

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

AMANDA RIBEIRO NEGREIROS

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA DELIMITAÇÃO DE ÁREA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA) – ESTUDO DE CASO DA ESCARPA
DEVONIANA**

CURITIBA

2017

AMANDA RIBEIRO NEGREIROS

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA DELIMITAÇÃO DE ÁREA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA) – ESTUDO DE CASO DA ESCARPA
DEVONIANA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito para a conclusão da disciplina ENGF006 e requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientadora: Prof^a. Dra. Ana Paula Dalla Corte

CURITIBA

2017

AGRADECIMENTOS

Ao curso de Engenharia Florestal Universidade Federal do Paraná, na pessoa de seu coordenador Prof. Umberto Klock, por todo apoio e dedicação para com o curso e acadêmicos da instituição.

A toda minha incrível família. Em especial aos meus pais Paulo Cezar Bernardes Negreiros e Sandra Mara Ribeiro Negreiros, os quais sempre me apoiaram e serviram de exemplo ao me passarem seus valores. Sou extremamente grata por tudo!

Ao meu namorado Alessandro Dias Borges, por me inspirar e sempre estar ao meu lado, mesmo estando a 530 km de distância. Por todo esforço e dedicação, momentos de descobertas, viagens incríveis e por ser um ótimo companheiro. Amo você, meu amor!

Aos meus amigos/irmãos que fiz durante estes anos, em especial a Patrícia Portela Feldman, Stefanie Vieira de Albuquerque, Sérgio Vinicius Serejo da Costa Filho, Murilo de Almeida Furtado e Felipe Passos Caffaro. Por todos os momentos de crescimento pessoal e profissional. Vocês são incríveis!

Aos membros do Laboratório de BIOFIX. Em especial a Mariele Sabrina Ruza e Gabriel Neto. Por me acolherem, por cada ajuda, opinião e companheirismo durante o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores do curso, em especial ao Prof. Dr. Alessandro Camargo Angelo e Renato Cesar Gonçalves Robert, por cada ensinamento e experiências distintas que me proporcionaram durante o período em que convivemos juntos.

Um agradecimento em especial a minha orientadora, Ana Paula Dalla Corte por todo apoio e dedicação na construção deste trabalho e por servir de inspiração e motivação a todas/os Engenheiras e Engenheiros Florestais. Muito obrigada por tudo!

RESUMO

O geoprocessamento tem sido considerado instrumento fundamental na definição de políticas para intervenção e gestão ambiental. O presente trabalho objetivou apresentar um diagnóstico de fatores biótico e abióticos da Área de Proteção Ambiental (APA) da Escarpa Devoniana e de sua área de entorno, bem como, propor cenários que considerassem propostas de readequação dos limites da APA. A principal motivação deu-se visando subsidiar a discussão dos limites desta com embasamento científico. Para tanto, realizou-se a proposição de um zoneamento ambiental, sendo esse separado para as áreas inseridas no perímetro atual da APA e nas áreas de entorno da mesma. Neste zoneamento, fizeram parte as seguintes classes: Zona de Conservação (ZC), Zona de Produção Rural (ZPR) e Zona Urbana (ZU). Para a delimitação automática de sub-bacias adotou-se dados SRTM, onde foram então construídos os Modelos Digitais de Elevação (MDE), as quais foram adotadas como unidades de planejamento. Foram simulados quatro percentuais de representatividade da ZC dentro das áreas de cada uma das 18 sub-bacias delimitadas, onde foram feitos os cenários de 1a até 4a considerando as áreas a partir do limite atual da APA e os cenários 1b até 4b, para áreas além do perímetro atual da mesma. Os percentuais adotados foram: menores ou iguais ao Cenário 1 - 30%, Cenário 2 - 35%, Cenário 3 - 40% e Cenário 4 - 45% de ZC. Na análise dos cenários, foram identificadas áreas com elevada quantidade de atividades antrópicas, indicando grandes quantidades de áreas com alta a muito alta fragilidade ambiental. Desta forma, ao adotar o cenário 1a de 30%, não ocorrem alterações na área da APA, mas para o 1b, houve aumento da APA, onde foram contabilizados 1.074 milhões de ha. Ao adotar o critério de 35%, para o cenário 2a observou-se uma redução na ordem de 11% da área atual e para o cenário 2b, o perímetro proposto foi de 995 mil ha. Em relação ao cenário 3a, de 40% foram mantidos 313 mil ha da APA e para o cenário 3b, 847,3 mil há. Se adotar o cenário 4a de 45%, haveria uma redução na ordem de 37% da área atual da APA, mantendo-se 248 mil ha da área da mesma, ou o cenário 4b, onde foi delimitado uma área de 667,8 mil ha. Conclui-se que o diagnóstico das características bióticas e abióticas da área deve ser levado em consideração nas discussões da redelimitação da APA, podendo o zoneamento ser uma ferramenta extremamente importante para que áreas que deveria permanecer como Zona de Conservação não sejam convertidas em uso irrestrito.

Palavras-chave: Fragilidade Ambiental. Sub-bacias. Unidade de Conservação. Zoneamento Ambiental.

ABSTRACT

Geoprocessing has been considered a fundamental instrument in the definition of policies for intervention and environmental management. The present work aimed to present a diagnosis of the biotic and abiotic factors of the area of the Escarpa Devoniana environmental protection area and its surrounding area, as well as to propose scenarios that considered proposals for the adjustment of the APA boundaries. The main motivation was given to subsidize the discussion of the limits of this with a scientific basis. In order to do so, the proposal of an environmental zoning was proposed, being this separated from the areas inserted in the current perimeter of the APA and in the areas surrounding it. In this zoning, the following classes were included: Conservation Zone (ZC), Rural Production Zone (ZPR) and Urban Zone (ZU). For the automatic delimitation of sub-basins SRTM data were adopted, where Digital Elevation Models (MDE) were then constructed, which were adopted as planning units. Four percentages of ZC representativity were simulated within the areas of each of the 18 delimited sub-basins, where the scenarios from 1st to 4th considering the areas from the current APA limit and scenarios 1b to 4b were simulated for areas beyond of its current perimeter. The percentages adopted were: less than or equal to Scenario 1 - 30%, Scenario 2 - 35%, Scenario 3 - 40% and Scenario 4 - 45% of ZC. In the analysis of the scenarios, areas with a high amount of anthropic activities were identified, indicating large amounts of areas with high to very high environmental fragility. Thus, when adopting scenario 1a of 30%, there are no changes in the APA area, but for 1b, there was an increase in APA, where 1,074 million ha were recorded. When adopting the criterion of 35%, for scenario 2a a reduction was observed in the order of 11% of the current area and for scenario 2b, the proposed perimeter was 995 thousand ha. Regarding scenario 3a, of 40% were kept 313 thousand ha of the APA and for scenario 3b, 847.3 thousand ha. If scenario 4a of 45% were adopted, there would be a reduction in the order of 37% of the current area of the APA, maintaining 248 thousand ha of the area of the same, or scenario 4b, where an area of 667.8 thousand ha was delimited. It is concluded that the diagnosis of the biotic and abiotic characteristics of the area should be considered in the discussions of the redelimitation of the APA, and zoning can be an extremely important tool for areas that should remain as a Conservation Zone are not converted into unrestricted use.

Keywords: Environmental Fragility. Sub-basins. Conservation Unit. Environmental Zoning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

QUADRO 1 - TEMAS AVALIADOS E FONTES DE INFORMAÇÃO.....	28
FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DO LIMITE ATUAL DA APA DA ESCARPA DEVONIANA E DA SUA	24
FIGURA 2 - ETAPAS DE DELIMITAÇÃO DAS SUB-BACIAS E HIDROGRAFIA A PARTIR DO.....	26
FIGURA 3 - FLUXO DOS PROCEDIMENTOS PARA A OBTENÇÃO DA FRAGILIDADE	31
FIGURA 4 - CLASSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO DA ÁREA DA APA E ÁREA DE ENTORNO	38
FIGURA 5 - FRAGILIDADE POTENCIAL DA APA E DA ÁREA DE ENTORNO..	41
FIGURA 6 - FRAGILIDADE AMBIENTAL DA APA E DA ÁREA DE ENTORNO..	43
FIGURA 7 - ZONEAMENTO AMBIENTAL DA APA E DA ÁREA DE ENTORNO	45
FIGURA 8 - REPRESENTAÇÃO DAS ZONAS ALOCADAS EM CADA SUB-BACIA	46
FIGURA 9 - PROPOSTA DE NOVO PERÍMETRO PARA A APA ADOTANDO O CRITÉRIO DE SUB-.....	48
FIGURA 10 - PROPOSTA DE NOVO PERÍMETRO PARA A APA ADOTANDO O CRITÉRIO DE	49
FIGURA 11 - PROPOSTA DE NOVO PERÍMETRO PARA A APA ADOTANDO O CRITÉRIO DE	50
FIGURA 12 - PROPOSTA DE NOVO PERÍMETRO PARA A APA ADOTANDO O CRITÉRIO DE	51

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - GRAUS DE DECLIVIDADE	28
TABELA 2 - NÍVEIS DE FRAGILIDADE E TIPOS DE SOLOS.....	29
TABELA 3 - GRAUS DE PROTEÇÃO E TIPOS DE USOS DO SOLO	30
TABELA 4 - CLASSIFICAÇÃO DAS ZONAS E CATEGORIAS IDENTIFICADAS NA APA	33
TABELA 5 - CLASSES DE DECLIVIDADE	34
TABELA 6 - NÍVEIS DE FRAGILIDADE E TIPOS DE SOLOS.....	35
TABELA 7 - IDENTIFICAÇÃO DOS USOS DO SOLO NA ÁREA DO ESTUDO..	36
TABELA 8 - GRAUS DE PROTEÇÃO DAS CLASSES DE USO DO SOLO DA APA E DA ÁREA DE	39
TABELA 9 - FRAGILIDADE POTENCIAL DA APA E DA ÁREA DE ENTORNO .	39
TABELA 10 - FRAGILIDADE EMERGENTE DA APA E DA ÁREA DE ENTORNO	42
TABELA 11 - ZONEAMENTO AMBIENTAL DA APA E DA ÁREA DE ENTORNO	44
TABELA 12 - ÁREA E PERCENTUAL QUE CADA ZONA REPRESENTA DENTRO DAS 18 SUB-	47

LISTA DE SIGLAS

APA - Área de Proteção Ambiental
ARIE - Áreas de Relevante Interesse Ecológico
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
EE - Estação Ecológica
FAEP - Federação da Agricultura do Estado do Paraná
FLONA - Floresta Nacional
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDE - Modelo Digital de Elevação
MN - Monumento Natural
NASA - *National Aerospace and Space Administration*
RDS - Reserva de Desenvolvimento Sustentável
REBIO - Reserva Biológica
REFAU - Reserva de Fauna
REVIS - Refúgio de Vida Silvestre
RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural
SIBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*
RESEX - Reserva Extrativista
SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação
UC - Unidades de Conservação
UTM - Universal Transversa de Mercator
ZA - Zoneamento Ambiental

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 SISTEMA NACIONAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (SNUC)	15
3.2 APA DA ESCARPA DEVONIANA.....	16
3.3 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE	17
3.4 GEOTECNOLOGIAS	18
3.4.1 Sistema de informação geográfica.....	19
3.4.2 Sensoriamento remoto.....	19
3.4.3 Modelos digitais de elevação.....	20
3.5 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO	20
3.6 MAPEAMENTO DAS FRAGILIDADES AMBIENTAIS	21
3.7 ZONEAMENTO AMBIENTAL.....	22
4 MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	24
4.2 INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS E IMAGENS DE SATÉLITE	25
4.3 DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DE SUB-BACIAS.....	25
4.4 DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE	27
4.5 ANÁLISE DE FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	27
4.5.1 Classes de declividade	28
4.5.2 Fragilidade das classes de solos	29
4.5.3 Mapa de uso do solo.....	30
4.6 ZONEAMENTO AMBIENTAL.....	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.2 FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	34
5.2.1 Classes de declividade	34
5.2.2 Classes de solos.....	35
5.2.3 Usos do solo	36
5.2.4 Fragilidade potencial e emergente.....	39

5.4 AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE REDELIMITAÇÃO DA ÁREA DA APA ...	47
6 CONCLUSÕES	52
7 RECOMENDAÇÕES.....	53
REFERÊNCIAS.....	54
ANEXO I – MAPA DE CLASSES DE DECLIVIDADE E MAPA DE NÍVEIS DE FRAGILIDADE DAS DECLIVIDADES.....	60
ANEXO II – MAPA COM OS TIPOS DE SOLO E MAPA COM OS NÍVEIS DE FRAGILIDADE DE CADA TIPO DE SOLO	61
ANEXO III – MAPA DE USOS DO SOLO E MAPA DE GRAUS DE PROTEÇÃO DOS USOS DO SOLO.....	62

1 INTRODUÇÃO

Situada na região dos Campos Gerais, a Área de Proteção Ambiental (APA) da Escarpa Devoniana é uma formação geológica com mais de 400 milhões de anos que divide o primeiro e o segundo planaltos do estado do Paraná, ocupando uma área de 392 mil hectares. A APA foi criada pelo governo do Estado do Paraná no mês de março de 1992, através do decreto estadual n^o 1.231, sendo essa intitulada como a maior unidade de conservação do Estado (PARANÁ, 2004). Nesta área que perfaz uma faixa de 260 quilômetros de norte a sul que corta 12 municípios, estão inseridas diversas Reservas Naturais e Unidades de Conservação Estaduais e Federais.

Em 2012 foi aberto pela Coordenação do Patrimônio Cultural da Secretaria de Estado da Cultura do Paraná, o processo n^o 08/2012, referente à solicitação de tombamento de paisagens de campos naturais e ecossistemas associados à Escarpa, onde o perímetro proposto era de caráter preliminar e deveria ser objeto de estudos interdisciplinares para a definição de novos limites.

Durante este período, algumas menções e propostas visando à redefinição de seu limite têm sido divulgadas pela imprensa. Recentemente, o assunto voltou à tona com maior relevância devido a uma proposta de redução da área da APA, com base no decreto que parte do Projeto de Lei n^o 527/2016, tema que vem sendo discutido na Assembleia Legislativa do Estado do Paraná.

Segundo dados que constam no boletim informativo da Federação da Agricultura do Estado do Paraná (FAEP), a redução proposta divulgada é da ordem de 392 mil hectares para 126 mil hectares, uma redução de mais de 68% da área atual. No dia 10 de março de 2017 foi realizada, em Ponta Grossa, uma audiência pública sobre este projeto de lei. Neste evento, a Fundação ABC apresentou um estudo científico que contemplava a elaboração de mapa de uso e ocupação do solo e memorial descritivo da nova proposta da APA, tema que vem gerando polêmica entre deputados, sociedade e órgãos de diversos setores.

Cada vez mais as análises que versam sobre questões territoriais complexas como essa, tem se apoiado na realização de avaliações com grande quantidade de temas de relevância, sendo todos analisados de forma conjunta, muitas vezes,

lançando-se mão dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Trata-se de uma ferramenta importante que consegue manipular diversos atributos ao mesmo tempo, possibilitando assim, uma avaliação integrada do objetivo proposto.

Dentro deste viés, o Zoneamento Ambiental (ZA) de áreas de unidades de conservação podem se apoiar nessas análises, funcionando dessa forma como um instrumento que busca auxiliar a formulação de políticas e estratégias de desenvolvimento. Segundo Montaña *et al.* (2005), o ZA permite a visualização de forma clara, de áreas suscetíveis a processos naturais assim como de áreas com maior ou menor aptidão para a implantação de atividades específicas, de acordo com os níveis de aptidão das áreas para cada atividade. Esta ferramenta pode ser utilizada em estudos relativos ao ambiente e recursos naturais, na modelagem da previsão de diversos fenômenos ou no apoio a decisões de planejamento, considerando a concepção de que os dados armazenados representam um modelo do mundo real (BURROUGH, 1986).

No Brasil, muitos estudos hidrológicos seguem as informações topográficas existentes nas cartas planialtimétricas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Entretanto, muitas dessas cartas não representam a paisagem atual ou encontram-se em escala incompatível com as demandas dos estudos pontuais. Alternativamente, tem-se utilizado dados topográficos constituídos por técnicas de sensoriamento remoto, como exemplo os dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), os quais têm se mostrado uma alternativa viável para suprir a carência de informações relativas ao relevo (COSTA *et al.*, 2007). A partir destes dados são criados os Modelos Digitais de Elevação (MDEs), os quais são representações altimétricas da superfície terrestre. Estes modelos podem ser manipulados para obtenção de diversas informações, dentre elas, pode-se destacar o uso de algoritmos que identificam as vias de drenagens naturais por meio de uma representação matricial topográfica do terreno.

Ainda, no que tange os ecossistemas e suas relações com as intervenções humanas, os mesmos podem apresentar maior ou menor fragilidade, onde qualquer alteração nos diferentes componentes da natureza, como relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos, acarretam o comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico. Estas variáveis tratadas

de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais (SPÖRL; ROSS, 2004).

Neste contexto, estudos relativos às fragilidades dos ambientes são importantes no planejamento da paisagem e no subsídio para a construção do zoneamento ambiental, principalmente quando se fala em unidades de conservação. A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território (MARTÍN-DUQUE; GARCÍA; URQUÍ, 2012; TOMCZYK, 2011; VALLE, 2016).

Diante deste panorama, este trabalho visou retratar e diagnosticar informações da APA da Escarpa Devoniana, para a sociedade e técnicos com vistas à dar suporte nas discussões da proposta de readequação do perímetro da APA da Escarpa Devoniana.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi apresentar um diagnóstico de fatores biótico e abióticos, bem como, propor um zoneamento ambiental com base em critérios técnicos, para a Área de Proteção Ambiental da Escarpa Devoniana, com vistas a dar suporte para as discussões da proposta de readequação do perímetro da referida APA.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Delimitar as áreas das sub-bacias que abrangem a APA e a área de entorno, aplicando uma metodologia de delimitação automática destas, utilizando dados do projeto SRTM.
- Realizar uma análise de fragilidade ambiental (potencial e emergente), através da caracterização do ambiente físico e identificar a aptidão do uso do solo para a área da APA e da área de entorno a partir da metodologia proposta por Ross (1994).
- Apresentar um Zoneamento Ambiental (ZA) para a área da APA e área de entorno desta, através de critérios técnicos, para dar suporte as discussões da proposta de readequação da mesma.
- Realizar a indicação de oito possíveis limites para a área de estudo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 SISTEMA NACIONAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (SNUC)

Dentre os espaços territoriais especialmente protegidos, previstos constitucionalmente, encontram-se as unidades de conservação (UC), conforme o artigo 2º da Lei 9.985/2000, que regulamenta o art. 225, § 1º, III, da Constituição Federal, estabelece UC como:

Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000).

As UC são classificadas em dois grupos, sendo estas as de proteção integral e as de uso sustentável.

As unidades de conservação de proteção integral são aquelas que apresentam como objetivo principal a proteção da natureza, as quais possibilitam o uso indireto dos recursos naturais, não sendo permitido o consumo, coleta e destruição dos recursos naturais, com exceção de alguns casos previstos na Lei. As categorias que abrangem este grupo são: estação ecológica (EE), reserva biológica (REBIO); parques, refúgio de vida silvestre (REVIS) e monumento natural (MN).

Unidades de Uso Sustentável tem como objetivo conciliar a conservação com o uso sustentável dos recursos naturais. Neste grupo, enquadram-se áreas de relevante interesse ecológico (ARIE), reserva de fauna (REFAU), floresta nacional (FLONA), reserva de desenvolvimento sustentável (RDS), reserva extrativista (RESEX), reserva particular do patrimônio natural (RPPN) e área de proteção ambiental (APA).

Como mencionado anteriormente, de acordo com a Lei 9.985/2000, as APAs encontram-se inseridas na classificação de unidades de uso sustentável, onde é definida como “exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a

biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável” (PARANÁ, 2004).

3.2 APA DA ESCARPA DEVONIANA

Segundo a Lei Federal nº. 9.985/2000, em seu artigo 15º, define Área de Proteção Ambiental como:

“Uma área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.”

De acordo com o § 1º deste dispositivo, estas áreas podem ser constituídas tanto por terras públicas quanto privadas, no entanto, as atividades e usos desenvolvidos nestas áreas estão sujeitos a diferentes disposições.

A APA da Escarpa Devoniana foi criada através do Decreto Estadual nº 1.231, de 27 de março de 1992, com o objetivo de “assegurar a proteção do limite natural entre o Primeiro e o Segundo Planalto, inclusive faixa de Campos Gerais, que se constituem em ecossistema peculiar que alterna capões da floresta de araucária, matas de galerias e afloramentos rochosos, além de locais de beleza cênica como os cânions e de vestígios arqueológicos e pré-históricos.” (PARANÁ, 2004).

O art. 4º desse decreto apresenta as medidas quanto à implantação e funcionamento da APA, sendo estas: zoneamento da APA, o qual estabelece as atividades permitidas, restringidas e proibidas, bem como as características e providências a adotar em cada uma das zonas componentes; a utilização dos instrumentos legais e dos incentivos financeiros governamentais para assegurar a proteção das zonas demarcadas; o uso racional do solo e outras medidas de proteção dos recursos ambientais; aplicação de medidas legais, quando necessário, destinadas a impedir ou evitar o exercício de atividades causadoras de sensível degradação da qualidade ambiental e a divulgação das medidas presentes

no Decreto de criação da APA, objetivando o esclarecimento da comunidade local sobre a APA e as suas finalidades.

No Art. 5º do decreto, ficam explícitas as obras e atividades proibidas ou com restrição de acordo com o zoneamento, sendo estas as práticas de agricultura mecanizada que demande alta quantidade de agrotóxicos; cultivo florestal com essências exóticas que altere substancialmente a paisagem a ser conservada; a implantação de atividades ou potencialmente degradadoras do ambiente; alteração de sítios arqueológicos e de valor histórico e cultural que se encontrem dentro da área da APA.

3.3 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

As Áreas de Preservação Permanente (APPs) são áreas protegidas com função de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e garantir o bem-estar da sociedade.

Os debates sobre APPs, principalmente as localizadas ao longo de cursos d'água, nascentes e locais de topografia acidentada têm ocupado lugar de destaque, sendo um dos pilares para técnicos, pesquisadores e ambientalistas que preconizam a sua importância para proteção dos recursos hídricos (NASCIMENTO *et al.*, 2005).

O Código Florestal Brasileiro foi criado em 1934 e editado em 15 de setembro de 1965 através da Lei nº. 4.771, a qual definiu de forma minuciosa os princípios necessários para proteger o ambiente e garantir o bem-estar da população do país (GARCIA *et al.*, 2012). Os primeiros parâmetros sobre preservação entraram em vigor com o Código Florestal, onde as APPs eram vistas como espaços físicos legalmente protegidos, devidamente definidos nos termos dos artigos 2º e 3º do antigo código.

Em 25 de Maio de 2012, foi publicada a Lei nº. 12.651. Este apresenta algumas alterações com relação ao anterior, por exemplo, ao que diz respeito das Áreas de Preservação Permanente (APPs) a Lei Florestal deixou mais clara algumas situações: sanou a dúvida quanto aos regos e canais artificiais, deixando evidente a proteção somente das faixas marginais dos cursos d'água; a borda da

calha do leito regular dos cursos d'água passou a ser considerada como medição das faixas marginais, entre outros. Além disso, a Lei Florestal prevê um Cadastro Ambiental Rural (CAR), onde este cadastro visa o gerenciamento do uso e a ocupação do solo nas questões ambientais.

Baseado na regra geral da lei, no que se refere às APPs de rios e nascentes, este apresenta as categorias passíveis de serem delimitadas de acordo com fatores hidrológicos e com aspectos naturais da paisagem em conformidade com a disposição e a caracterização geomorfológica do ambiente. De acordo com o art. 4º, as categorias de Áreas de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, são:

I - Ao longo de rios ou qualquer curso de água, em faixa marginal, cuja largura mínima será:

- a) de 30 metros para rios de menos de 10 metros de largura;*
- b) de 50 metros para cursos de 10 a 50 metros de largura;*
- c) de 100 metros para cursos de 50 a 200 metros de largura;*
- d) de 200 metros para cursos de 200 a 600 metros de largura;*
- e) de 500 metros para cursos que tenham largura acima de 600 metros de largura.*

...

IV - As áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;

Definido o conceito de APP e seus limites, surgem algumas dificuldades de reprodução de tais limites no espaço geográfico. Dentre estas, destaca-se a deficiência em meios e materiais para definir as APPs no espaço e apurar com rigor as agressões sucedidas em tais áreas. Assim, as metodologias possíveis de serem implementadas, por meio de geoprocessamento, se tornam alternativas viáveis para a redução de deficiências relativas ao cumprimento das leis (NASCIMENTO *et al.*, 2005).

3.4 GEOTECNOLOGIAS

As geotecnologias são constituídas por um conjunto de tecnologias ligadas a informações espaciais, que englobam coleta, tratamento e análise de dados. Estas abrigam diversas áreas do conhecimento, tais como: sensoriamento remoto, a cartografia digital, os sistemas de informação geográfica, os sistemas de

posicionamento global via satélite, a topografia, dentre outras (BACANI; LUCHIARI, 2014).

3.4.1 Sistema de informação geográfica

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é constituído por um conjunto de módulos computacionais destinados à aquisição, armazenamento, recuperação, transformação e saída de dados espacialmente distribuídos. Estes dados geográficos descrevem objetos do mundo real sob seu posicionamento com relação a um sistema de coordenadas; seus atributos, e as relações topológicas existentes.

Desta maneira, é possível trabalhar com dados dos quais se conhecem a posição geográfica, o valor da característica naquele ponto e a sua estrutura de relacionamento espacial. Por isso, um SIG pode ser utilizado em estudos relativos ao meio ambiente, na pesquisa da previsão de determinados fenômenos ou no apoio a decisões de planejamento (BURROUGH, 1986).

3.4.2 Sensoriamento remoto

Os sensores remotos “captam e registram a energia refletida, ou emitida pelos elementos da superfície terrestre” e podem ser instalados em plataformas terrestres, bem como em plataformas aéreas e orbitais (FLORENZANO, 2002). O sensoriamento remoto auxilia no estudo de modificações no espaço geográfico. Os processos que ocorrem no espaço geográfico podem ser tratados e interpretados com o uso de técnicas matemáticas e computacionais (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIRO, 2004).

Esta ferramenta vem se mostrando de grande valia no parecer de diagnósticos ambientais, apresentando bons resultados em relação à captação de informações rápidas e atualizadas de superfícies terrestres. Entre a gama de aplicações, pode ser utilizada em estudos relacionados à vegetação, levantamento e caracterização de usos dos solos, hidrologia, climatologia, entre outros (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

3.4.3 Modelos digitais de elevação

Os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) são vistos como fonte de dados que apresentam relevância para o conhecimento do relevo da superfície terrestre. Esses modelos podem ser aplicados para a confecção de mapas de declividade, exposição solar, mapeamento da rede de drenagem de áreas extensas, planejamento urbano e rural, dentre outros (CAMARGO *et al.*, 2009a). Desta forma, é possível gerar modelos para identificar a aptidão do uso do solo segundo variáveis do meio físico e classificar áreas favoráveis para a agricultura e silvicultura, além de indicação de áreas para conservação do solo, planejamento e gestão territorial de maneira geral (CAMARGO *et al.*, 2009b).

Atualmente estes modelos são obtidos por meio de imagens de sensores remotos ou da interpolação de dados topográficos pontuais e curvas de nível extraídas de cartas topográficas ou levantamentos planialtimétricos (PINHEIRO, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2010). Baseado nesta técnica, no ano 2000 a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), em conjunto com a *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), Agência Espacial Alemã (DLR) e a Agência Espacial Italiana (ASI) realizaram a missão *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), através do ônibus espacial Endeavour, com o objetivo de gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) de todo o globo terrestre.

3.5 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO

Bacia hidrográfica pode ser definida como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático (BARRELLA *et al.*, 2000). Em função do processo de desenvolvimento urbano e do entorno necessário para mantê-lo, cada vez mais, as bacias hidrográficas têm sofrido alterações na estrutura física dos canais, no aporte de sedimentos, na composição da biota, no regime hidráulico e no fluxo de matéria e energia. Tais alterações e o padrão espacial do uso e cobertura do solo têm importantes efeitos sobre a produção e o transporte de sedimentos (VANACKER *et al.*, 2005).

Com o intuito de mitigar os impactos nas bacias, estas vêm se consolidando como unidades de planejamento integrado do uso e ocupação dos espaços rurais e urbanos, além da conservação dos recursos naturais, com vistas ao desenvolvimento sustentável (SOUZA; FERNANDES, 2000; VALENTE; DIAS, 2001; CECÍLIO *et al.*, 2013). A divisão das bacias em menores territórios permite a transformação de problemas ambientais difusos em locais, facilitando sua identificação, monitoramento, mitigação e controle, além de permitir a priorização de ações de gestão (VILAÇA *et al.*, 2008).

A delimitação de bacias hidrográficas para fins de modelagem hidrológica é realizada de forma automática em aplicativos computacionais de SIG. Neste processo, são utilizados algoritmos que identificam os divisores de águas a partir de uma representação matricial da topografia do terreno, denominada MDE (JONES; WRIGHT; MAIDMENT, 1990; FAIRFIELD; LEYMARIE, 1991; CHOI; ENGEL, 2003; VALERIANO; ABDON, 2007; FALORNI *et al.*, 2005; ALVES SOBRINHO *et al.*, 2010).

O desenvolvimento e o aperfeiçoamento de técnicas de delimitação automática de bacias hidrográficas por meio de ferramentas de SIG têm sido objeto de estudo em várias partes do mundo, as quais vêm promovendo resultados relevantes, conforme verificado nos trabalhos de Mark (1984), O'Callaghan & Mark (1984), Band (1986), Jenson & Domingue (1988), Tarboton *et al.*, (1991), Fairfield & Leymarie (1991), Verdin & Verdin (1999), Turcotte *et al.*, (2001), Vogt *et al.*, (2003), Choi & Engel (2003), Jordan & Schott (2005) e Merkel *et al.*, (2008).

3.6 MAPEAMENTO DAS FRAGILIDADES AMBIENTAIS

De acordo com Ross (1994), estudos integrados de um determinado território pressupõem o entendimento da dinâmica de funcionamento do ambiente natural com ou sem as intervenções humanas. Desta forma, a elaboração do Zoneamento Ambiental (ZA) deve partir da adoção de uma metodologia de trabalho baseada na compreensão das características e da dinâmica do ambiente, por meio de uma síntese do conhecimento acerca da realidade pesquisada.

A análise ambiental e o planejamento territorial têm como base as condições da paisagem e as características naturais da região, considerando principalmente

informações como declividade, pedologia, intensidade pluviométrica, uso da terra e cobertura vegetal, de forma a viabilizar um efetivo gerenciamento ambiental (BOJÓRQUEZ-TAPIA; CRUZ-BELL; LUNA-GONZÁLEZ, 2013; MARTÍN-DUQUE; GARCÍA; URQUÍ, 2012; ROSS, 2012; TOMCZYK, 2011; VALLE, 2016).

Ross (1994) propôs um método de análise empírica na determinação da fragilidade de ambientes naturais e antropizados, tendo como fundamento o conceito das unidades ecodinâmicas (TRICART, 1977). Dentro desta concepção ecológica, o ambiente é analisado sob o prisma da teoria do sistema, que parte do pressuposto que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio, entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções humanas, gerando estados de desequilíbrios temporários ou até permanentes.

A fragilidade potencial de uma determinada área é conceituada como sendo a vulnerabilidade natural de um ambiente em função de suas características físicas como a declividade e o tipo de solo, enquanto que a fragilidade emergente além de considerar as características físicas contempla também, os graus de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal sobre o ambiente (KAWAKUBO *et al.*, 2005).

Diversas análises da fragilidade ambiental foram realizadas em vários locais, como, por exemplo, em estudos de Spörl e Ross (2004) na divisa entre os estados de Minas Gerais e São Paulo; Kawakubo *et al.* (2005) no município de Atibaia (SP); Messias *et al.*, (2012) na bacia da hidrelétrica do Funil (MG); e de Corte *et al.*, (2015) na bacia hidrográfica do Rio Iguaçu (PR).

Segundo Costa e Santos (2009), o mapeamento da fragilidade ambiental possibilita a avaliação das potencialidades do ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições. Além disso, esse produto constitui uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental.

3.7 ZONEAMENTO AMBIENTAL

O zoneamento ambiental consiste em dividir uma área em parcelas homogêneas, com características fisiográficas e ecológicas semelhantes, nas quais

se autorizam determinados usos e atividades e se interditam outros (BRASIL, 1991). A elaboração do zoneamento ambiental deve contemplar, segundo Becker e Egler (1996), os seguintes aspectos:

- a) representar instrumento técnico de informações sobre o território, necessária para a sua ocupação racional e o uso sustentável dos recursos naturais;*
- b) prover uma informação integrada em uma base geográfica;*
- c) classificar o território de acordo com a sua capacidade de suporte ao uso e ocupação.*
- d) ser condicionante de planejamento e gestão para o desenvolvimento em bases sustentáveis, colocando-se como instrumento corretivo e estimulador desse desenvolvimento.*

Segundo Brasil (1991), o zoneamento ambiental possui vantagens por:

- a) permitir que se determine limite de possíveis irreversibilidades, devido a conflitos ambientais e pontos de fragilidade biológica, antes que se tomem decisões sobre o uso de cada área, que de outra forma poderiam causar danos irreversíveis; tendo, portanto, caráter preventivo;*
- b) identificar as atividades antrópicas para cada setor da unidade ambiental e seu respectivo manejo, possibilitando a descentralização de comando e decisão;*
- c) pelo fato da metodologia do zoneamento ambiental ser flexível, permite que se adapte à definição de manejo de uma zona.*

Nesse sentido, acredita-se que o zoneamento ambiental deve ser a base principal para elaboração de um modelo de ordenamento físico-territorial e deve ser visto como um instrumento cuja finalidade é auxiliar a formulação de políticas e estratégias de desenvolvimento a serem implementadas na APA da Escarpa Devoniana.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Localizada na porção leste do estado do Paraná a uma distância de aproximadamente 35 km de Curitiba, a APA da Escarpa Devoniana ocupa uma área de 392.363 ha e encontra-se distribuída em doze municípios, sendo eles: Lapa, Balsa Nova, Porto Amazonas, Palmeira, Campo Largo, Ponta Grossa, Carambeí, Castro, Tibagi, Piraí do Sul, Jaguariaíva e Sengés (PARANÁ, 2004). A localização espacial da APA está representada na FIGURA 1.

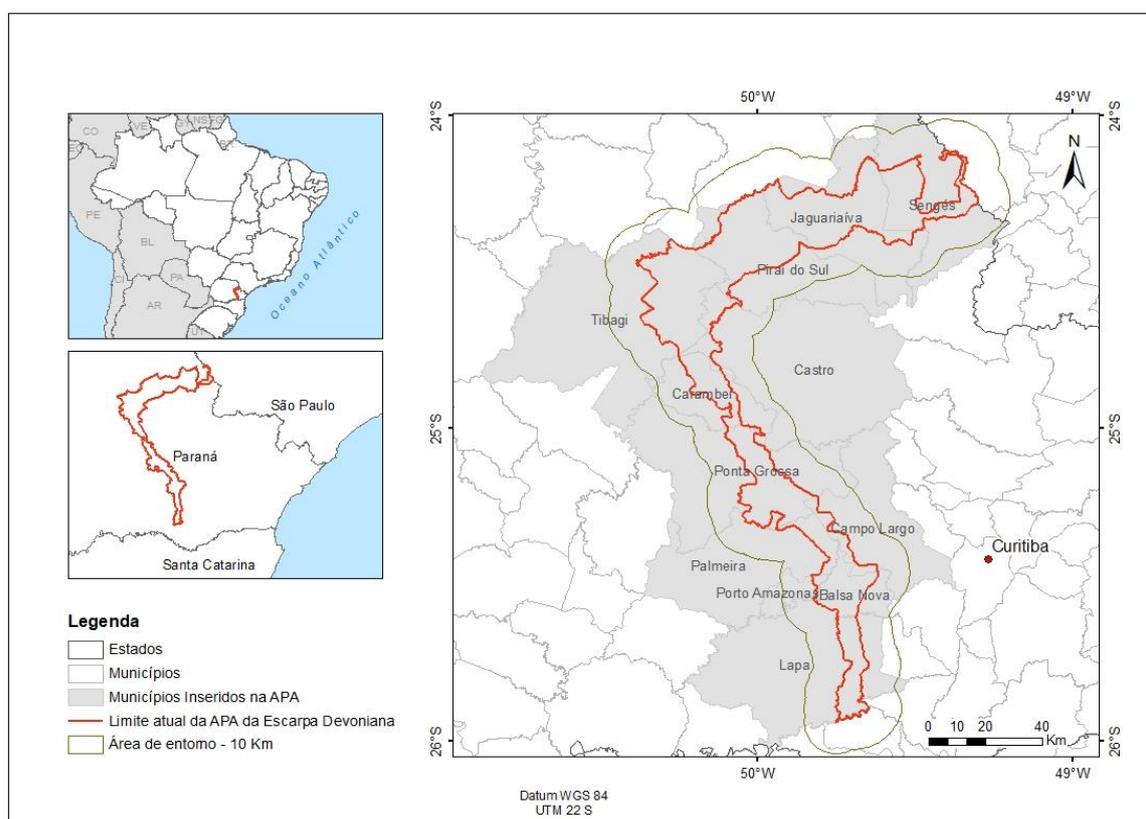


FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DO LIMITE ATUAL DA APA DA ESCARPA DEVONIANA E DA SUA ÁREA DE ENTORNO

FONTE: O Autor (2017)

As análises foram separadas da seguinte forma: resultados para a área pertencente ao limite atual da APA e para a área pertencente a área de entorno, a qual foi considerada como 10 km a partir dos vértices da APA.

4.2 INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS E IMAGENS DE SATÉLITE

Para elaboração do presente estudo foram utilizadas as seguintes bases de dados:

- 5 imagens SRTM: S25_050, S25_051, S26_050, S26_051, S27_050, com resolução espacial de 30 metros;
- *Shapefile* de solos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), escala 1:250.000;
- *Shapefile* de classificação de uso do solo realizado por Harfouche *et al.* (2017) (trabalho no prelo), a partir de imagens do satélite Landsat 8, de imagens com data de 4 de agosto de 2015, com o uso do sensor OLI;
- Aplicativos computacionais ArcGis 10.4 e Microsoft Excel®.

4.3 DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DE SUB-BACIAS

Para a realização desta etapa do estudo, foram utilizadas cinco imagens SRTM-MDE, com resolução espacial de 30 metros, em formato *raster*, disponibilizados pela NASA pelo site *EarthExplorer* da *United States Geological Survey* (USGS), que fornece abertamente esse conjunto de dados globais de alta resolução. As imagens foram integradas e processadas no *software* ArcGIS 10.4. O georreferenciamento foi feito de acordo Datum WGS1984 e as imagens foram reprojctadas para o Sistema de Coordenadas Planas UTM. Com o intuito de abranger toda a área do estudo, foi criado um mosaico com as mesmas.

Para a geração automática das sub-bacias utilizou-se a extensão *ArchHydro* do *software* ArcGIS 10.4. Segundo Silva e Moura (2013), a metodologia de geração automática utiliza o algoritmo de Jenson e Domingue (1988), o qual atribui a direção de fluxo preferencial de água ao verificar a declividade das células adjacentes e direcioná-lo para a célula vizinha de maior declividade. Outras etapas necessárias para a confecção das sub-bacias, envolvem o preenchimento de áreas de depressão onde o escoamento converge, gerando assim modelos de hidrografia.

Este procedimento facilita o processamento das informações, o que requer pouca intervenção do analista no processo. Desta forma, diversas pesquisas já foram conduzidas com o objetivo de analisar, comparar e atualizar informações da superfície terrestre por meio de dados SRTM (ALVES SOBRINHO *et al.*, 2010).

A metodologia aplicada no processo subdividiu-se nas etapas representadas na FIGURA 2.

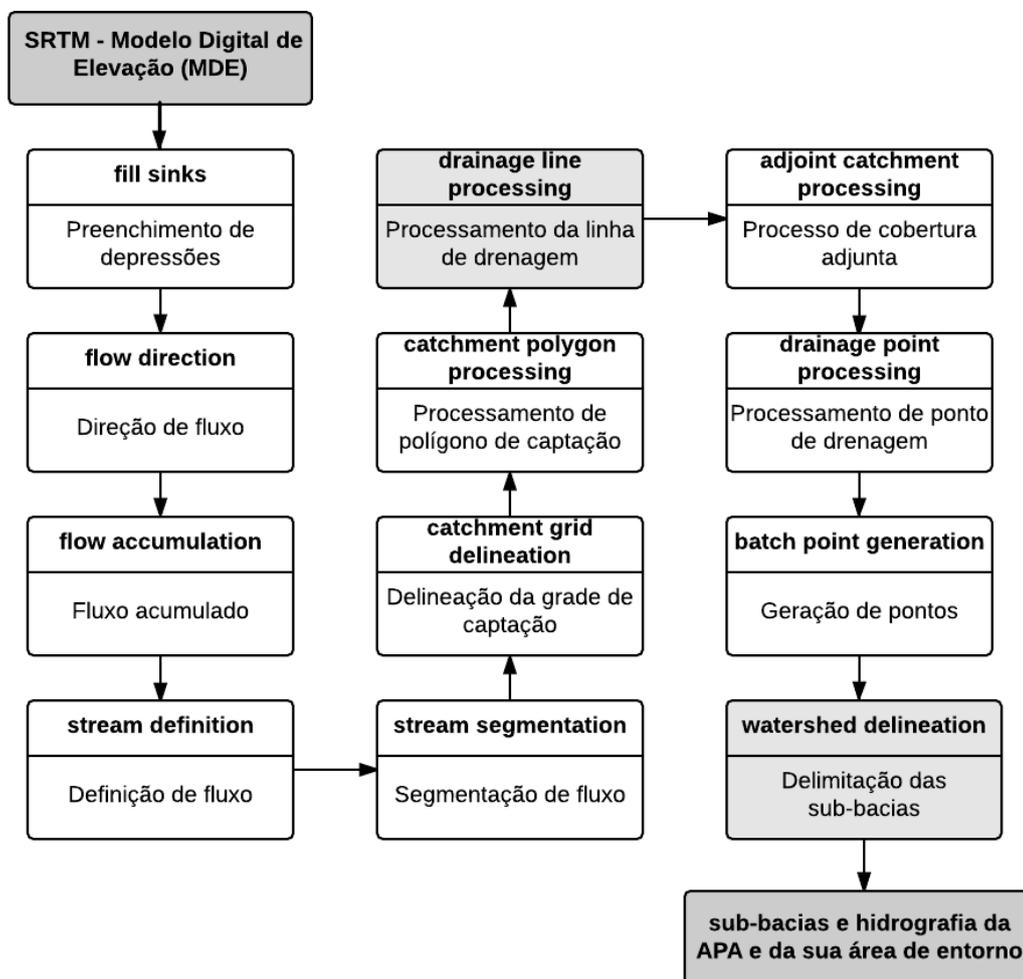


FIGURA 2 - ETAPAS DE DELIMITAÇÃO DAS SUB-BACIAS E HIDROGRAFIA A PARTIR DO MDE

FONTE: O Autor (2017)

A etapa “*drainage line processing*” foi realizada com o intuito de se obter as linhas de drenagem que percorrem a área para posterior delimitação das APPs, e a “*watershed delineation*” foi realizada com o intuito de se obter as sub-bacias, as quais posteriormente foram utilizadas como unidades de planejamento para as propostas de readequação da APA.

4.4 DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Neste caso, a primeira tentativa foi de conseguir classificar as áreas de acordo com o tamanho de módulos rurais para cada município e considerar as matrículas dos imóveis de forma individualizadas. Conseguiu-se acesso as propriedades que já constavam como cadastradas no Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), no entanto, ainda não perfaziam grande parte da área da APA.

Portanto, para a delimitação das APPs, haja vista a indisponibilidade de todos os perímetros das matrículas de imóveis contidos dentro da APA, adotou-se como critério a regra geral do Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012).

Devido a este fato, as APPs de rios e nascentes foram mapeadas pela análise de proximidade a partir de suas faixas marginais até a distância exigida pela legislação para a regra geral, sendo: 30 m para rios de até 10 m de largura, 100 metros para cursos de 50 a 200 metros de largura e um raio de 50 m para as nascentes.

4.5 ANÁLISE DE FRAGILIDADE AMBIENTAL

A fragilidade ambiental é resultante da análise espacial de dois tipos de mapas identificados como fragilidade potencial e fragilidade emergente. Para a construção do mapa de fragilidade potencial usam-se os temas físicos como tipos de solos, clima e geomorfologia (características abióticas). O mapa de fragilidade emergente é constituído a partir da sobreposição de dois mapas, sendo estes os de fragilidade potencial juntamente com o mapa de uso e ocupação do solo. A fragilidade emergente além de considerar as características físicas, contempla também, os graus de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal sobre o ambiente (características bióticas) (FRANCO; HERNANDEZ; LIMA, 2013).

Para a região do estudo, os Planos de Informação (PI) utilizados para definição das classes de fragilidade ambiental encontram-se listados no QUADRO 1.

QUADRO 1 - TEMAS AVALIADOS E FONTES DE INFORMAÇÃO

Plano de Informação (PI)	Fonte de Informação
Declividade do terreno (%)	SRTM, USGS
Tipos de solo	IBGE (2015)
Uso do solo	Classificação realizada por Harfouche <i>et al.</i> (2017) (trabalho no prelo), com imagem do satélite Landsat 8 com o uso do sensor OLI, elevação do sol (221/77) de 37.69° e (221/78) de 36.43°, ângulo zenital 40.13° e 39.67° respectivamente, datada em 04/08/2015.

FONTE: O Autor (2017)

Baseado na metodologia de Ross (1994), cada PI foi reclassificado com a adição de diferentes “pesos” para cada item. Desta forma, foram identificados e quantificados os níveis de fragilidade dos PI de declividade e tipos de solo e o grau de proteção do PI de uso do solo.

4.5.1 Classes de declividade

Segundo Ross (1994), as classes de declividade são importantes indicativos de processos erosivos, dos riscos de deslizamentos e inundações frequentes. Devido a estes fatores, a declividade tem relação direta na análise de fragilidade ambiental.

As informações de altimetria do terreno foram obtidas do MDE dos dados SRTM. Com as informações tridimensionais da área de estudo, foi possível a criação do mapa de declividade.

Em seguida, conforme apresentado na TABELA 1, cada classe de declividade foi categorizada de acordo com a metodologia de Ross (1994), onde cada declividade apresenta um nível de fragilidade.

TABELA 1 - GRAUS DE DECLIVIDADE

Níveis de fragilidade	Classes de declividade (%)
1 - Muito fraca	< 6
2 - Fraca	6,1 a 12
3 - Média	12,1 a 20
4 - Forte	20,1 a 30
5 - Muito forte	>30,1

FONTE: Ross (1994), adaptado pelo autor (2017)

4.5.2 Fragilidade das classes de solos

Segundo Ross (1994), as características de estrutura, textura, plasticidade, graus de coesão e profundidade/espessura dos solos estão ligadas ao relevo, litologia e clima, são os elementos responsáveis pela pedogênese e pela constituição física e química dos solos.

Para o estudo foi utilizado o *shapefile* de classificação de tipos de solos que faz parte da base cartográfica contínua do IBGE, na escala 1:250.000 do ano de 2015, disponível no repositório *online* do instituto.

Através deste *shapefile* foram atribuídas as classes de fragilidade aos tipos de solo existentes na região da APA, as quais foram determinadas de acordo com a metodologia de Ross (1994) e reclassificadas de acordo com a nomenclatura da classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS), conforme apresentado na TABELA 2. As áreas urbanas e corpos d'água continental presentes no *shapefile* de solos do IBGE foram classificados como 0.

TABELA 2 - NÍVEIS DE FRAGILIDADE E TIPOS DE SOLOS

Níveis de Fragilidade	Tipos de solos
1 - Muito fraca	LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura argilosa e muito argilosa;
	LVd - Latossolo Vermelho Distrófico textura argilosa e muito argilosa
	LVdf - Latossolo Vermelho Distroférico textura muito argilosa
2 - Fraca	LVd - Latossolo Vermelho Distrófico textura média
3 - Média	PVAa - Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico textura argilosa, arenosa/argilosa e arenosa/média
	PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura média/argilosa
	PVe - Argissolo Vermelho Eutrófico textura argilosa e média/argilosa
4 - Forte	CHa - Cambissolo Húmico Alumínico textura média e argilosa
	CXa - Cambissolo Háptico Alumínico textura argilosa e média
	CXbd - Cambissolo Háptico Tb Distrófico textura argilosa
5 - Muito forte	GXbd - Gleissolo Háptico Tb Distrófico
	GMbd - Gleissolo Melânico Tb Distrófico textura argilosa
	OXy - Organossolo Háptico Hêmico textura orgânica
	RLdh - Neossolo Litólico Distro-Úmbrico textura média
	RLd - Neossolo Litólico Distrófico textura média e argilosa
	RLe - Neossolo Litólico Eutrófico textura média
RQo - Neossolo Quartzarênico Órtico textura arenosa	

FONTE: Ross (1994), adaptado pela autora (2017)

4.5.3 Mapa de uso do solo

Compete ao uso do solo papel importante no estudo de fragilidade ambiental, onde a diversidade de uso desta, interpretadas em imagens aéreas ou em observações feitas a campo, permite estabelecer e apontar diferentes graus de proteção do ambiente (ROSS, 1994).

O mapa de usos do solo da área do estudo foi confeccionado em um trabalho que se encontra no prelo de Harfouche *et al.* (2017). Para a elaboração deste plano utilizou-se imagens geradas pelo satélite Landsat 8, do sensor *Operational Land Imager* (OLI), disponibilizadas pela *United States Geological Survey* (USGS), as quais já foram detalhadas anteriormente. O processamento das imagens deu-se no *software* E-cognition Definiens Professional LDH. A legenda adotada foi dividida em 7 classes, sendo estas: 1 - vegetação nativa, 2 - estepe e afloramento rochoso, 3 - plantio florestal, 4 - agricultura, 5 - solo exposto, 6 - área urbana, 7 - água e outros.

Para a avaliação da acurácia dos resultados da classificação do uso do solo realizado pelo trabalho mencionado, foi utilizada a metodologia de Congalton, a qual resulta no cálculo do índice Kappa. Este cálculo basicamente relaciona o número de acertos das classes pelo número total de classes, ou seja, de 100 pontos aleatórios, 75 pontos bateram exatamente com a classificação realizada. As conferências foram realizadas com imagens do *Google Earth*.

A partir do *shapefile* de uso dos solos, foi gerado outro produto onde adotou-se cinco graus de proteção de acordo com as classes de uso e ocupação dos solos baseados na adaptação da metodologia de Ross (1994). Estes se encontram representados na TABELA 3.

TABELA 3 - GRAUS DE PROTEÇÃO E TIPOS DE USOS DO SOLO

Graus de proteção	Classes de uso e ocupação dos solos
1 - Muito alta	Estepe e afloramento rochoso; vegetação nativa
2 - Alta	Água
3 - Média	Área urbana
4 - Baixa	Solo exposto
5 - Muito baixa a nula	Plantio florestal; agricultura

FONTE: Ross (1994), adaptado pelo autor (2017)

Após estes procedimentos, por meio do método de álgebra de campos de sobreposição ponderada, combinaram-se as informações de declividade, onde foi atribuído peso de 70% a este PI e ao PI de tipos de solo foi atribuído um peso de 30%, resultando na fragilidade potencial. Posteriormente, as informações da fragilidade potencial foram combinadas pelo mesmo método com o mapa de uso da terra, onde foram atribuídos pesos iguais aos dois PI (50% para cada), para gerar as informações de fragilidade emergente. Todos os processamentos foram realizados no *software* ArcGIS 10.4 com posterior manipulação e exibição dos dados no Microsoft Excel®. O fluxo de procedimentos para a geração da fragilidade ambiental está apresentado na FIGURA 3.

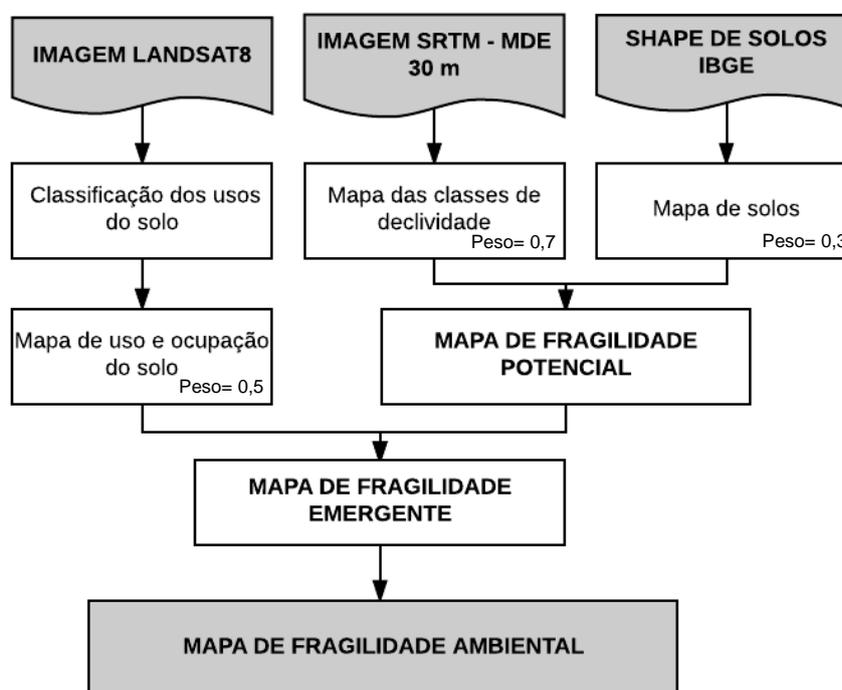


FIGURA 3 - FLUXO DOS PROCEDIMENTOS PARA A OBTENÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL

FONTE: O Autor (2017)

Há diversos modelos e propostas de mapeamento e avaliação de fragilidade ambiental. Entre os trabalhos que se destacam dentro deste tema encontram-se Monteiro (2001), Ross (1994) e Crepani (2001). Para este trabalho optou-se por adotar a metodologia mais difundida que é a de Ross.

4.6 ZONEAMENTO AMBIENTAL

Os zoneamentos ambientais normalmente são realizados através de *softwares* desenvolvidos para integrar mapeamentos e análises espaciais. Estas informações permitem relacionar os resultados do diagnóstico em um único mapa ou modelo, representando a realidade do meio físico e subsidiando o manejo de diversas situações. Como exemplo, pode-se citar áreas a serem manejadas para conservação (fragmentos naturais remanescentes), a serem restauradas (APPs e RLs degradadas), situações que deverão ter uso alterado (áreas de baixa aptidão agrícola), e as recomendações de restauração e recuperação de cada uma dessas situações, gerando um produto final das análises para a elaboração de projetos técnicos (BRANCALION; LIMA; RODRIGUES, 2013).

O estabelecimento das zonas foi baseado na integração e análise de dados em ambiente SIG. Após um diagnóstico ambiental da APA e da área de entorno, realizou-se a integração de todas as informações geradas. Dessa forma foi possível alocar cada uma das situações identificadas no diagnóstico, bem como, verificar a conexão espacial entre elas.

Para este procedimento, foi gerado um conjunto de quadrículas, utilizadas como unidades espaciais, padronizadas no tamanho de 500 por 500 m, onde cada quadrícula representou 25 ha na área do estudo. Neste procedimento, foram geradas 47.239 unidades de quadrículas, que contemplam a área da APA e a área de entorno. Após este procedimento, foi realizada a intersecção das quadrículas com os PI gerados, sendo estes o PI de fragilidade ambiental (potencial e emergente) e das APPs. Adotou-se o critério de maior representatividade, que representa a classe que se sobressaísse perante as demais dentro de uma quadrícula. Desta forma, conseguiu-se definir 3 zonas dentro da APA e da área de entorno (TABELA 4).

TABELA 4 - CLASSIFICAÇÃO DAS ZONAS E CATEGORIAS IDENTIFICADAS NA APA

Código	Zonas	Categoria	Crítérios
ZC	Zona de Conservação	Vegetação nativa, Estepe e afloramento rochoso Água APP	Remanescentes Restrições legais Restrições legais
ZU	Zona Urbana	Área urbana	Áreas com construções
ZPR	Zona Produtiva Rural	Solo exposto, Plantio florestal e agricultura	Áreas antropizadas

FONTE: O Autor (2017)

Para este trabalho, optou-se por trabalhar categorias entendidas como básicas (mínimas) para iniciar a discussão sobre aspectos ambientais ligados aos meios físico e biológico (naturais e antrópicos) e relacionados a questões legislativas, sem avançar na inserção dos aspectos sociais e econômicos no planejamento das áreas de abrangência da APA. Desta forma, foi possível apresentar um cenário de zoneamento ambiental para a área da APA, o qual visou dar suporte para as discussões da proposta de redelimitação da mesma.

Após este processo, as informações das zonas foram consideradas no contexto das sub-bacias geradas anteriormente. A partir deste processo, foram adotados critérios para apresentar oito cenários de redelimitação do perímetro da APA. Os critérios foram baseados no percentual que a Zona de Conservação (ZC) apresentou na área de cada uma das sub-bacias. Os percentuais adotados como critérios foram: cenário 1 - 30%, cenário 2 - 35%, cenário 3 - 40% e cenário 4 - 45%. Dentro dos cenários, foram utilizados como critérios os percentuais acima descritos para decidir se a sub-bacia deveria ou não permanecer nos limites da APA, onde foi redefinido quatro cenários com propostas de novo perímetro a partir do limite atual da APA e outros quatro cenários considerando além do perímetro atual da APA, a sua área de entorno.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.2 FRAGILIDADE AMBIENTAL

5.2.1 Classes de declividade

Na área do estudo, as classes de declividade apresentam níveis de fragilidade desde muito fraca (áreas menos declivosas) a muito forte (áreas mais declivosas), como mostra a TABELA 5.

TABELA 5 - CLASSES DE DECLIVIDADE

Níveis de fragilidade	Classes de declividade (%)	Área da APA		Área de entorno		APA + Área de entorno	
		Área (Mil ha)	(%)	Área (Mil ha)	(%)	Área (Mil ha)	(%)
1 - Muito fraca	< 6	182,8	47	384,1	50	567	49
2 - Fraca	6,1 a 12	137,4	35	274	36	411,4	35
3 - Média	12,1 a 20	52,4	13	89,7	12	142,2	12
4 - Forte	20,1 a 30	16,2	4	15,3	2	31,6	3
5 - Muito forte	>30,1	3,3	1	3,5	0,5	6,8	1
TOTAL		392,4	100	766,8	100	1.159,2	100

FONTE: O Autor (2017)

As análises permitem identificar que as áreas classificadas com nível de fragilidade forte (4) e muito forte (5) são as áreas menos representativas. Estas se encontram localizadas em regiões de serra e escarpadas que dividem o primeiro e o segundo planaltos. Juntas, ambas representam 5% dos 392,4 mil ha da área da APA e 2,5% dos 766,8 mil ha da área de entorno. Já as de fragilidade muito fraca (1) e fraca (2), as quais são encontradas em áreas com declividades menores que 12%, são as mais representativas, representando 47 e 35% da APA respectivamente, correspondendo 50 e 36% da Área de entorno, respectivamente. Estas apresentam baixo risco a processos erosivos e deslizamentos, no entanto, outros fatores, principalmente os que estão relacionados às atividades antrópicas, podem contribuir para processos erosivos (ANEXO I – MAPA DE CLASSES DE DECLIVIDADE E MAPA DE NÍVEIS DE FRAGILIDADE DAS DECLIVIDADES).

5.2.2 Classes de solos

Identificou-se heterogeneidade pedológica na área de estudo que, segundo dados do plano de manejo da APA é ocasionado, principalmente, devido aos grandes alinhamentos tectônicos existentes na região, resultando em solos com diferentes atributos e, conseqüentemente, ampla variação em relação às potencialidades e fragilidades ambientais. Os tipos de solo identificados na área do estudo apresentaram fragilidade desde muito fraca a muito forte (TABELA 6). As áreas urbanas e corpos hídricos presentes no *shapefile* do IBGE foram classificados como 0. Estes representaram 1,3 mil ha da área da APA e 14,2 mil ha da Área de entorno

TABELA 6 - NÍVEIS DE FRAGILIDADE E TIPOS DE SOLOS

Níveis de Fragilidade	Tipos de solo	Área da APA		Área de entorno		APA + Área de entorno	
		Área (Mil ha)	(%)	Área (Mil ha)	(%)	Área (Mil ha)	(%)
1 - Muito fraca	LVAd; LVd; LVdf.	65,5	17	332,7	43	398,2	34
2 - Fraca	LVd.	44,6	11	17	2	61,7	5
3 - Média	PVAa; PVAd; Pve.	9	2	123,8	16	132,8	11
4 - Forte	CHa; CXa; CXbd.	193	49	188,5	25	381,5	33
5 - Muito forte	GXbd; GMbd; OXy; RLdh; RLd; RLe; Rqo.	78,7	20	90,4	12	169,2	15
TOTAL		392,4	100	766,8	100	1.159,2	100

FONTE: O Autor (2017)

As áreas classificadas com nível de fragilidade forte (4) e muito forte (5) são as mais representativas. Somadas, abrangem 69% da área total da APA. Na classe forte estão inseridos os Cambissolos, que de acordo com os dados do plano de manejo da APA, encontram-se situados sobre paisagens de encosta, as quais imprimem maior fragilidade ambiental. Este solo é encontrado regularmente dentro das fronteiras da área de influência da APA. Outra classe de solo representativo na área são os Neossolos, grupo que está classificado com nível de fragilidade muito forte. Estes condicionam forte fragilidade ambiental devido principalmente à sua suscetibilidade à erosão. Evidentemente, dentro desse contexto, tanto maior será a predisposição a erosão quanto mais íntima for à associação com afloramentos rochosos, especialmente em relevos mais vigorosos (PARANÁ, 2004).

Na área de entorno, as classes mais representativas foram as com fragilidade muito fraca (1), que abrange 43% dos 766,8 mil ha, constituídos principalmente por Latossolos, que segundo a classificação do SIBCS, apresentam elevados níveis de permeabilidade. Esta condição, associada aos tipos de relevos mais planos, minimizam a possibilidade de ocorrer processos erosivos. E a fragilidade forte (4), com 25% da área. Representados pelos Cambissolos, os quais variam muito de um local para o outro, devido à heterogeneidade do material de origem (ANEXO II – MAPA COM OS TIPOS DE SOLO E MAPA COM OS NÍVEIS DE FRAGILIDADE DE CADA TIPO DE SOLO).

5.2.3 Usos do solo

Os usos do solo presentes na área do estudo encontram-se quantificados na TABELA 7 (apresentados no ANEXO III – MAPA DE USOS DO SOLO E MAPA DE GRAUS DE PROTEÇÃO DO USO DO SOLO).

As áreas consideradas antropizadas correspondem a regiões onde foram identificados plantio florestal, agricultura, solo exposto e área urbana. As áreas não antropizadas, são as classificadas como vegetação nativa, estepe e afloramento rochoso e água. Como observado na FIGURA 4, separando a classificação em áreas antropizadas e não antropizadas verificou-se que existe forte influência antrópica, tanto no perímetro que abrange a APA quanto nas áreas que circundam a mesma.

TABELA 7 - IDENTIFICAÇÃO DOS USOS DO SOLO NA ÁREA DO ESTUDO

Usos do solo	Área da APA		Área de entorno		APA + Área de entorno	
	Área (Mil ha)	(%)	Área (Mil ha)	(%)	Área (Mil ha)	(%)
Vegetação nativa	115,2	29	271,1	35	386,3	33
Estepe e afloramento rochoso	68,3	17	57,9	8	126,1	11
Água	2,6	1	6,5	1	9,1	1
Plantio florestal	65,5	17	138,1	18	203,6	18
Agricultura	62,0	16	123,9	16	185,8	16
Solo exposto	75,2	19	150,5	20	225,7	19
Área urbana	3,7	1	18,7	2	22,4	2
Outros	0,04	0,01	0,1	0,02	0,2	0,02
TOTAL	392,4	100	766,8	100	1.159,2	100

FONTE: Adaptado do trabalho de Harfouche *et al.* (2017) (no prelo)

A área antropizada representou 53% dos 392,4 ha da APA e 56% dos 766,8 ha da área de entorno. A área não antropizada representou 47% da área da APA e 44% da área de entorno.

Em um mapa da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) de 2017 foi comparado a alteração no uso do solo no ano de 1992, ano de criação da APA, e em 2017. Neste mapa verificou-se grande alteração do uso do solo, sendo que em 2017, 33% da área da APA apresentou áreas com florestas, campos e corpos d'água, e o restante, 67%, foram classificadas como área destinadas a agricultura, reflorestamento de exóticas, solo exposto e edificações.

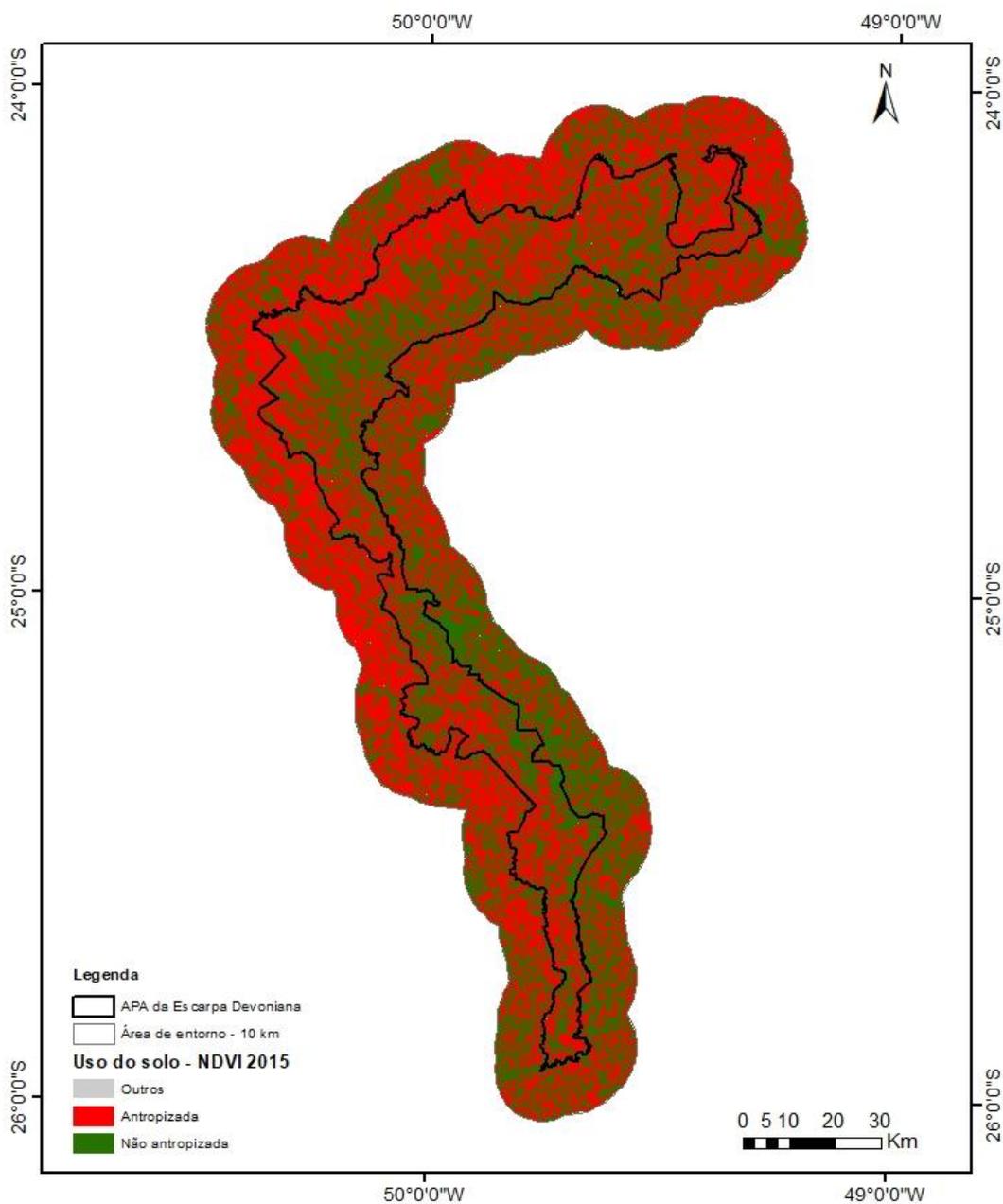


FIGURA 4 - CLASSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO DA ÁREA DA APA E ÁREA DE ENTORNO
 FONTE: Adaptado do trabalho de Harfouche *et al.* (2017) (no prelo)

Estes se enquadraram desde grau de proteção “muito alto” até grau de proteção “muito baixo a nulo”, como mostra a TABELA 8 (ANEXO III – MAPA DE USOS DO SOLO E MAPA DE GRAUS DE PROTEÇÃO DO USO DO SOLO).

TABELA 8 - GRAUS DE PROTEÇÃO DAS CLASSES DE USO DO SOLO DA APA E DA ÁREA DE ENTORNO

Grau de Proteção	Classes de uso do solo	Área da APA		Área de entorno		APA + Área de entorno	
		Área (Mil ha)	(%)	Área (Mil ha)	(%)	Área (Mil ha)	(%)
1 - Muito alta	Vegetação nativa; estepe e afloramento rochoso	183,4	47	329,0	43	512,4	44
2 - Alta	Água	2,6	1	6,5	1	9,1	1
3 - Média	Área urbana	3,7	1	18,7	2	22,4	2
4 - Baixa	Solo exposto	75,2	19	150,5	20	225,7	19
5 - Muito baixa a nula	Plantio florestal; Agricultura	127,4	32	262,0	34	389,4	34
TOTAL		392,4	100	766,8	100	1.159,2	100

FONTE: O Autor (2017)

As classes de uso do solo que se enquadram nos graus de proteção média (3), baixa (4) e muito baixa a nula (5), representaram 52% dos 392,4 ha da APA e 56% dos 766,8 ha da área de entorno. As classes que se enquadraram nos graus de proteção muito alta (1) a alta (2) representaram 48% da área da APA e 44% da área de entorno.

5.2.4 Fragilidade potencial e emergente

As sobreposições dos PI de declividade e tipos de solo geraram um modelo de fragilidade potencial, ou seja, a suscetibilidade natural da área a degradação ambiental. As fragilidades identificadas na área do estudo apresentaram desde o nível muito baixa até muito alta (TABELA 9).

TABELA 9 - FRAGILIDADE POTENCIAL DA APA E DA ÁREA DE ENTORNO

Níveis de fragilidade	Área da APA		Área de entorno		APA + Área de entorno	
	Área (Mil ha)	(%)	Área (Mil ha)	(%)	Área (Mil ha)	(%)
1 - Muito baixa	32,3	8	203,9	27	236,2	20
2 - Baixa	176,8	45	270,7	35	447,5	39
3 - Média	124,6	32	231,6	30	356,2	31
4 - Alta	46,1	12	55,3	7	101,4	9
5 - Muito alta	12,6	3	5,3	1	17,9	2
TOTAL	392,4	100	766,8	100	1.159,2	100

FONTE: O Autor (2017)

Os dois PI aliados mostraram que 8% da área da APA e 27% da área de entorno encontraram-se os níveis de fragilidade potencial muito baixa (classe 1), representado por declividades muito baixas e solos com muito baixa fragilidade, ou seja, ambientes menos suscetíveis a deslizamentos. Muitas dessas áreas são importantes na região, pois são representadas por campos de drenagem, que são importantes para a manutenção das bacias hidrográficas.

Dos 392,4 mil ha da APA, 45% e 35% dos 766,8 mil ha da área de entorno, foram classificados em áreas de baixa fragilidade potencial (classe 2). Estes estão localizados em áreas com declividades muito baixas e tipos de solo de muito baixa, baixa e alta fragilidade.

Em relação as áreas de média fragilidade (classe 3), 32% da APA e 30% da área de entorno, encontram-se nesta classe. Estas são representadas por áreas que contemplam declividades na classe de fragilidade média e tipos de solos classificados em média, alta e muito alta fragilidade.

Os níveis de fragilidade ambiental potencial alta (4), que abrange classes de alta declividade e solos com alta a muito alta fragilidade, representam 12% na área da APA e 7% na área de entorno.

Para a classe muito alta (5), esta representou 3% da APA e 1% da área de entorno. Esta é a classe com áreas muito declivosas, as quais se enquadram na fragilidade muito alta e solos de frágeis a muito frágeis (FIGURA 5).

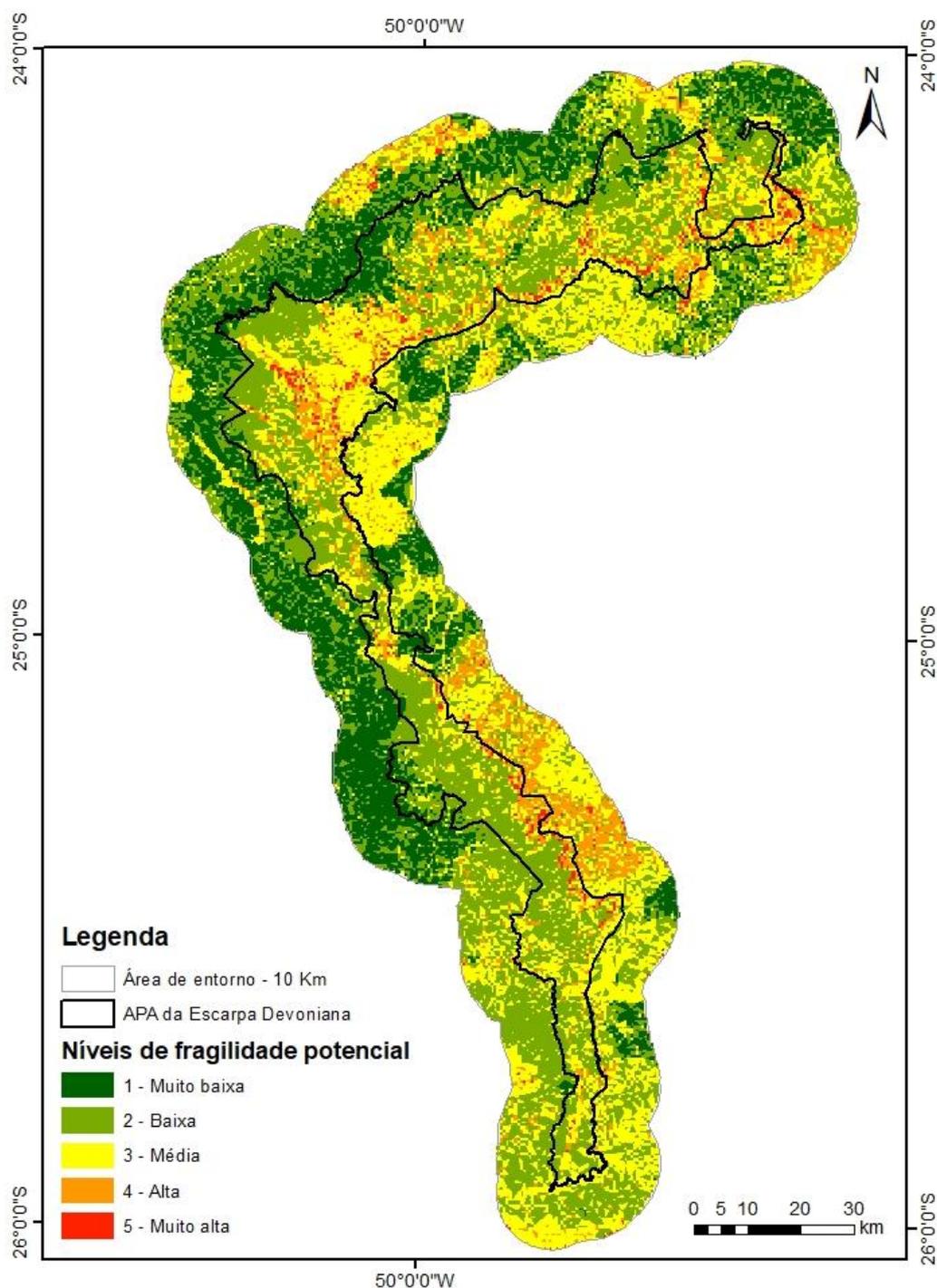


FIGURA 5 - FRAGILIDADE POTENCIAL DA APA E DA ÁREA DE ENTORNO
 FONTE: O Autor (2017)

A sobreposição do PI de fragilidade potencial com o uso do solo possibilitou a geração do mapa de fragilidade emergente (FIGURA 6), neste caso, considerando as ações antrópicas na análise de vulnerabilidade da área do estudo (TABELA 10).

TABELA 10 - FRAGILIDADE EMERGENTE DA APA E DA ÁREA DE ENTORNO

Níveis de fragilidade	Área da APA		Área de entorno		APA + Área de entorno	
	Área (Mil ha)	(%)	Área (Mil ha)	(%)	Área (Mil ha)	(%)
1 - Muito baixa	5,7	1	28,8	4	34,4	3
2 - Baixa	138,9	35	230,5	30	369,4	32
3 - Média	63,0	16	144,3	19	207,3	18
4 - Alta	132,8	34	263,3	34	396,1	34
5 - Muito alta	52,0	13	100,0	13	152,0	13
TOTAL	392,4	100	766,8	100	1.159,2	100

Fonte: O Autor (2017)

Nas áreas classificadas com fragilidade baixa (2), as quais representam 35% da APA e 30% da Área de entorno, foram identificados os usos do solo com vegetação nativa, estepe e afloramento rochoso.

Já para a fragilidade média (3), a qual representa 16% da APA e 18% da Área de entorno, encontram-se áreas classificadas como solo exposto e áreas urbanas. Tanto a fragilidade alta (4) quanto para a muito alta (5), apresentam plantio florestal e áreas agrícolas. Estes espaços territoriais classificados como 4 e 5, são áreas sensíveis e necessitam de observação redobrada.

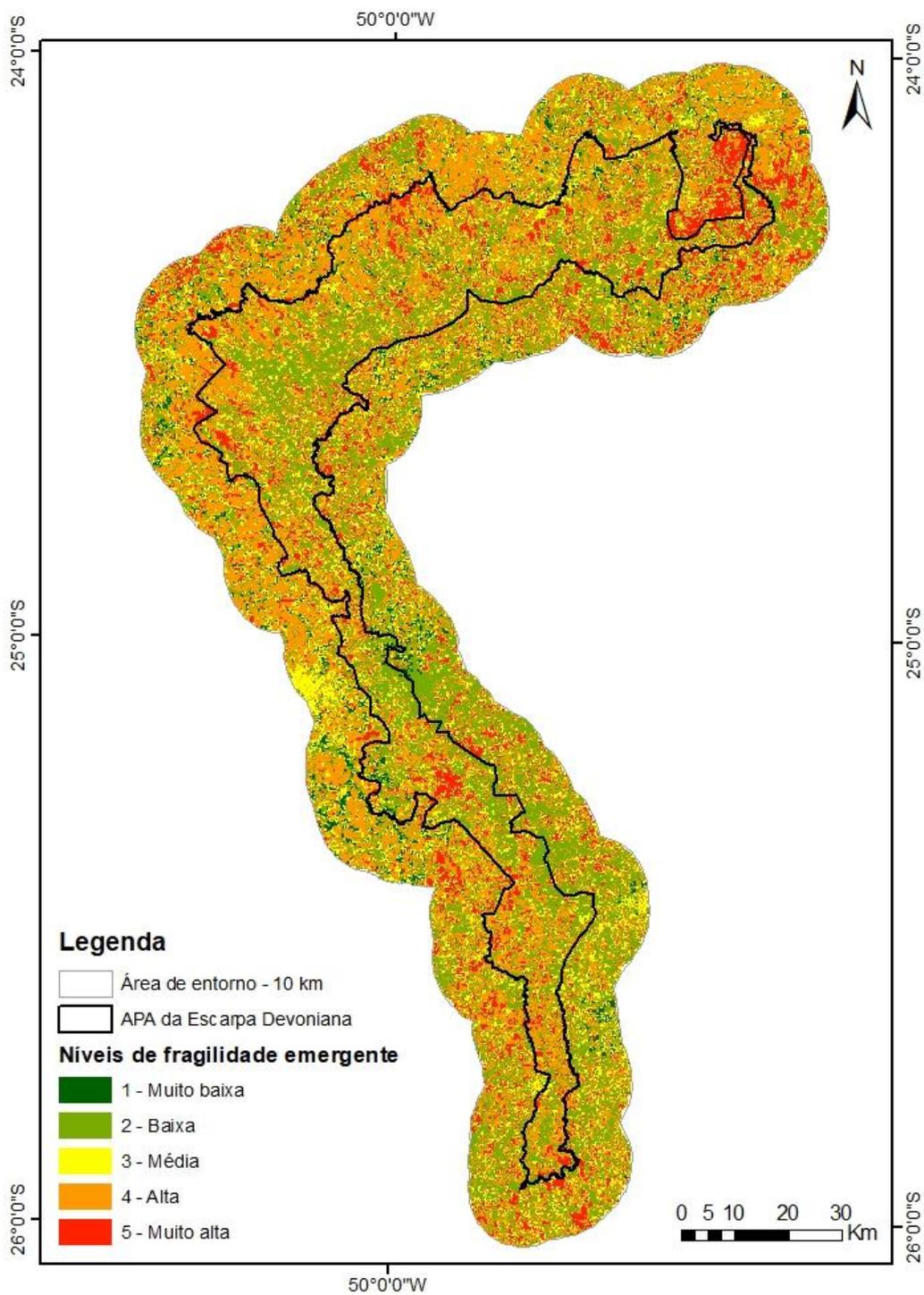


FIGURA 6 - FRAGILIDADE AMBIENTAL DA APA E DA ÁREA DE ENTORNO
 FONTE: O Autor (2017)

5.3 ZONEAMENTO AMBIENTAL

As categorias adotadas na análise quanto à elaboração das zonas encontram-se representadas quantificadas na TABELA 11.

TABELA 11 - ZONEAMENTO AMBIENTAL DA APA E DA ÁREA DE ENTORNO

Códigos	Zoneamento	Usos do solo	Área da APA		Área de entorno		APA + Área de entorno	
			Área (Mil ha)	(%)	Área (Mil ha)	(%)	Área (Mil ha)	(%)
		Vegetação nativa						
ZC	Zona de Conservação	Estepe e afloramento rochoso	217,6	55	350,7	46	568,3	49
		Água						
		APP						
ZU	Zona urbana	Área urbana	1,0	0,2	12,7	2	13,7	1
		Plantio florestal						
ZPR	Zona produtiva rural	Agricultura	173,8	44	403,4	53	577,2	50
		Solo exposto						
TOTAL			392,4	100	766,8	100	1.159,2	100

FONTE: O Autor (2017)

Percebeu-se que a ZC foi a zona mais representativa dentro do perímetro da APA, esta representou 55% da área. Já na Área de entorno, a zona mais representativa foi a ZPR, a qual abrange 53% da área (FIGURA 7).

Cerca de 44% da área pertencente a APA foi classificada como ZPR, fato esse que explica a pressão para mudar os limites dessa.

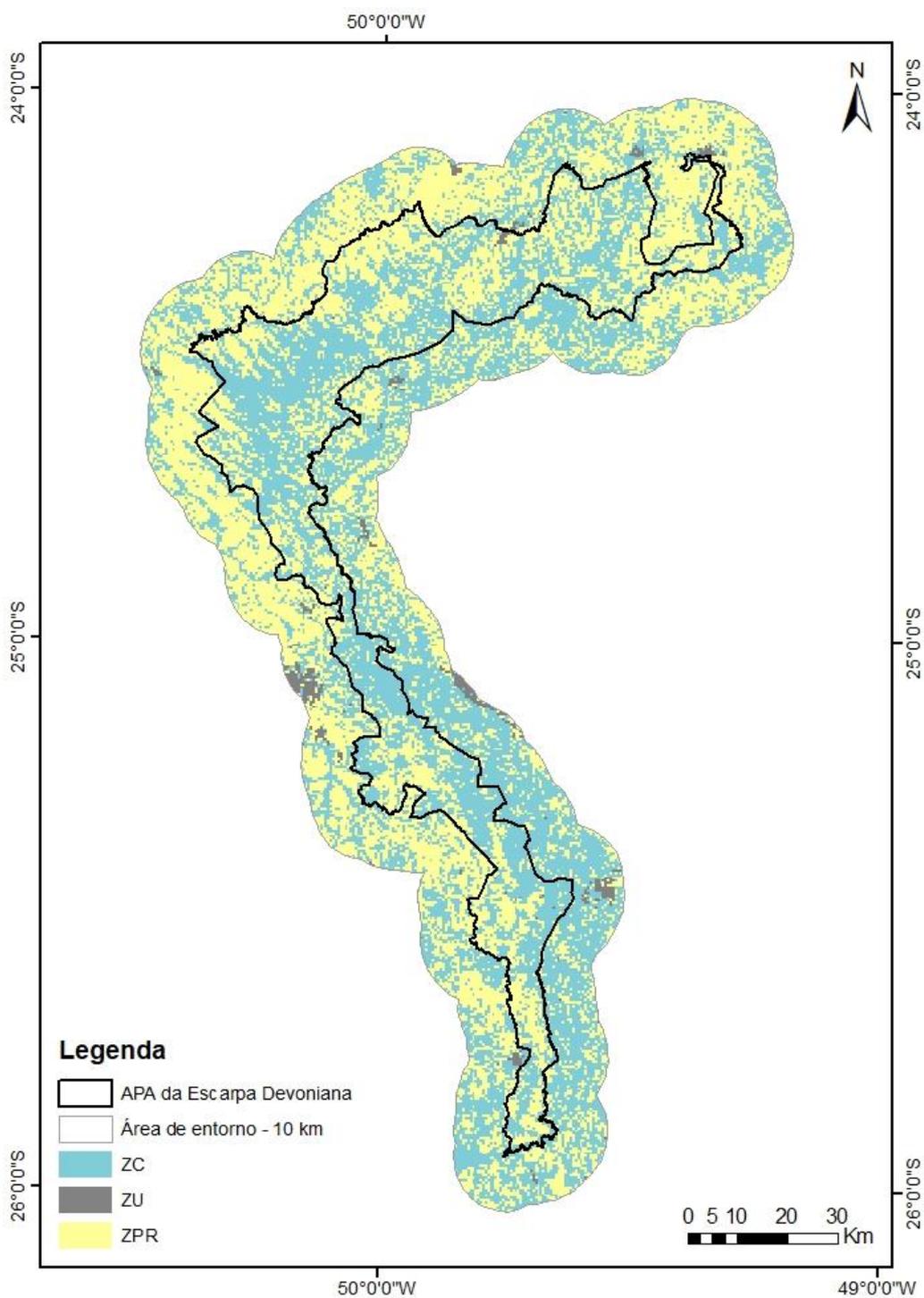


FIGURA 7 - ZONEAMENTO AMBIENTAL DA APA E DA ÁREA DE ENTORNO
 FONTE: O Autor (2017)

Posterior a este processo, as três zonas foram quantificadas dentro de cada uma das 18 sub-bacias previamente delimitadas (FIGURA 8). Os valores referentes à análise encontram-se quantificados na TABELA 12.

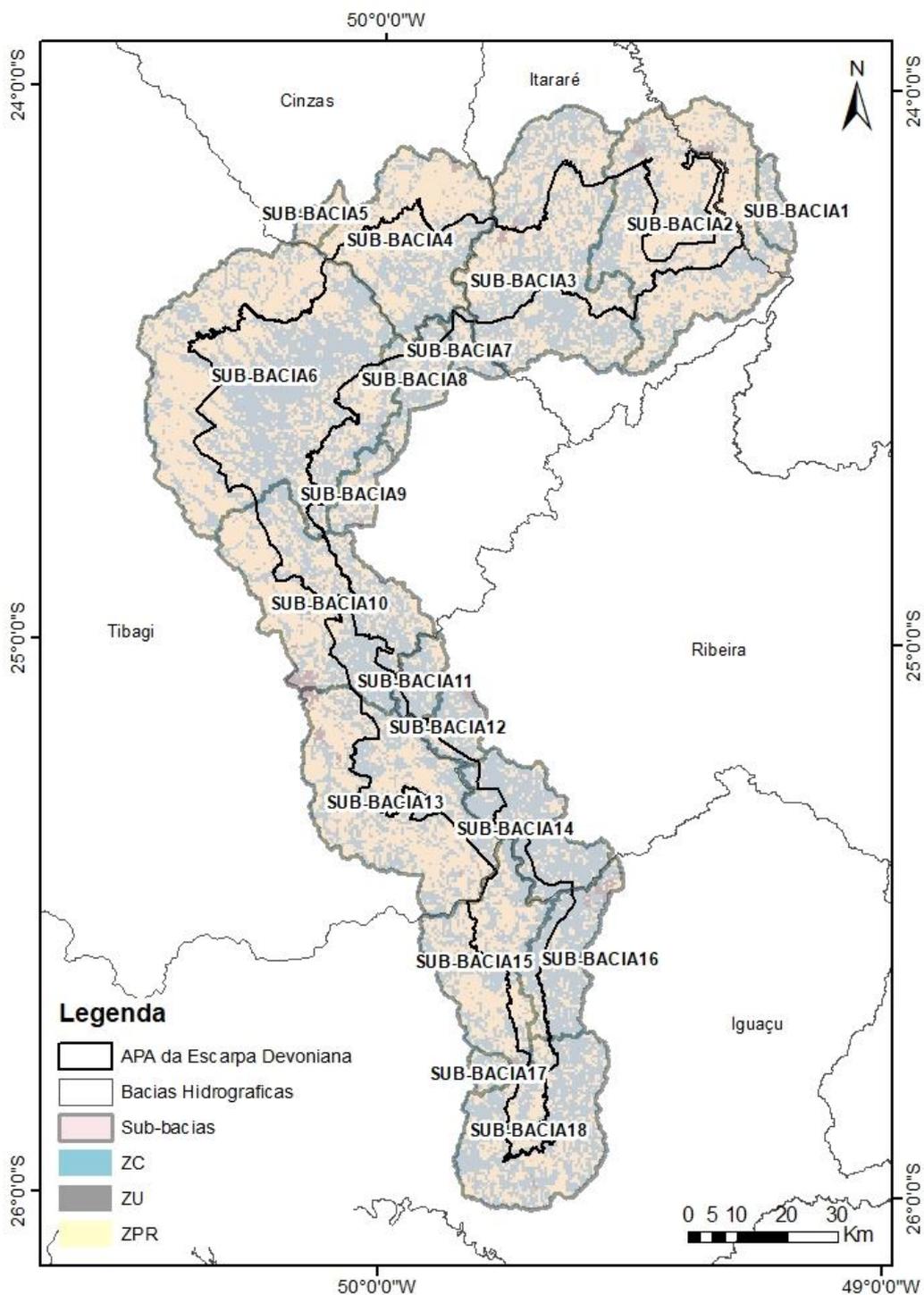


FIGURA 8 - REPRESENTAÇÃO DAS ZONAS ALOCADAS EM CADA SUB-BACIA
 FONTE: O Autor (2017)

TABELA 12 - ÁREA E PERCENTUAL QUE CADA ZONA REPRESENTA DENTRO DAS 18 SUB-BACIAS

Situação	Sub-bacia	Área Sub-bacia (Mil ha)	Área ZC (Mil ha)	(%)	Área ZPR (Mil ha)	(%)	Área ZU (Mil ha)	(%)
Antropizadas	4	78,4	26,9	34	51,1	65	0,4	0,5
	5	7,2	2,6	36	4,6	64	0,0	0
	2	131,2	46,6	36	83,3	63	1,3	1,0
	13	107,3	45,7	43	59,9	56	1,7	1,6
	15	62,1	27,6	44	33,9	54	0,7	1,1
	10	98,2	47,4	48	48,8	50	2,1	2,1
	6	217,5	104,3	48	112,8	52	0,4	0,2
Conservadas	9	12,8	6,4	50	6,3	49	0,2	1,2
	17	5,3	2,8	52	2,5	47	0,0	1
	3	127,1	65,5	52	60,7	48	0,9	0,7
	1	9,5	5,4	57	4,1	43	0,0	0
	8	21,5	12,9	60	8,3	38	0,3	1,5
	18	78,3	47,3	60	30,9	39	0,2	0,2
	7	8,5	5,4	64	3,1	36	0,0	0,0
	12	15,3	10,6	70	3,7	24	0,9	6,0
	16	35,7	25,7	72	8,5	24	1,5	4,2
	11	13,6	10,4	77	3,1	23	0,1	0,7
14	43,9	35,4	81	8,4	19	0,1	0,2	

FONTE: O Autor (2017)

A partir dos dados levantados, pôde-se observar que em 11 das 18 sub-bacias delimitadas na região, representadas partindo-se da sub-bacia 9 até a 14 da TABELA 12, apresentaram percentuais de áreas com ZC superiores a ZPR. Já as 7 sub-bacias anteriores a 9, apresentaram maiores porcentagens de áreas antropizadas, como a sub-bacia 2, 4, 5, 6, 10, 13 e a 15. Estas apresentam mais da metade das áreas classificadas como ZPR.

5.4 AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE REDELIMITAÇÃO DA ÁREA DA APA

Adotando-se o critério de área de cada sub-bacias com um percentual menor ou igual a 30% (cenário 1a) pertencente a ZC, nenhuma das 18 sub-bacias deixam de pertencer a área da APA. De acordo com as análises, a sub-bacia que apresentou o menor percentual com esta zona é a 4, onde 34% da área desta é coberta por esta zona. Desta forma a APA mantém os seus 392,3 mil ha (FIGURA 9).

No cenário 1b, em que foram consideradas as áreas de entorno ao perímetro atual da APA, não restringindo somente ao limite atual da área, o perímetro proposto é de 1.074 milhões de ha.

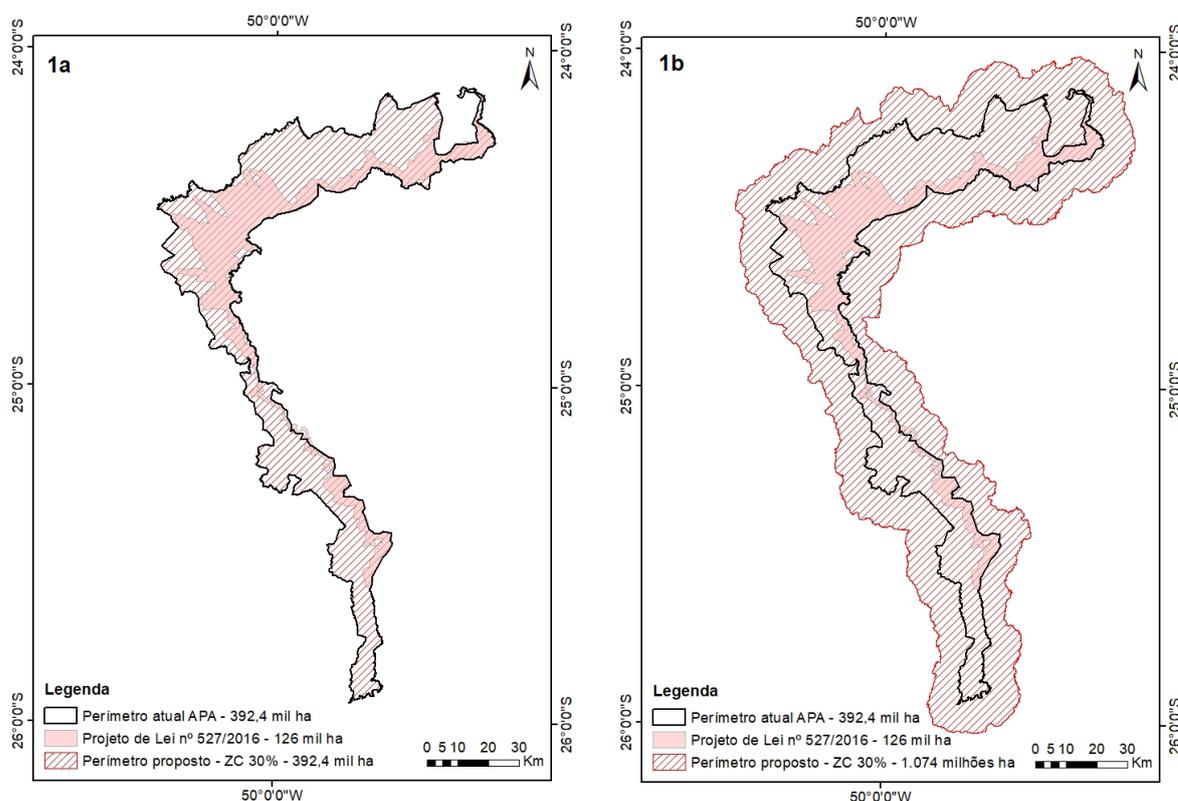


FIGURA 9 - PROPOSTA DE NOVO PERÍMETRO PARA A APA ADOTANDO O CRITÉRIO DE SUB-BACIAS COM PERCENTUAIS MENORES OU IGUAIS A 30% (CENÁRIO 1A E 1B) DE ZC

FONTE: O Autor (2017)

Porém se considerado o critério de menor ou igual a 35% (cenário 2), a sub-bacia 4 pode ser desconsiderada da área da APA, pois esta apresenta um percentual de 34% com esta classe. Somando as áreas de ZPR e ZU desta sub-bacia, estas contemplam 65% da área (FIGURA 10).

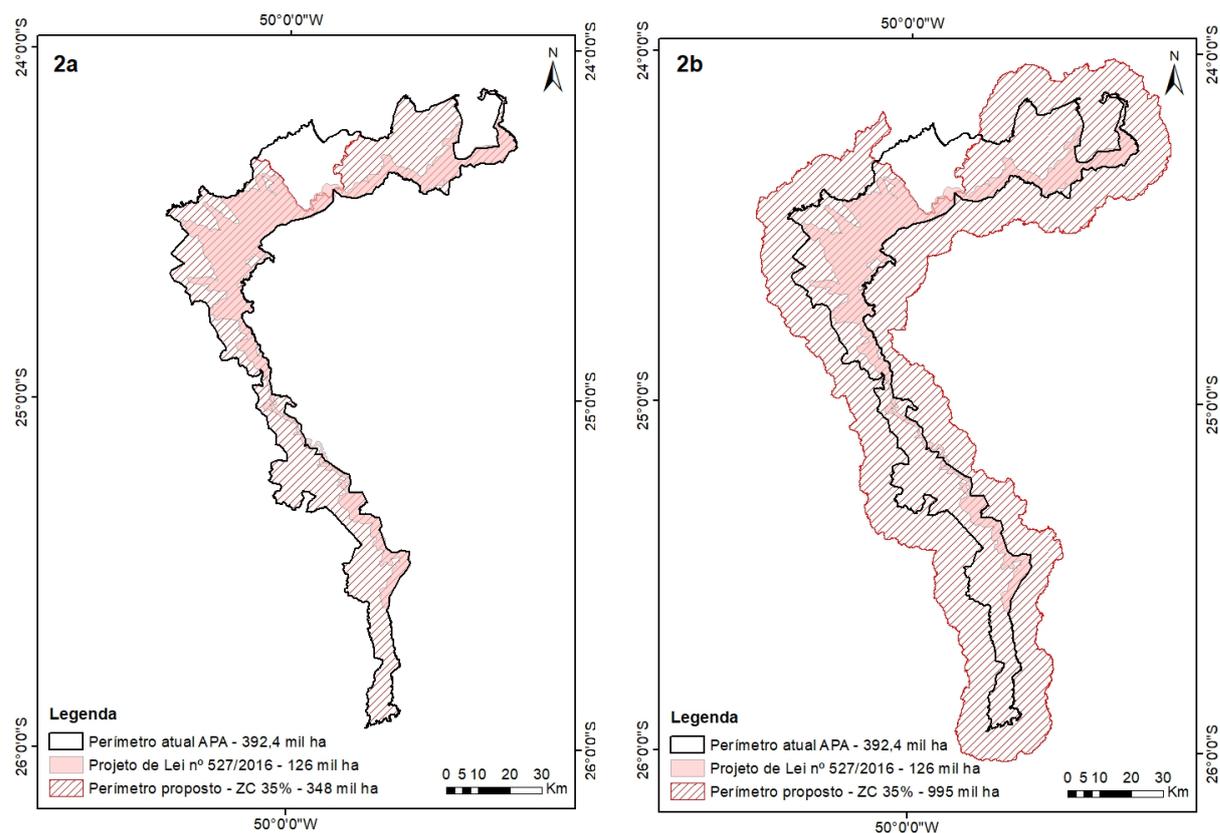


FIGURA 10 - PROPOSTA DE NOVO PERÍMETRO PARA A APA ADOTANDO O CRITÉRIO DE SUB-BACIAS COM PERCENTUAIS MENORES OU IGUAIS A 35% (CENÁRIO 2A E 2B) DE ZC
 FONTE: O Autor (2017)

Na sub-bacia 4 foram identificadas áreas com elevada quantidade de atividades antrópicas, a qual acabou indicando uma alta a muito alta fragilidade ambiental. Ao adotar este critério, mantém-se 348 mil ha como área da APA para o cenário 2a, que representa uma redução na ordem de 11% da área atual, inferior à proposta do projeto de lei, que propõe uma redução na ordem de mais de 68%. No cenário 2b, em que foram consideradas as áreas de entorno ao perímetro atual da APA, o perímetro proposto é de 995 mil ha.

Em relação ao critério de sub-bacias com percentual menor ou igual a 40% (cenário 3) de áreas classificadas como ZC, podem ser retiradas as sub-bacias 2, 4 e 5, as quais apresentam respectivamente 36, 34 e 36% de áreas com esta zona (FIGURA 11).

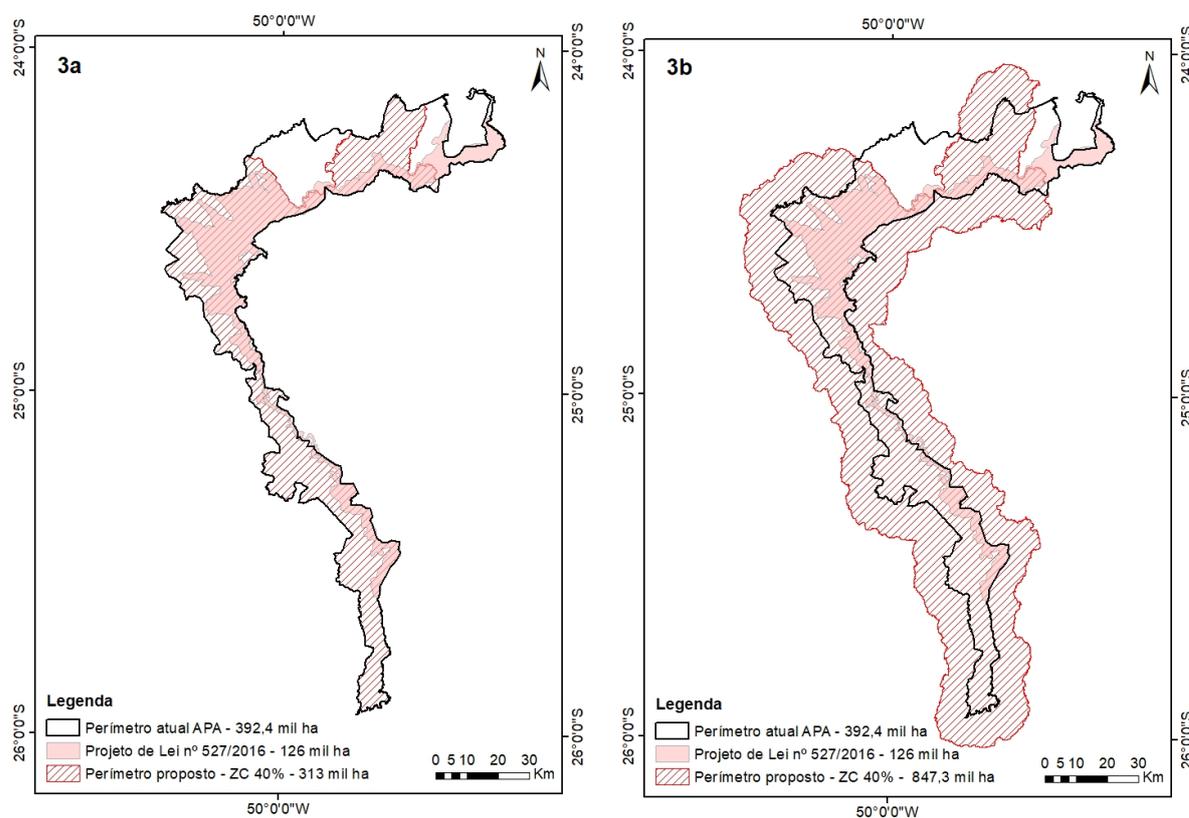


FIGURA 11 - PROPOSTA DE NOVO PERÍMETRO PARA A APA ADOTANDO O CRITÉRIO DE SUB-BACIAS COM PORCENTUAIS MENORES OU IGUAIS A 40% (CENÁRIO 3) DE ZC
 FONTE: O Autor (2017)

No cenário 3a, seriam mantidos 313 mil ha da área (80%) da APA. Esta representa uma redução na faixa de 20% da área atual. Para o cenário 3b, o perímetro proposto é de 847,3 mil ha. Neste caso, a sub-bacia 1 foi desconsiderada da área, pois a mesma ficou isolada das demais sub-bacias.

Ao se considerar o critério de 45% (cenário 4) com ZC, 5 das sub-bacias poderiam ser retiradas do perímetro da APA. Sendo estas as sub-bacias 2, 4, 5, a 13 com 43% de ZC e a 15 com 44% de ZC (FIGURA 12).

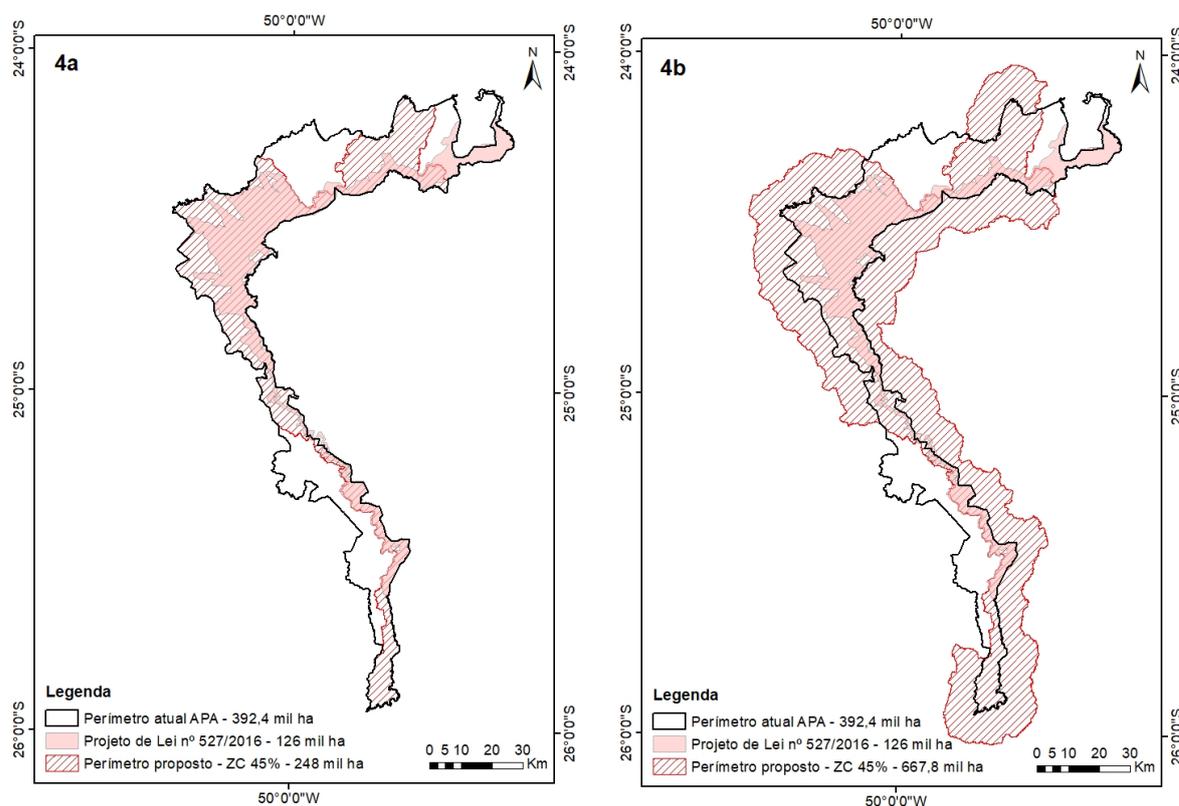


FIGURA 12 - PROPOSTA DE NOVO PERÍMETRO PARA A APA ADOTANDO O CRITÉRIO DE SUB-BACIAS COM PERCENTUAIS MENORES OU IGUAIS A 45% (CENÁRIO 4A E 4B) DE ZC
 FONTE: O Autor (2017)

Se adotado este zoneamento, haveria uma redução na ordem de 37% da área atual da APA para o cenário 4a, onde foram mantidos 248 mil ha da área da APA. Para o cenário 4b, o perímetro proposto é de 667,8 mil ha. Neste caso, a sub-bacia 1 também foi desconsiderada da área, pois a mesma ficou isolada das demais sub-bacias.

Nestas sub-bacias, também foram identificadas áreas com considerável quantidade de atividades antrópicas, indicando áreas com alta a muito alta fragilidade ambiental.

6 CONCLUSÕES

- A partir da metodologia de delimitação automática das sub-bacias, foram geradas 18 sub-bacias que percorrem tanto a região inserida no perímetro atual da APA quanto nas áreas de entorno da mesma.
- Regiões de média a baixa declividade, tipos de solos mais frágeis e áreas antropizadas, estão relacionados a áreas onde foram verificadas as maiores fragilidades, e conseqüentemente, foram as áreas em que as sub-bacias foram retiradas da APA.
- O zoneamento ambiental foi essencial para dar suporte as discussões de redelimitação da área.
- A combinação destes elementos permitiu a elaboração de oito cenários orientativos para a discussão da proposta de redemilitação por perímetro da APA.

7 RECOMENDAÇÕES

- O uso das técnicas de geoprocessamento para a elaboração do mapa de fragilidade ambiental foi imprescindível para o desenvolvimento das análises apresentadas, no entanto, é preciso ter cautela com a utilização do sensoriamento remoto e geoprocessamento em pesquisas de análise ambiental e outras que utilizam esses meios. Por melhores que sejam os benefícios e ganhos com tempo, automação, custos, a utilização das geotecnologias deve ser apoiada por verificações em campo e análises laboratoriais, de solo, por exemplo, unindo os conhecimentos prático e teórico que se têm dos objetos a serem estudados;
- É importante que diferentes setores estejam representados de forma articulada e representativa na elaboração do estudo;
- Para o estudo em si é imprescindível considerar aspectos da legislação na área para a elaboração de um zoneamento ambiental, não só no que diz respeito ao Código Florestal, mas às leis oriundas das diversas esferas governamentais;
- Para o estudo foi utilizado o *shapefile* de classificação de tipos de solos do IBGE na escala 1:250.000. Por se tratar de um produto de mapeamento em larga escala, isso pode representar uma debilidade no trabalho. Caso exista uma informação melhor para esse tema, deve-se então usá-la.

REFERÊNCIAS

ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. **Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 46-57, 2010.

BACANI, V. M.; LUCHIARI, A. Geoprocessamento aplicado ao zoneamento ambiental da bacia do alto rio Coxim-MS. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 184-197. 2014.

BAND, L.E. **Topographic partition of watershed with digital elevation models**. Water Resource Research, Washington, v.22, n.1, p.15-24, 1986.

BARRELLA, W.; PETRERE JR., M.; SMITH, W. S. & MONTAG, L. F. DE. A. 2000. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. *In*: RODRIGUES, R. R. & LEITÃO FILHO, H. DE. F. eds. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo, EDUSP FAPESP. 320p.

BECKER, B. K., EGLER, C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos estados da Amazônia Legal**. Secretaria de assuntos Estratégicos/Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 1996.

BOJÓRQUEZ-TAPIA LA, CRUZ-BELLO GM, LUNA-GONZÁLEZ L. **Connotative land degradation mapping: a knowledge-based approach to land degradation assessment**. Environmental Modelling & Software 2013; 40: 51-64. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.07.009>>. Acesso em: 11 set. 2017.

BRANCALION, P.H.S.; LIMA, L.R.; RODRIGUES, R.R. 2013. **Restauração ecológica como estratégia de resgate e conservação da biodiversidade em paisagens antrópicas tropicais**. In: Peres, C.A.; Barlow, J.; Gardner, T.A.; Vieira, I.C.G. (Orgs.). **Conservação da Biodiversidade em paisagens antropizadas do Brasil**. Curitiba: Editora da UFPR, p.565-587.

BRASIL. Zoneamento Agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrosocioeconômico. EMBRAPA/CPATSA, Petrolina, 1991

BRASIL. Lei 9985, de 18 de julho de 2000. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=322>>. Acesso em: 19 set. 2017.

BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resouces assessment**. Oxford, Clarendon Press, 1986. 193 p.

CÂMARA, GILBERTO; MONTEIRO, ANTÔNIO MIGUEL; MEDEIRO, JOSÉ SIMEÃO. **Introdução a ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004. Disponível em:

<<http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2017.

CAMARGO, F. F.; ALMEIDA, C. M.; FLORENZANO, T. G.; OLIVEIRA, C. G. **Acurácia Posicional de MDE ASTER/Terra em Área Montanhosa**. Revista Geomática, v. 4, n. 1, p. 12–24, 2009a.

CAMARGO, F. F.; FLORENZANO, T. G.; ALMEIDA, C. M.; OLIVEIRA, C. G.; FEITOSA, R. Q. **Análise Orientada a Objeto e Dados ASTER/Terra na Classificação do Relevo**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, v. 15, n. 1, p. 81-102, 2009b.

CECÍLIO, R. A; COUTINHO, L. M; XAVIER, A. C; MOREIRA, M. C; ZANETTI, S. S; OLIVEIRA GARCIA, G. O de. **Delimitação de bacia hidrográfica em região montanhosa a partir de diferentes modelos digitais de elevação**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2007-2024, set./out. 2013.

CHOI, J. Y.; ENGEL, B. A. **Real-time watershed delineation system using web-GIS**. Journal of Computing in Civil Engineering, v. 17, n. 3, p. 189-196, 2003.

COSTA, C. A. G; COSTA, A. C; TEIXEIRA, A. S. DOS, ALVES, N. N. L DE; ANDRADE, E. M. DE, SOUSA, B. F. S; LEÃO, A. O DE. **Comparação do uso do SRTM para delimitação e caracterização fisiográfica de uma micro-bacia hidrográfica**. Anais XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4833-4840.

COSTA, N. M. C. da; COSTA, V. C. da ; SANTOS, J. P. C. Dos. **Definição e Caracterização de Áreas de Fragilidade Ambiental, com Base em Análise Multicritério, em Área de entorno de Unidades de Conservação**. In: 12º Encuentro de Geógrafos de América Latina - EGAL 2009, 2009, Montevideo - Uruguai. 12 Encuentro de Geógrafos de América Latina - Caminando en una América Latina en transformación, 2009.

CREPANI, E., MEDEIROS, J. S., FILHO, P. H., FLORENZANO, T. G., DUARTE, V., BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento territorial**. SAE/INPE, São José dos Campos, 2001.

FAIRFIELD, J.; LEYMARIE, P. **Drainage networks from grid digital elevation models**. Water Resources Research, Washington, v.27, n.5, p.709-717, 1991.

FALORNI, G.; TELES, V.; VIVONI, E.R.; BRAS, R.L.; AMARATUNGA, K.S. **Analysis and characterization of the vertical accuracy of digital elevation models from the Shuttle Radar Topography Mission**. Journal of Geophysical Research, Washington, v.110, n. F2, p.1-20, 2005.

FLORENZANO, TEREZA GALLOTTI. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FRANCO, R. A. M; HERNANDEZ, F. B. T, LIMA. R. C.; **Análise da fragilidade ambiental na microbacia do córrego do Coqueiro, no noroeste paulista**. In: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1356.pdf>>. Acesso em 13/11/2017.

GARCIA, YARA MANFRIN. **O código florestal brasileiro e suas alterações no Congresso nacional**. Revista Geografia em Atos. Departamento de Geografia da FCT/UNESP, Presidente Prudente, n.12, v.1, janeiro a junho de 2012. p.54-74.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Documento eletrônico, 2015. Disponível em <ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/>. Acesso em: 28 ago. 2017.

JENSON, S.K.; DOMINGUE, J.O. **Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Bethesda, v.54, n.11, p.1.593-1.600, 1988.

JONES, N. L.; WRIGHT, S. G.; MAIDMENT, D. R. **Watershed delineation with triangle-based terrain models**. Journal of Hydraulic Engineering, v. 116, n. 10, p. 1232-1252, 1990.

JORDAN, G.; SCHOTT, B. **Application of wavelet analysis to the study of spatial pattern of morphotectonic lineaments in digital terrain models**. Remote Sensing of Environment, New York, v.94, n.1. p.31-38, 2005.

KAWAKUBO, F. S., MORATO, R. G., CAMPOS, K. C., LUCHIARI, A., ROSS, J. L. S. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento**. Anais...XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 2005.

LIMA, G. A. DE, GENEROSO, C. M, SANTOS, C. M. DOS, SILVA, L. A, SOUSA, R. G. DE. **BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GESTÃO: ESTUDO DE CASO RIBEIRÃO ISIDORO**. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campina Grande/PB – 21 a 24/11/2016.

MARK, D.M. **Automatic detection of drainage networks from digital elevation models**. Cartographica, Toronto, v.21, n.3, p.168-178, 1984.

MARTÍN-DUQUE JF, GARCÍA JC, URQUÍ LC. **Geoheritage information for geoconservation and geotourism through the categorization of landforms in a Karstic Landscape: a case study from Covalagua and Las Tuerces (Palencia, Spain)**. Geoheritage 2012; 4(1-2): 93-108. <http://dx.doi.org/10.1007/s12371-012-0056-2>.

MERKEL, W.H.; KAUSHIKA, R.M.; GORMAN, E. NRCS GeoHydro-A GIS interface for hydrologic modeling. *Computers & Geosciences*, Oxford, v.34, n.8, p.918-930, 2008.

MESSIAS, C. G.; FERREIRA, M. F. M.; RIBEIRO, M. B. P.; MENEZES, M. D. **Análise empírica de fragilidade ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento: o caso da área de influência da hidrelétrica do Funil – MG.** *Revista Geonorte*, Manaus, v. 2, p. 112-125, 2012.

MONTAÑO, M.; OLIVEIRA, I. D.; RANIERI, V. E. L.; SOUZA, M. P. A necessidade de incorporação do Zoneamento Ambiental como instrumento de planejamento e gestão territorial urbana. In: *International Congress on Environmental Planning and Management*, 2005, Brasília. **Proceedings...** Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2005. p. 1 – 22.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **SNUC: Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbs_dap/_arquivos/snuc_lei_decreto.pdf. 2000.>. Acesso em: 1 set. 2017.

MONTEIRO, C. **Geossistemas: a história de uma procura.** São Paulo : Contexto, 2001.

NASCIMENTO, M. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, E. **Uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em Áreas de Preservação Permanente na Bacia Hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo.** *Ciência Florestal*, v. 15, n. 2, p. 207-220. 2005.

O'CALLAGHAN, J.F.; MARK, D.M. **The extraction of drainage networks from digital elevation data.** *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, San Diego, v.28, n.3, p.323-344, 1984.

OLIVEIRA, P. T. S.; ALVES SOBRINHO, T.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. **Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 819-825, 2010.

PARANÁ – **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental da Escarpa Devoniana.** 2004. Disponível em: http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Plano_de_Manejo/APA_Escarpa_Devoniana/1_APA_PM.pdf Acesso em: 31/08/17.

PINHEIRO, E. S. **Comparação entre dados altimétricos shuttle radar topography mission, cartas topográficas e GPS: numa área com relevo escarpado.** *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 58, n. 1, p. 1-9, 2006.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação.** 2 ed. atualizada e ampliada. São Paulo: Oficina de textos, 2012. 159 p.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento**. Editora Contexto, São Paulo, 1990.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 8, p. 63-74, 1994.

ROSS J. L. S. **Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities**. Revista do Departamento de Geografia 2012; 38-51.

SILVA, J. R.; MOURA, A. C. M. **Delimitação automática de sub-bacias hidrográficas no município de Ouro PretoMG**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brasil, 13 a 18/04/2013, **Anais...** INPE, v. 1, p. 4496 – 4502. 2013. Disponível em: Acesso em: 27 set. 2017.

SPÖRL, C., ROSS, J. L. S. **Análise Comparativa da Fragilidade Ambiental com aplicação de três modelos**. GEOUSP - Espaço e Tempo 15, 39-49, 2004.

SOBRINHO, T. A., OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B.B.; AYRES, F. M. **Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 46-57, 2010.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. **Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 15-20, 2000.

TARBOTON, D.G.; BRAS, R.L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. **On the extraction of channel networks from digital elevation data**. Hydrological Processes, Chichester, v.5, n.1, p.81-100, 1991.

TOMCZYK AM. **A GIS assessment and modelling of environmental sensitivity of recreational trails: The case of Gorce National Park, Poland**. Applied Geography (Sevenoaks, England) 2011; 31(1): 339-351.

TURCOTTE, R.; FORTIN, J.P.; ROUSSEAU, A.N.; MASSICOTTE, S.; VILLENEUVE, J.P. **Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network**. Journal of Hydrology, Amsterdam, v.240, n.3, p.225-242, 2001.

TRICART J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE; 1977. **Série recursos naturais e meio ambiente**.

VALENTE, O. F.; DIAS, H. C. T. A bacia hidrográfica como unidade básica de produção de água. **Ação Ambiental**, Viçosa, v. 4, n. 20, p. 8-9, 2001.

VALERIANO, M. M.; ABDON, M. M. **Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 59, n. 1, p. 63-71, 2007.

VALLE, IVANA COLA. **Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ.** Artigo de comunicação, 2016.

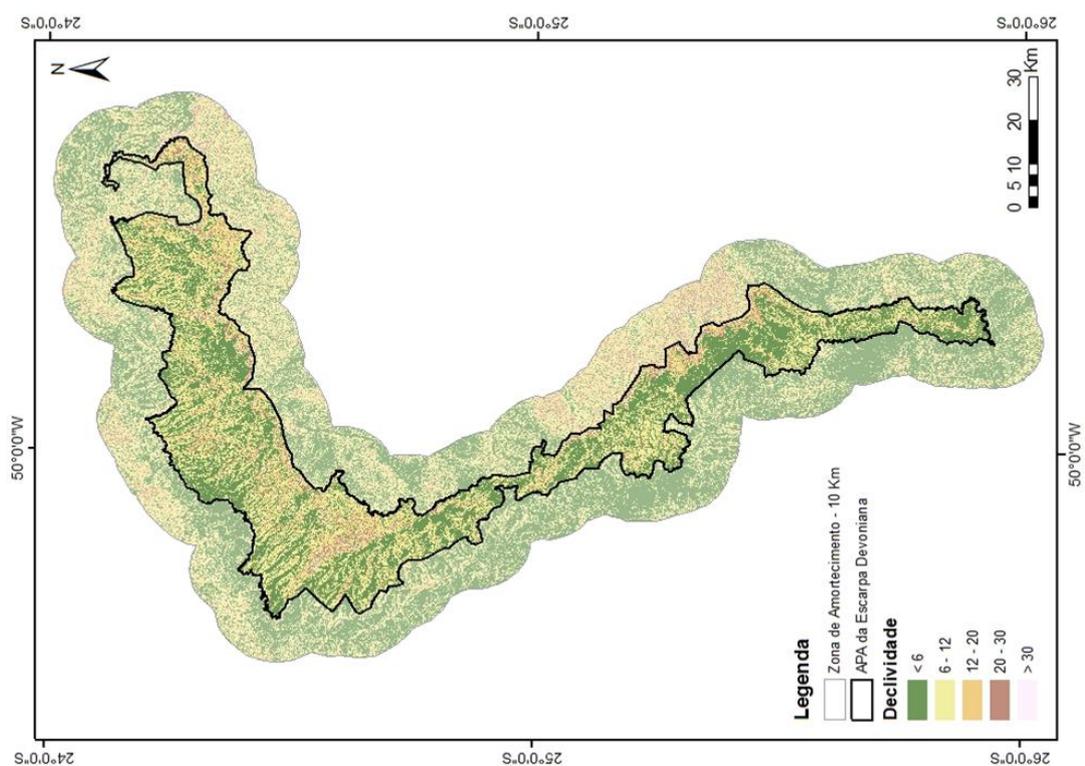
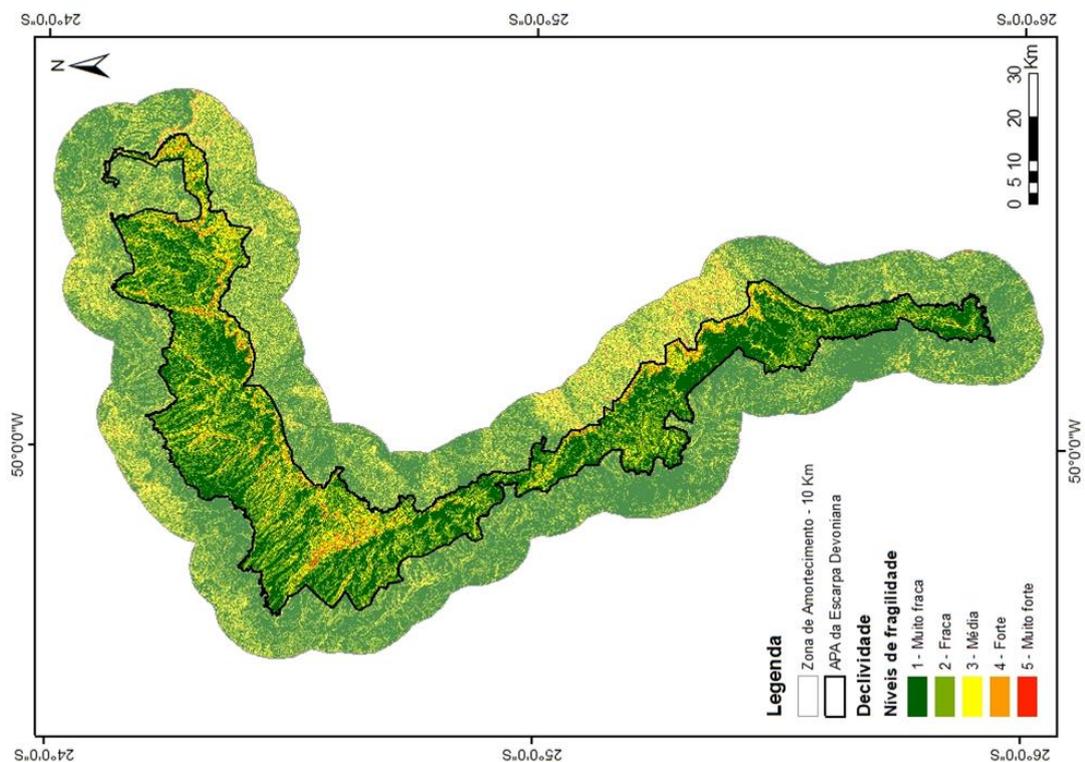
VANACKER, V.; MOLINA, A.; GOVERS, G.; POESEN, J.; DERCON, G. & DECKERS, S. 2005. **River channel response to short-term human-induced change in landscape connectivity in Andean ecosystems.** *Geomorphology*, 72(1-4): 340-353.

VERDIN, K.L.; VERDIN, J.P. **A topological system for delineation and codification of the Earth's river basins.** *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.218, n.1, p.1-12, 1999.

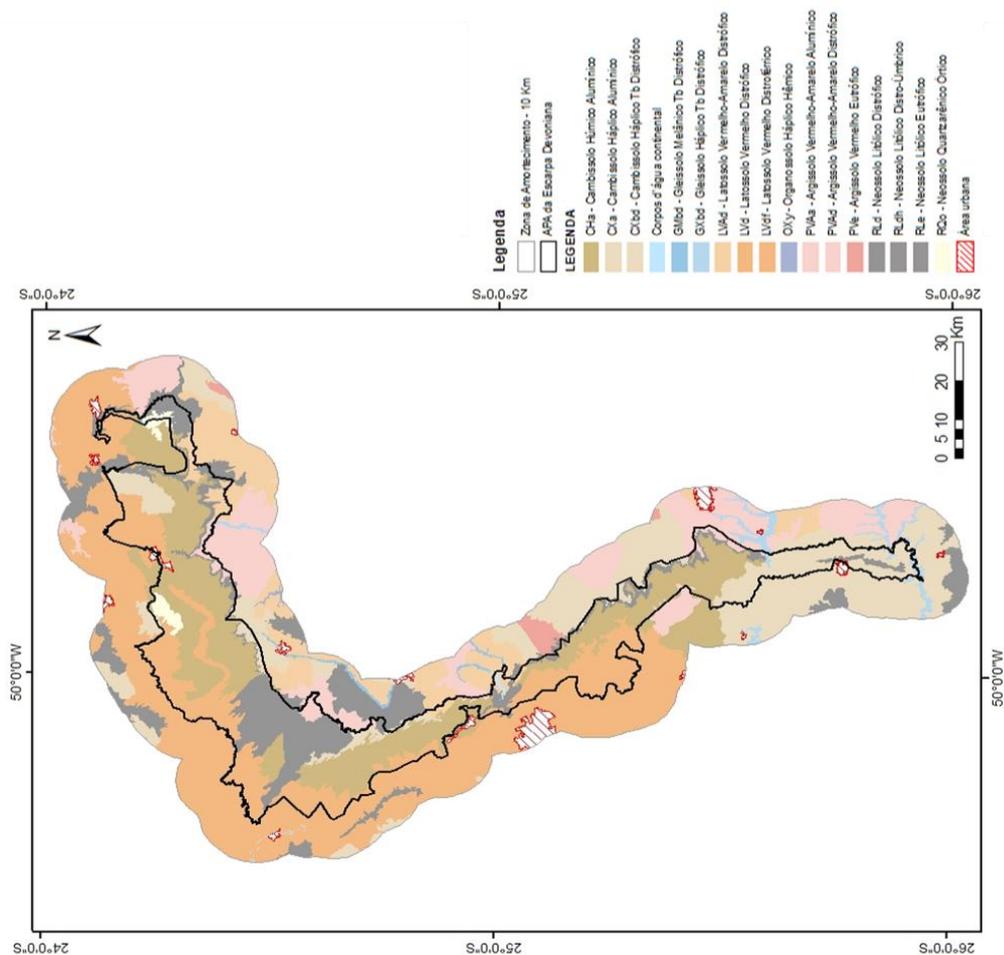
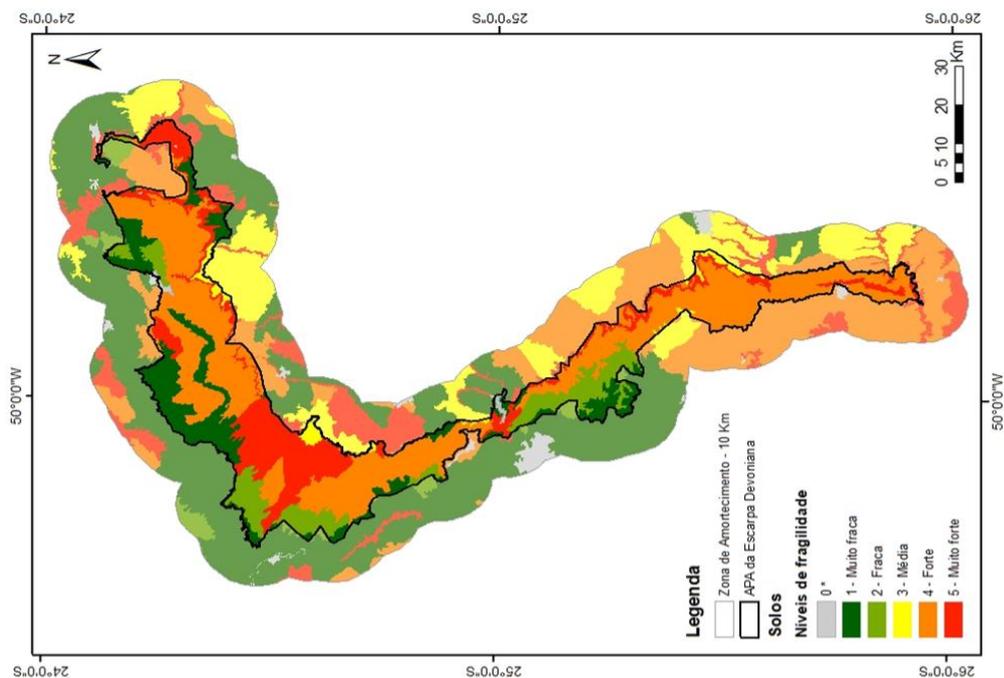
VILAÇA, M. F.; GOMES, I.; MACHADO, M. L. ET AL. **Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento e Gestão: O Estudo de Caso do Ribeirão Conquista no Município de Itaguara – MG.** Minas Gerais, 2008, 19p.

VOGT, J.V.; COLOMBO, R.; BERTOLO, F. **Deriving drainage networks and catchment boundaries: a new methodology combining digital elevation data and environmental characteristics.** *Geomorphology*, Amsterdam, v.53, n.3, p.281-298, 2003.

ANEXO I – MAPA DE CLASSES DE DECLIVIDADE E MAPA DE NÍVEIS DE FRAGILIDADE DAS DECLIVIDADES



ANEXO II – MAPA COM OS TIPOS DE SOLO E MAPA COM OS NÍVEIS DE FRAGILIDADE DE CADA TIPO DE SOLO



ANEXO III – MAPA DE USOS DO SOLO E MAPA DE GRAUS DE PROTEÇÃO DOS USOS DO SOLO

