineral residual de alteração (MARTINS et al., 2004).

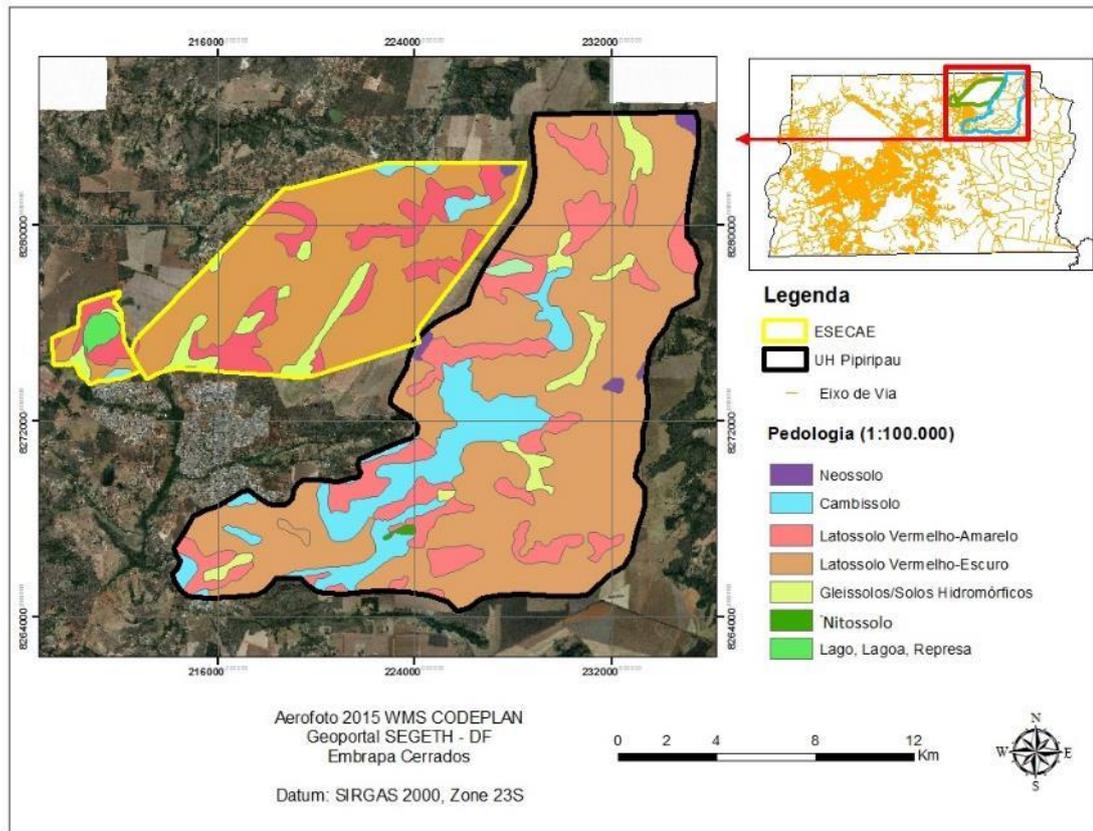


Figura 7. Pedologia da ESECAE e UH Pipiripau, nos limites do DF. Adaptado de Embrapa, 2004

Na Esecac, pode-se identificar Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelhos-Amarelos, os quais representam cerca de 54% da área da estação, Cambissolos, Gleissolos e Neossolo.

Os Cambissolos ocorrem geralmente associados a afloramentos rochosos de quartzitos, onde a declividade se acentua, principalmente na unidade geomorfológica de Escarpas e nas vertentes mais dissecadas. A declividade alta favorece o escoamento superficial em detrimento da infiltração, conseqüentemente o horizonte subsuperficial é pouco alterado quimicamente e, possui índices elevados de silte (CARVALHO, 2015b).

Os Gleissolos são formados por processo pedogenético localizado, relacionados às condições de alagamento ao longo do ano, proporcionando a instalação do hidromorfismo. São solos ricos em matéria orgânica e destacam-se na paisagem por estarem associados a veredas, constituindo áreas deprimidas e aplainadas com drenagens que se desenvolveram recentemente. Os neossolos são pouco evoluídos, de textura arenosa em toda a extensão do perfil, com baixa concentração de argila. Eles ocorrem geralmente associados a afloramentos

rochosos de quartzitos, nos locais onde a declividade se acentua, correspondendo as encostas mais dissecadas pela drenagem na Esecac. (MARTINS et al., 2004)

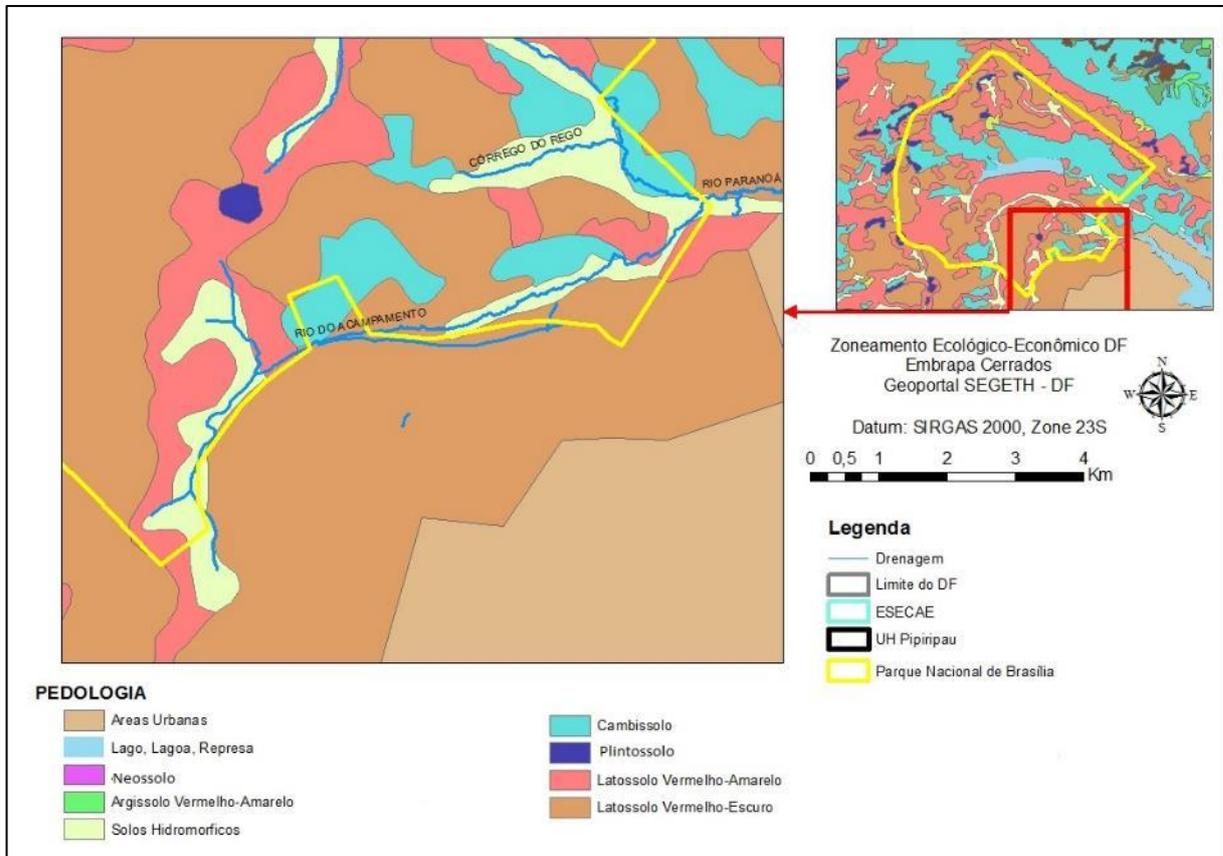


Figura 8. Pedologia da Região do Córrego do Acampamento. Adaptado de Embrapa, 2004.

A Figura 8 foca a pedologia da região do Rio acampamento, no Parque Nacional de Brasília. De acordo com o Plano de Manejo do Parque (ICMBIO, 2018a), de uma forma geral os solos apresentam problema quando a disponibilidade de nutrientes essenciais, o que justifica a vegetação dominante de cerrado e campo cerrado, fitofisionomias adaptadas a solos ácidos e distróficos. Os latossolos são dominantes apresentando solos hidromórficos próximos ao leito do rio, onde ocorrem as veredas, com incursões de cambissolo. Os solos hidromórficos estão situados em área de relevo plano onde o lençol freático permanece próximo a superfície a maior parte do ano.

Quanto a geomorfologia, observa-se na Figura 9 a projeção das três áreas sobre o mapa da geomorfologia do DF (ZEE-DF). Na UH do Pipiripau observa-se a transição de chapada para rebordo e escarpa apresentando relevo suave-ondulado mas com altitudes

inferiores as áreas de chapadas. A queda da altimetria se dá suavemente, apresentando eventos de depressão dissecada apenas em regiões onde a hidrografia é marcada.

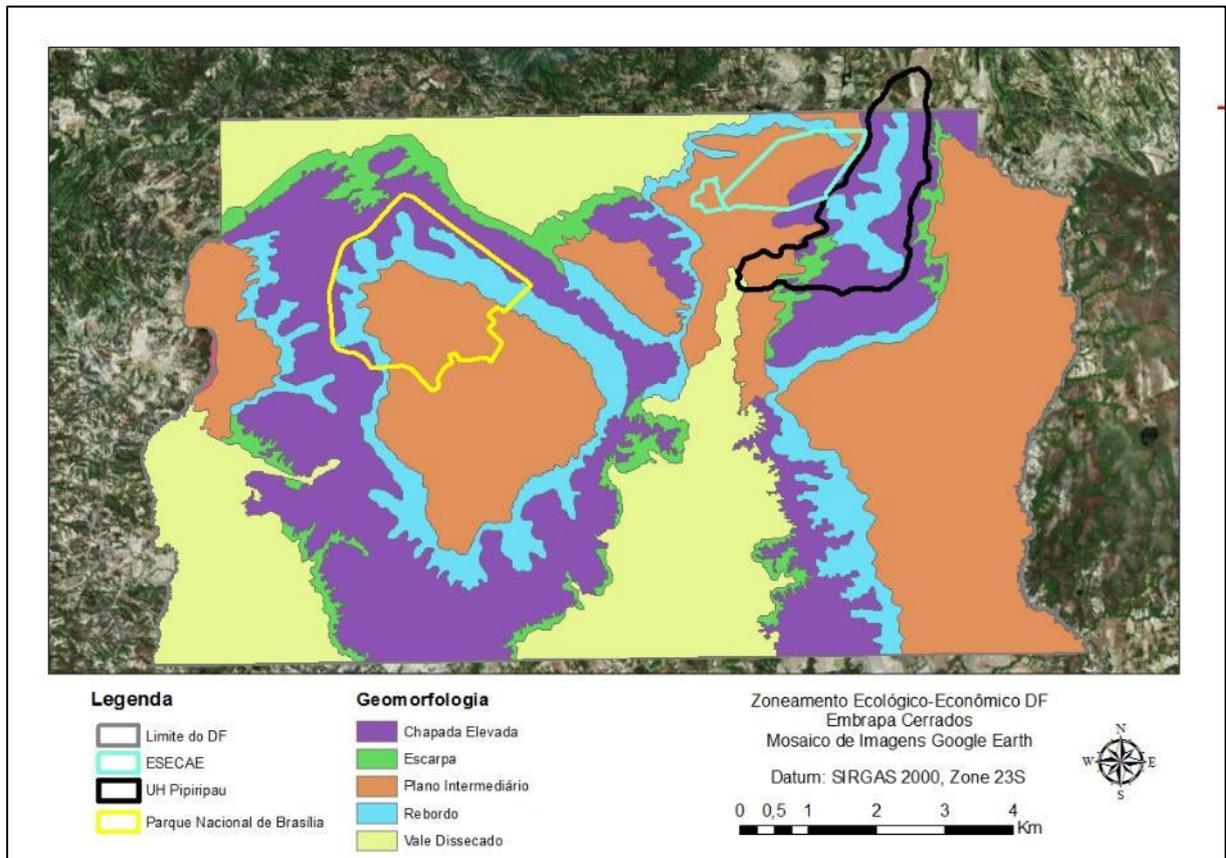


Figura 9. Geomorfologia do DF. Fonte: ZEE-DF (Acesso em 01/2018).

Segundo CARVALHO (2015), os planos intermediários ocupam a maior parte da área da ESECAE e são definidos por extensas colinas rebaixadas individualizadas por vales abertos. “Na área da Vereda Grande, ocorrem rochas de Unidade metarrítimitos argilosos (R4) e são recobertos por latossolos e concreções ferruginosas. São identificados alguns morros residuais nas proximidades do Corrego Cascarra, onde afloram quartzitos associados a Cambissolos e Neossolos.”

Associado a estes planos ocorre o vale aberto de fundo chato, depressão alongada com declividade inferior a 2%. Ocorrem a altitudes de 1032m ate as proximidades de 1025m, local onde há concentração do fluxo fluvial e formação do vale encaixado assimétrico (controle estrutural) sentido norte (córrego Vereda Grande) e, simétrico no sentido Sudeste, córrego Fumal.

O diagrama da Figura 10 permite compreender a classificação geomorfológica no DF. Com foco no perfil B, a transição Chapadas elevadas/Rebordos/Escarpas/Planos Intermediários traz uma representação referente a porção leste do Distrito Federal, mostrando vertentes com declividades intermediárias, como é o caso da UH do Pípiripau e ESECAE. Já no perfil C observa-se a característica de perfil da vertentes no PNB. (MARTINS, 2004).

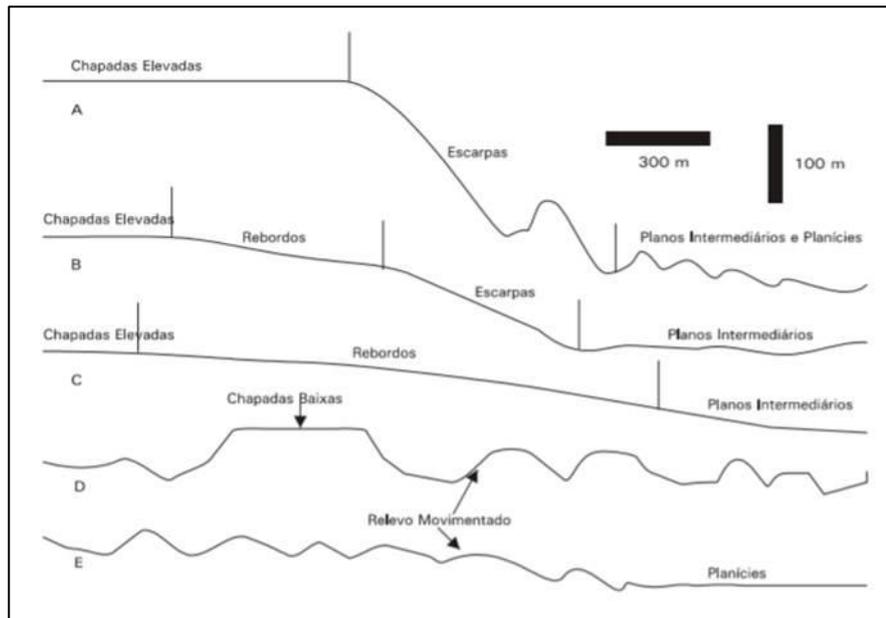


Figura 10. Vertentes do DF. Fonte: MARTINS (2004).

Em escala mais detalhada, na UH do Pípiripau, em sua porção mais ao norte apresenta uma chapada, frente de recuo erosivo e rampa de colúvio, enquanto que na porção mais ao sul, ocorre uma transição para uma área mais acidentada, diminuindo-se a incidência de chapada e surgindo formações de depressão dissecada. Essa diferença de ambientes geomorfológicos pode apresentar diferentes resultados, considerando que as veredas podem estar classificadas de diferentes formas, conforme a predominância geomorfológica do ambiente em que se insere. (CORREIA, 2016).

No Parque Nacional de Brasília identificam-se três grandes unidades geomorfológicas: Chapada da Contagem, a Depressão do Paranoá e a Encosta da Chapada da Contagem. A região do rio do Acampamento está dentro da Depressão do Paranoá, unidade de maior expressão no Parque, correspondendo a área de dissecação intermediária do relevo. Em relação as formas de relevo, há a predominância de curvaturas retilíneas e côncavas nas vertentes, em nível inferior a Chapada da Contagem. Registram-se cotas em 1200 e 1007m de

altitude. O declive é suave e ondulado com interflúvios amplos e rampas entre 5 e 10° de denível, terminando em vales de fundo chato que formam canais de drenagem que contribuem para o vale do Rio Paraná (ICMBIO, 2018a).

Quanto a geologia, de uma forma geral, o DF por estar localizado na porção central da Faixa de Dobramentos e Cavalgamentos Brasília na sua transição das porções internas (de maior grau metamórfico) e externas (de menor grau metamórfico), apresenta uma estruturação geral bastante complexa com superimposição de dobramentos com eixos ortogonais (CAMPOS, 2004).

Quatro conjuntos litológicos compõem a geologia regional do DF: Paranoá e Canastra (idade meso/neoproterozóica); Araxá e Bambuí (idade neoproterozóica) (MARTINS et al., 2004). Considerando que as áreas de estudo se encontram completamente dentro do Grupo Paranoá, pode-se dizer que nas três regiões, há presença das seguintes unidades do grupo Paranoá (Figura 11): Grupos A (MNPpa), R3 (MNPpr3), Q3 (MNPpq3), R4 (MNPpr4) e PPC (MNPcmo). A Figura abaixo estratifica as unidades do Grupo Paronoá, evidenciando o predomínio ardósia no Rio do Acampamento, Metarritmito arenoso na UH do Ribeirão Pipiripau e Metarritimito Argiloso na ESECAE.

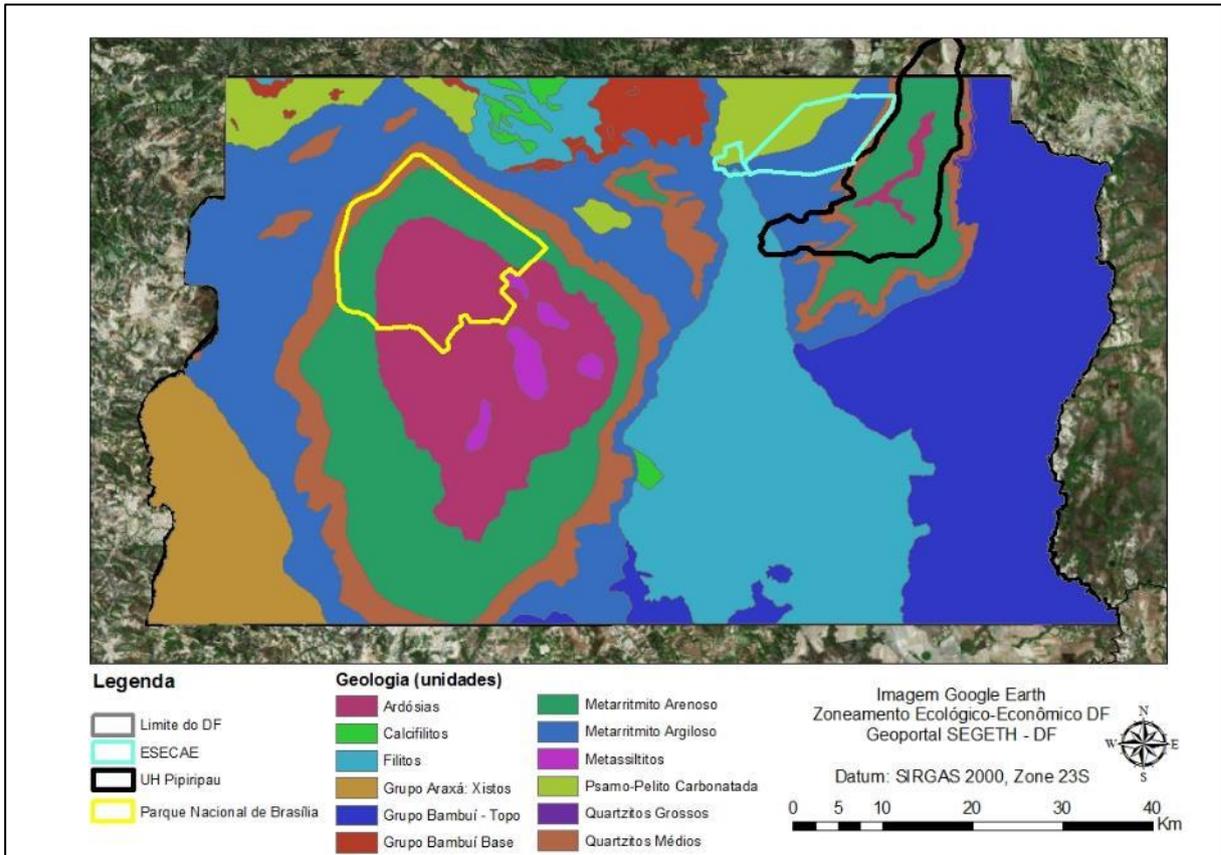


Figura 11. Mapa das Unidades Geológicas DF. Fonte: Zonemaento Ecológico-Econômico – ZEE/DF. Secretaria de Estado de Meio Ambiente do DF – SEMA.

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1. Etapas do trabalho**

Este trabalho foi desenvolvido nas seguintes etapas:

- Etapa 01: Mapeamento de ambientes de vereda. Esse momento incluiu identificação visual das áreas de vereda por meio das aerofotos de alta resolução. Posteriormente, a verificação em campo do limite brejoso com incursões em uma amostragem das áreas mapeadas como veredas com o objetivo de identificar ambientes hidromórficos no que tange às características de vegetação e de solo.
- Etapa 02: Levantamento dos dados. Os parâmetros de altimetria, pontos cotados, a partir do levantamento aerofotogramétrico, e drenagem foram levantados e ajustados para processamento do modelo digital de terreno hidrológicamente consistido de alta resolução. Foram levantadas 3 áreas foco para avaliação do resultado da modelagem:
  - a. Unidade Hidrográfica do Ribeirão Pipiripau (Porção Nordeste do DF).
  - b. Região do Córrego Vereda Grande, dentro da Estação Ecológica de Águas Emendadas – ESECAE.
  - c. Região das Veredas do Rio do Acampamento, dentro do Parque Nacional de Brasília.
- Etapa 04: Realização da modelagem do terreno com a geração dos parâmetros geomorfométricos e análise dos resultados.

### **4.2. Mapeamento das Veredas**

A identificação do ambiente de vereda adotou critérios visuais na interpretação, onde textura, formato, e localização foram considerados. A textura se diferencia com a presença da vegetação de gramínea e elementos arbustivos, com a presença dos indivíduos arbóreos

isolados; quanto ao formato e localização existe a tendência de aproximação dos canais de drenagem e acompanhamento dos mesmos.

O mapeamento foi realizando com visualização das Aerofotos de resolução 1 m no ano de 2009 e de 23 cm dos anos 2013, 2014 e 2015. A informação principal para mapeamento visual foi extraída da imagem de 2009, sendo as outras utilizadas para esclarecimentos.

Imagens antigas datadas da década de 1960, presentes no Geoportal da Secretaria de Estado de Gestão de Território e Habitação – SEGETH, foram utilizadas também para esclarecimentos e comparação dos resultados.

Dentro dessa lógica, das áreas identificadas como veredas que se encontram na região de trabalho, apresentam-se como Vereda de Superfície Tabular, Veredas de Encostas e Veredas de Cordão Linear, dentro da classificação apresentada por CARVALHO (2009): a vereda de superfície tabular ocorre em planaltos, as de encosta em áreas de desnível topográfico e a de cordão linear às margens de curso d'água. Com o mapeamento das veredas, realizou-se incursões em campo para confirmação e definição de padrões reconhecidos.

Nessas áreas foram observadas as relações solo-vegetação e topografia da área para identificação e delimitação. As áreas são de difícil acesso e, na maioria dos casos, houve a colaboração dos produtores rurais locais para projeção do limite brejoso. Com o resultado das modelagens, as vitórias permitiram a confirmação dos ambientes como veredas e a delimitação.

#### **4.3. Levantamento dos dados topográficos**

Nas informações de altimetria (curva de nível e pontos cotados), extraídos do levantamento aerofotogramétrico de 2009 foram verificados e ajustados em seus valores altimétricos. Já a drenagem apresentava alguns vetores com problemas na direção de fluxo, os quais foram corrigidos. O tratamento das informações foi realizado no software ARCGIS, utilizando ferramentas de edição vetorial e topologia.

#### 4.4. Modelagem hidrológica

Cruzando os resultados dos processamentos de atributos primários e secundários com a média dos valores dos pixels das áreas identificadas como vereda, definiu-se os seguintes parâmetros de análise:

- ❖ Relação entre área de contribuição e declividade: seguindo a metodologia trazida por CORREIA (2016), a qual utilizou a relação desses dois elementos geomorfométricos para extrair o limiar de escoamento, de acordo com a fórmula de Beven e Kirkby. O limiar de escoamento se apresenta como um índice influenciado por esses dois parâmetros que permite espacializar na região os pontos em que a geomorfologia permite o real escoamento hídrico. CORREIA (2016) buscou esse argumento para diferenciar canais de drenagem de corpos hídricos.

- ❖ Índice Topográfico: gerado a partir da elevação, declividade, direção de fluxo e área de contribuição, o índice entende que a declividade exerce influência direta sobre o fluxo da água, contribuição e a acumulação, entre outros. Por definição o índice apresenta a distribuição das zonas de saturação de água, incluindo aqui água superficial e umidade no solo. O IT irá estimar o balanço entre o acúmulo de água e condições de drenagem em escala local (OLIVEIRA et al, 2016)

- ❖ Modelo HAND: considerando a normalização topográfica que o modelo traz na matriz, a partir da equalização da drenagem em nível 0, foi utilizado para delimitação das veredas a partir do entendimento de propensas áreas de concentração de umidade.

A utilização do Índice Topográfico se dará pelo programa TauDEM (*Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*). É um conjunto de ferramentas incluídas como plugin do software Arcgis, para extração e análise de informações hidrológicas da topografia, representada por um MDT (TARBOTON, 2003). O fluxo de trabalho para geração do Índice Topográfico pode ser observado na Figura 12. Optou-se por utilizar o plugin TAUDEM pelo processamento da direção de fluxo poder ser realizado na lógica do D-Infinito.

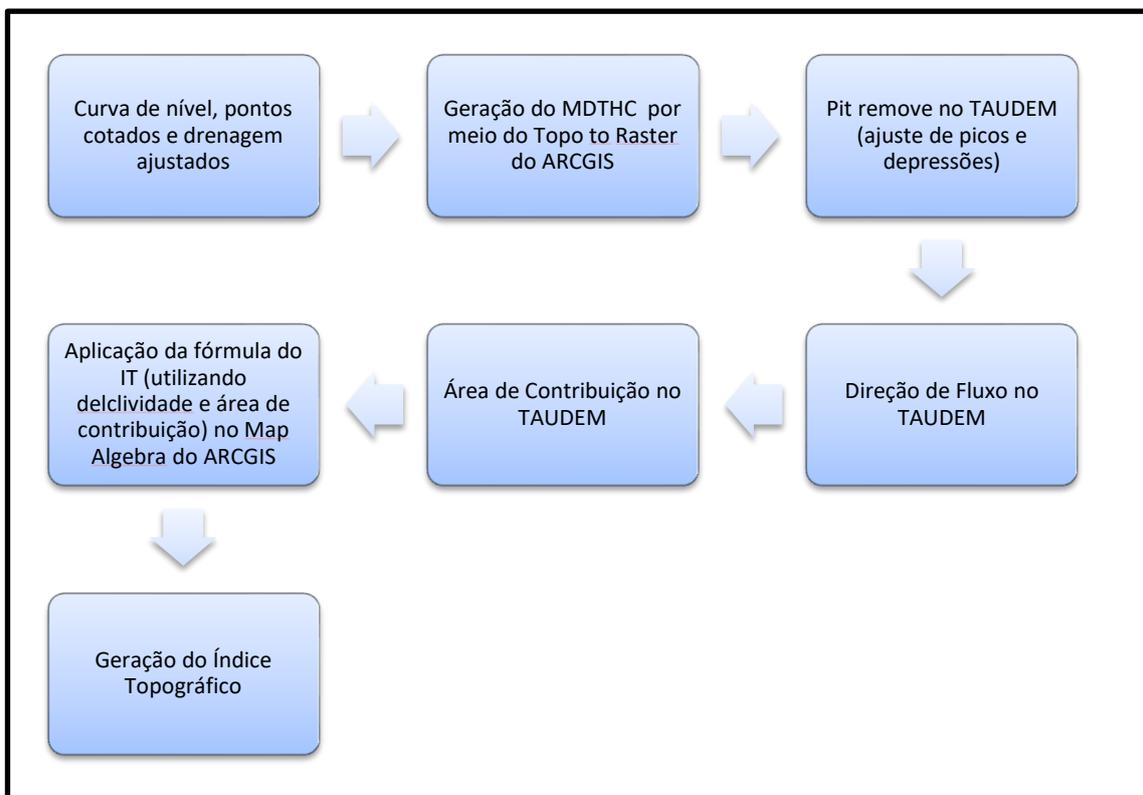


Figura 12. Fluxo de trabalho para geração do Índice Topográfico

De acordo com BRESSIANI (2016), o programa TAUDEM é capaz de calcular direções de fluxo de encostas e áreas de contribuição utilizando métodos simples (D-8) e múltiplo (D-infinity) de direção de fluxo.

Fluxo simples ou D-8 (*Deterministic Eight-Neighbors*), método desenvolvido por O'Callaghan e Mark em 1984, é dirigido para uma única direção (CORREIA, 2016). O método utiliza a regra da maior declividade para atribuir a direção do fluxo. O resultado deste processamento é uma grade de pontos DFD (Direção de Fluxo de Drenagem ou, em inglês LDD – *Local Drain Direction*). Neste ponto, a regra da conexão entre os pontos hidrológicos respeita a força gravitacional, onde a água sempre segue o ponto mais baixo. No entanto, se uma célula tem valor menor ou igual ao menor de seus oito vizinhos, é entendida como sumidouro no MDT, podendo ser áreas naturais (relevo cárstico) ou ruídos gerados durante o processamento do MDT. Para regularizar as imperfeições é necessária uma rotina de

regularização da drenagem para corrigir o dado topográfico (MOMO; PINHEIRO; CUARTAS, 2016).

Fluxo múltiplo ou D-Infinito, método desenvolvido por Tarboton em 1997, entende a dispersão do fluxo em superfície de relevo. O D-Infinito considera a inclinação mais íngreme em uma faceta triangular, permitindo ângulos contínuos de fluxo e o particionamento da direção entre duas ou mais células vizinhas. O algoritmo de fluxo simples depende principalmente da topologia da rede de drenagem, enquanto que o de fluxo múltiplo considera topologia e relevo combinados para direcionar o fluxo (CORREIA, 2016)

A utilização do Modelo HAND se dará pelo Programa TerraViewHidro, plataforma livre para execução de aplicações envolvendo modelagem hidrológica distribuída, desenvolvida pelo INPE. O fluxo de trabalho pode ser observado na Figura 13.

Segundo MOMO, PINHEIRO & CUARTAS (2016) o modelo HAND possui como entrada o MDT e o processo é desenvolvido em três etapas: a primeira envolve a correção do MDT e geração da direção do fluxo de drenagem pelo método *D-8*. A segunda etapa envolve geração da área de contribuição onde é definido um limiar mínimo para identificar as células da grade nos quais se iniciam os cursos d'água. A terceira etapa envolve a geração da topologia HAND. O modelo classifica todos os pontos da grade de entrada com base nas distâncias verticais relativas, ao longo das trajetórias superficiais de fluxo, para o curso d'água mais próximo. O resultado é um MDT normalizado, onde a cada ponto de grade é ajustado com um novo valor altimétrico referenciado topograficamente com a rede de drenagem.

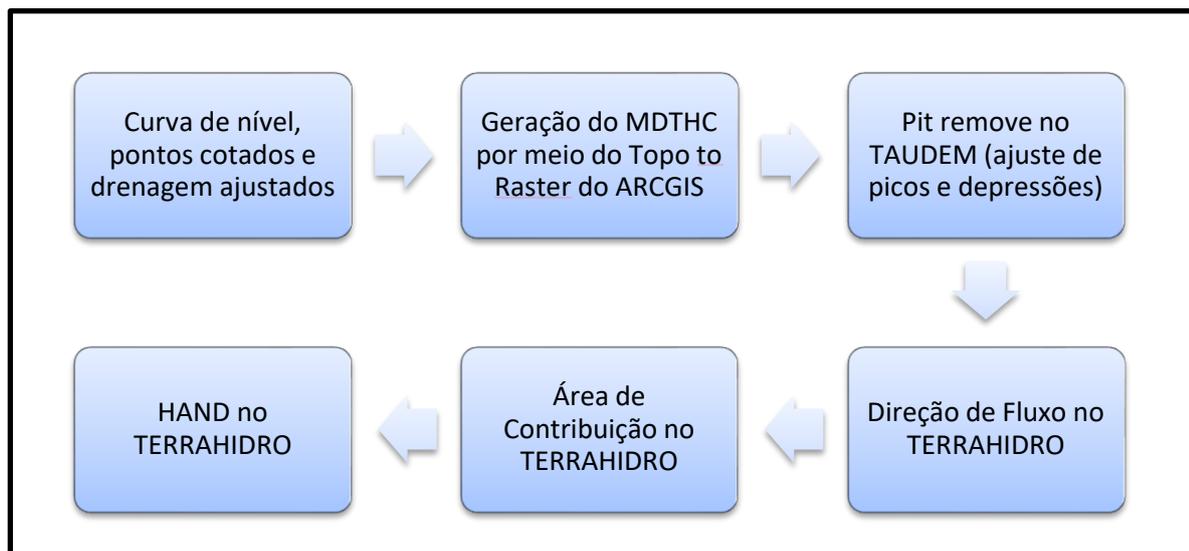


Figura 13. Fluxo de trabalho para geração do Modelo HAND.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os processamentos a partir do MDT, foram gerados sub-produtos que permitem análises para entender como os ambientes de vereda se distribuem na região dos rios Pípiripau e do Acampamento e na ESECAE.

Foram identificadas 14 áreas de vereda, mapeadas por meio do mosaico de aerofotos de 23 cm de resolução. Dessas veredas, uma encontra-se da ESECAE (Vereda Grande), nove encontram-se na UH Pípiripau (Figura 14), e quatro encontram-se na região do Rio do Acampamento, dentro do PNB (Figura 15).

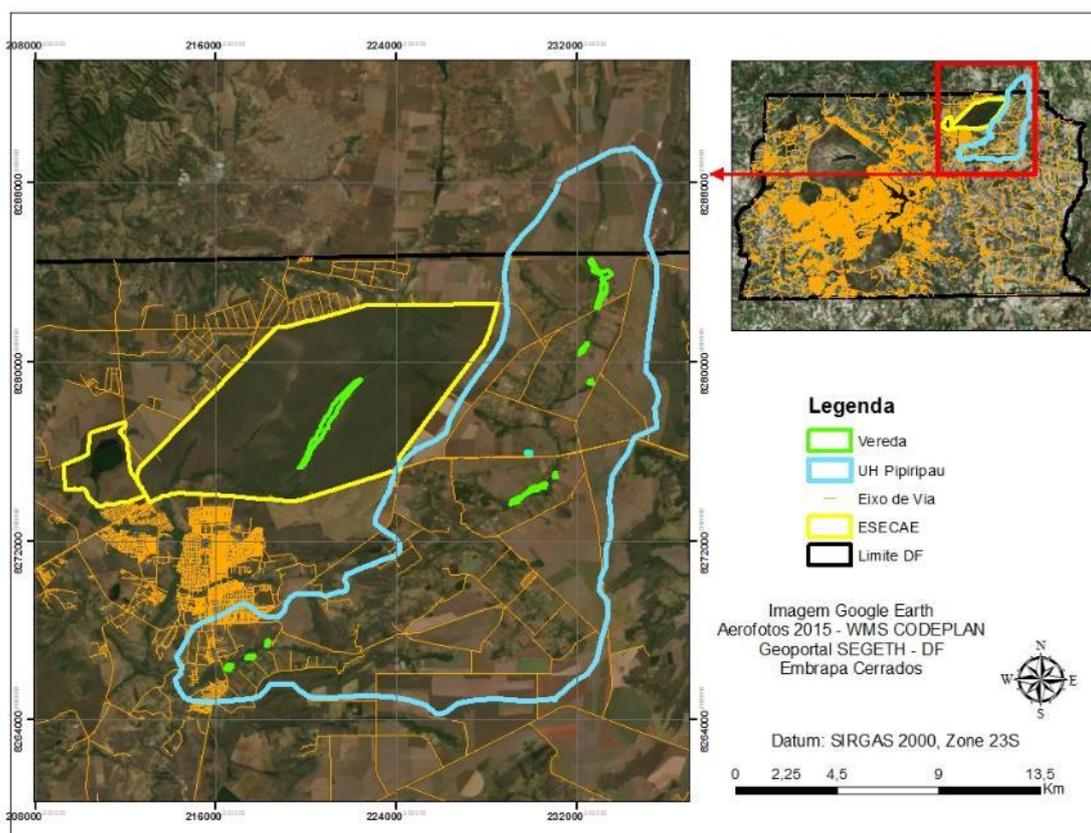


Figura 14. Mapeamento de veredas da UH Pípiripau e ESECAE.

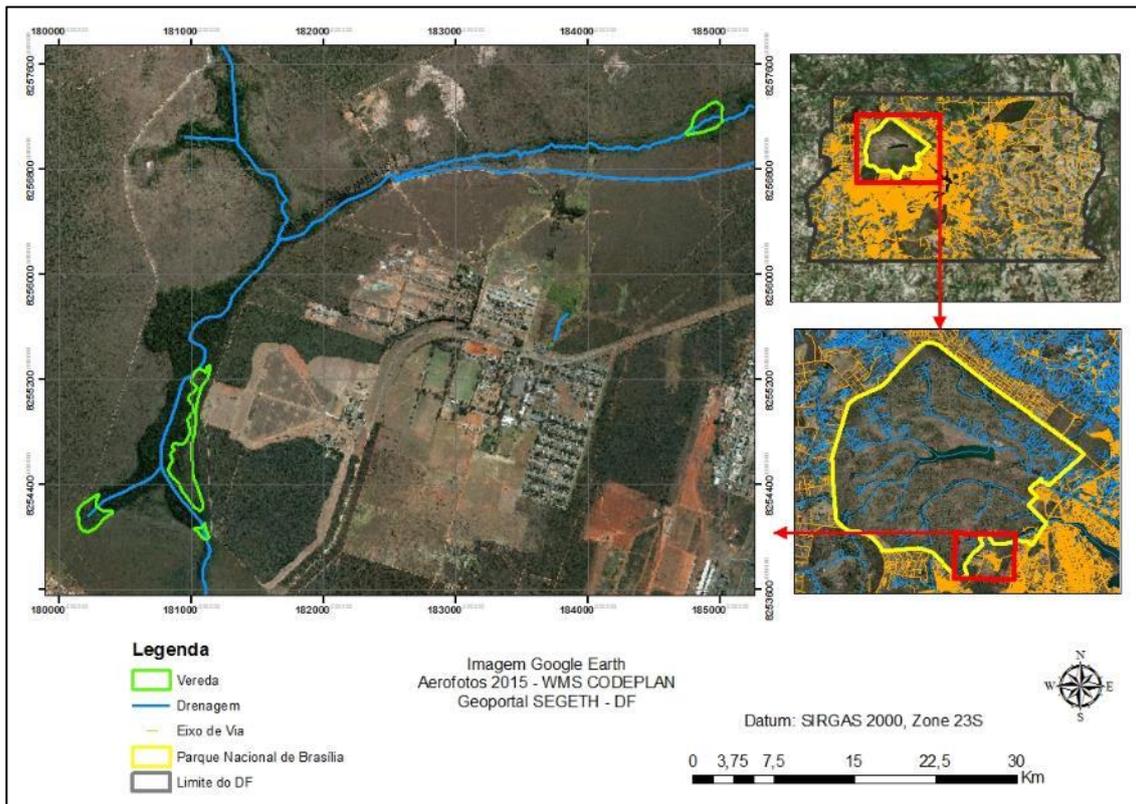


Figura 15. Mapeamento das veredas do Rio do Acampamento, no limite do Parque Nacional de Brasília.

A Figura 16 apresenta todas as 14 veredas delimitadas a partir do mapeamento realizado que considerou a relação solo-vegetação local e o conhecimento de produtores locais e gestores de unidades de conservação. As veredas possuem diferentes formatos, diferentes posicionamentos em relação a geomorfologia das regiões e encontram-se em estágios diferenciados de conservação e utilização, assim como de influência antrópica em na região em que se insere.

As veredas foram identificadas de forma numérica para facilitar suas referências:

- As veredas Id 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 encontram-se na UH do Pipiripau;
- A vereda Id 4 se refere a Vereda Grande, dentro da ESECAE
- As veredas Id 11, 12, 13 e 14 encontram-se na bacia do Rio do Acampamento, no limite sul do PNB.

Em relação aos solos, as veredas ocorrem em todos os casos em áreas de solo hidromórficos/gleissolos, configurando ambientes úmidos com propensão a vegetação típica. Já em relação a geomorfologia, as veredas ocorrem em unidades de plano intermediário,

escarpas e rebordos, pontos de transição da geomorfologia em que a altimetria mesmo que suavemente declinada, apresenta variações permitindo a ocorrência do aspecto côncavo, e a consequente concentração hídrica.

A Vereda Grande na ESECAE se encontra no plano intermediário, relevo movimentado e plano, o que justifica sua peculiar característica de “águas emendadas”, fenômeno de dispersão de águas fluindo a partir de um mesmo ponto para lados opostos, formando a Bacia do Tocantins-Araguaia e a Platina, se apresentando como vereda de superfície tabular. As veredas da Bacia do Rio Acampamento também se encontram no plano intermediário. As veredas mapeadas da região do Ribeirão Pípiripau acompanham a drenagem principal, configurando prolongamentos da unidade recorrente da formação geomorfológica (rebordo em altitudes mais altas - porção norte da bacia - e relevo menos movimentado; escarpas e altitudes mais baixas - porção sul da bacia - e relevo mais movimentado) que acompanha a concentração hídrica para formação do canal de drenagem. Se apresentam como veredas de cordão linear.



Figura 16. Identificação das veredas alvo de avaliação da metodologia deste trabalho.

É importante salientar que a caracterização fitofisionômica desses ambientes faz parte de uma lógica de evolução da paisagem. De acordo com Carvalho (1991) existem 4 estágios evolutivos das Veredas, o que acaba por trazer muita dificuldade para sua identificação de forma visual. O estágio 1 se refere a vereda considerada clássica, em superfície plana a suavemente ondulada ou em encostas e cabeceiras, caracterizada por cerrado tipo campo úmido com presença de buritis. O estágio 2 mantém-se a faixa pantanosa com os buritis mas começam a surgir os primeiros indivíduos arbóreos. O estágio 3 ocorre o dreno da área pantanosa, com a formação de canal, e mais elementos arbóreos se associam aos buritis. Esse estágio caracteriza-se pela transição propriamente dita, pois já observa-se uma estrutura florestal. No estágio 4 os buritis estão em fase senil, árvores mais grossas já são presentes e o ambiente é mais sombrio.

Os estágios 1 e 2 são mais sensíveis a atividade antrópica em suas proximidades, muito pelo avanço da agricultura e pecuária sobre a zona de campo úmido. Já os estágios 3 e 4 são alvos frequentes de desmatamento, estradas e queimadas (CARVALHO, 1991).

Identificar e delimitar veredas esbarram na dificuldade em caracterizá-las como tal ambiente e, sendo assim, buscou-se utilizar áreas de veredas que se caracterizam nos estágios 1 e 2, como é possível observar na Figura 16. As veredas propriamente ditas estão entre os estágios 1 e 2, protegidas em lei e passíveis de identificação na metodologia aqui apresentada, e que a transição que se refere os estágios 3 e 4 indicam um caminho para mata de galeria inundada. Segundo Carvalho (1991) essa variação das veredas não se dá unicamente por condições naturais, mas pelo contínuo assoreamento e outros efeitos da ação antrópica. A importância ambiental das veredas se resguarda em aspectos hidrológicos e ecológicos e o entendimento da sensibilidade desses ambientes deve evoluir cada vez mais no planejamento territorial das bacias hidrográficas.

A Figura 17 apresenta registro fotográfico com exemplos algumas veredas para verificação da vegetação associada e grau de antropização.



Figura 17. (a) Vereda com presença de vegetação arbustiva e alguns indivíduos da palmeira Buriti. (b) Registro de vegetação arbustiva em ambiente alagado. (c) Antropização em ambiente de vereda: captação de água, desmatamento e cultivo. (d) Vereda preservada com vegetação herbácea bem característica, poucos arbustos e indivíduos arbóreos na porção central. (e) Vereda com maior presença de vegetação arbustiva com mata de galeria próxima.

A construção do MDT hidrológicamente corrigido para início dos processamentos dos dois modelos consistiu na correção dos insumos primários e dos parâmetros dentro da ferramenta Topo to Raster do ARCGIS para alcançar melhores resultados. Esses ajustes são feitos para diminuir os efeitos de borda (variações e distorções nos limites da região definida como de trabalho para geração do MDT), diminuição de picos e depressões (erros do processamento que podem gerar valores extremamente altos e baixos e necessitam suavização) e efeito escada (efeito pixelado no resultado). Após o tratamento gerou-se os MDT's hidrológicamente consistido das duas áreas de trabalho.

O MDT na região que engloba a UH do Ribeirão Pipiripau e a Vereda Grande dentro da ESECAE apresentou variações de 0° a 63° sendo que a área mais plana encontra-se no norte enquanto que na área mais ao sul estão as áreas de maior declividade (Figura 18). Em relação a área de contribuição de 0,3 a 8,1, onde os maiores valores encontram-se próximos as linhas de drenagem (Figura 19).

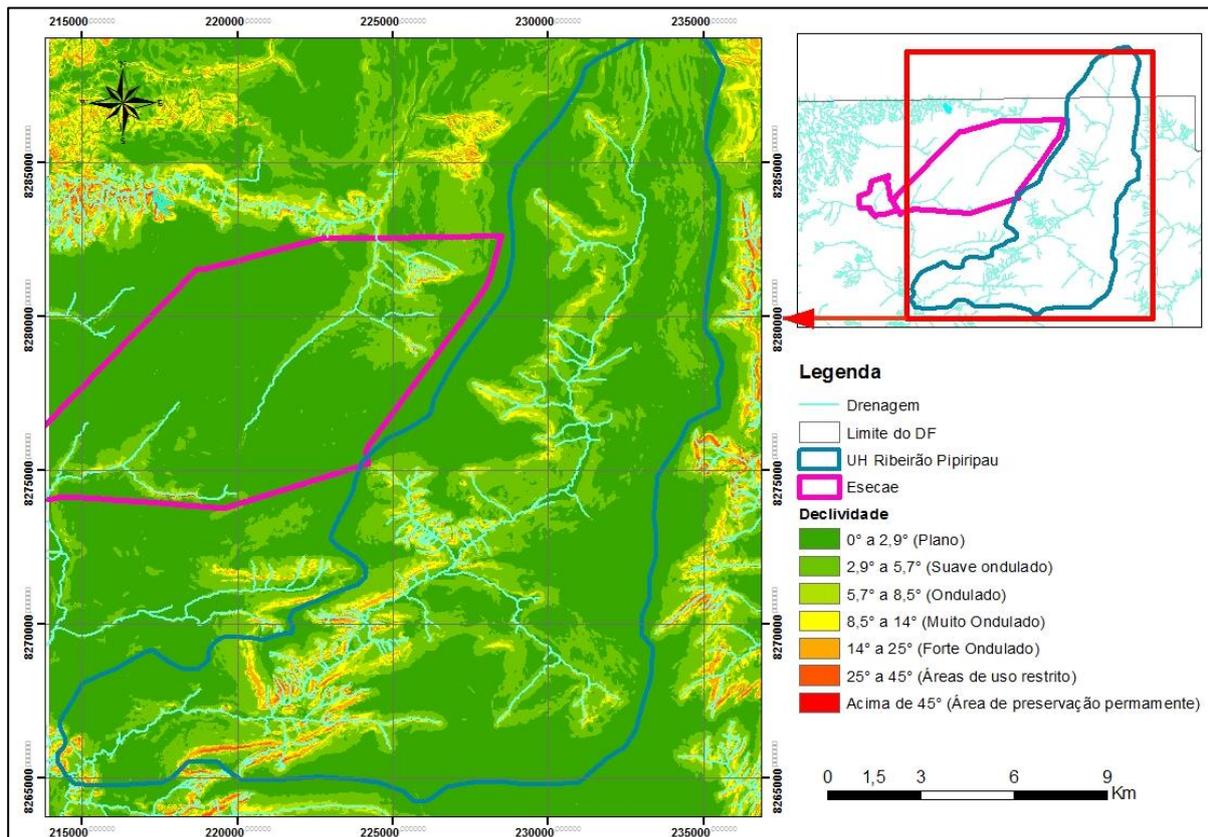


Figura 18. Mapa de Declividade da UH do Ribeirão Pipiripau e da região da Vereda Grande dentro da ESECAE. Classificação da declividade conforme Resolução nº 387, de 27 de dezembro de 2006 (CONAMA)

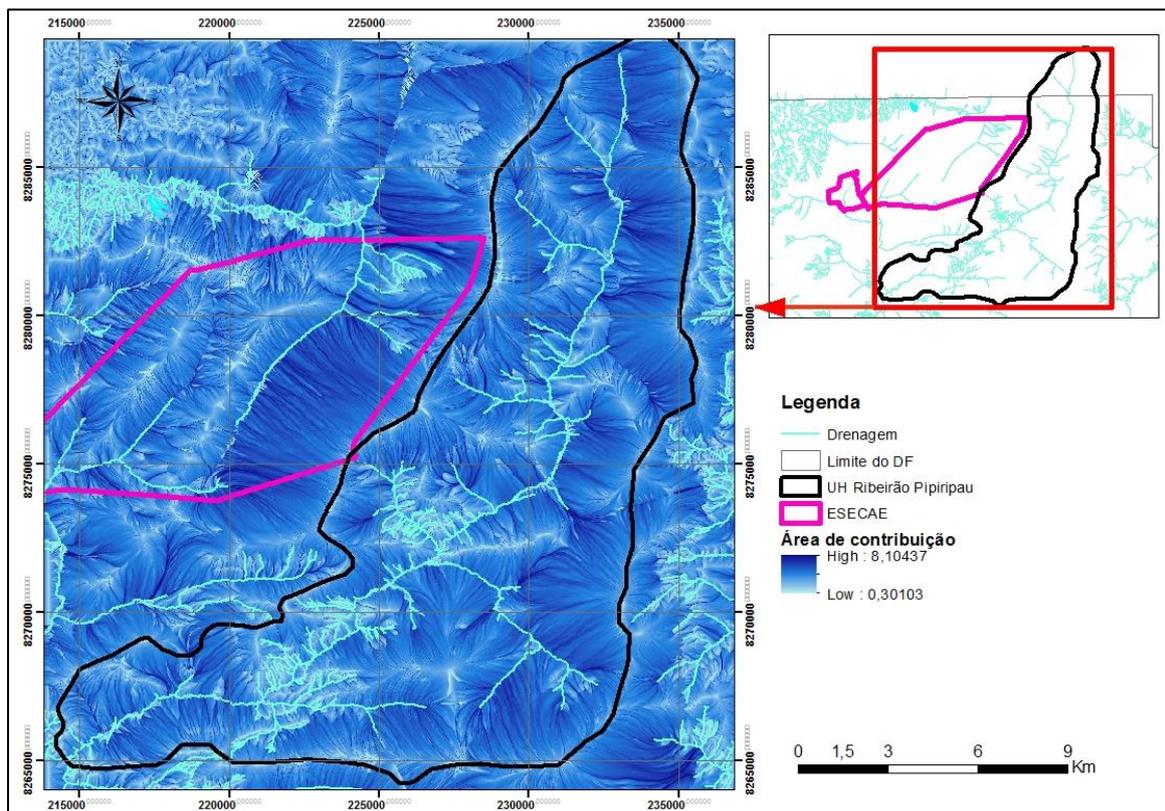


Figura 19. Mapa de área de contribuição da UH do Ribeirão Pipiripau e da região da Vereda Grande dentro da ESECAE.

Quanto à região do Rio do Acampamento, o MDT varia entre  $0^\circ$  e  $35,12^\circ$ , apresentando uma região plana em sua maior parte com declividade mais ondulada próximo as drenagens (Figura 21). Em relação a área de contribuição, ocorre a variação de 0,30 a 7,41 (log10) (Figura 22).

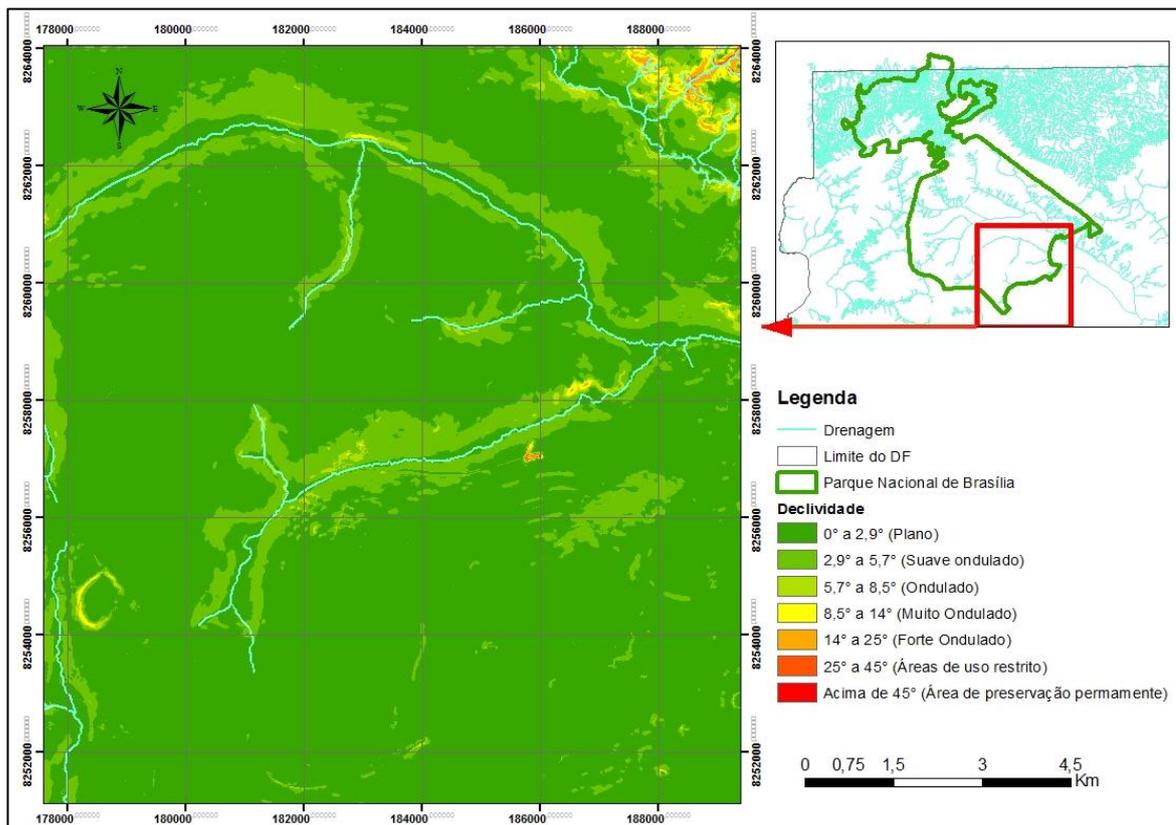


Figura 21. Mapa de Declividade da região do rio do Acampamento, dentro da ESECAE. Classificação da declividade conforme Resolução nº 387, de 27 de dezembro de 2006 (CONAMA)

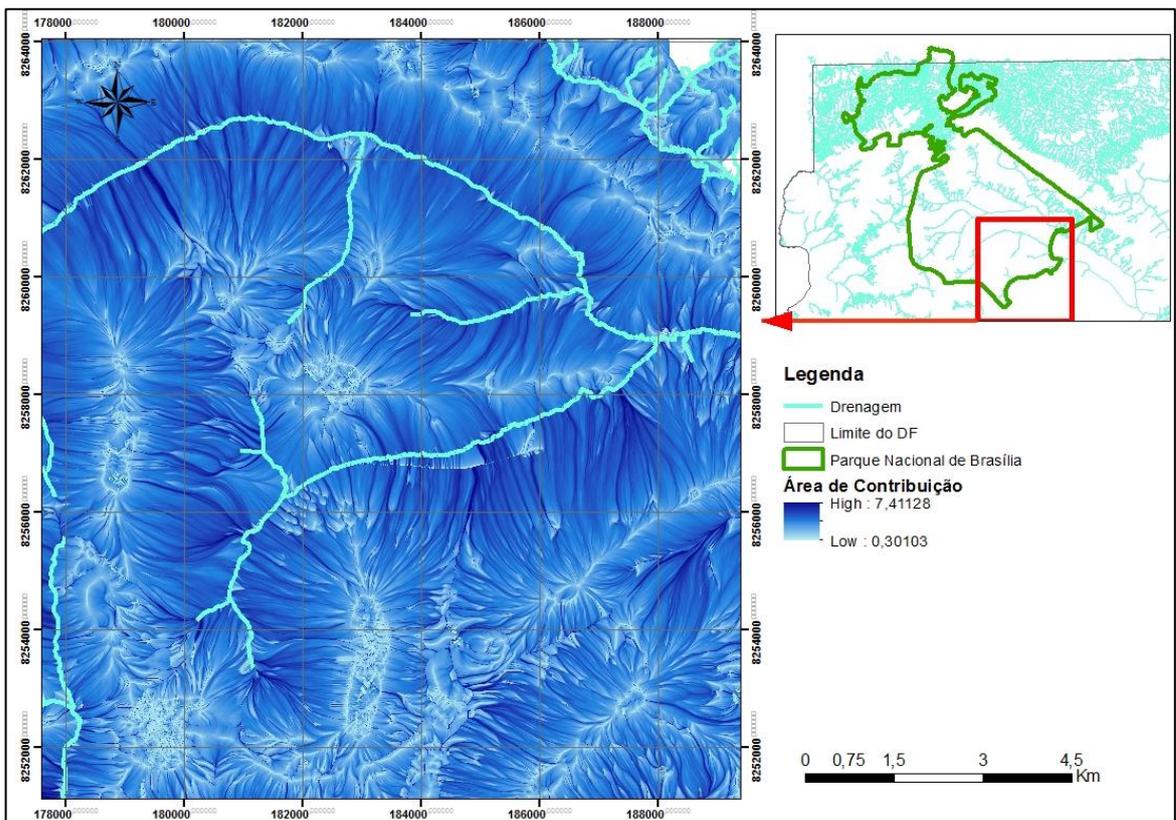


Figura 20. Mapa de área de contribuição da região do rio do Acampamento.

Na Figura 22 é possível observar a relação área de contribuição e declividade (em graus radianos) em gráfico que representa padrão dispersivo do valor médio dos pixels das veredas mapeadas.

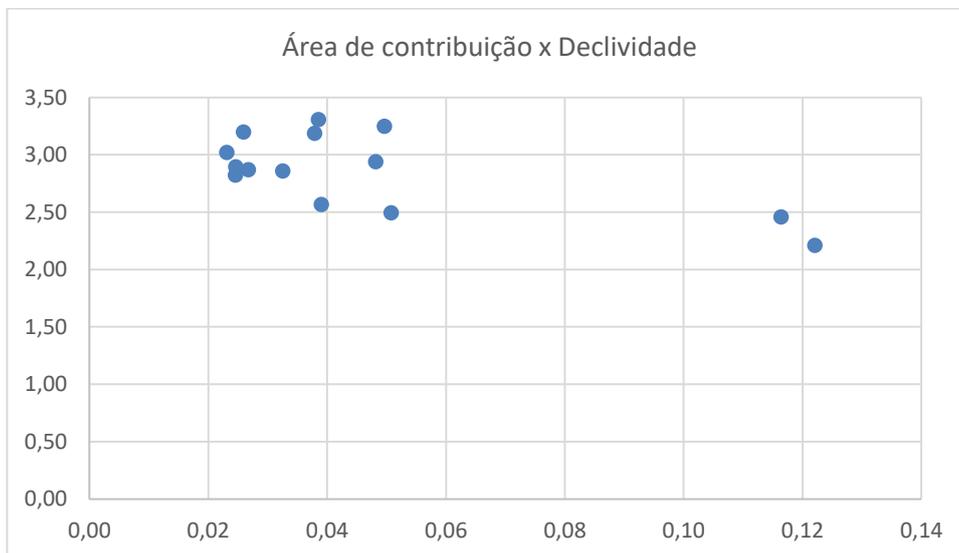


Figura 22. Padrão dispersivo da relação entre área de contribuição e declividade.

Dois pontos fogem do padrão em relação as outras veredas, apresentando menores valores de área de contribuição e maiores valores de declividade. Esses pontos representam duas veredas da UH do Pipiripau que possuem duas particularidades em relação as outras identificadas: a Vereda Id 1 possui declividade mais acentuada ao se aproximar da drenagem mais próxima, apresentando um entalhamento mais profundo do talvegue do rio, enquanto que a vereda Id 3 se encontra mais distante da drenagem mais próxima e possui uma característica geomorfológica que a posiciona em uma área de encosta, sendo caracterizada como Vereda de Encosta (Figuras 23 e 24)

A vereda Id 3 configura-se como uma área em que identifica-se a vegetação com solo não hidromórfico, mas com tendência a apresentar solo mais úmido o que justifica a presença de vegetação mais característica. No entendimento de CARVALHO (2015), diferente das veredas de superfície tabular, mais caracterizadas em função da relação solo-vegetação e topografia, essa configuração apresenta a vereda de encosta, encontradas em ambientes com declividade levemente acentuada, em regiões de estrutura geomorfológica mais antiga o qual por fatores de erosão não mais possui relevo plano mas ainda apresenta concentração hídrica suficiente para justificar a vegetação de ambiente úmido.

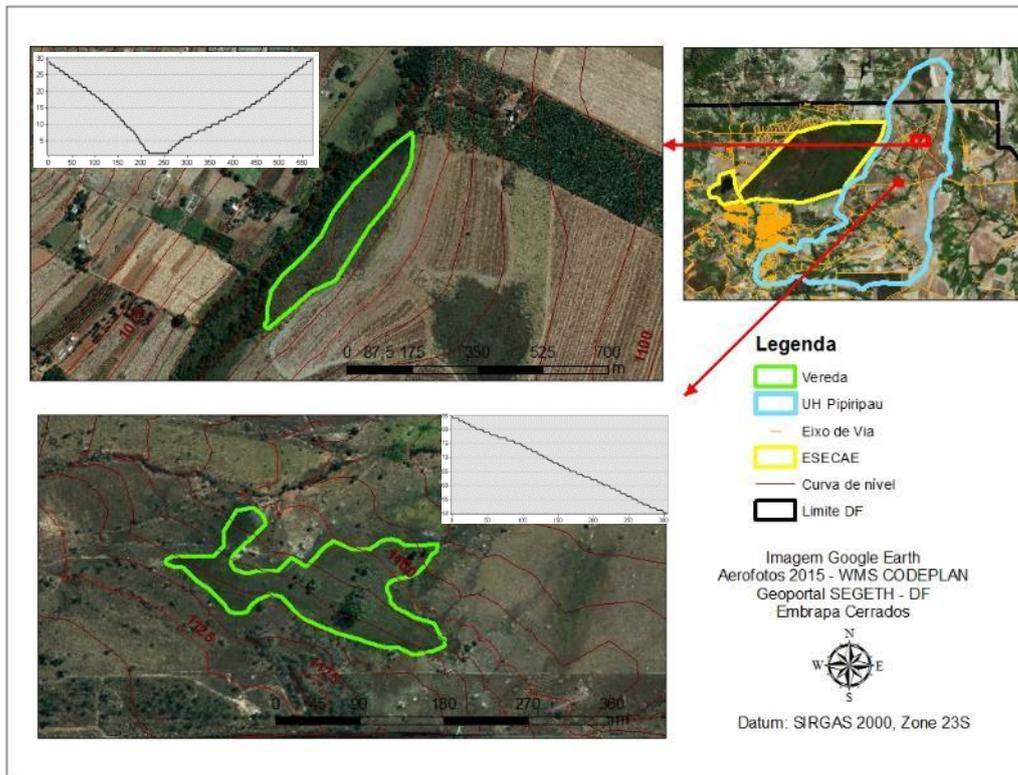


Figura 23. Veredas Id 1 (acima) e Id 3 (abaixo). Áreas em declividade mais acentuada.



Figura 24. Dificuldade de acesso para as veredas Id 1 (esquerda) e 3 (direita). Vista do vale onde se encontra a vereda Id1, na porção baixa do terreno (a). Vista das copas dos buritis no horizonte, em área de declive mais acentuada (b)

O índice topográfico (IT) identifica possíveis acumulações de água que tendem a fazer parte da caracterização da vereda. Em princípio identifica área de acumulação de água, configurando áreas hidrologicamente sensíveis. Percebe-se que todas as medianas se encontram no intervalo de 7,82 a 10,88 (Figura 25).

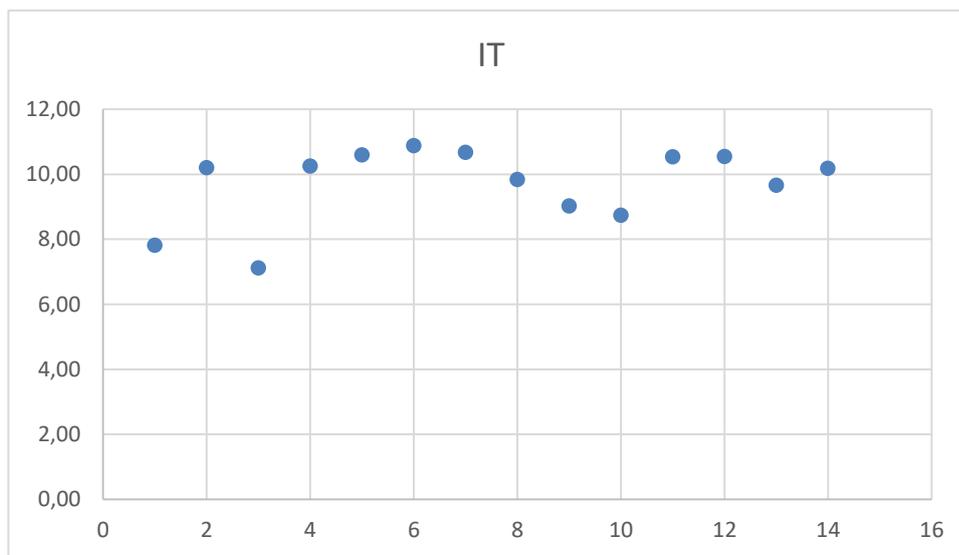


Figura 25. Padrão dispersivo da mediana do Índice Topográfico nas áreas de veredas.

Os dois pontos já evidenciados na avaliação anterior, aqui também se mostram diferentes no padrão dispersivo: veredas Id 1 e 3. Estas veredas foram as mesmas alvo de observação na correlação de área de contribuição e declividade acima. Deste modo, sugere-se as seguintes interpretações:

- Vereda Id 1: O IT retorna altos valores na área, mas apenas para cerca de metade do polígono mapeado, o que pode denotar uma interpretação errônea no momento do mapeamento, ao se considerar toda a mancha de vegetação como área propensa ao ambiente de vereda, sendo apenas, segundo o IT, parte do polígono
- Vereda Id 3: não há retorno considerável do IT em relação a seu nível de saturação, o que denota a impossibilidade do IT em identificar a vereda caracterizada em aspecto geomorfológico diferenciada das demais.

A Figura 26 apresenta classificação do IT onde os intervalos verificados foram realçados para visualização da distribuição dos padrões apresentados pelas veredas no modelo. As manchas mais escuras representam os valores mais próximos a 11 enquanto que os valores mais claros representam os valores mais baixos de pixel dentro da regra de classificação do gráfico da Figura 25.

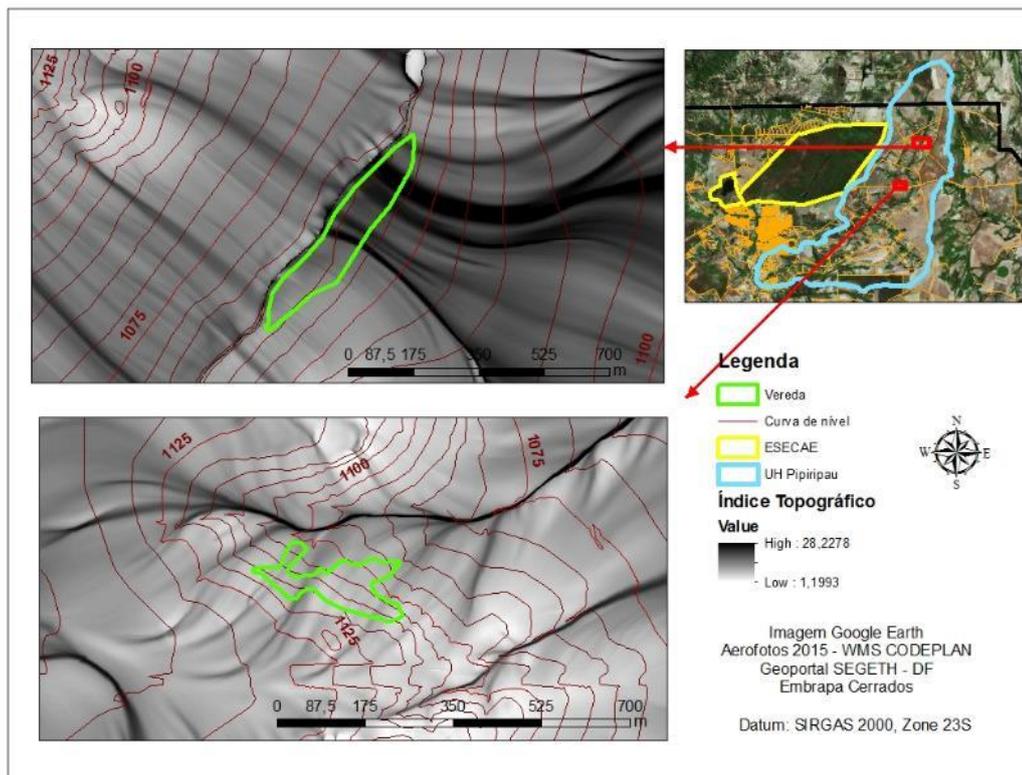


Figura 26. Aproximação das Veredas Id 1 (acima) e 3 (abaixo) e a resposta do IT.

A proposta do HAND em normalizar toda matriz a partir da equalização zero da hidrografia traz uma análise de proximidade em relação ao fluxo de escoamento superficial da rede.

De acordo com o padrão dispersivo do HAND na Figura 27, as veredas se concentraram dentro de um intervalo menor que a mediana 10, excetuando-se a vereda Id 3. Mais uma vez percebe-se que dentro da lógica do HAND, a mesma foi identificada como uma área distante á drenagem mais próxima.

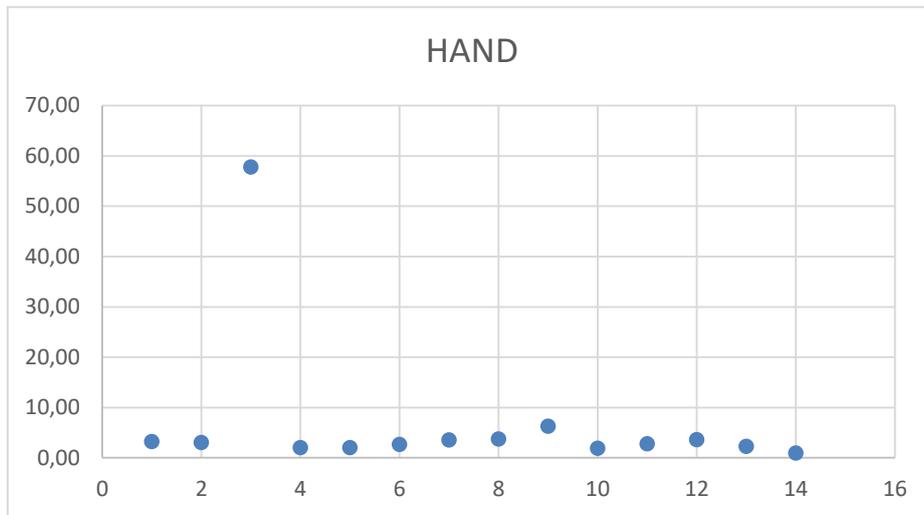


Figura 27. Padrão dispersivo da mediana do HAND nas áreas de vereda.

Percebe-se a impossibilidade do HAND em delimitar o aspecto geomórfico da vereda Id 3, tendo em vista sua característica de Vereda de Encosta (Figura 28). Tanto o HAND como IT, os dois baseados em área de contribuição e declividade da região, em suas diferentes formas de combinar esses dois elementos morfométricos, não apresentaram resultado satisfatório para tal ambiente.

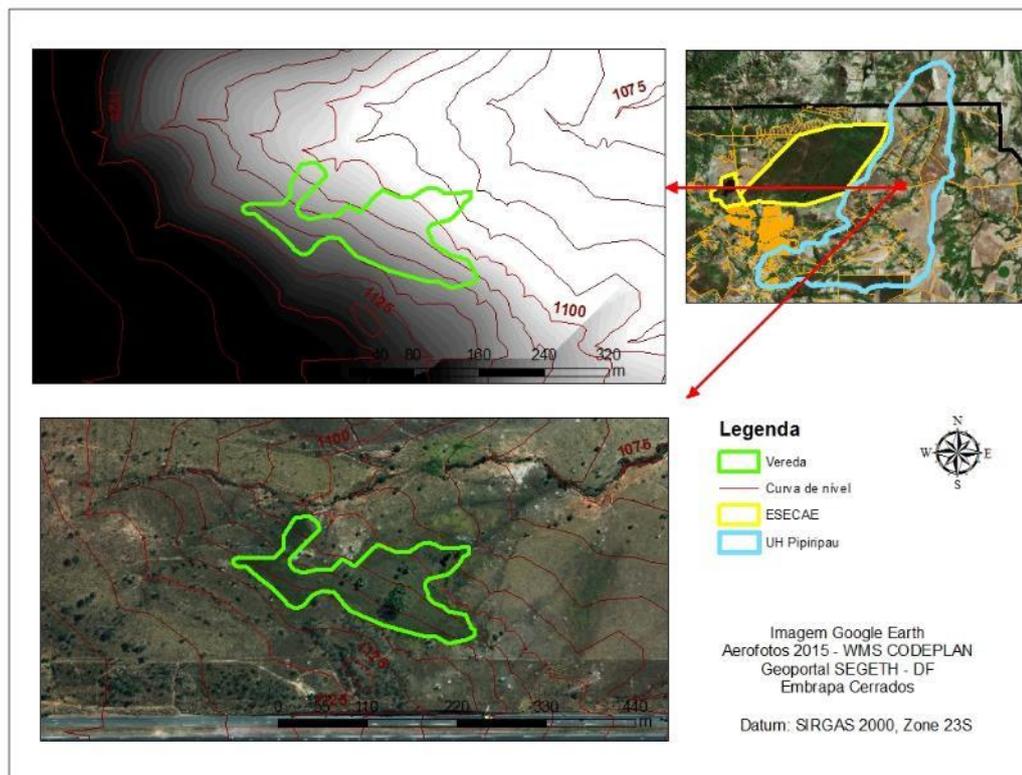


Figura 28. Vereda Id 3 e a resposta do HAND, com classificação expandida para atingir o alvo.

A proposta para delimitação das veredas é válida quando se utilizam as metodologias aqui apresentadas de forma conjunta. A relação área de contribuição e declividade permitiu a compreensão da dinâmica hídrica em relação a geomorfologia do local. Essa relação melhor explorada auxilia inclusive na classificação das veredas quanto a sua localização no relevo. Essa relação se mostrou interessante para confirmar as veredas do tipo superfície tabular e cordão linear, diferenciando áreas úmidas em declividades pouco acentuadas.

O IT se mostrou muito útil para auxílio no momento do mapeamento das áreas de vereda. É sabido da dificuldade de mapeamento das mesmas tendo em vista os vários estágios em que podem se encontrar, dificultando a classificação visual. O IT no momento do mapeamento apresenta em geral o potencial de saturação da área, distanciando-se da avaliação subjetiva para sua identificação.

O HAND se apresenta como ferramenta de orientação para delimitação da vereda no que diz respeito a constituição da área de preservação permanente. Com visita em campo e confirmação de um ponto de área encharcada, a informação pode ser então projetada dentro do limiar encontrado no HAND.

Após as vistorias e avaliação dos valores do HAND, entende-se que uma variação de 2 valores representa a delimitação da maioria das veredas a depender do nível de preservação da área. Na Vereda Grande da ESECAE, por exemplo, identifica-se um limiar no intervalo 3,8-4,0 enquanto que em áreas com antropização mais próxima, é possível diminuir o limiar até 3,0-3,2 em alguns casos.

Entretanto, observa-se que tanto para o IT como para o HAND, não se pode delimitar um padrão para todas as regiões. Para cada caso deve-se avaliar o resultado das duas modelagens, cruzando-as com as verdades de campo para projeção dos limiares. Em alguns casos as duas informações se complementam, e em outras, o IT produz resultados mais expressivos ao apresentar o potencial de saturação. De uma forma geral o HAND se mostra eficaz para delimitação quando utiliza a informação do IT como base para delimitação.

Observa-se a Figura 29 onde os resultados das duas modelagens estão expostas para cada alvo de trabalho. Salienta-se que a classificação das duas modelagens foi feita dentro dos intervalos apresentados pelas veredas, focando-se assim dentro da classificação passível de ocorrência. A matriz de cores na classificação do HAND apenas apresenta as faixas dos limiares, sem atribuição de pesos.

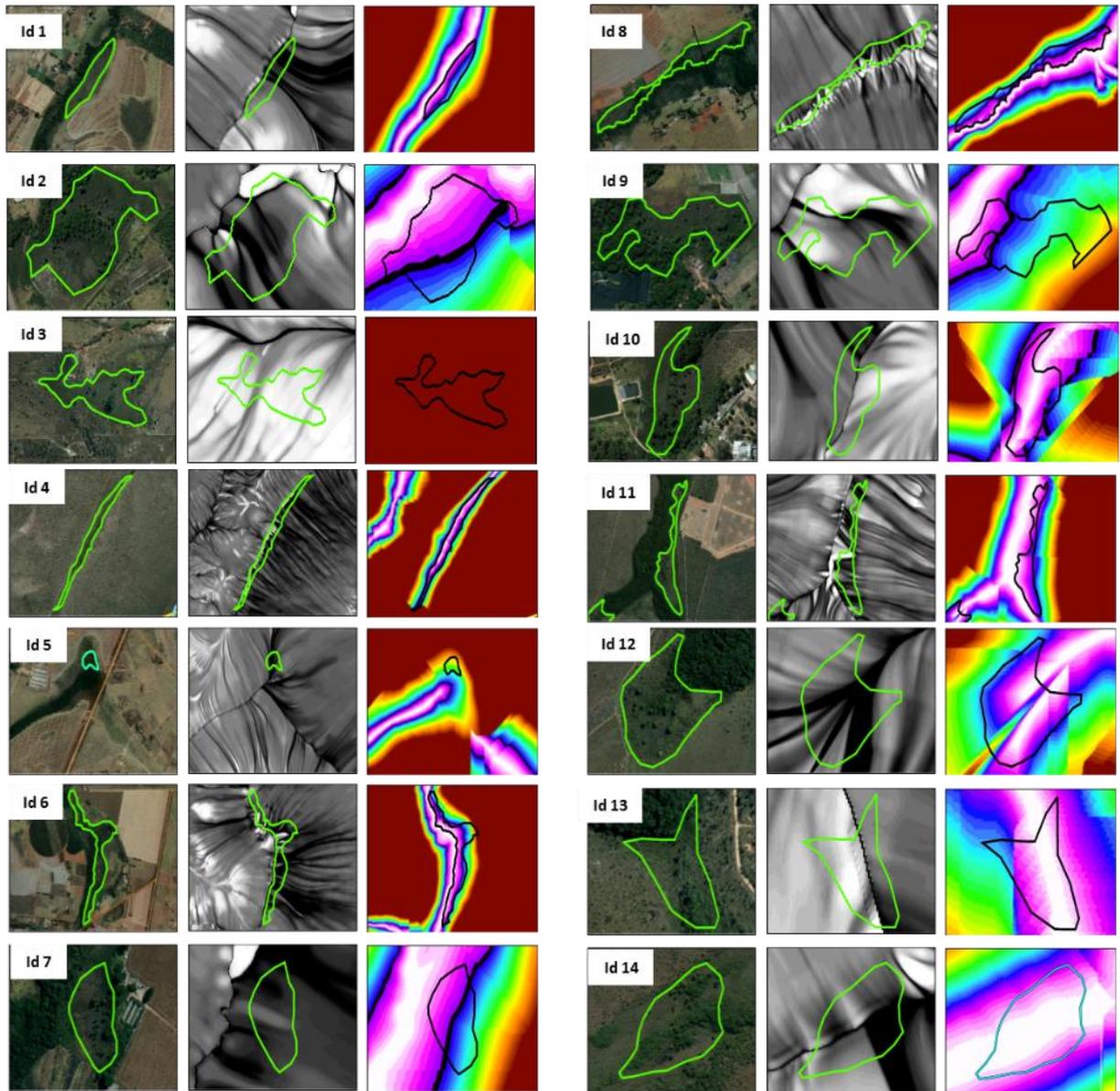


Figura 29. Imagem aerofoto (primeira coluna), resultado IT (segunda coluna) e resultado HAND (terceira coluna).

Diante dos resultados, para avaliação da dinâmica territorial e ambiental em que as veredas se inserem, analisa-se com mais atenção a vereda Id 4. Em função de sua localização e a presença de área úmida fora da área onde se encontra a fitofisionomia característica da vereda, buscou-se avaliar com mais atenção a área. De acordo com os resultados do IT e HAND percebe-se uma evidencia clara da mudança hidrológica diante da antropização intensiva na área de contribuição, baseado na análise dos resultados geomorfométricos (Figura 30) e da visualização das aerofotos de 1964 (Figura 31).

A área possuía uma zona de saturação de grande proporção na região que contribuiu para a umidade do solo e vegetação de vereda. A antropização modificou o ciclo do local diminuindo a umidade do solo e descaracterizando alguns ambientes. A Vereda demarcada na Figura 30 apresenta a relação solo-vegetação como fragmento remanescente da fitofisionomia que deveria abranger uma área maior e em diferente formato.

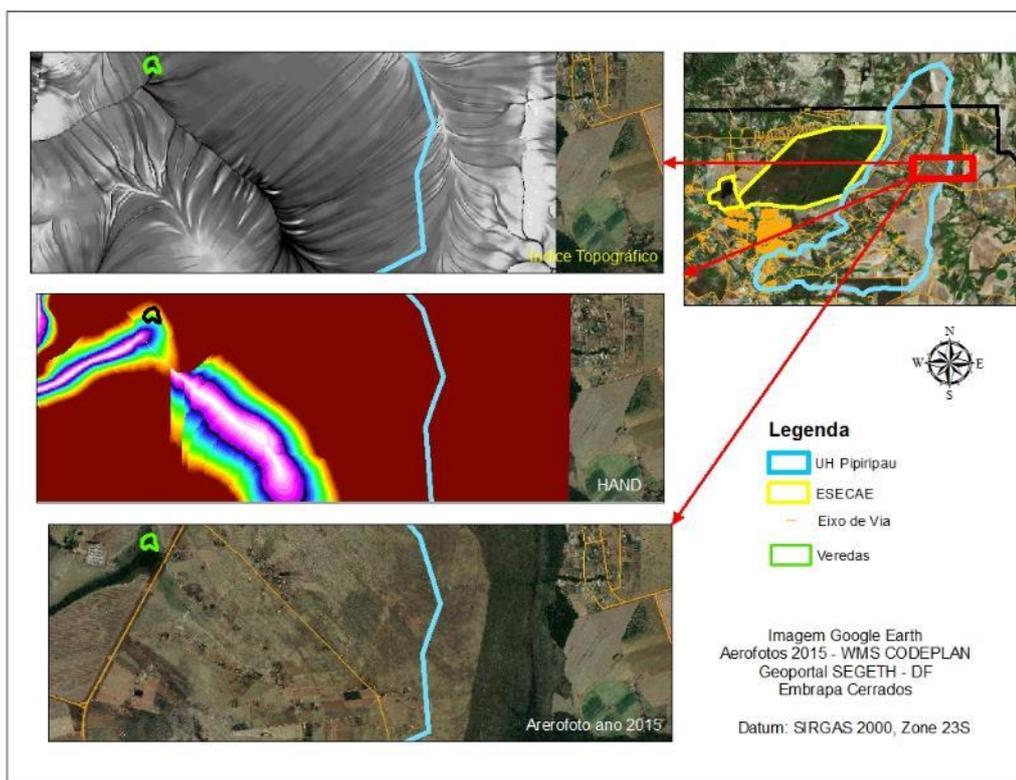


Figura 30. Espacialização das respostas do IT, HAND e visualização do uso do local na aerofoto de 2015.

Nessa situação, os dois modelos se mostraram eficazes apresentando a delimitação de áreas sensível geomórficamente. Tanto o IT como o HAND não são aqui ferramentas para identificação e delimitação do fragmento de vereda existente mas da área hidrológicamente sensível, a qual, diante do uso intensivo regional e da existência de estudos que apontam a já crítica sensibilidade ambiental do local, o termo AHS pode ser usado para justificar a proteção mais intensiva, com técnicas conservacionistas para preservação no extrato vegetal e hídrico do local.

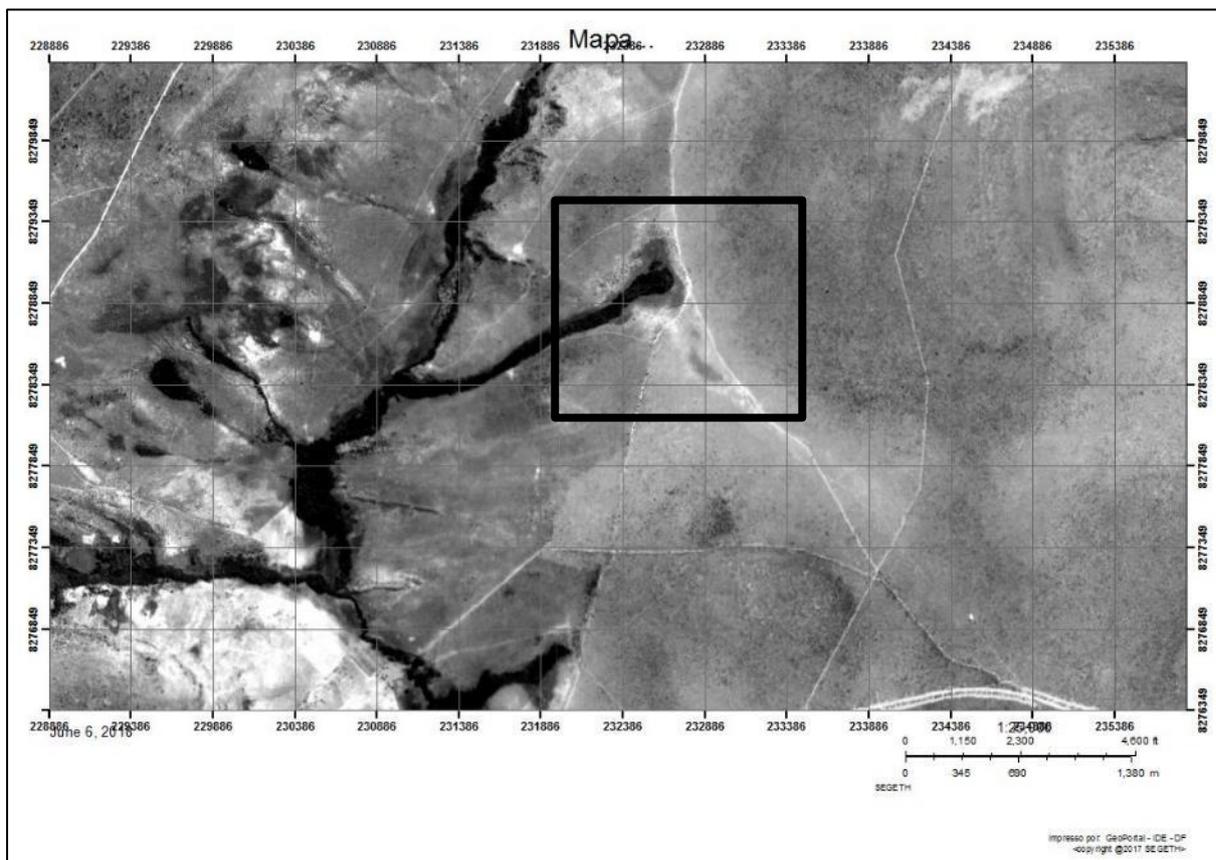


Figura 31. Imagem de 1964 com destaque para a região da Vereda Id 09.

O índice topográfico e modelo HAND se complementam. Utilizados nas mesmas áreas, apresentaram resultados semelhantes, com especificações que são compreendidas pela dinâmica geomorfológica das regiões.

A relação entre área de contribuição e declividade permitiu um entendimento geral do padrão geomórfico da região, além da compreensão dos parâmetros topográficos que contribuem para a distribuição hídrica na bacia. Avaliar esta relação permitiu a observação da dinâmica locacional das veredas e inclusive visualizar que existem classificações diferenciadas na região que poderiam também ser avaliadas com técnicas mais específicas.

O fato da geomorfologia das regiões serem semelhantes, com relevo plano e declives não acentuados, entende-se o sucesso do modelo HAND, já que o mesmo foi pensado para simular áreas propensas a inundações. Nessa avaliação, diante das características físicas locais, o HAND se mostrou eficaz para delimitação, mesmo havendo situações em que a área de vereda deve ser vista especificamente em seus limites para que ocorra a delimitação.

Já o Índice Topográfico, que não se mostrou eficaz para delimitação, mas para a identificação das veredas, trabalha junto com os HAND para a conclusão deste trabalho. O IT reconheceu pontos problemáticos também evidenciados nas outras análises em uma avaliação mais apurada do dado, permitindo inclusive a visualização da alteração de paisagem diante do uso antrópico, não por identificar a alteração, mas por apresentar a morfometria natural da paisagem, onde em vários casos é possível perceber os indícios em campo. Mesmo havendo casos em que o IT não retorna um valor de saturação que corresponde a realidade, entende-se que seu resultado é satisfatório na maioria dos casos

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Entende-se como conclusão do objetivo deste trabalho que das 14 áreas avaliadas na UH do Pipiripau, ESECAE e região do Rio do Acampamento, apenas 1 área não pode ser delimitada, por não ter sido reconhecida como zona saturada no IT e pelo distanciamento da mesma em relação a drenagem mais próxima, trazendo dificuldade para delimitação pelo HAND.

Assim, pode-se considerar que os resultados tiveram sucesso para a identificação de áreas propensas a ocorrência da fitofisionomia, auxiliando no reconhecimento. Os resultados do IT e HAND são satisfatórios para identificação de possíveis áreas de vereda, porém não como ferramenta única de insumo, mas como auxílio na tomada de decisão junto ao mapeamento. Os dois reconhecem as áreas dentro de um intervalo válido de identificação.

As modelagens aqui utilizadas não são passíveis para classificação de novas áreas de veredas, como insumo único de avaliação. Os resultados podem gerar falsos positivos sendo necessária a utilização de outra ferramenta para confirmação dos alvos, como a própria interpretação visual.

É importante salientar que o objetivo deste trabalho não foi justificar a lógica da definição de APP dentro de aspectos geomórficos, mas encontrar uma metodologia aplicável para atuação da gestão ambiental. As conclusões observadas em SIEFERT e CARVALHO (2015) que questionam a legislação brasileira quanto as faixas de preservação de veredas e outras áreas sensíveis são aqui também corroboradas quando é evidenciado o grande efeito

das antropizações próximo as áreas de recarga de lençol freático e da hidrologia de uma região.

Praticamente todas as definições existentes condicionam a existência de Veredas às superfícies geomorfológicas de chapadas, pois a grande maioria dos estudos faz referência a região de planaltos do Cerrado. Entretanto, devido a extensão territorial desse domínio e a suas particularidades (geológicas, geomorfológicas e hidrológicas), as Veredas podem ocorrer em superfícies mais elevadas, com declividade levemente acentuada, onde o relevo apresenta ondulações.

Em áreas planas, nas quais a declividade do terreno não possua variações significativas de altitude, como é o caso das áreas do estudo onde o relevo apresenta-se plano a suavemente ondulado, áreas dentro da bacia que estão distantes do canal de drenagem também podem ser representadas como zonas de acúmulo de água. Essa realidade foi evidenciada neste trabalho e entende-se que um aprofundamento ao tema dentro da lógica das formas do terreno e assinaturas geomórficas poderia abarcar melhor discriminação na identificação e delimitação de veredas de outras classificações.

A metodologia aqui apresentada funciona de forma conjunta: Índice Topográfico e HAND. Os dois trazem um refinamento dos dados e orientação para delimitação da informação que se complementam.

## 7. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AB'SABER, A. Os domínios da natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2005

ADAM, E.; MUTANGA, O.; RUGEGE, D. Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review. **Wetlands Ecologic Management Journal**, v. 18, p. 281–296, 2010.

BARTSCH, A.; KIDD, R. A.; PATHE, C.; SCIPAL, K.; WAGNER, W. Sattelite radar imagery for monitoring inland wetlands in boreal and sub-arctic environments. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, V. 17, P: 305-317, 2007.

BERLINCK, C. N. Diagnóstico sócio-ambiental do entorno da Estação Ecológica de Águas Emendadas (DF). Trabalho de conclusão de curso (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ecologia. Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, 2008.

BEVEN, M. J.; KIRKBY, K. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Journal**, v. 24, n. 1, p. 43–69, 1979.

BOAVENTURA, R. S. Vereda: Berço das Águas. Belo Horizonte: Ecodinâmica, 2007.

BORGES, M. E. S., CARVALHO JUNIOR, O. A., MARTINS, E. S., ARCOVERDE, G. F. B., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T.. Emprego do processamento digital dos parâmetros morfométricos no mapeamento geomorfológico da bacia do Rio Preto. **Revista Espaço e Geografia**, v. 10, n. 2, p. 401–429, 2007.

BOWEN, M. W. JOHNSON, W. C., EGBERT, S. L. KLOPFENSTEIN, S. T. A GIS-based Approach to Identify and Map Playa Wetlands on the High Plains, Kansas, USA. **Wetlands**, v. 30, p. 675–684, 2010.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo código florestal. Revogada pela lei nº 12.651, de 25 de maio, de 2012. **Diário Oficial da União**, 1965.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo código florestal. **Diário Oficial da União**, p. 1–32, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 01 nov. 2017

BRASIL, **Resolução CONAMA nº387**, de 27 de dezembro de 2006. Estabelece procedimentos para o Licenciamento Ambiental de Projetos de Assentamentos de Reforma Agrária, e dá outras providências. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res38706.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2018

BRESSIANI, J. X. Delimitação de Áreas Variáveis de Afluência em Ambientes de Microbacias Urbanas através da Comparação dos Métodos TauDEM e HAND. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

CAMPOS, J. E. G. Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para a Gestão Dos Recursos Hídricos Subterrâneos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 1, p. 41–48, 2004.

CARVALHO, T. M. D. Parâmetros geomorfométricos para descrição do relevo da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé, Manaus, Amazonas. In: SANTOS-SILVA, E. N.; SCUDELLER, V. V. (Eds.). **BioTupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central**. Manaus: Editora UEA Ltda., p. 3–17, 2009

CARVALHO, P., G., S. As veredas e sua importância no domínio dos cerrados. **Informação Agropecuária**, v. 15, n. 168, p. 47-54, 1991

CARVALHO, T. M.; CARVALHO, C. M. Sistemas de informações geográficas aplicadas à descrição de habitats. **Acta Scientiarum - Human and Social Sciences**, v. 34, n. 1, p. 79–90, 2012.

CARVALHO, A. C. A. Análise ambiental de um subsistema de vereda em unidades de conservação: Estação Ecológica de Águas Emendadas e Reserva Ecológica do IBGE/DF. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de Brasília, 2015

COHEN, J. M., ERNST, K. C., LINDBLADE, K. A., VULULE, J. M., JOHN, C. C., WILSON, M. Local topographic wetness indices predict household malaria risk better than land-use and land-cover in the western Kenya highlands. **Malaria Journal**, v. 9, n. 1, p. 328, nov. 2010.

CORREIA, T. E. R. Identificação de canal natural de escoamento superficial por análise morfométrica na Unidade Hidrográfica do Pipiripau - DF. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de Brasília, 2016.

CASSETI, V. Geomorfologia. 2005. Disponível em <https://geografiaambiental.files.wordpress.com/2010/12/geomorfologia.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2016.

COUTO, E. V. DO; FORTES, E.; FERREIRA, J. H. D. Índices Geomorfológicos Aplicados a Análise Morfoestrutural da Zona de Falha do Rio Alonzo - PR. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 4, p. 287–297, 2013.

CREED, I. F., SANFORD, S. E., BEALL, F. D., MOLOT, L. A., DILLON, P. J. Cryptic wetlands : integrating hidden wetlands in regression models of the export of dissolved organic carbon from forested landscapes. **Hydrological Processes**, v. 17, p. 3629–3648, 2003.

CUNHA, C. N. DA; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. J. Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats. Cuiabá: Ed. UFMT, 2015.

CURIE, F., GAILLARD, S., DUCHARME, A., BENDJOUDI, H. Geomorphological methods to characterize wetlands at the scale of the Seine watershed. **Science of the Total Environment**, Paris, v. 375, p. 59–68, 2007.

DAVIS, M, M.; SPRECHER, S. W.; WAKELEY, J. S.; BEST, G. R. Environmental gradients and identification of wetlands in North-Central Florida. **Wetlands**, v. 16, n. 4, p. 512–523, 1996.

FARIAS, M. Integração de parâmetros morfométricos e interpretação de imagens orbitais para auxílio no mapeamento de solos no Parque Nacional de Brasília Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de Brasília, 2008.

FEI, S. X.; SHAN, C. U. I. H.; HUA, G. U. O. Z. Remote sensing of mangrove wetlands identification. **Procedia Environmental Science**, Beijing, v. 10, p. 2287–2293, 2011.

FERREIRA, R. G.; MOURA, M., C., O.; CASTRO, F., S. Uso de plataforma sig na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pancas – Brasil. **Nativa Pesquisas Agrárias e Ambientais – UFMT**, Sinop, v. 03, n. 03, p. 210–216, 2015.

FROHN, R. C.; AMICO, E. D.; LANE, C. Multi-temporal Sub-pixel Landsat ETM + Classification of Isolated Wetlands in Cuyahoga County, Ohio, USA. **Wetlands**, Cincinnati, v. 32, p. 289–299, 2012.

HERMUCHE, P. M., GUIMARÃES, R. F., CARVALHO, A. P. F., MARTINS, E. S., FUKS, S. D., CARVALHO JÚNIOR, O.. A. Processamento digital de imagens morfométricas para subsidiar o mapeamento pedológico. **Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, INPE, p. 123–130, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manual técnico de geomorfologia. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais – 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBIO – Parque Nacional de Brasília. Disponível em <<http://www.icmbio.gov.br/portal/visitacao1/unidades-abertas-a-visitacao/213-parque-nacional-de-brasilia.html>> Acesso em: 23 jun. 2018

\_\_\_\_\_ - ICMBIO – Plano de Manejo do Parque Nacional de Brasília. Convênio IBAMA-FUNATURA. Disponível em <<http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/PARNA%20Brasilia.pdf>> Acesso em: 23 jun. 2018. (a)

IPCC. Climate Change 2001, The scientific basis. Contribution of working group 1 to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate changes. New York:

Cambridge University Press, 2001. Disponível em [https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/pdf/WGI\\_TAR\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/pdf/WGI_TAR_full_report.pdf) Acesso em: 24 jun.2018

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons — a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**, v. 182, p. 147–156, 2013.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L. D.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; CUNHA, C. N.; MALTCHIK, L.; SCHÖNGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A. A. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification, for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, 2013.

KEOUGH, J. R. et al. Hydrogeomorphic factors and ecosystems responses in coastal wetlands of the Great Lakes. **Wetlands**, New York, v. 19, n. 4, p. 821–834, 1999.

LACERDA, M. P. C.; BARBOSA, I. O. Relações Pedomorfogeológicas e Distribuição de Pedofomas da Estação Ecológica de Águas Emendadas, Distrito Federal. **Red de Revistas Científicas da América Latina y el Caribe, España y Portugal**, 2012.

LI, J.; CHEN, W. A rule-based method for mapping Canada's wetlands using optical, radar and DEM data. **International Journal of Remote Sensing**, Ottawa, v. 26, n. 22, p. 5051–5069, 2005.

LORENZON, A. S., FRAGA, M. S., MOREIRA, A. R., ULIANA, E. M., SILVA, D. D., RIBEIRO, C. A. A. S, BORGES, A. C. Influência das características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Benevente nas enchentes no município de Alfredo Chaves - ES. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Viçosa, v. 10, n. 2, p. 17–35, 2014.

MARTINS, E. D. S., REATTO, A, CARVALHO JÚNIOR, O. A., GUIMARÃES, R. F.. Evolução Geomorfológica do Distrito Federal. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, 2004.

MAURY, C. M.; RAMOS, A. E.; OLIVEIRA, P. E. Levantamento Florístico da Estação Ecológica de Águas Emendadas. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer**, Brasília, v. 1, p. 46–67, 1994.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Índices topográficos aplicados a modelagem agrícola e ambiental. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1575–1582, 2012.

MOMO, M. R., PINHEIRO, A., SEVERO, D. L., CUARTAS, L. A., NOBRE, A. D. Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 200–208, 2016.

MONTEIRO, C. A. F. O clima da região sul. In CATALDO, D. M. (org). Geografia do Brasil, Grande Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE, 1963, P. 117-169

MONTGOMERY, D., R.; DIETRICH, W., E. Channel initiation and the problem of landscape scale. **Science**, c. 255, p. 826-830, 1992.

MORELI, A. P. A microbacia como espaço territorial para planejamento integrado de desenvolvimento rural: o caso da Microbacia Hidrográfica do Canã em Venda Nova do Imigrante. **IX Congresso Latinoamericano y el Caribe de Ingeniería Agrícola – CLIA e XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, 2010.**

MORELI, A. P.; PEREIRA, D. P.; SILVA, S. F. DA. Caracterização morfométrica da sub-bacia hidrográfica do córrego Cancã em Venda Nova do Imigrante – ES – Brasil. **Nucleus**, Ibatiba, v. 11, n. 2, p. 385–396, 2014.

NIMER, E. Climatologia no Brasil. Série Recursos Naturais e Meio Ambiente 4. Rio de Janeiro: IBGE, v. 442, 1979.

O'LOUGHLIN, E., M. Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. **Water Resources Research**, v. 22, n. 5, p. 794-804, 1986.

PIKE, J. R. Geomorphometry – diversity in quantitative surface analysis. USGS Staff. University of Nebraska – Lincoln. **Progress in Physical Geography**, v. 24, n. 1, p. 1-20, 2000.

PIRES, E. G.; BORMA, L. DE S. Utilização do modelo HAND para o mapeamento de bacias hidrográficas em ambiente de Cerrado. Anais **XVI Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu – PR, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

PISSARA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2003.

PRASANNAKUMAR, V.; VIJITH, H.; GEETHA, N. Terrain evaluation through the assessment of geomorphometric parameters using DEM and GIS: Case study of two major sub-watersheds in Attapady, South India. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 6, n. 4, p. 1141–1151, 2013.

QUEIROZ, M. L. Nascentes, Veredas e Áreas Úmidas - revisão conceitual e metodologia para caracterização e determinação: estudo de caso na Estação Ecológica de Águas Emendadas - Distrito Federal. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília, 2015.

REBELO, L.; FINLAYSON, C. M.; NAGABHATLA, N. Remote sensing and GIS for wetland inventory, mapping and change analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 7, p. 2144–2153, 2009.

RENNÓ, C. D. et al. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 9, p. 3469–3481, 2008.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. Capítulo 2 - Conceitos Básicos de Modelagem Hidrológica. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap2\\_modelos\\_hidrologicos.pdf](http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap2_modelos_hidrologicos.pdf)> Acesso em: 31 out. 2017.

RODRIGUES, G. D. O., NOBRE, A. D., SILVEIRA, A. C., CUARTAS, L. A. Efeitos da resolução espacial de dados SRTM na descrição de terrenos obtida pelo modelo HAND (Height Above the Nearest Drainage) – estudo de caso em Manaus/AM. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, p. 5769–5776, 2011a.

RODRIGUES, V. A. FENNER, P. T., AMARAL, L. P., BANTEL, C. A. Degradação ambiental da microbacia do ribeirão Tamanduá em relação com sua morfometria. **Revista Forestal Venezolana**, v. 55, n. 1, p. 23–28, 2011b.

ROVERE, A.; HEARTY, P. J.; AUSTERMANN, J.; MITROVICA, J. X.; GALE, J.; MOUCHA, R.; FORTE, A. M.; RAYMO, M. E. Mid-pliocene shorelines of the us atlantic coastal plain - an improved elevation database with comparison to earth model predictions. **Earth-Science Reviews**, v. 145, p. 117–131, 2015.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a Cartografia Geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, 2014.

SENA-SOUZA, J. P., MARTINS, E. S., COUTO JÚNIOR, A. F., REATTO, A., VASCONCELOS, V., GOMES, M. P., CARVALHO JÚNIOR, O. A., REIS, A. M. Mapeamento Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, escala 1:100.000. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Embrapa Cerrados, 2013.

SERRAN, J. N.; CREED, I. F. New mapping techniques to estimate the preferential loss of small wetlands on prairie landscapes. **Hydrological Processes**, 2015.

SIEFERT, C. A. C. Delimitação de áreas hidrológicamente sensíveis por meio de modelagem de processos e da relação solo-vegetação em ambientes hidromórficos. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Paraná, 2012.

TARBOTON, D. G. Terrain Analysis Using Digital Elevation Models in Hydrology. **23rd ESRI International Users Conference**, San Diego, California, July 7-11, 2003. Disponível em <[http://hydrology.usu.edu/dtarb/ESRI\\_paper\\_6\\_03.pdf](http://hydrology.usu.edu/dtarb/ESRI_paper_6_03.pdf)> Acesso em: 15 ago. 2018.

TIAN, B., ZHOU, Y., THOM, R. M., DIFENDERFER, H. L., YUAN, Q. Detecting wetland changes in Shanghai, China using FORMOSAT and Landsat TM imagery. **Journal of Hydrology**, v. 529, p. 1–10, 2015.

TIELANG, W., LINFEI, Z., PEIQI, Y., BO, Z. Study of Panjin wetlands along Bohai Coast: the information system of wetlands based on 3S technique. **Oceanic and Coastal Sea Research**, v. 7, n. 4, p. 411–415, 2008.

VALERIANO, M. DE M. Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. Projeto “Modelagem de dados topográficos SRTM”. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, v. 8, p. 73, 2008.

VANNAMETEE, E., BABEL, L. V., HENDRIKS, M. R., SCHUUR, J., DE JONG, S. M., BIERKENS, M. F.P., KARSSENBERG, D. Semi-automated mapping of landforms using multiple point geostatistics. **Geomorphology**, v. 221, p. 298–319, 2014.

VASCONCELOS, V. Classificação das formas de terreno e a sua relação com os solos do Chapadão do Zagaia, Serra da Canastra - MG. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de Brasília, 2011.

VASCONCELOS, V., CARVALHO JÚNIOR, O. A., MARTINS, E. S., JÚNIOR, A. F. C., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T. Sistema de classificação geomorfométrica baseado em uma arquitetura sequencial em duas etapas: árvore de decisão e classificador espectral, no Parque Nacional Serra da Canastra. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 171–186, 2012.

WAKELEY, J. S. Identification of Wetlands in the Southern Appalachian Region and the Certification of Wetland Delineators. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 77, p. 217–226, 1994.