

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO

**CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS CÁRSTICAS
COM INTERESSE NA CRIAÇÃO DE UNIDADES DE
CONSERVAÇÃO PARA PROTEÇÃO DO
PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO**

André Afonso Ribeiro

Orientadora: Prof. Dr. Noris Diniz

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

BRASÍLIA
2011

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO

**CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS CÁRSTICAS
COM INTERESSE NA CRIAÇÃO DE UNIDADES DE
CONSERVAÇÃO PARA PROTEÇÃO DO
PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO**

André Afonso Ribeiro

Orientadora: Prof^ª. Dra. Noris Diniz

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof ^ª . Dra. Noris Costa Diniz	_____
Examinadores:		_____

BRASÍLIA
2011

Sumário

1. Introdução.....	4
2. Revisão da literatura.....	5
3. Objetivos.....	9
4. Materiais e métodos.....	9
5. Resultados.....	14
6. Discussão.....	32
7. Conclusão.....	35
8. Referências bibliográficas.....	36

1. Introdução

A presente monografia trata do estudo e caracterização da geologia, geomorfologia, espeleologia locais, bem como classificação do uso e cobertura da terra em duas áreas cársticas no bioma Cerrado. O estudo buscou, por meio da utilização dos conceitos e ferramentas de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas - SIG, definir áreas de interesse para criação de unidades de conservação de proteção integral que tenham como objetivo principal a conservação do patrimônio espeleológico.

Os ambientes cársticos, nos quais há ocorrência de cavidades naturais subterrâneas, são ecossistemas complexos e abrigam elementos importantes da geodiversidade e biodiversidade. Espécies endêmicas e raras, ecossistemas extremamente frágeis, formações geológicas únicas, algumas de grande interesse para estudos científicos de diversas áreas do conhecimento, entre elas a paleoclimatologia, existência de fósseis, áreas de notável beleza cênica, bem como extensos aquíferos formando grandes reservatórios de água, são característicos desses ambientes.

Atualmente, são conhecidas no país cerca de 10.000 cavidades naturais subterrâneas, porém estima-se que o Brasil possua cerca de 100.000 cavidades naturais subterrâneas (CECAV, 2011a).

Entretanto, esses ambientes têm sido alvo de impactos ambientais negativos decorrentes de atividades humanas ligadas à agropecuária, obras de infraestrutura, mineração, expansão urbana, entre outras, que sem o devido planejamento e técnicas adequadas podem comprometer a integridade desses ambientes.

Destaca-se ainda que as recentes mudanças na legislação ambiental relacionada ao patrimônio espeleológico, por meio da edição do Decreto 6.640, de 07 de novembro de 2008, flexibilizaram a proteção desse patrimônio. O citado Decreto alterou dispositivos do Decreto 99.556, de 1º de outubro de 1990, possibilitando a permissão de impactos negativos irreversíveis ao patrimônio espeleológico, assim como a supressão de parcela das cavidades naturais subterrâneas, inclusive daquelas classificadas como de alta relevância.

As experiências no Brasil e outros países têm mostrado que um dos instrumentos mais efetivos para proteção dos ambientes naturais e conservação da biodiversidade e geodiversidade é a instituição e gestão de áreas protegidas.

No Brasil, a Lei 9.985, de 18 de julho de 2000, instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC, que hoje agrega 310 unidades federais, 569 estaduais e distritais e 88 municipais (MMA, 2011).

Entende-se por unidade de conservação a definição que consta no artigo 2º, inciso I, da Lei 9.985/2000: *“unidade de conservação: 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”*.

Entre os objetivos do SNUC, definidos no artigo 4º da Lei 9.985/2000, consta o do inciso VII, que faz referência direta à proteção dos patrimônios geológico e espeleológico nacionais:

“Art. 4º O SNUC tem os seguintes objetivos:

[...]

VII - proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural”.

Mesmo assim, percebe-se que boa parte das unidades de conservação são criadas com enfoque apenas nos aspectos relacionados à conservação da biodiversidade, desconsiderando os elementos da geodiversidade e ações para sua efetiva proteção.

Nesse contexto, a escolha do tema da monografia teve como motivações principais o entendimento da importância de se preservar porções representativas das áreas cársticas e do patrimônio espeleológico brasileiro por meio de unidades de conservação de proteção integral, face as ameaças antrópicas a esses ambientes e as mudanças recentes na legislação ambiental. Ademais, a localização das áreas no bioma Cerrado tem como justificativas o fato deste abrigar parcela importante das áreas cársticas e do patrimônio espeleológico nacionais, em virtude de suas características geológicas e por este bioma estar sofrendo grandes alterações em seu uso e cobertura nas últimas décadas, em especial por atividades que resultam em desmatamento de grandes áreas naturais, como a pecuária, agronegócio e a demanda de carvão vegetal para siderurgia. O bioma Cerrado perdeu, entre 2002 e 2008, 85.074 km², equivalente à 14.179 km²/ano, de sua cobertura vegetal original. Até 2008 o bioma já havia perdido 47,8% de sua cobertura natural (MMA, 2010).

Ainda como justificativa da escolha do tema, cita-se a Portaria MMA n.º 358, de 30 de setembro de 2009, que instituiu o Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico (MMA, 2009). Este Programa contempla ações e metas para o governo divididas em seis componentes, sendo que o Componente 2 - "Conservação do Patrimônio Espeleológico", visa a conservação in situ dos ecossistemas, incluindo os serviços ambientais, bem como definição de ações para implementação de instrumentos econômicos para a conservação do patrimônio espeleológico, e tem como uma de suas metas a criação de unidades de conservação federais com objetivo de proteger cavidades naturais subterrâneas de significativa importância ecológica e cênica.

2. Revisão da literatura

A pesquisa bibliográfica efetuada teve como principal objetivo buscar e analisar pesquisas que tenham se utilizado das ferramentas de geoprocessamento: sensoriamento remoto e SIG para estudos diversos sobre caracterização ambiental de áreas cársticas, bem como para definição de áreas para criação de unidades de conservação. Foram selecionados estudos publicados tanto no Brasil quando no exterior.

Szukalski (2002) apresenta uma abordagem geral sobre o uso de SIG no estudo de áreas cársticas. Afirma que essa é uma área relativamente nova mas que vem crescendo rapidamente tanto em empresas de consultoria quanto nos órgãos de governo. Apresenta que SIG já é uma ferramenta útil e efetiva para diversos usos envolvendo áreas cársticas, como: integração de diferentes dados para elaboração de mapas; compreensão e mitigação dos impactos de obras sobre essas áreas; modelagem e gestão de águas subterrâneas; auxílio na compreensão das relações da caverna com o ambiente externo, entre outros. Conclui ainda que o potencial dessa ferramenta para estudo das cavernas e ambientes cársticos ainda poderá evoluir muito.

Nessa mesma linha abordada por Szukalski, Simões e Crósta (2005) discutem os usos de SIG e sensoriamento remoto aplicados ao levantamento espeleológico e estudos de áreas cársticas. Os autores apresentam que a aplicação de sensoriamento remoto e SIG em áreas cársticas propicia uma caracterização

quantitativa e qualitativa destes ambientes, considerando sua diversidade, extensão e complexidade. Afirmam também que a utilização conjunta de sensoriamento remoto e SIG é um instrumento de pesquisa versátil, que pode contribuir para a tomada de decisões e orientações a políticas públicas acerca das possíveis utilizações das áreas cársticas.

O artigo lista os materiais e métodos necessários para realização destes estudos: compilação de bases digitais; gestão e integração de informações; trabalhos de campo; análise de dados e publicação dos resultados, descrevendo cada uma das etapas. Concluem que a utilização conjunta de sensoriamento remoto e SIG para pesquisas em ambientes cársticos, ainda que em estágio inicial, tem alcançado resultados positivos.

A metodologia descrita no artigo é em parte fruto dos resultados alcançados na Dissertação de Mestrado de Simões, intitulada: Caracterização Física de Ambientes Cársticos Através de Sensoriamento Remoto e SIG: O Caso do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu - Januária / Itacarambi, MG (Simões, 2005).

No estudo foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto que incluíram a espectroscopia de reflectância, voltada à análise qualitativa de amostras de carbonatos, e o processamento digital de imagens multiespectrais geradas por sensores orbitais, incluindo a geração e análise de composições coloridas, índice de vegetação, transformações e realces espectrais e classificações espectrais de elementos da superfície, tendo resultado em discriminações litológicas, litofaciológicas e de comunidades vegetais. Foram utilizadas imagens dos sensores ASTER e Landsat 7 ETM+, além do radar SRTM para geração do Modelo Digital de Elevação.

A modelagem espacial de vários atributos geográficos da área de estudo foi realizada por meio de técnicas de SIG com o objetivo de analisar de forma integrada dados de fontes e formatos diversos, calcular parâmetros morfométricos, refinar mapas preexistentes, produzir modelos tridimensionais realísticos, realizar análises espaciais e, por fim, gerar um mapa de potencial espeleológico. Como resultado final, o estudo chegou a caracterização física da área de estudo, com enfoque nos aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrográficos e espeleológicos.

Destaca-se que o estudo desenvolvido nesta monografia do curso de especialização é semelhante ao realizado por Simões, apenas com objetivo final distinto, uma vez que na monografia buscou-se definir áreas para criação de novas unidades de conservação para proteção do patrimônio espeleológico.

Rocha et al. (2009), avaliou o potencial do sensoriamento remoto no mapeamento geológico de semidetalhe, a partir de imagens do satélite Landsat/TM, na região de Água Fria (GO). Foram utilizadas técnicas de transformação no domínio espectral e classificação temática para individualização dos corpos de carbonatos e refinamento dos contatos geológicos da área.

Foram aplicadas técnicas de transformação no domínio espectral e classificação temática para discriminação de corpos carbonáticos e refinamento dos contatos geológicos da área. No domínio espectral, foram realizadas divisões de bandas TM5/ TM7, TM5/TM4 e TM4/ TM3, com objetivo de identificar minerais com composições carbonática e férrica. O NDVI foi usado para separar regiões que apresentam maior e menor volume de biomassa. Também foram geradas composições coloridas (RGB) resultantes da ampliação de contraste (RGB/543, RGB/752 e RGB/754) e da transformação por principais componentes.

Foram indicados três produtos relevantes para a integração das informações que apresentam potencial para rochas carbonáticas: (i) mapa de pontos referentes aos afloramentos de rochas carbonáticas; (ii) áreas que apresentam pouca ou nenhuma vegetação, as quais foram geradas a partir do NDVI; e (iii) seleção de

cerca de 10 classes geradas pelo classificador não supervisionado ISODATA que apresentam correlação com a resposta espectral associada a rochas carbonáticas. A interpretação da integração de dados apresentou o comportamento espectral potencial para rochas carbonáticas em função dos três indicadores selecionados.

Contudo, destaca-se que como uma de suas conclusões, os autores afirmam que as imagens multiespectrais do Landsat/TM não apresentam características ideais (resoluções espectral, radiométrica e espacial) para o mapeamento espectral de semidetalhe de rochas carbonáticas.

Hung, Batellan e Smedt (2004) utilizaram as ferramentas de sensoriamento remoto e SIG para estudar área cárstica em região de clima tropical no Vietnã, analisando as mudanças no uso e cobertura da terra. Foram utilizadas imagens Landsat, integradas com a banda pancromática de alta resolução espacial, em série temporal, contemplando os anos de 1973, 1993, 1999. As imagens foram transformadas para o formato IHS e classificadas por método não supervisionado. O índice NDVI também foi utilizado, juntamente com informações de fotos aéreas.

Como um de seus principais resultados, foi identificado que a cobertura florestal diminuiu de 55,8 para 17,5% no período 1973 – 1999. Conclui que se a taxa de desmatamento do período 1993 – 1999 continuar no mesmo ritmo, em 2005 praticamente toda área florestal teria sido perdida. Os autores também afirmam que uma das ferramentas mais efetivas para estudos em áreas tropicais e cársticas são sensoriamento remoto e SIG.

Almeida et al. (2009) efetuaram a caracterização da morfologia cárstica no Município de Ubaí/MG, visando definir aspectos geoambientais que pudessem auxiliar na gestão e conservação dos recursos naturais na área.

O estudo foi elaborado por meio de projeto em SIG, com utilização dos programas Arc Gis 9.2, GTM-Pro 4.2 e Spring 4.3.3 e integração de dados de cartas topográficas, mapa geológico, imagem do sensor Landsat 5 (ano 2008) e pontos de GPS coletados em campo.

Como uma de suas principais conclusões, sugerem a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) do carste, entendendo que este é um moderno e eficiente instrumento da política ambiental.

Ferrari, Hiruma e Karmann (1998) apresentaram método para obtenção de parâmetros morfométricos de paisagens cársticas por meio de técnicas de geoprocessamento. O estudo efetuou cálculos do índice de rugosidade do terreno cárstico, bem como para cada depressão poligonal fechada, além do índice de circularidade para caracterização das depressões e altitude média, declividade média e máxima, amplitude do relevo, comprimento total da drenagem e densidade de drenagem.

No estudo foi efetuada a digitalização da carta topográfica 1:25.000. A rede de drenagem e os divisores de depressões fechadas foram obtido por fotointerpretação, também na escala 1:25.000. Os limites geológicos foram obtidos de mapa do DNPM (1:25.000). Todos os dados foram digitalizados no programa AutoCAD e o modelo digital de elevação (MDT) elaborado por meio do programa Surfer, com resolução de 25m. O MDT foi posteriormente exportado para o programa Idrisi. O índice de rugosidade foi calculado utilizando-se o Surfer, os demais parâmetros foram calculados com uso do Idrisi.

Como conclusões os autores apresentam que o índice de rugosidade para o conjunto do carste e para as depressões fechadas tem pouca variação. Já o índice de circularidade é maior para as depressões com menor área em relação às depressões mais extensas, podendo estar condicionado pela geologia estrutural da área e/ou pela evolução da erosão nas bacias.

Gomes (2010) desenvolveu proposta de metodologia para a identificação de áreas vulneráveis à conservação do patrimônio espeleológico com a utilização de ferramentas de geoprocessamento, considerando os objetivos do Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico (MMA, 2009).

A área selecionada para o estudo foi a Área de Proteção Ambiental Carste de Lagoa Santa, em Minas Gerais. Foram utilizadas imagens Landsat para geração de mapa de uso e ocupação do solo, imagens Aster para geração do mapa de declividade, bem como diversos mapas disponibilizados pela CPRM (geologia, geomorfologia, solos, vulnerabilidade de aquíferos, áreas de interesse mineral), bem como arquivos *shapefile* disponibilizados pelo CECAV/ICMBio: mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas baseada na litologia e mapa de localização das cavernas conhecidas.

Com a utilização dos programas Spring, ArcGIS, AutoCAD Map 3D foram realizadas análises multicritérios e elaboração do mapa de vulnerabilidade do patrimônio espeleológico.

Como um de seus principais resultados, o estudo identificou que grande parte da unidade de conservação apresenta graus elevados de vulnerabilidade do patrimônio espeleológico e a maior parte das cavernas encontram-se em locais com grau de vulnerabilidade muito alta ou alta, o que poderá auxiliar a gestão da APA na definição de medidas a serem adotadas para a prevenção ou mitigação de impactos sofridos pelas cavidades naturais nas áreas cársticas.

Cardoso e Faria (2010) efetuaram análise ambiental, por meio de geoprocessamento, para indicação de áreas favoráveis à criação de unidade de conservação.

No estudo obteve-se uma área amostral de ocorrência do minhocoçu *Rinodrilus alatus*, correspondente a uma cena do sensor CCD do satélite orbital CBERS 2, de agosto de 2007. Essa imagem foi recortada e tratada em ambiente SPRING, com a utilização das bandas 2, 3 e 4. A partir da análise da assinatura espectral, na cena do CBERS 2 foram identificados alguns fatores relevantes para a ocorrência da espécie *Rinodrilus alatus* (minhocoçu) como áreas bem distribuídas de vegetação mais densa e arbórea, extensões de vegetação rasteira típica de cerrado, e predominância de solo argiloso.

Concluem que o uso do sensor CCD do satélite orbital CBERS 2 utilizado permitiu uma análise das características ambientais gerais da área amostrada, de ocorrência de *Rinodrilus alatus* em uma escala menor, considerando a resolução espacial desse sensor de 20m. Afirma ainda que embora o estudo tenha abrangido uma pequena área, a expectativa é que os dados registrados no trabalho sirvam de base para a ampliação de estudos para a indicação de áreas propícias para a criação de unidades de conservação com interesse na espécie *R. alatus*, no Estado de Minas Gerais.

Stranz (2008) efetuou estudo utilizando geoprocessamento como subsídio para a criação e gestão da unidade de conservação dos Contrafortes do Ferrabraz, Bacia do Rio dos Sinos/RS.

Foi realizada a classificação do uso e cobertura da terra por meio de imagens SPOT de 02/08/02 e 29/03/03. A imagem foi classificada através do método de Máxima Verossimilhança ICM (MaxVer-ICM) no aplicativo SPRING 4.3.2.

O estudo construiu o modelo numérico de terreno, bem como os mapas de altimetria, declividade e classes de relevo.

A classificação do uso e cobertura demonstrou que na região estudada ainda existe 41,2% de vegetação nativa (Floresta Pluvial Atlântica) e na área de interesse para criação da unidade de conservação esse número corresponde a 69,3%.

O estudo faz diversas análises relacionando as informações da classificação do uso e cobertura da terra com os demais mapas gerados, bem como efetua caracterização do ambiente físico da área, agregando informações da geologia e hidrografia.

Como conclusão apresenta que os resultados demonstram o potencial paisagístico, geológico, geomorfológico e fitofisionômico da região onde se insere a área dos contrafortes do Morro Ferrabraz, bem como subsidiam e incentivam a proposição de uma Unidade de Conservação para a região.

Na região da Serra do Ramalho, Mattox et al identificaram duas espécies de peixes de ocorrências restrita em cavernas (troglóbias) além outras três espécies em cavernas e outras 44 em corpos d'água superficiais, o que representa mais de um quarto do total de espécies de peixes registrado na literatura em toda a bacia do Rio São Francisco.

Da análise dos estudos entende-se que o uso das ferramentas de sensoriamento remoto e SIG para o estudo de áreas cársticas, apesar de relativamente recente, tem se mostrado efetivo e com potencial para grande evolução, no que diz respeito à caracterização do ambiente cárstico e compreensão de suas dinâmicas naturais, bem como para auxiliar os órgãos de governo na tomada de decisão para formulação e execução de políticas públicas que tenham impacto sobre o patrimônio espeleológico.

Da mesma forma, SIG e sensoriamento remoto têm sido uma das importantes ferramentas nos trabalhos que visam caracterizar e definir áreas para criação de unidades de conservação. Em nível federal, na maioria dos processos de criação estas ferramentas são utilizadas para subsidiar tecnicamente as propostas.

Sendo assim, conclui-se que os objetivos do presente trabalho enquadram-se em área do conhecimento que tem apresentado estudos e resultados satisfatórios e com boas perspectivas de avanço.

3. Objetivos

Por meio de utilização dos conceitos e ferramentas de sensoriamento remoto e SIG, efetuar a caracterização do ambiente físico (geologia, geomorfologia, hidrografia e espeleologia) e classificação do uso e cobertura da terra em duas áreas cársticas localizadas no bioma Cerrado, e definir área de interesse para criação de unidades de conservação de proteção integral que tenham como objetivo principal a proteção do patrimônio espeleológico.

4. Materiais e métodos

4.1. Base de dados

Os dados utilizados no estudo são de fontes e escalas diversas, compreendendo arquivos vetoriais (de pontos, linhas e polígonos) e matriciais. Os arquivos utilizados são disponibilizados por instituições públicas brasileiras.

Todos os arquivos foram convertidos para sistema de coordenadas geográficas e datum WGS 1984.

4.1.1. Arquivos em formato vetorial:

- pontos de registro de cavidades naturais subterrâneas (CECAV/ICMBio);

- mapa de potencialidade de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas (CECAV/ICMBio);
- mapa das regiões cársticas do Brasil (CECAV/ICMBio);
- mapa geológico (CPRM);
- mapa de geodiversidade (CPRM);
- domínios hidrogeológicos do Brasil (CPRM);
- hidrografia (ANA);
- limites políticos (IBGE).

4.1.2. Arquivos em formato matricial:

- imagens Landsat 5 - TM (disponibilizadas pelo INPE);
- modelos digitais de terreno (elaborados pelo INPE, com base em dados do SRTM);
- cartas topográficas 1:100.000 (IBGE).

4.1.3. Programas utilizados

Para as atividades de sensoriamento remoto, como análise das imagens do sensor Landsat 5 - TM, elaboração de composições coloridas e classificação do uso e cobertura da terra foi utilizado o programa ENVI, versão 4.7.

Para os trabalhos em SIG utilizou-se o programa ArcGIS, versão 9.3.

4.2. Definição das áreas de trabalho

A definição inicial das áreas de trabalho foi efetuada considerando-se a abrangência do bioma Cerrado, os pontos de registro de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas, o mapa de potencialidade de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas e o mapa das regiões cársticas do Brasil, por meio da análise dos arquivos em formato vetorial no programa ArcGIS.

Como o objetivo final do trabalho é definir área para criação de unidade de conservação que venha a proteger o patrimônio espeleológico, buscou-se delimitar as áreas de trabalho dentro da região cárstica do Grupo Bambuí (CPRM, 2004), em áreas definidas como de muito alta ou alta potencialidade de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas (CECAV, 2011b), incluindo-se, sempre que possível, as cavidades naturais subterrâneas registradas (CECAV, 2011c), desconsiderando-se as áreas onde já existem unidades de conservação de proteção integral.

Como resultado desta etapa foram selecionadas duas áreas para estudos: uma no sudoeste da Bahia e outra no nordeste de Goiás. Foram gerados dois arquivos *shape* (polígono) com os limites das áreas de trabalho.

4.3. Classificação do uso e cobertura da terra e cálculo da exatidão da classificação

Nas duas áreas de trabalho definidas, foi efetuada a classificação do uso e cobertura da terra por meio do uso de imagens do sensor Landsat 5 - TM.

As imagens para a área do sudoeste da Bahia são de 11/12/2009 e correspondem às órbitas ponto 219/69 e 219/70, enquanto que as do nordeste de Goiás são de 19/01/2010 e correspondem à órbita ponto 220/70.

Houve preferência pela escolha de imagens obtidas na época da estação mais de chuvosa para uma melhor diferenciação das áreas de floresta e campos naturais das demais áreas.

Primeiramente, os arquivos das bandas da imagem Landsat (*.tif) foram agrupados em um arquivo único, formato ENVI.

Após, foi efetuada a correção geométrica das imagens utilizando-se como base imagem fornecida pelo Global Land Cover Facility (UMD, 2011). Para o georreferenciamento de cada imagem foram selecionados 12 pontos de controle. O RMS obtido para a correção das imagens variou de 0,90 a 1,01.

Figura 4.1 – Metodologia: Definição das áreas de estudos

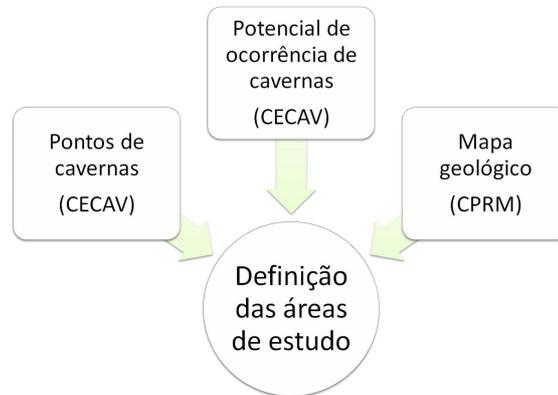


Figura 4.2 – Metodologia: Classificação do uso e cobertura da terra

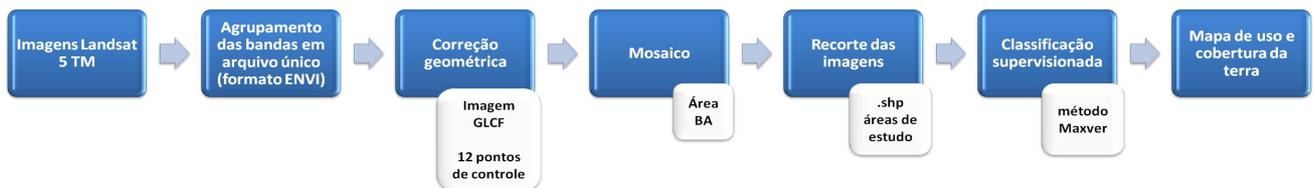


Figura 4.3 – Metodologia: Caracterização do meio físico nas áreas de estudos

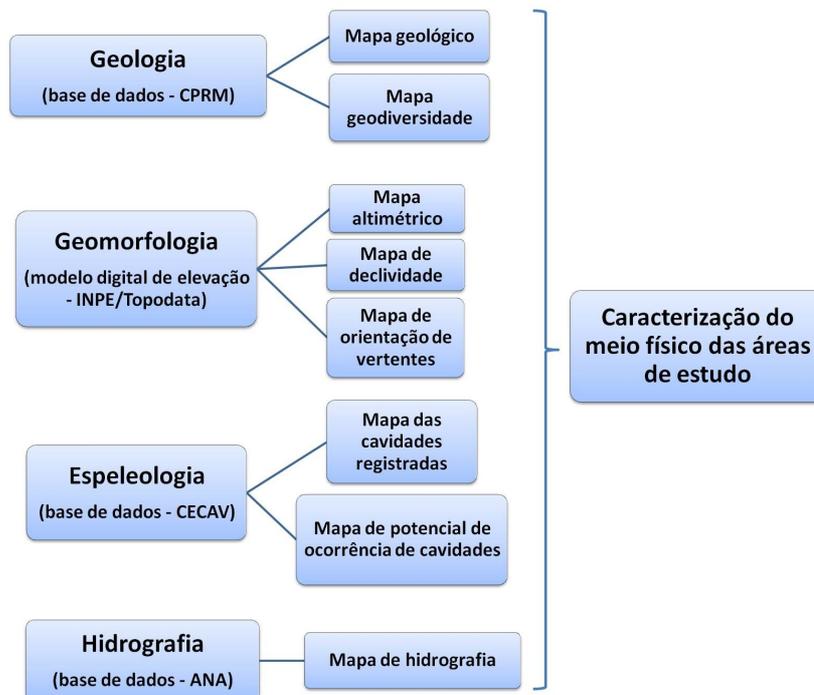


Figura 4.4 – Metodologia: Definição das áreas de interesse para criação de unidade de conservação



Após o georreferenciamento, houve necessidade de criar mosaico com as imagens para área de estudo na Bahia, já que esta abrange duas cenas do Landsat. Para a área de estudo em Goiás não houve necessidade de mosaicar imagens, pois esta encontra-se totalmente inserida em apenas uma cena Landsat.

Com os arquivos com as bandas da imagem Landsat agrupadas e georreferenciadas, foi efetuado o recorte das imagens utilizando-se os arquivos *shape* com os limites das áreas de trabalho, definidas conforme explicado no item 4.2.

Nas áreas de trabalho a classificação foi efetuada de forma supervisionada, pixel a pixel, com escolha do método da máxima verossimilhança (Maxver). Classificações não supervisionadas foram também efetuadas pelos métodos ISODATA e K-Means, mas sem obtenção de resultados satisfatórios.

Os mapas de uso e cobertura foram elaborados com base nas orientações do Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2006).

O grau de exatidão das classificações realizadas foi aferido por meio da identificação de novas regiões de interesse (*.roi) com as mesmas classes definidas durante a classificação, construção da matriz de confusão e cálculo dos índices global, kappa e tau.

4.4. Caracterização da geologia, geomorfologia, hidrografia e espeleologia

Com as informações e análise dos mapas geológicos e de geodiversidade, do modelo digital de elevação e de pesquisa bibliográfica, efetuou-se a elaboração de diversos mapas e uma caracterização do ambiente físico da área relacionadas aos aspectos da geologia, geomorfologia, hidrografia e espeleologia locais e análise de suas inter-relações.

O modelo digital de elevação utilizado foi o elaborado pelo INPE - Topodata, com base em dados do SRTM (INPE, 2011).

A paleta de cores utilizada nos mapas de altimetria e orientação de vertentes foi a sugerida no guia de utilização dos dados Topodata publicado pelo INPE (Valeriano, 2008). Na legenda do mapa geológico buscou-se seguir as mesmas cores utilizadas no mapa da CPRM.

4.5. Definição da área de interesse para criação de UC, utilizando álgebra de mapas

Para cada uma das áreas de estudo foram selecionados os aspectos entendidos como mais relevantes para se definir as áreas de interesse para criação de unidade de conservação.

Na área da Bahia foram escolhidos três planos de informação:

1. “geodiversidade_BA”: áreas descritas no mapa de geodiversidade como “predomínio de metacalcários, com intercalações subordinadas de metassedimentos siltico-argilosos e arenosos (DSP2mcsaa)”;
2. “potencial_BA”: áreas descritas como de potencial muito alto de ocorrência de cavidades;
3. “floresta_BA”: áreas nas quais a classificação do uso e cobertura da terra indicou a presença de vegetação natural – florestal.

Na área de Goiás selecionou-se:

1. “geodiversidade_GO”: áreas descritas no mapa de geodiversidade como “rochas calcárias com intercalações subordinadas de sedimentos siltico-argilosos e arenosos (DSP1csaa)”;
2. “potencial_GO”: áreas descritas como de potencial muito alto de ocorrência de cavidades;
3. “floresta_GO”: áreas nas quais a classificação do uso e cobertura da terra indicou a presença de vegetação natural – florestal;
4. “campos_GO”: áreas nas quais a classificação do uso e cobertura da terra indicou a presença de vegetação natural – campestre;
5. “cav500m_GO”: correspondente à faixa de 500m no entorno das cavidades registradas na área.

Os arquivos em formato vetorial foram convertidos em formato matricial, utilizando-se a ferramenta “polygon to raster” do ArcGIS.

Com todos os arquivos em formato matricial, e por meio da utilização da ferramenta “raster calculator” foram elaborados novos arquivos somente com o atributo de interesse com valor igual a 1 e o restante com valores iguais a 0.

Como exemplo disso apresenta-se a equação de conversão do mapa de classificação de uso e cobertura da terra na área da Bahia:

Con(“classif_BA” == 2, 1, 0), onde “2” corresponde às áreas classificadas como de vegetação natural – florestal.

Com todos os mapas contendo apenas valores para 0 e 1, foi efetuada a soma dos mesmos.

Para a área da Bahia a equação utilizada foi:

“geodiversidade_BA” + “potencial_BA” + “floresta_BA”

Para a área de Goiás utilizou-se:

“geodiversidade_GO” + “potencial_GO” + (2 * “floresta_BA”) + “campos_GO”
+ (2 * “cav500m_GO”)

Como resultado, foi gerado um mapa em formato raster com as áreas de maior interesse para criação de unidades de conservação com objetivo de proteção do patrimônio espeleológico em cada uma das áreas de estudo.

5. Resultados

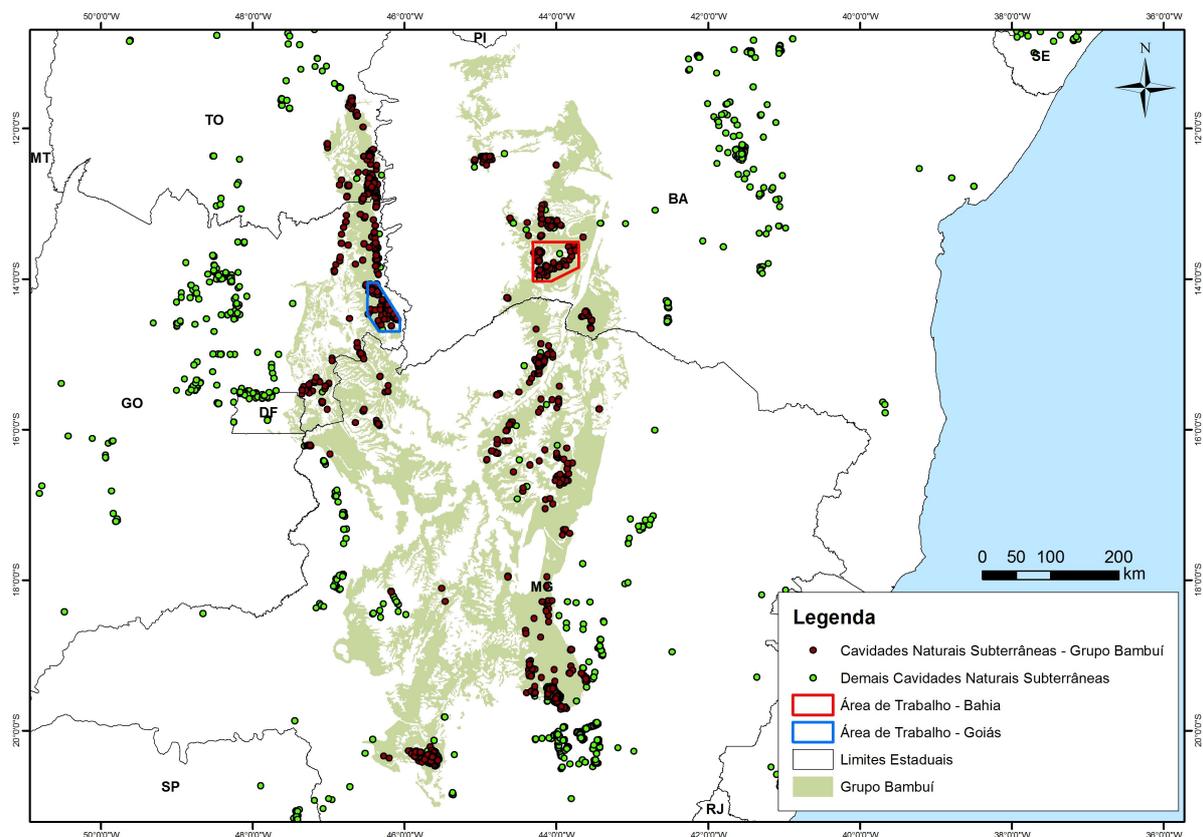
5.1. Definição das áreas de trabalho

O mapa abaixo apresenta a distribuição das cavidades naturais subterrâneas no Grupo Bambuí e fora de sua abrangência, com destaque para as áreas de trabalho selecionadas.

Relatos de expedições de grupos de espeleologia também demonstram a riqueza do patrimônio espeleológico nessas áreas e grande potencial para novas descobertas.

Portanto, com base nas informações da literatura e análise das informações utilizadas, entende-se que as duas áreas selecionadas abrigam locais com real relevância para conservação de seu patrimônio espeleológico, justificando assim suas escolhas.

Mapa 5.1 – Grupo Bambuí e as áreas de trabalho



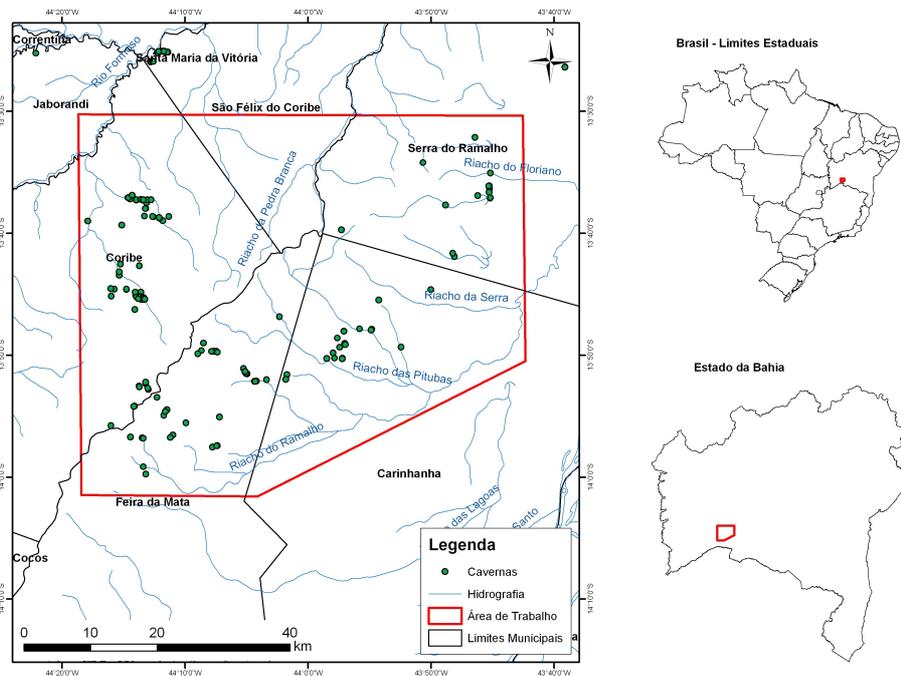
5.1.1. Área no Estado da Bahia

A área de estudo situa-se no sudoeste do Estado da Bahia e dista aproximadamente 600 km em linha reta da capital Salvador e 450 km de Brasília. Abrange porções dos Municípios de Serra do Ramalho, Carinhanha, Feira da Mata, Coribe, Jaborandi e São Félix do Coribe.

A área compreende a região identificada como Serra do Ramalho, na carta topográfica 1: 100.000 elaborada pelo IBGE, bem como seus arredores.

O acesso à área pode ser feito pelas rodovias BR-349 e BA-160.

Mapa 5.2 – Localização da área de estudo no Estado da Bahia

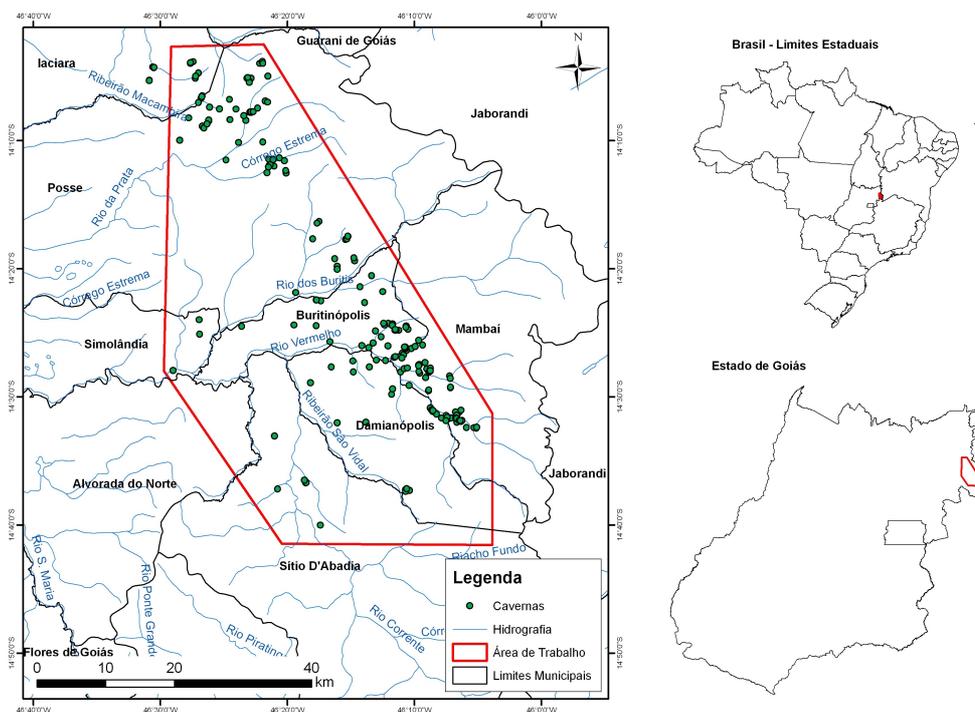


5.1.2. Área no Estado de Goiás

A área situa-se na porção nordeste do Estado de Goiás e dista aproximadamente 400 km em linha reta da capital Goiânia e 230 km de Brasília, compreendendo porções dos Municípios de Mambaí, Damianópolis, Sítio d'Abadia, Alvorada do Norte, Simolândia, Buritinópolis, Posse e Iaciara.

O principal acesso à área é a rodovia BR-020. As rodovias estaduais GO-110, GO-236 e GO-108 também cruzam a área.

Mapa 5.3 – Localização da área de estudo no Estado de Goiás

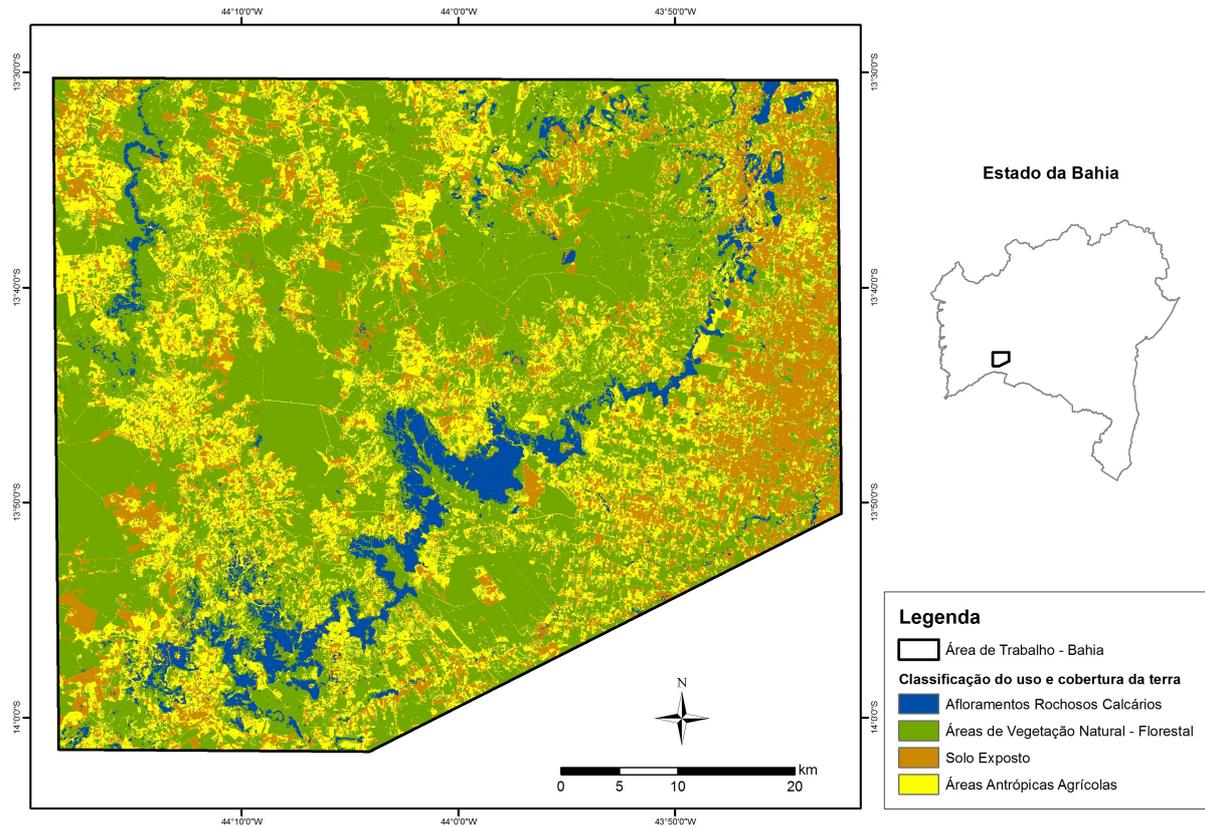


5.2. Classificação do uso e cobertura da terra e cálculo da exatidão da classificação

5.2.1. Área no Estado da Bahia

Com a utilização das imagens Landsat, a classificação efetuada apresentou como resultado a distinção de quatro classes: afloramentos rochosos, área de vegetação natural – florestal, áreas antrópicas agrícolas e solo exposto.

Mapa 5.4 – Classificação do uso e cobertura da terra na área de estudo no Estado da Bahia



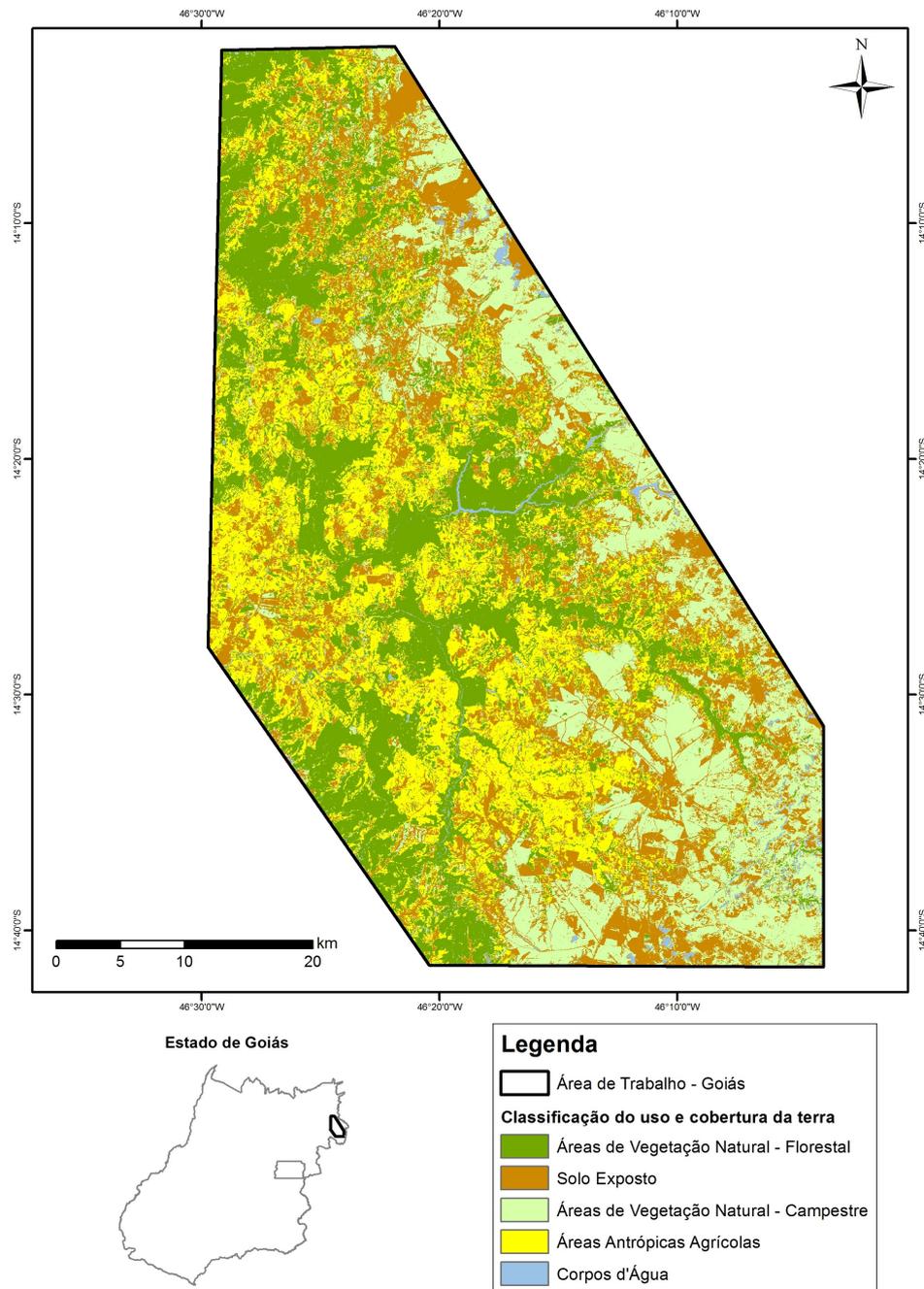
O cálculo do grau de exatidão da classificação apresentou os seguintes resultados: índice global - 98,54%; índice Kappa - 98,51% e índice Tau - 98,25%, conforme matriz de confusão abaixo:

Classe	afloramentos rochosos calcários	vegetação natural – florestal	solo exposto	áreas antrópicas agrícolas	Total
afloramentos rochosos calcários	2867	0	0	0	2867
vegetação natural – florestal	0	8252	0	3	8255
solo exposto	0	0	1089	0	1089
áreas antrópicas agrícolas	0	186	0	551	737
Total	2867	8438	1089	554	12948

5.2.2. Área no Estado de Goiás

Na classificação do uso e cobertura da terra, efetuada com base nas imagens Landsat, identificou-se cinco classes distintas: áreas de vegetação natural – florestal e campestre, áreas antrópicas agrícolas, solo exposto e corpos d'água. Na imagem é possível distinguir também áreas urbanizadas, porém nas tentativas de separação dessas áreas em outra classe não houve êxito, uma vez que o classificador incorretamente inseria na classe de áreas urbanizadas uma série de pixels que na verdade seriam da classe solo exposto.

Mapa 5.5 – Classificação do uso e cobertura da terra na área de estudo no Estado de Goiás



O cálculo do grau de exatidão da classificação apresentou os seguintes resultados: índice global - 99,18%; índice Kappa - 99,14% e índice Tau - 99,01%, conforme matriz de confusão abaixo:

Classe	vegetação natural - florestal	solo exposto	vegetação natural - campestre	áreas antrópicas agrícolas	corpos d'água	Total
vegetação natural - florestal	5894	0	0	12	5	5911
solo exposto	0	1187	36	4	0	1227
vegetação natural - campestre	6	0	3437	0	0	3443
áreas antrópicas agrícolas	35	0	0	994	0	1029
corpos d'água	0	0	0	0	279	279
Total	5935	1187	3473	1010	284	11889

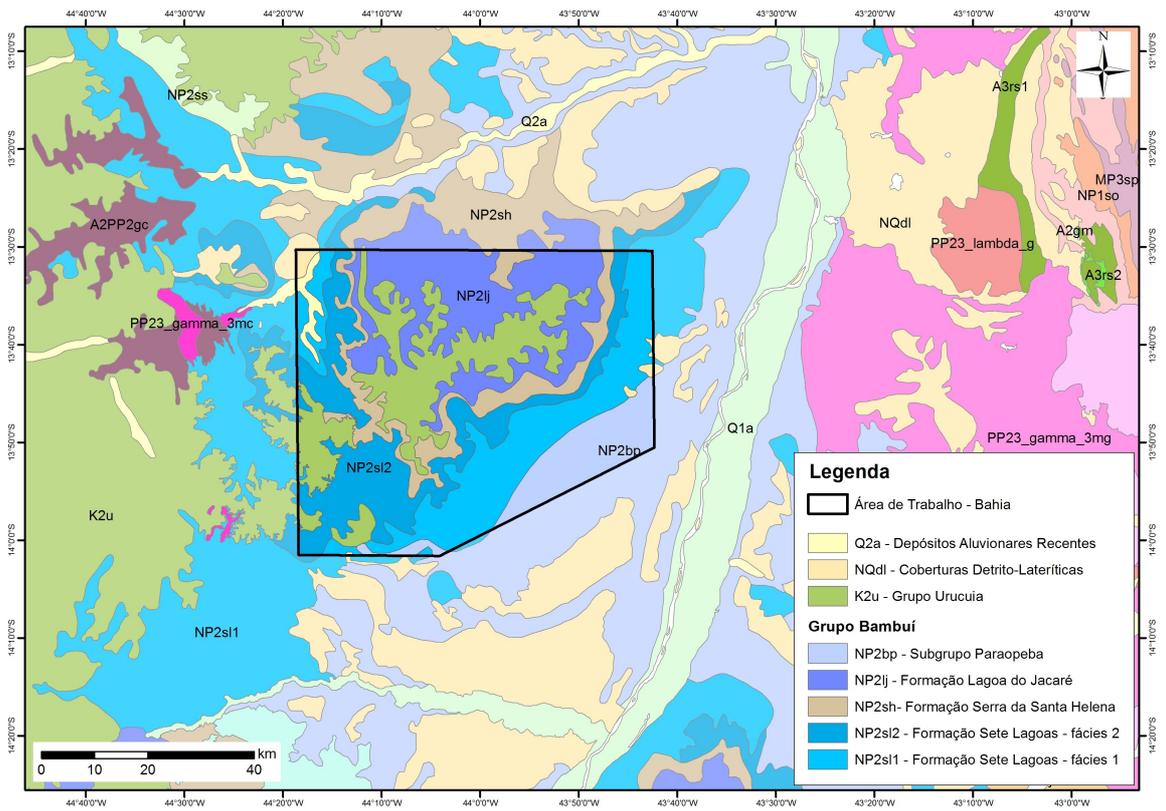
5.3. Caracterização da geologia, geomorfologia, hidrografia e espeleologia

5.3.1. Área no Estado da Bahia

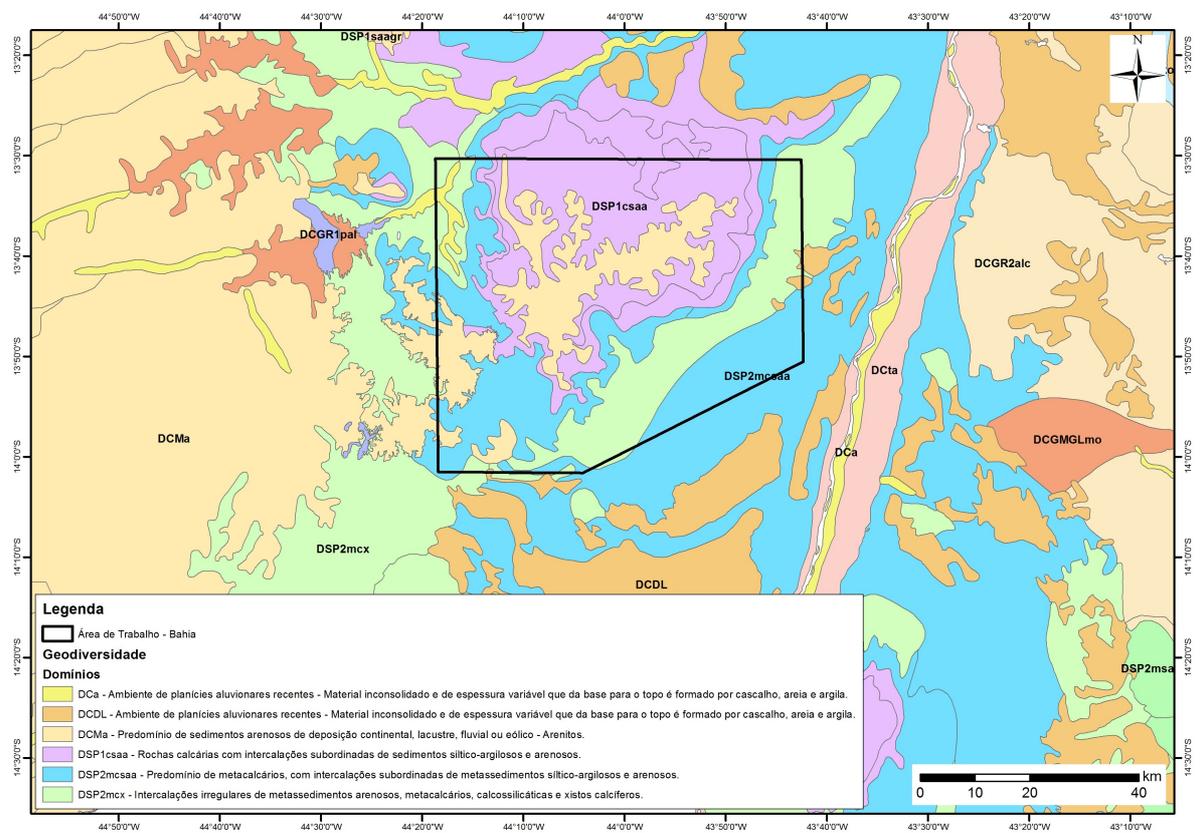
5.3.1.1. Geologia e Geodiversidade

A geologia da área, conforme carta 1:1.000.000 do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, é composta pelos Grupos Bambuí, do Neoproterozoico e Urucuia, do Período Cretáceo. Ocorrem na área o Subgrupo Paraopeba (arcóseos, argilitos, calcarenitos, dolomitos, folhelhos, margas, ritmitos e siltitos), a Formação Sete Lagoas, fácies 1 (argilitos, calcários, margas e silexitos) e 2 (calcarenitos e dolomitos), a Formação Serra de Santa Helena (folhelhos e siltitos), a Formação Lagoa do Jacaré (calcarenitos, calcários e siltitos), todos pertencentes ao Grupo Bambuí, parcialmente recobertos pelo Grupo Urucuia (arenitos, pelitos e arenitos conglomeráticos).

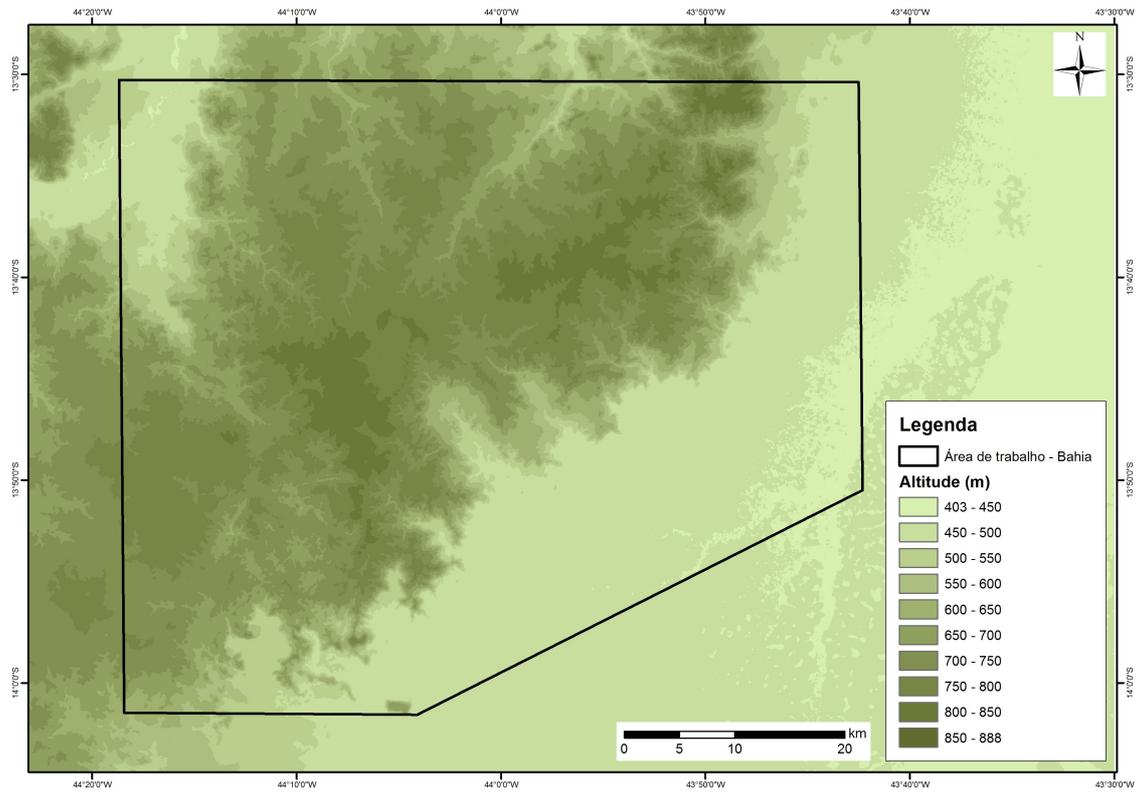
Mapa 5.6 – Mapa Geológico



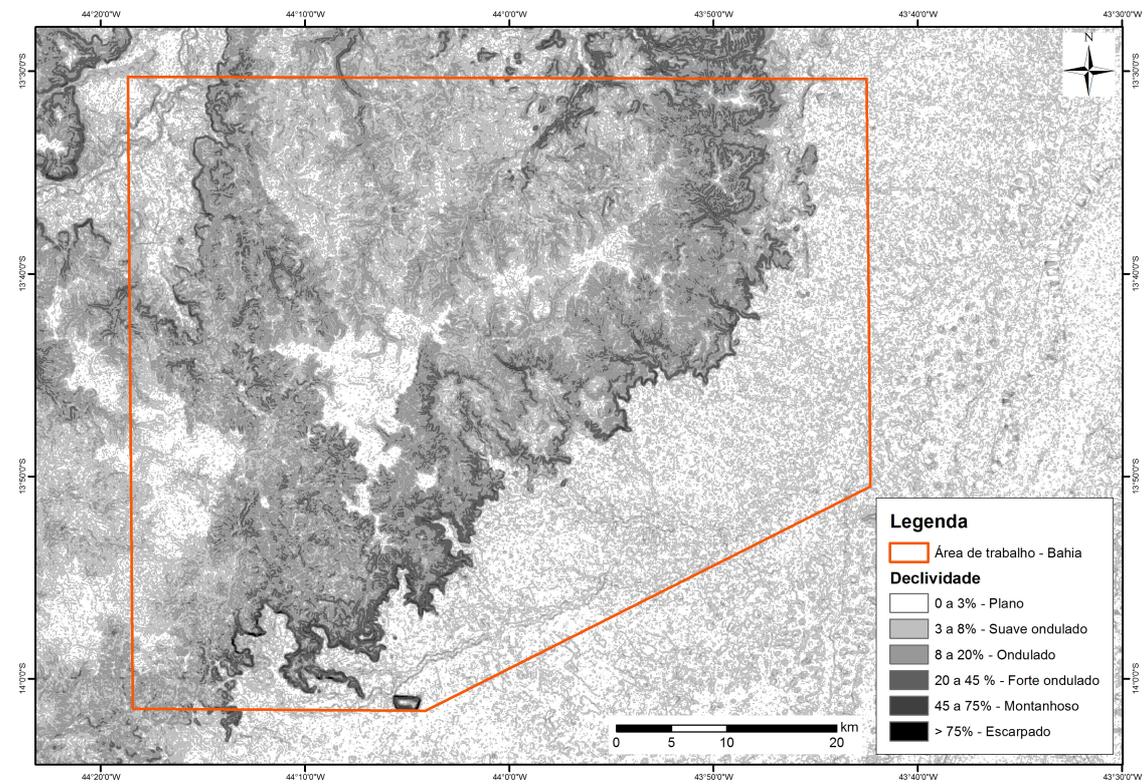
Mapa 5.7 – Mapa de Geodiversidade



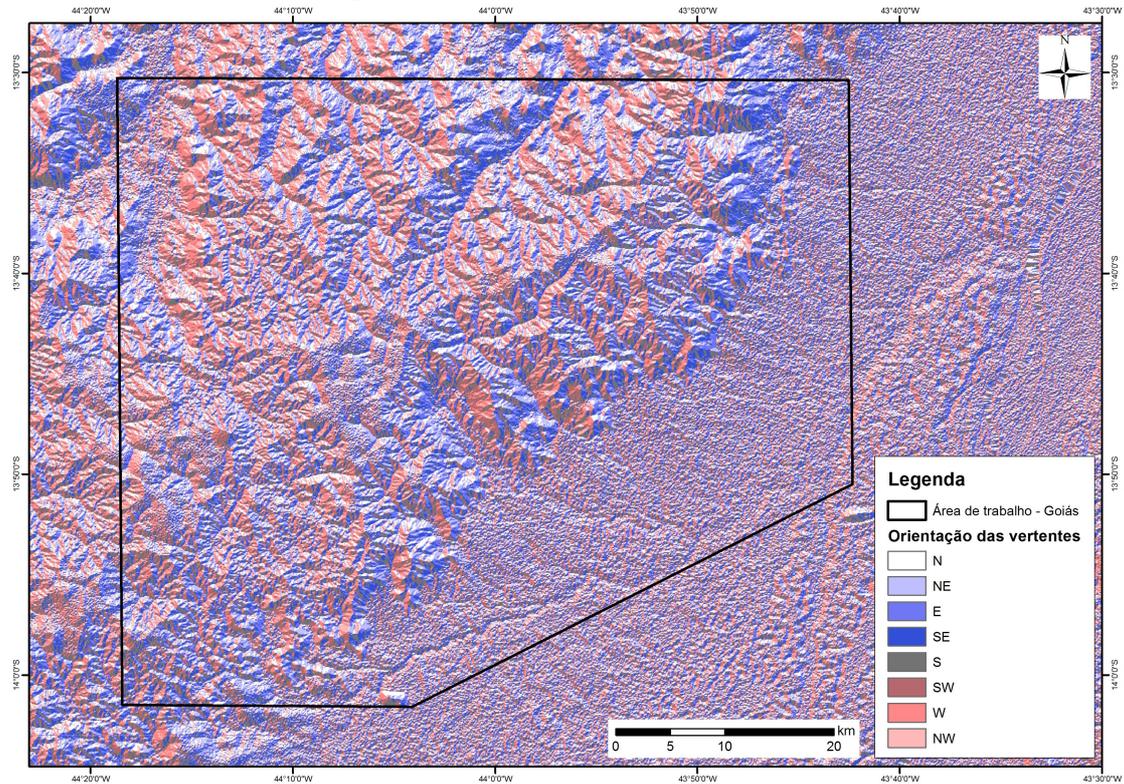
Mapa 5.9 – Altimetria



Mapa 5.10 – Declividade



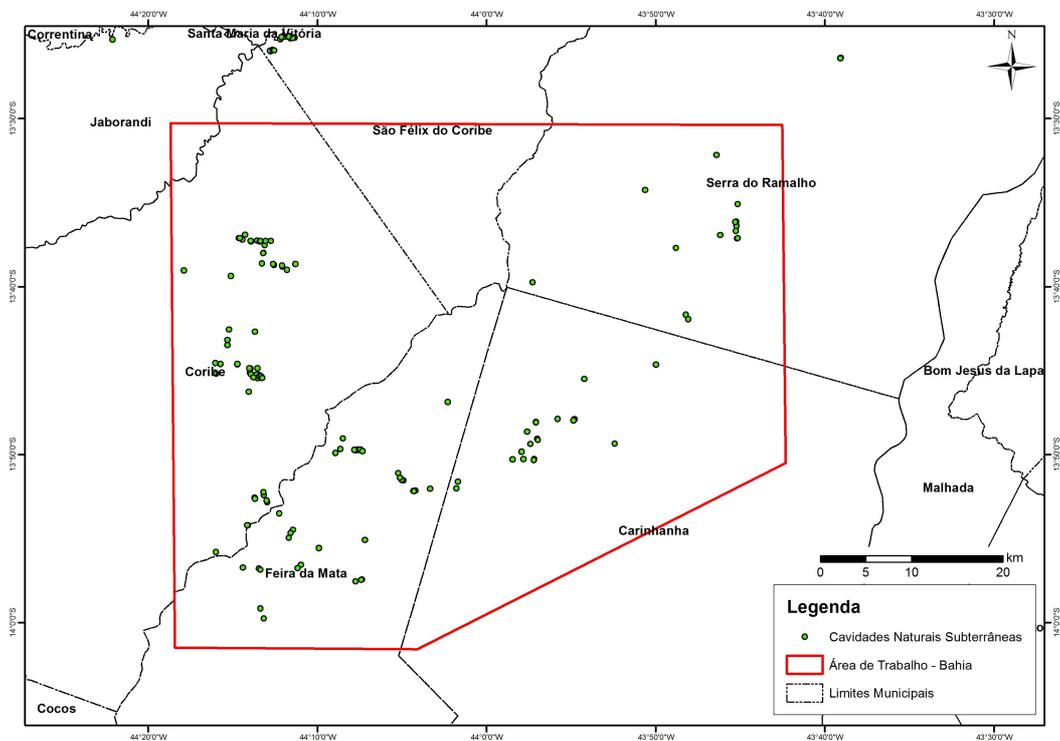
Mapa 5.11 – Orientação de Vertentes



5.3.1.4. Espeleologia

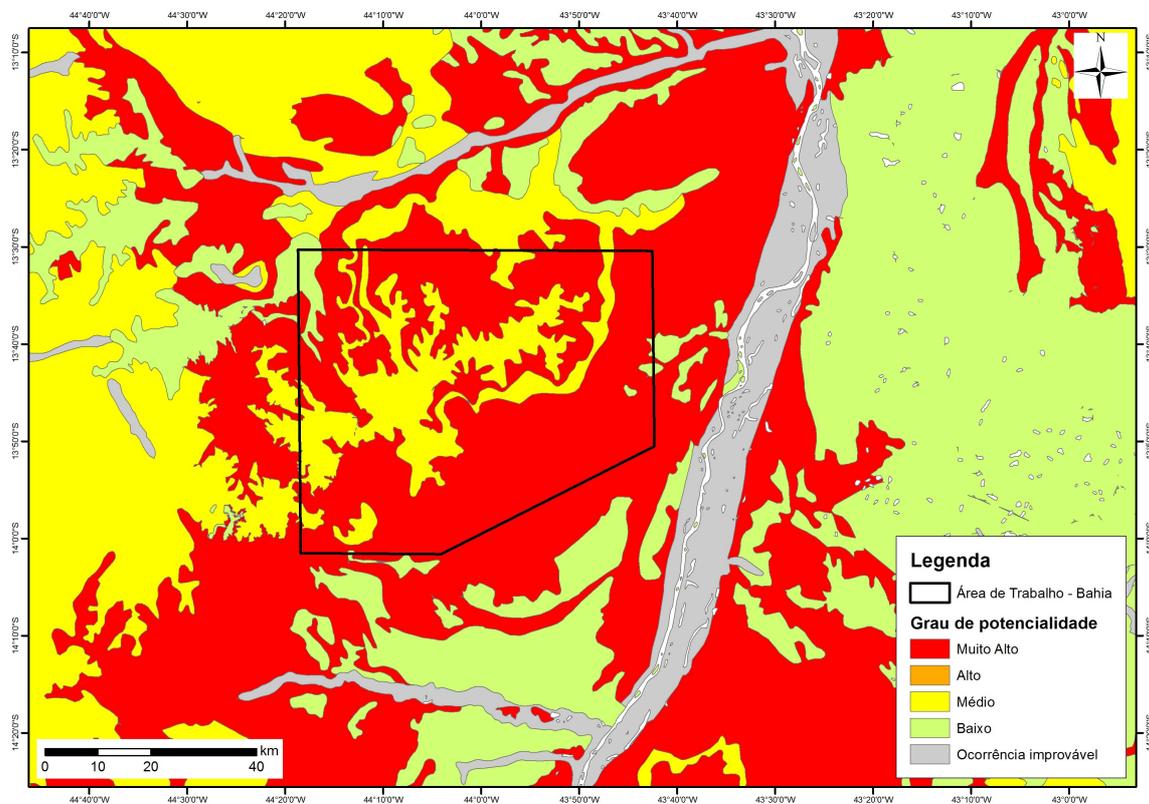
Na área de estudos estão registradas na base de dados do CECAV 131 cavidades naturais subterrâneas.

Mapa 5.12 – Ocorrência de Cavidades Naturais Subterrâneas



Também foi elaborado para área de estudo o mapa de potencialidade de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas, com base nos dados produzidos pelo CECAV.

Mapa 5.13 – Potencialidade de Ocorrência de Cavidades Naturais Subterrâneas

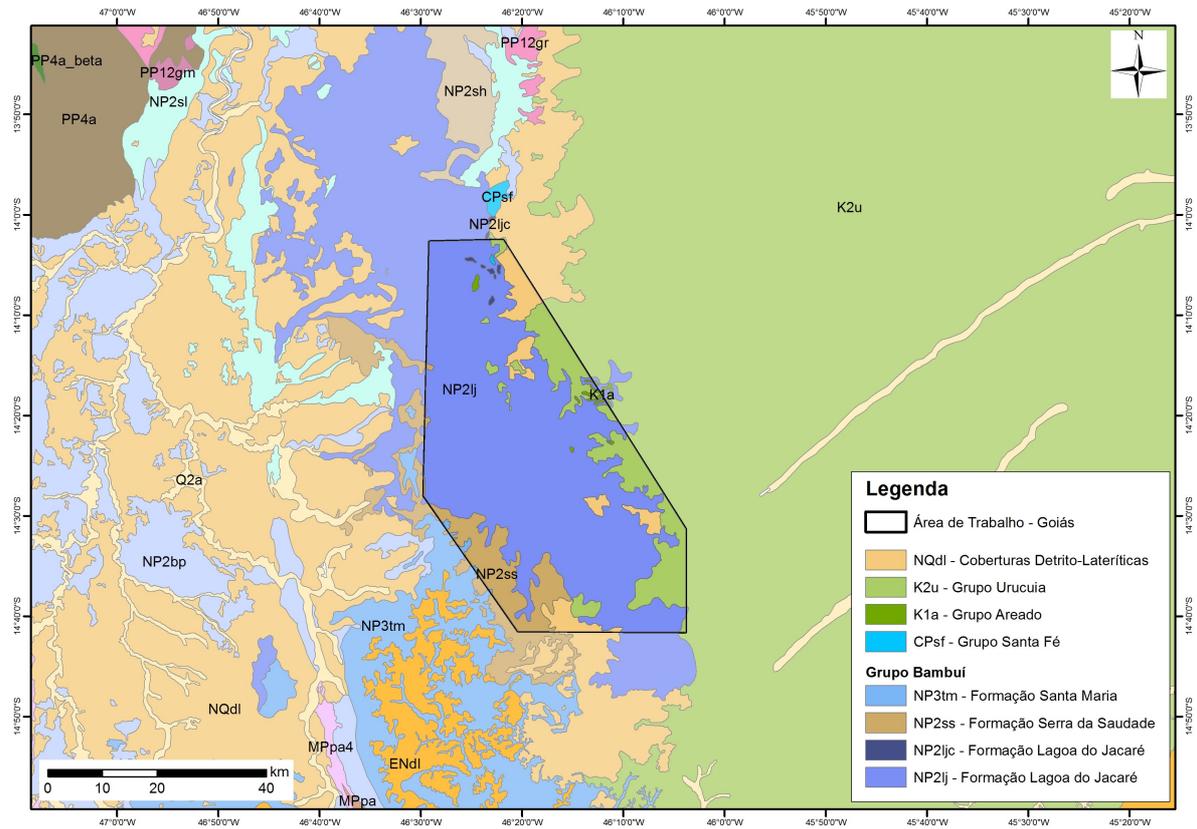


5.3.2. Área no Estado de Goiás

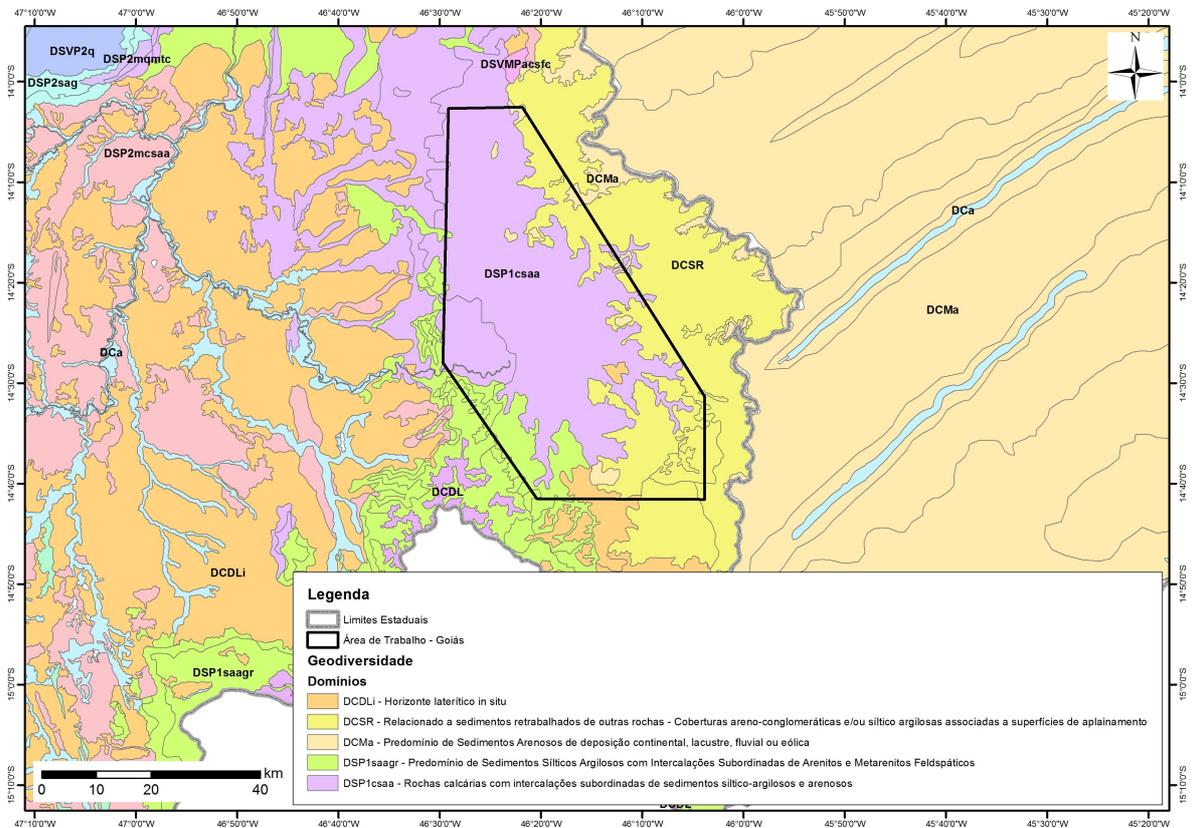
5.3.2.1. Geologia e Geodiversidade

Com base no mapa geológico, escala 1:1.000.000 elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM, a geologia da área é formada basicamente pela Formação Lagoa do Jacaré, de idade neoproterozoica, composta basicamente por calcários e pertencente ao Grupo Bambuí. No sudoeste da área ocorrem afloramentos da Formação Serra da Saudade, composta por arenitos, argilitos e siltitos, de idade neoproterozoica e também pertencente ao Grupo Bambuí. Na porção leste há ocorrência dos arenitos, pelitos e arenitos conglomeráticos do Grupo Urucuia, de idade cretácea. Isoladamente em porções da área ocorrem coberturas detrito-lateríticas ferruginosas de idade quaternária.

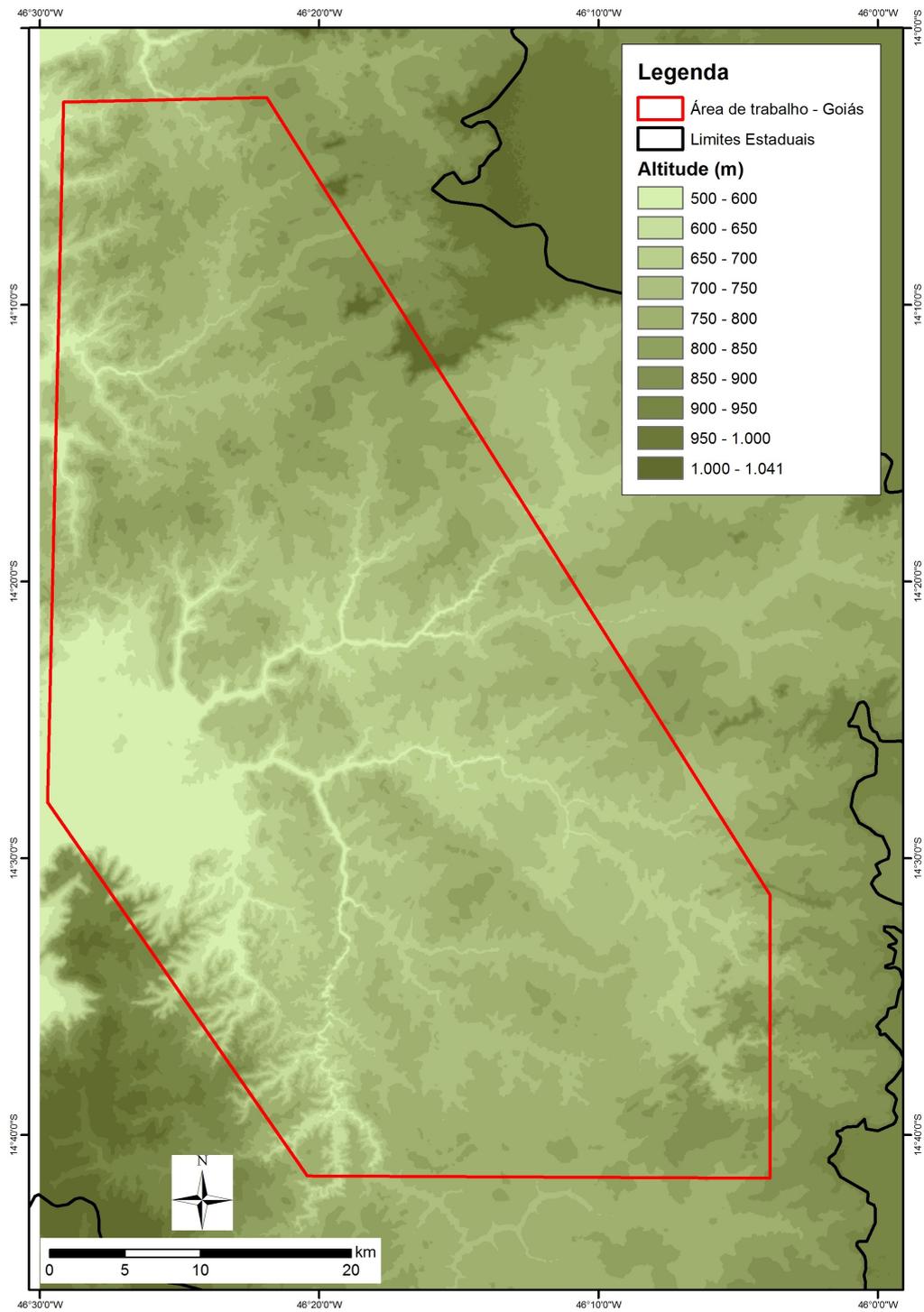
Mapa 5.14 – Mapa Geológico



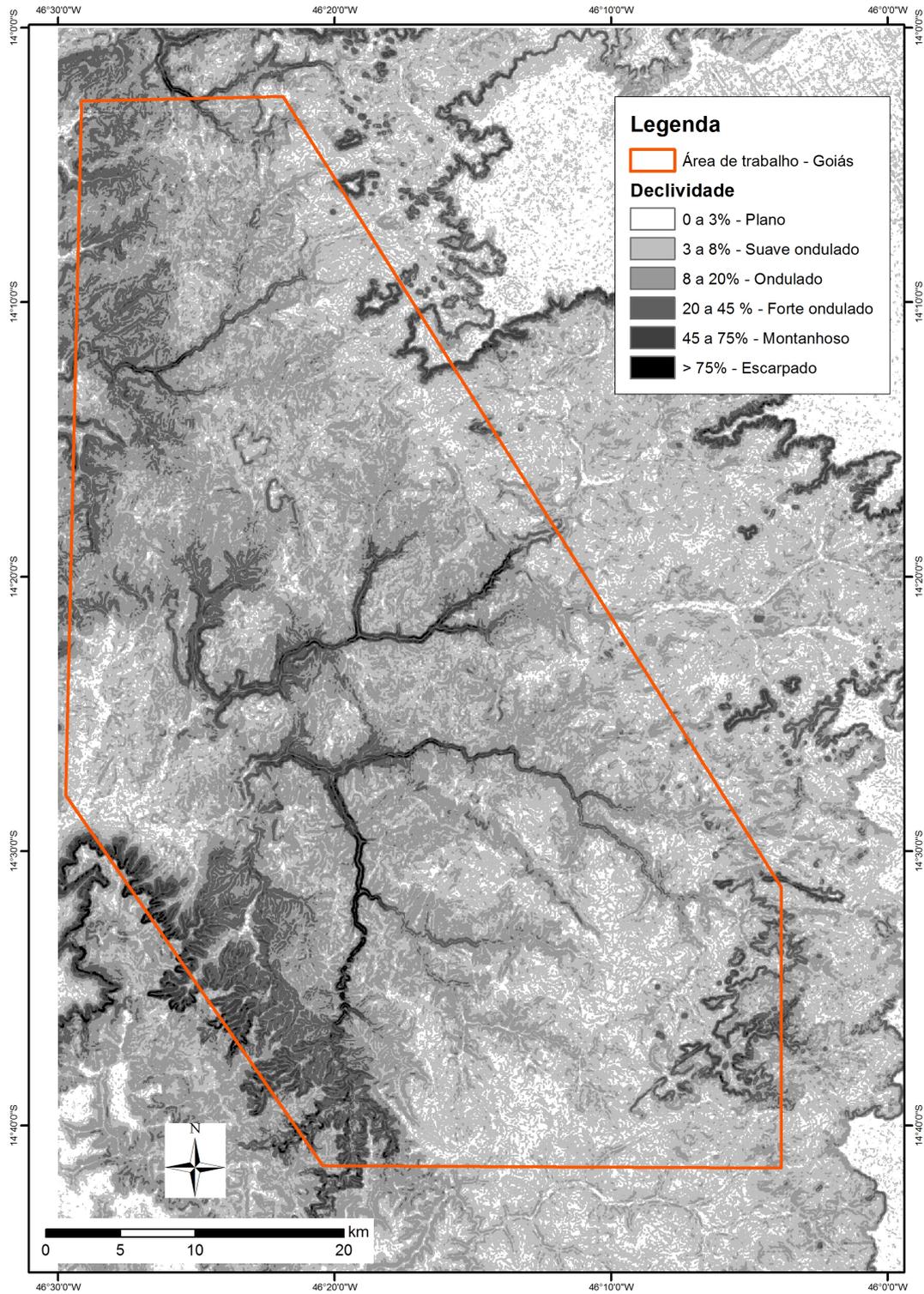
Mapa 5.15 – Mapa de Geodiversidade



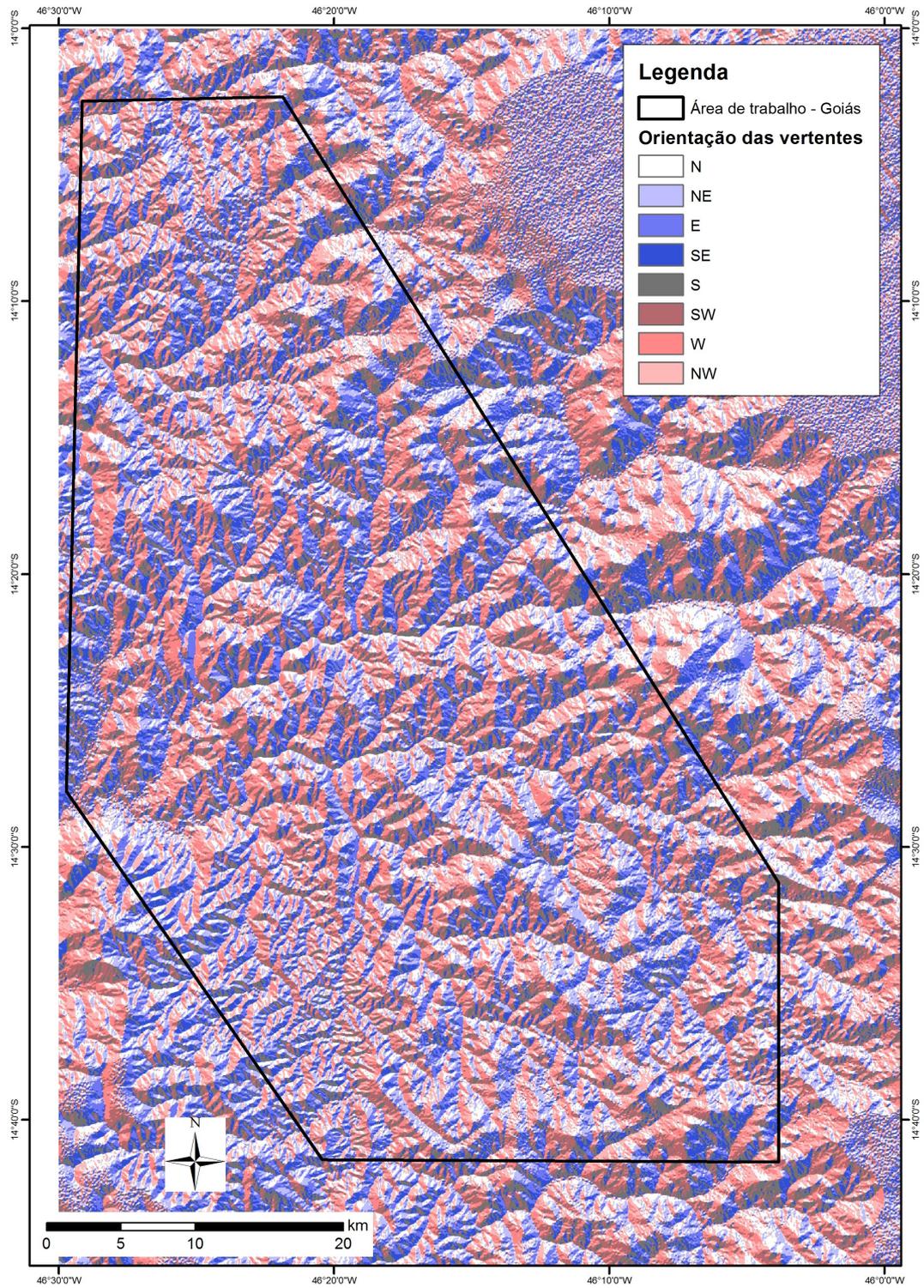
Mapa 5.17 – Altimetria



Mapa 5.18 – Declividade



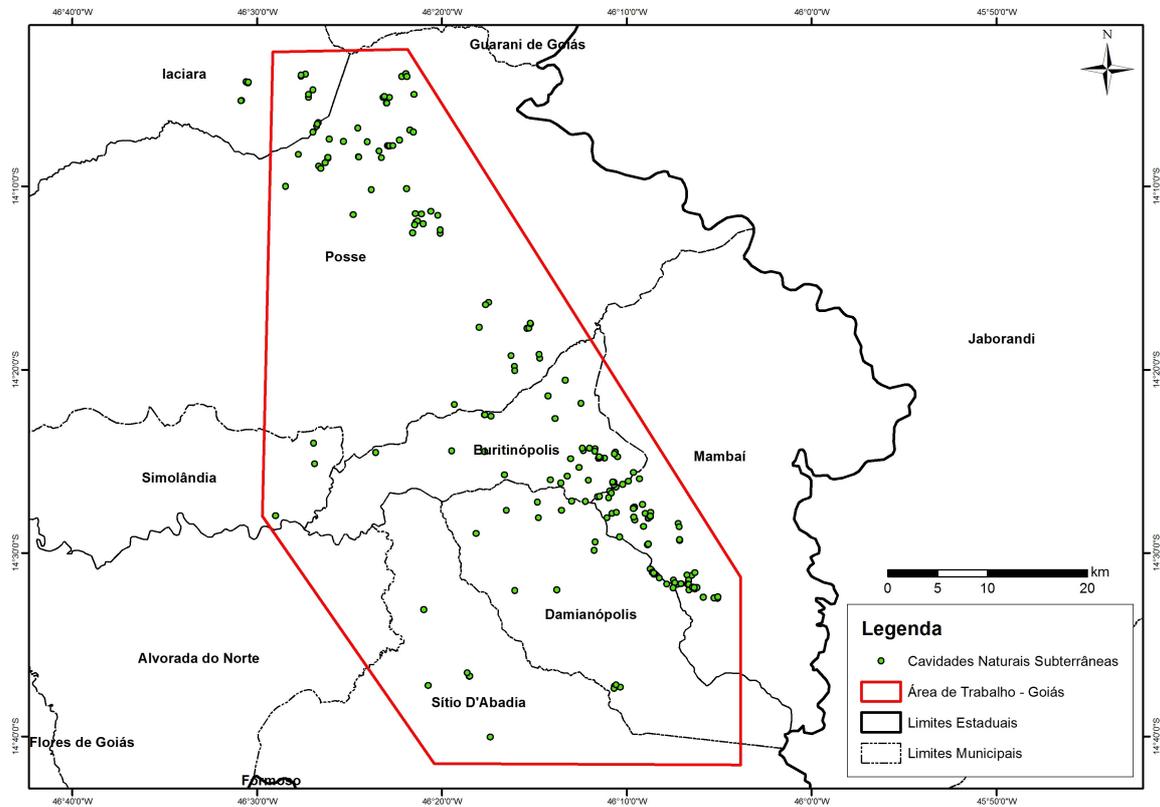
Mapa 5.19 – Orientação de Vertentes



5.3.2.4. Espeleologia

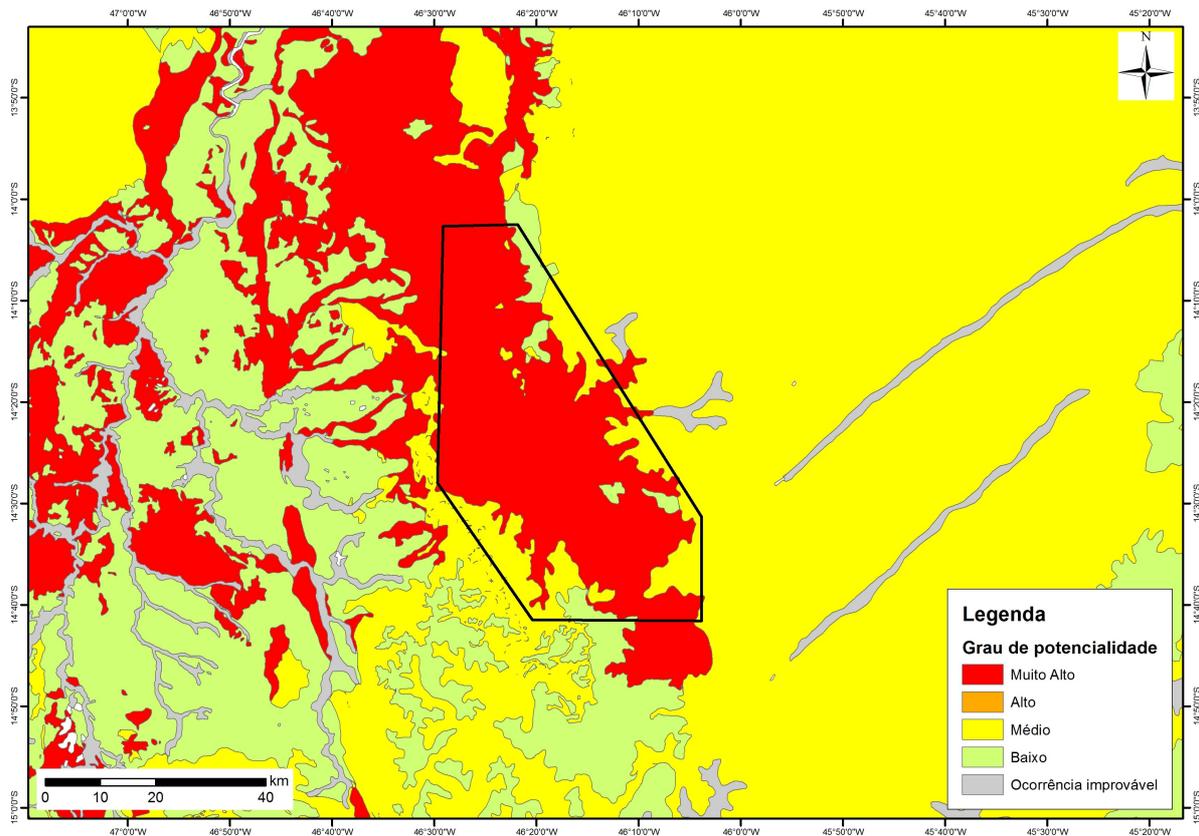
Na área de estudos estão registradas na base do CECAV 210 cavidades naturais subterrâneas.

Mapa 5.20 – Ocorrência de Cavidades Naturais Subterrâneas



Também foi elaborado para área de estudo o mapa de potencialidade de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas, com base nos dados produzidos pelo CECAV.

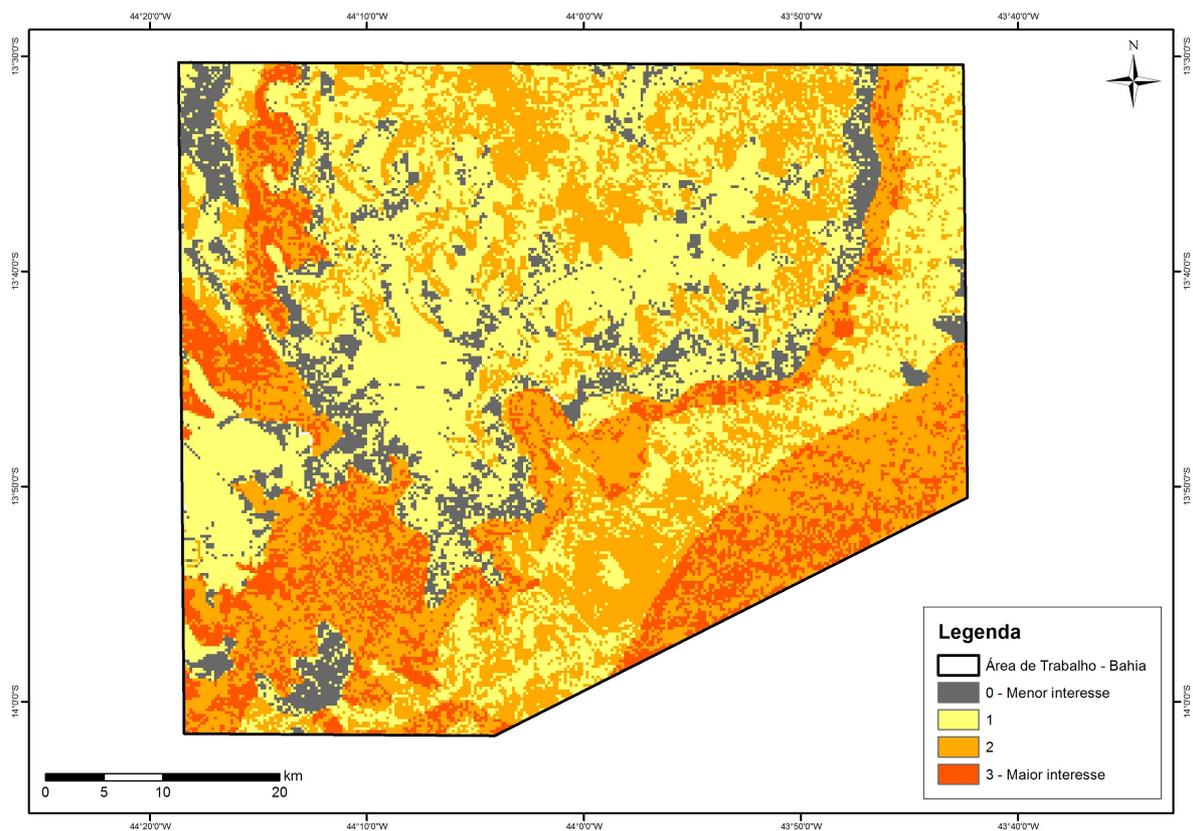
Mapa 5.21 – Potencialidade de Ocorrência de Cavidades Naturais Subterrâneas



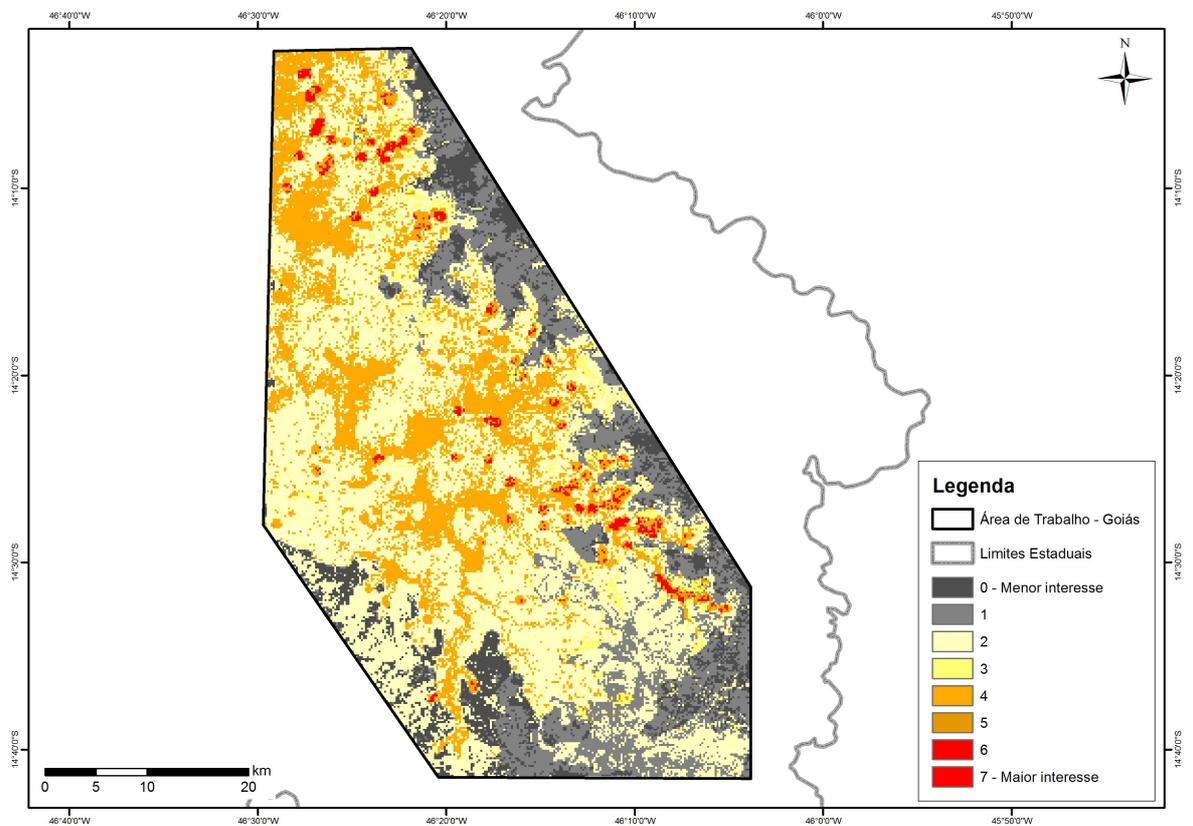
5.4. Definição da área de interesse para criação de UC, utilizando álgebra de mapas

Após os procedimentos de álgebra de mapas conforme explicitado na metodologia, foram gerados os mapas com as áreas de interesse para criação de unidades de conservação. Optou-se por utilizar uma escala de cores variando entre laranja e vermelho para destacar as áreas de interesse. As áreas em cinza são aquelas nas quais não há ocorrência de nenhum dos critérios selecionados.

Mapa 5.22 – Áreas de interesse para criação de unidade de conservação - Bahia



Mapa 5.23 – Áreas de interesse para criação de unidade de conservação - Goiás



6. Discussão

Na presente monografia foram desenvolvidos trabalhos nas áreas de sensoriamento remoto e SIG.

Primeiramente, foi realizada a seleção das áreas de estudo. Conforme já justificado, optou-se pela escolha de áreas com ocorrências de cavidades abrangidas pelo bioma Cerrado e no Grupo Bambuí. Destaca-se que 39%, ou 3829, das cavidades naturais subterrâneas registradas na base do CECAV encontram-se neste grupo geológico.

As áreas de estudo selecionadas representam locais com grande extensão de formações calcárias e alta concentração de cavidades. Outras áreas com altas concentrações (vide mapa 5.1) já estão abrangidas por unidades de conservação que foram criadas com objetivo de proteção do patrimônio espeleológico, caso do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu/MG, Parque Estadual Terra Ronca/GO e Área de Proteção Ambiental Carste de Lagoa Santa.

A parte de sensoriamento remoto envolveu a análise de imagens do satélite Landsat 5 - TM com objetivo de efetuar a classificação do uso e cobertura da terra nas duas áreas de estudo.

Na área de estudo localizada na Bahia foram identificadas quatro classes: afloramentos rochosos, áreas de vegetação natural – florestal, áreas antrópicas agrícolas e solo exposto (vide mapa 5.4).

A classe de vegetação natural é a que ocupa maior porção da área de estudo, 52,8 %, seguida das classes áreas antrópicas agrícolas, com 23,2%, solo exposto (17,9%) e afloramentos rochosos (6,1%).

Na área de estudo localizada em Goiás foram identificadas cinco classes: áreas de vegetação natural – florestal e campestre, áreas antrópicas agrícolas, solo exposto e corpos d'água (vide mapa 5.5).

A classes ocupam a área com a seguinte distribuição: vegetação natural – florestal: 27,9 %, solo exposto: 24,9%, áreas antrópicas agrícolas: 24,4%, vegetação natural – campestre: 21,2% e corpos d'água: 1,6%.

Entende-se que o procedimento metodológico utilizado por meio da utilização de classificação supervisionada, pixel a pixel, método Maxver foi eficiente, uma vez que a classificação efetuada alcançou resultado satisfatório para as duas áreas. O cálculo da exatidão das classificações efetuadas também apresentou bons resultados.

Dentro das atividades envolvendo sensoriamento remoto, entende-se que futuros trabalhos poderão realizar uma análise temporal, com classificações do uso e cobertura da terra em diferentes épocas, para se compreender a dinâmica de ocupação nas áreas de estudos e sua eventual influência sobre as áreas cársticas.

Outra possibilidade seria a de, com realização de trabalhos de campo e utilização também de imagens de radar, tentar obter as informações em escala adequada sobre a geologia da área, em especial sobre geologia estrutural, e observar possíveis relações entre as estruturas das rochas e a espeleogênese e ocorrência de cavidades, o que poderia contribuir para o entendimento da dinâmica cárstica da área, bem como no auxílio para prospecção de outras cavidades.

Ainda dentro dos trabalhos envolvendo SIG, houve a análise das diversas camadas de informações, utilização de dados de modelo digital de elevação, elaboração de mapas e análise espacial, incluindo álgebra de mapas, com objetivo de efetuar a caracterização do ambiente físico das áreas cársticas selecionadas e definição de área de interesse para criação de unidade de conservação.

A utilização dos dados do modelo digital de elevação elaborados pelo INPE foi importante no auxílio da caracterização da geomorfologia da área, por meio da geração de mapas altimétricos, de declividade e de orientação de vertentes.

Com base nas informações da literatura pesquisada e uso de dados vetoriais em ambiente SIG também foram gerados os demais mapas relacionados à geologia, espeleologia e hidrografia.

Para a área da Bahia, observa-se que as cavidades concentram-se na Formação Sete Lagoas, na fácies formada por calcarenitos e dolomitos. Das 131 cavidades que ocorrem na área, 95 delas ou 72,5%, encontram-se nessa Formação. Observa-se também que as áreas classificadas nas imagens Landsat como afloramentos rochosos são afloramentos da Formação Sete Lagoas. Observa-se também a ocorrência bastante concentrada de cavidades nas proximidades dos cursos d'água.

Relacionando os mapas gerados com os dados do modelo digital de elevação e no mapa de hidrografia, observa-se que a parte central da área, onde afloram arenitos do Grupo Uruçua, representa um divisor de águas. Nas porções sul, sudeste e leste da área, os cursos d'água, após cruzarem as íngremes encostas da Serra do Ramalho, têm suas águas drenadas para o Riacho das Pitubas que, logo após sair da área de estudos, deságua no Rio São Francisco. Já os rios das porções norte e noroeste seguem para o Rio Corrente, que se encontra com o Rio São Francisco aproximadamente 60 km após a foz do Riacho das Pitubas.

A altitude na área varia de 400m nas porções mais baixas e planas a leste, até aproximadamente 890m na área dos referidos divisores de águas.

Relacionando ainda os mapas de declividade e altimetria com o de classificação do uso e cobertura da terra, percebe-se que as áreas mais baixas e planas, em especial na porção leste da área, são as mais ocupadas e antropizadas. As áreas com maior cobertura vegetal entretanto, ocorrem nas partes mais altas da área. Já as áreas com relevo mais acentuado (montanhoso e escarpado), e declividade maior que 45%, ocorrem somente nas bordas leste e sudeste da Serra do Ramalho e em parte da porção noroeste da área.

Na área de estudos em Goiás, apesar do maior número de cavidades registradas, a classificação do uso e cobertura da terra com base em imagens Landsat não identificou a ocorrência de afloramentos rochosos.

As cavidades na área ocorrem principalmente na Formação Lagoa do Jacaré, formada essencialmente por calcários. Das 210 cavidades, 166 ou 79% do total, encontram-se nessa Formação.

A maior parte dos rios que cortam a área tem suas nascentes nas escarpas que marcam a divisa entre os Estados de Goiás e Bahia. Todos os cursos d'água são da área tem suas águas drenadas para o Rio Paranã, afluente do Rio Tocantins.

Nota-se que o relevo na área é predominantemente ondulado a suave ondulado. As porções com maior declividade encontram-se nas margens de alguns rios, destacando-se o Rio Corrente na porção sudoeste da área. As altitudes variam de 500m a 1000m, com predomínio de altitudes próximas de 700m.

A classificação do uso e cobertura da terra apresenta uma área já bastante antropizada, com muitas áreas agrícolas e solos expostos e boa parte de seus remanescentes florestais próximos aos cursos d'água.

Entende-se portanto, que este conjunto de mapas elaborados e análises realizadas, somados as atividades de sensoriamento remoto e classificação do uso e cobertura da terra resultaram no alcance de um dos objetivos pretendidos pelo presente trabalho, que foi o de apresentar caracterização do ambiente físico das duas áreas no que se refere à geologia, geomorfologia, hidrografia e espeleologia, bem como analisar, de forma breve, as inter-relações entre os aspectos estudados.

Importante analisar o trabalho efetuado no que se refere às escalas das informações utilizadas. Parte das informações, como os mapas geológicos, foram elaborados para escala de 1:1.000.000, assim como a hidrografia. A classificação do uso e cobertura da terra foi efetuada com base em imagens Landsat, com resolução espacial de 30m e possibilidade de se trabalhar bem com escala de 1:150.000. As informações do modelo digital de terreno, com base em dados do SRTM, segundo o manual do INPE Topodata, foram disponibilizadas para trabalhos nas escalas entre 1:100.000 e 1:250.000. Dessa forma, nos mapas gerados foi considerado este fator e os mesmos foram apresentados em escala compatível com a informação utilizada.

Entende-se que o ideal seria que todo o trabalho fosse realizado com bases na mesma escala e preferencialmente de maior detalhe. Ressalta-se porém que essas informações não estão disponíveis, sendo que no caso dos mapas geológicos, as informações de maior detalhe para as áreas de estudos se encontra na escala 1:1.000.000.

Na parte de álgebra de mapas, todas essas informações foram somadas para definição das áreas de maior interesse, desconsiderando-se as diferenças em relação às escalas. Este fato pode ter levado a imprecisões no resultado obtido. Entretanto, como o presente estudo não contemplou trabalhos de campo e produção de informações nas escalas necessárias, a alternativa encontrada foi a de se trabalhar com as informações disponíveis.

Para a definição das áreas de interesse para a criação de unidades de conservação, outro objetivo deste estudo, foram utilizados os conceitos e ferramentas relacionados à álgebra de mapas.

Apesar da utilização da mesma metodologia nas duas áreas de estudos, a equação final utilizada para cada área foi distinta, uma vez que essas apresentam características ambientais diferentes.

Na área da Bahia selecionou-se três critérios, relacionados à geodiversidade, potencial de ocorrência de cavidades e áreas com vegetação natural florestal.

Entende-se que o resultado obtido (vide mapa 5.22) foi satisfatório, pois destaca áreas de maior interesse que, em boa parte, coincidem com os pontos de ocorrência das cavidades já conhecidas (mapa 5.12).

Para a área de estudo em Goiás, foi necessário elaborar equação distinta da utilizada na Bahia. Boa parte da área corresponde à porções com potencial muito alto de ocorrência de cavidades (mapa 5.21) e ocorrência da Formação Lagoa do Jacaré (mapa 5.14), composta por rochas calcárias e que abriga a maior parte das cavidades da área. Assim, somando-se apenas esses critérios, conforme efetuado na área da Bahia, o resultado obtido é bastante uniforme para boa parte da área, com poucas áreas de destaque.

Dessa forma, e com objetivo de ressaltar as áreas de maior interesse, foi atribuído peso maior às áreas cobertas por vegetação natural florestal. Também utilizou-se uma faixa de 500m no entorno das cavidades, compondo mais um plano de informações a ser inserido na equação.

Com a equação então composta por cinco critérios, e utilizando-se peso 2 para as áreas de floresta e de entorno das cavidades, obteve-se resultado que apresentou as áreas de maior interesse para conservação do patrimônio espeleológico (mapa 5.23).

Ressalta-se, entretanto, que os resultados com o trabalho com álgebra de mapas foi efetuado com bastante enfoque nos aspectos relacionados ao meio físico. Trabalhos futuros que venham a definir área para criação de unidade de conservação nos locais estudados deverão também levantar informações relativas aos aspectos biológicos e ecológicos, assim como sobre a realidade social, econômica e fundiária das áreas.

7. Conclusão

Em consonância com o apresentado na análise e revisão da literatura, o presente estudo também obteve bons resultados no que se refere à utilização das ferramentas de SIG e sensoriamento remoto para caracterização dos aspectos do meio físico em áreas cársticas, bem como para definição de áreas para criação de unidades de conservação.

O referencial teórico e exercícios do curso de especialização proporcionaram a possibilidade de elaboração de metodologia para alcance dos objetivos propostos, com escolha das ferramentas adequadas.

A caracterização das duas áreas de estudos indicam que as áreas abrangem ambientes de relevância para a proteção do patrimônio geológico e espeleológico, apresentando alto potencial para a descoberta de novas cavidades.

A utilização de imagens Landsat e o método utilizado para classificação do uso e cobertura da terra foram eficientes para caracterização das áreas de trabalho e escala dos estudos, permitindo diferenciar e classificar as regiões de interesse.

As informações dos modelos digitais de elevação, bases vetoriais e imagens de satélite e análise conjunta dos dados propiciaram a descrição e caracterização do meio físico e do uso e cobertura da terra nas áreas de estudo, possibilitando o estabelecimento de critérios para definição das regiões de maior importância para conservação do patrimônio espeleológico.

Por fim, utilizando-se as ferramentas e conceitos sobre álgebra de mapas foram identificadas e destacadas as áreas de maior interesse ambiental, no que se refere à análise dos aspectos relacionados ao meio físico, nas quais indica-se a criação de unidades de conservação.

8. Referências bibliográficas

ALMEIDA, M. D.; TRINDADE, W. M.; BAGGIO, H. Caracterização e gestão da área cárstica no Município de Ubaí-MG: uma proposta para conservação e proteção ambiental. In: FÓRUM DE ENSINO, PESQUISA, EXTENSÃO E GESTÃO, "EDUCAÇÃO, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE" DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS, 3., 2009, Montes Claros. *Anais...* Montes Claros, 2009.

CARDOSO, C.A.L.; FARIA, F.S.R. O uso do geoprocessamento na análise ambiental como subsídio para a indicação de áreas favoráveis a criação de unidade de conservação para o uso sustentável do minhocoçu *Rhinodrilus alatus*. E-Scientia - *Revista Científica do Departamento de Ciências Biológicas, Ambientais e da Saúde - Centro Universitário de Belo Horizonte*, v. 3, n. 1, 2010.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS/ INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Plano de Ação Nacional para Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco – Documento base. 2011a. Disponível em: <http://www4.icmbio.gov.br/cecav/index.php?id_menu=368>.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS/ INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas - Quarta Aproximação. 2011b. Disponível em: <http://www4.icmbio.gov.br/cecav/index.php?id_menu=230>.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS/ INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Base de Dados. 2011c. Disponível em: <http://www4.icmbio.gov.br/cecav/index.php?id_menu=228>

FERRARI, J. A.; HIRUMA, S. T.; KARMANN, I. Caracterização Morfométrica de Uma Superfície Cárstica do Vale do Ribeira, São Paulo (Núcleo Caboclos - PETAR). *Revista do Instituto Geológico - São Paulo*, v. 19, n. 1/2, p. 9-17, 1998.

GOMES, M. *Proposta metodológica para identificação de áreas vulneráveis para a conservação do patrimônio espeleológico brasileiro*. 2010. 50 f. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

HUNG, L.Q.; BATELAAN, O.; SMEDT, F. Remote Sensing and GIS Analysis of the Landcover in Tropical Karst Suoimuoi Catchment in Vietnam. In: TRANS-KARST 2004, PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL TRANSDISCIPLINARY CONFERENCE ON DEVELOPMENT AND CONSERVATION OF KARST REGIONS,

2004, Hanoi, Vietnã. p. 97-100. Disponível em <<http://www.vub.ac.be/transkarst2004/>>. Acesso em: 06 jul. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manuais Técnicos em Geociências, n.7: Manual Técnico de Uso da Terra, 2ª ed. Rio de Janeiro, IBGE, 2006, 91 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. TOPODATA: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 10 set. 2011.

MATTOX, G.M.T.; BICHUETTE, M.E.; SECUTTI, S.; TRAJANO, E. Surface and subterranean ichthyofauna in the Serra do Ramalho karst area, northeastern Brazil, with updated lists of Brazilian troglobitic and troglophilic fishes. *Biota Neotrop.*, vol. 8, n. 4, 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=119>>. Acesso em: 01 dez. 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas: Cerrado. Brasília, MMA, 2010. 200 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico. Portaria n.º 358, de 30 de setembro de 2009. Diário Oficial da União, Brasília, 01 de outubro de 2009, Seção 1, n.º 188, p.63-64.

ROCHA, P. P. P. D. et al. Mapeamento espectral de áreas carbonáticas a partir de imagens TM/ LANDSAT na região de Água Fria, Goiás. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. *Anais...* p. 3309-3315.

SIMÕES, P. R. Caracterização Física de Ambientes Cársticos Através de Sensoriamento Remoto e SIG: O Caso do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu - Januária / Itacarambi, MG. 2007. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SIMÕES, P. R.; CRÓSTA, A. P. Aplicação se SIG e Sensoriamento Remoto em Levantamentos Espeleológicos de Áreas Cársticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 28., 2005, Campinas. *Anais...* p. 116-119.

STRANZ, A. Geoprocessamento como subsídio para a criação e gestão da unidade de conservação dos Contrafortes do Ferrabraz, Bacia do Rio dos Sinos (RS, Brasil). OLAM Ciência & Tecnologia. Rio Claro, SP, ano VIII, vol. 8, n.º 2, p. 278-301, 2008.

SZUKALSKI, B. W. Introduction to Cave and Karst GIS. *Journal of Cave and Karst Studies*. Alabama, E.U.A., v. 64, n. 1, p. 3., 2002.

UNIVERSITY OF MARYLAND. Global Land Cover Facility. Disponível em: <<http://www.glcfc.umd.edu/data/landsat/>>. Acesso em 11 set. 2011

VALERIANO, M. M. TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos, INPE, 2008. 75p.