

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
CURSO DE GEOLOGIA**

**SAULO VILA LOBUS STRAPASSON**

**MAPEAMENTO DE FORMAS CÁRSTICAS PARA MICROZONEAMENTO DE USO  
TERRITORIAL EM REGIÃO DE CARSTE, APLICADO AO MUNICÍPIO DE CAMPO  
MAGRO-PR**

**CURITIBA**

2017

**SAULO VILA LOBUS STRAPASSON**

**MAPEAMENTO DE FORMAS CÁRSTICAS PARA MICROZONEAMENTO DE USO  
TERRITORIAL EM REGIÕES CÁRSTICAS, APLICADO AO MUNICÍPIO DE CAMPO  
MAGRO-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Geologia da Universidade Federal do  
Paraná como requisito parcial à obtenção do  
grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Chemas Hindi

Co-orientador: Marcos Justino Guarda

**CURITIBA**

2017

A minha família

Que sempre esteve lá

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela vida.

Aos meus pais, Rildo Strapasson e Eliane de Fátima Vila Lobus Strapasson por todo o apoio e suporte durante todos esses anos.

Aos meus irmãos, Paola Vila Lobus Strapasson e Bruno Vila Lobus Strapasson, por todo companheirismo e apoio.

A toda minha família, especialmente minha tia Eliane.

A minha namorada e companheira, Ingrid Christine de Lima Gonçalves, pelo apoio e carinho.

Ao professor Dr. Eduardo Chemas Hindi pela orientação e disposição para guiar este trabalho. E a todos os professores e funcionários do Departamento de Geologia que estiveram presentes na minha formação.

Ao meu co-orientador, geólogo Marcos Justino Guarda, pelas valiosas dicas e discussões.

A Unidade de Serviços em Hidrogeologia (USHG), da SANEPAR, pela disponibilização dos dados.

A Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de realizar este curso.

E a todos os amigos que fiz no curso de geologia.

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo gerar um mapa de zoneamento territorial, escala 1:10.000, em área alvo inserida no município de Campo Magro, Paraná, baseando-se no mapeamento de feições cársticas. Estudos acerca do ambiente cárstico são importantes para a Região Metropolitana de Curitiba, visto que este relevo possui grande abrangência espacial na região e também comporta um aquífero de extrema importância para o abastecimento público. A relevância da correta utilização e ocupação do solo nestas regiões está na preservação do sistema cárstico, incluindo a qualidade de suas águas subterrâneas, e também na possibilidade de evitar acidentes geotécnicos intrínsecos ao carste, como o colapso do solo gerando dolinas. A construção do mapa de zoneamento territorial teve como base o mapeamento de feições cársticas, que por vez, foi desenvolvido através da fotointerpretação e uma etapa de campo. O mapa de zoneamento territorial gerado ao final do trabalho apresenta a compartimentação do terreno em quatro níveis distintos, de tal sorte que cada uma dessas classes possua recomendações específicas para o uso e ocupação.

**Palavras chave:** carste, uso e ocupação, feições cársticas

## ABSTRACT

This work has the objective of generating a territorial zoning map, 1:10.000 scale, in an area located in Municipality of Campo Magro, Paraná, based on karst features. Studies about the karst ambient are important to Curitiba's metropolitan region, since that karstic terrain has a large spacial comprehensiveness in the region and it holds an aquifer of extreme importance to the public supply. The relevance of the correct land use on these regions is in the karst system preservation, including its underground water quality, as well as to possibly avoid geotechnical accidents that karst has, like soil collapse generating dolines. The zoning map construction had its basis the karst features mapping, that was developed through a aerial photo-interpretation and a field-work stage. The territorial zoning map generated in the end of this work features the compartmentation of the terrain in 4 different levels, in which each of these classes has specific recommendations to the land use.

**Keywords:** karst, land use, karstic features

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização.....	15
Figura 2: Evolução da ocupação na área alvo.....	15
Figura 3: Mapa de geológico da área alvo.....	15
Figura 4: Blocodiagrama da compartimentação do aquífero cárstico.....	15
Figura 5: Dolina reconhecida em campo.....	15
Figura 6: Mapa de dolinas.....	15
Figura 7: Mapa de unidades carbonáticas.....	15
Figura 8: Mapa de compartimentação do carste.....	15
Figura 9: Mapa de possibilidade de desenvolvimento de relevo cárstico.....	15
Figura 10: Mapa de densidade de dolinas.....	15

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	5
1.1. CONTEXTO E PROBLEMA .....	6
1.2. OBJETIVOS.....	7
1.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	8
2.1. CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO .....	8
2.2. SISTEMAS CÁRSTICOS .....	10
2.2.1. FEIÇÕES CÁRSTICAS.....	11
2.2.2. RISCOS EM AMBIENTES CÁRSTICOS.....	12
2.3 TRABALHOS ANTERIORES .....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 SENSORIAMENTO REMOTO.....	14
3.2 MÉTODO DE ZONEAMENTO TERRITORIAL.....	15
3.3 PROPOSTA DE USO E OCUPAÇÃO.....	17
4. RESULTADOS.....	18
4.1 MAPEAMENTO DE FEIÇÕES CÁRSTICAS.....	18
4.2 MAPA DE VULNERABILIDADE POTENCIAL.....	20
4.2.1 UNIDADES POTENCIALMENTE CÁRSTICAS.....	20
4.2.2 COMPARTIMENTAÇÃO DAS UNIDADES CÁRSTICAS.....	21
4.2.3 MAPA DE CONDIÇÃO PARA DESENVOLVIMENTO CÁRSTICO .....	22
4.2.4 MAPA DE DENSIDADE DE DOLINAS .....	24
4.3.4 MAPA DE ZONEAMENTO TERRITORIAL .....	24
5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.....	26
REFERÊNCIAS .....	27
ANEXO I: Mapa de zoneamento territorial, em escala 1:10.000.....	30

## 1. INTRODUÇÃO

Ambientes cársticos são problemáticos no que se refere a ocupação humana e uso da terra. As suas características físicas requerem atenção especial na gestão territorial. A ocupação desordenada destas áreas pode deflagrar ou acelerar eventos indesejados e potencialmente perigosos, como a subsidência e/ou colapso do solo, comprometer a qualidade da água de seus aquíferos e degradar o patrimônio espeleológico (VESTENA *et. al.*, 2002).

O presente trabalho tem como objetivo reconhecer os possíveis limitadores ao uso e ocupação do solo em uma área com relevo cárstico e, por meio do mapeamento das feições cársticas existentes gerar um mapa de microzoneamento territorial. Para, deste modo, compatibilizar as necessidades humanas com a sustentabilidade ambiental.

Cerca de 2800 km<sup>2</sup> da região norte da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) estão sobre terrenos cársticos. Abrangendo os municípios de Campo Largo, Campo Magro, Almirante Tamandaré, Colombo, Itaperuçu, Rio Branco do Sul e Bocaiúva do Sul.

A área de estudo encontra-se localizada no município de Campo Magro, Paraná e possui área aproximada de 15 km<sup>2</sup>. A área-alvo é delimitada por um polígono retangular, definido pelos seguintes vértices:

- Superior esquerdo - coordenadas UTM: N 7.195.000, E 656.000;
- Superior direito – coordenadas UTM: N 7.195.000, E 659.500;
- Inferior esquerdo – coordenadas UTM: N 7.192.500, E 656.000;
- Inferior direito – coordenadas UTM: N 7.192.500, E 659.500.

O principal acesso à área, partindo de Curitiba, se dá através da Estrada do Cerne (PR-090), a qual faz a ligação viária entre o Contorno Norte de Curitiba (PR-418) e o município de Campo Magro. A localização da área e suas vias de acesso podem ser observadas no mapa de localização (Fig. 01).

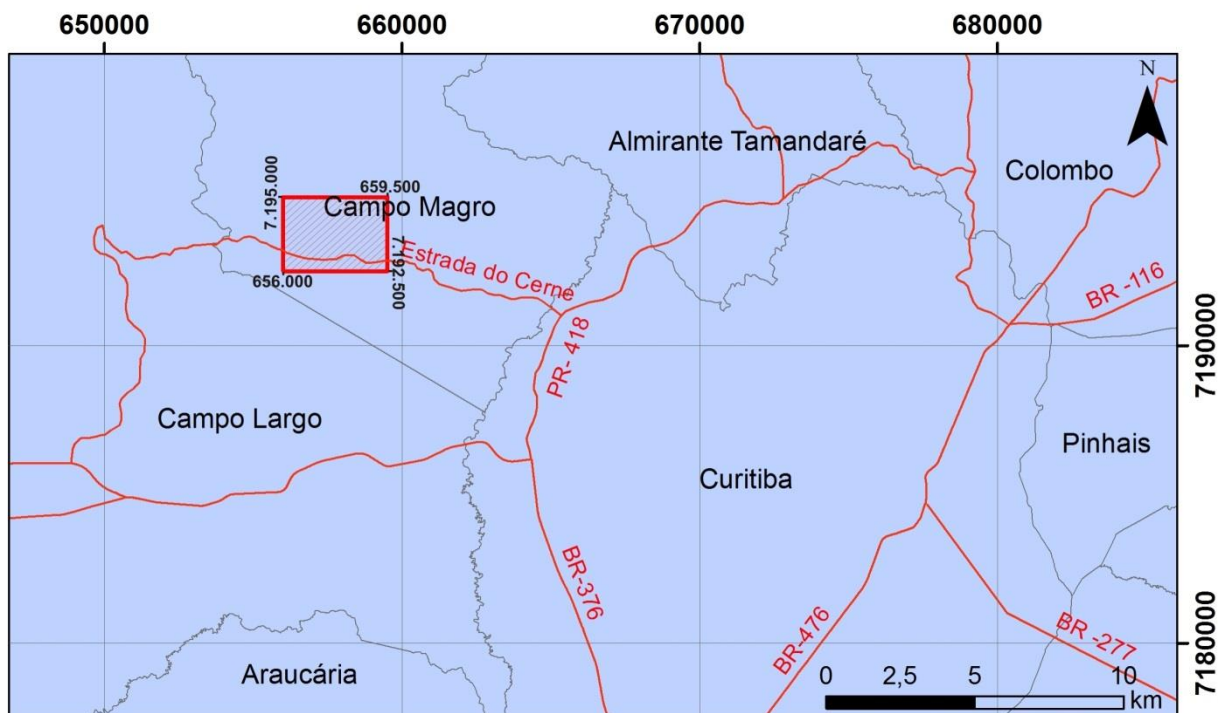


Figura 01: Mapa de localização da área de estudo (retângulo em vermelho), apresentando limites municipais (em cinza), e principais estradas (em vermelho).

## 1.1. CONTEXTO E PROBLEMA

Além dos riscos geotécnicos inerentes às áreas cársticas, também existem fatores ambientais que podem ser impactados com o uso indevido do solo. Um dos principais pontos abrangidos neste enfoque é a degradação da qualidade das águas subterrâneas. Visto que os aquíferos cársticos são classificados como sendo de extrema vulnerabilidade à contaminação pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2015).

A importância do Aquífero Carste para a RMC merece destaque e reforça a necessidade da ocupação orientada destas áreas. Estimativas de Rosa Filho *et. al.* (2002) apontam que este aquífero tem potencial para abastecer até sete milhões de pessoas. Na área alvo deste estudo, existem projetos da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) para a perfuração de oito poços tubulares profundos para atender à demanda do abastecimento público regional.

A ocupação urbana na área de estudo é crescente. Imagens de satélite obtidas em diferentes anos mostram o intenso aumento da urbanização dessa área (fig. 02). Contudo, usos rurais do solo são mais indicados para regiões cársticas,

especialmente quando há riscos geotécnicos e de degradação da qualidade da água de seus mananciais.



Figura 02: Evolução da ocupação na área alvo, comparando a situação no ano de 2005 (à esquerda) com o estado atual, 2017 (à direita). Modificado de Google (2017).

Deste modo, tendo em vista os riscos associados ao ambiente cárstico, sua fragilidade intrínseca e também a importância desse sistema, se faz necessária uma ferramenta de gestão ambiental para viabilizar o desenvolvimento e ocupação sustentável da região.

Neste contexto, Vestena *et. al.* (2002) salienta que planos de uso e ocupação do solo estão entre as principais formas de promover a gestão desses ambientes, conciliando aspectos físicos do meio aos sócios-econômicos.

Atualmente a região de estudo é contemplada por um projeto de macrozoneamento territorial em escala 1:50.000 (COMEC, 2002), porém este tipo de relevo requer escalas de maior detalhe, tendo em vista o fato de que feições cársticas apresentam diferentes escalas de tamanho, variando de poucos centímetros a centenas de metros. De modo que apenas em escala de detalhe é possível conciliar a preservação efetiva do carste e seu aquífero com o desenvolvimento socioeconômico (BELO, 2003).

## 1.2. OBJETIVOS

Objetiva-se produzir um modelo de microzoneamento territorial para a orientação do uso e ocupação do solo em regiões com relevo cárstico, baseado, principalmente, no mapeamento de feições cársticas de escala métrica a decimétricas. Esse modelo será aplicado em uma área alvo localizada no município de Campo Magro, Paraná.

### 1.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar, classificar, medir as feições cársticas da área;
- Gerar um mapa de dolinas na escala 1:10.000;
- Aplicar um modelo de quantificação de vulnerabilidade com base em parâmetros do meio físico,
- Gerar um mapa de zoneamento ambiental em escala 1:10.000, com base em parâmetros quantificados para orientar o uso e ocupação da área, visando minimizar os impactos ambientais e riscos de perdas econômicas e humanas.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

As rochas sobre as quais se desenvolve o relevo cárstico deste projeto estão inseridas no Terreno Curitiba, mais especificamente em rochas metassedimentares da Formação Capiru. Estas unidades encontram-se cortadas por diques subverticais, de tendência NW, da Província Magmática do Paraná. Esta relação pode ser observada na figura 03.

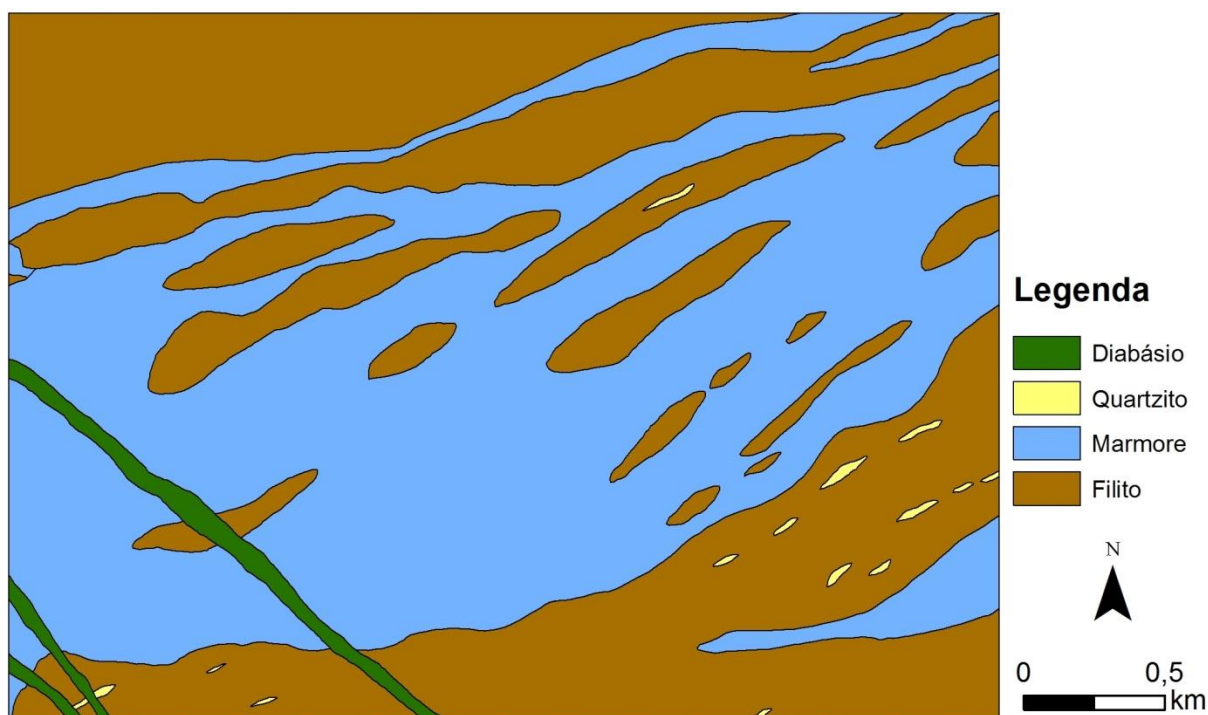


Figura 03: Mapa geológico simplificado da área de estudo, demonstrando a tendência NE das seqüências metassedimentares e NW dos diques de diabásio. Modificado de Fornazzari, 2012.

A Formação Capiru foi descrita inicialmente por Bigarella & Salamuni (1956), e posteriormente definida como a unidade basal do Grupo Açungui (FIORI, 1992).

Esta formação pode ser caracterizada como uma sequência sedimentar, depositada em ambiente plataformar de águas rasas, e posteriormente metamorfizada na fácies xisto verde a sub-xisto verde (CAMPANHA, 1991).

Litologicamente, a Formação Capiru ocorre na forma de quartzitos, metapelitos e mármore dolomíticos, normalmente intercalados entre si e, frequentemente, dobrados e falhados (FIORI, 1992). Enquanto que os diques da Província Magmática do Paraná são compostos por rochas básicas, como diabásio e, em certos casos, gabro (RENNE *et. al.*, 1996).

Os mármore dolomíticos, litotipo sobre o qual desenvolvem-se as feições cársticas que são objetos do estudo atual, apresentam estruturação maciça, por vezes com foliação incipiente e textura granoblástica. Estas rochas apresentam granulação que varia de fina a muito fina e ocorrem comumente em coloração cinza claro a médio. Sua composição mineral é dada, essencialmente, por dolomita e calcita, com baixa porcentagem de filossilicatos, quartzo e traços de pirita (GUIMARÃES, 2001).

A expressão geomorfológica desta sequência é dada pela segmentação do terreno por cristas proeminentes de direção NE formadas por quartzito e de direção NW, representadas pelos diques de diabásio, enquanto que cristas mais suavizadas são geradas em filitos. Já os mármore, normalmente, encontram-se em porções mais abatidas do terreno.

A segmentação apresentada pelas rochas da Formação Capiru apresenta-se também na caracterização do aquífero carste. Onde as células de aquífero cárstico são definidas pelas porções de mármore, que encontram-se limitadas por rochas menos permeáveis, como os diques de diabásio e as cristas de quartzito e filito (Figura 04). A disposição destas rochas geram compartimentos do aquífero, que devido a variação da área dessas células, a heterogeneidade e anisotropia do aquífero, geram grande complexidade no entendimento dos seus parâmetros hidrogeológicos (HINDI *et. al.*, 2002).

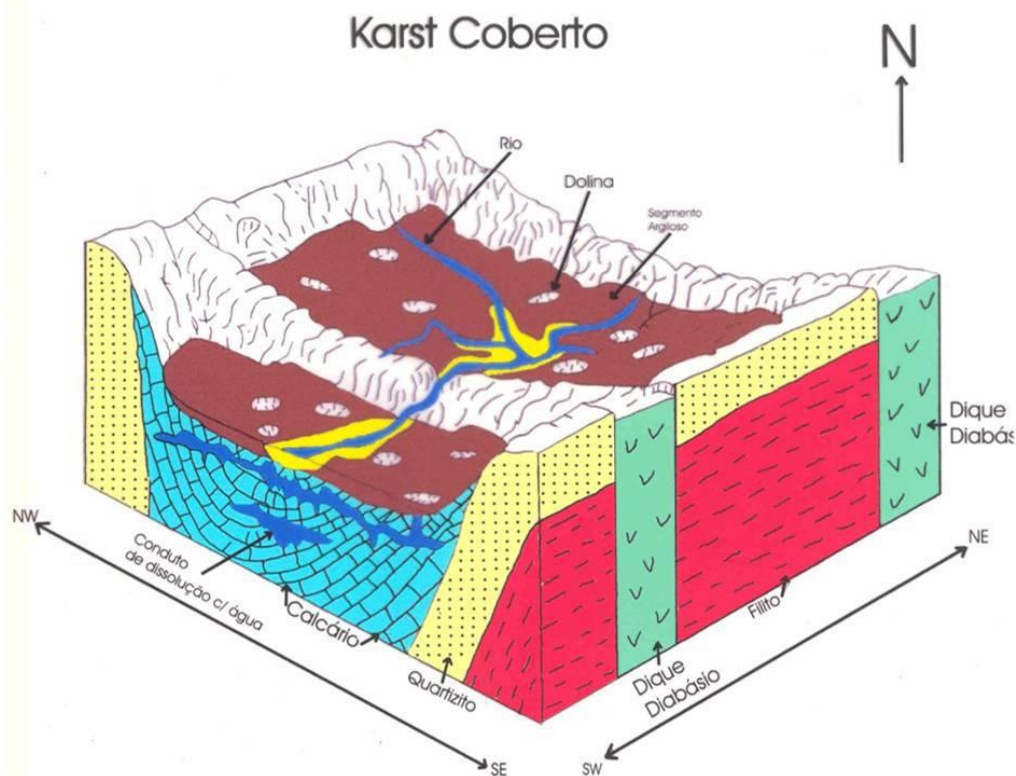


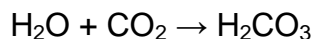
Figura 04: Blocodiagrama demonstrando a compartimentação do aquífero carste, com células losangulares limitadas por diques e camadas de quartzito ou filito. Retirado de Lisboa & Bonacin, 1995.

## 2.2. SISTEMAS CÁRSTICOS

O termo carste é de origem servo-croata (karst) e, originalmente, era utilizado para descrever uma região localizada entre a Itália, Eslovênia e a Croácia, entendida como um campo de pedras calcárias (CHRISTOFOLETTI, 1980). Atualmente, a palavra é empregada para designar paisagens geradas pela dissolução de rochas solúveis, como mármore, calcário, sal, entre outras (VENI, 2001). Este processo de dissolução se manifesta no terreno na forma de dolinas, sumidouros, cavernas, além de uma diversidade de outras feições cársticas

Este processo de dissolução, entretanto, só é efetivo nas rochas carbonáticas na presença de ácido carbônico em solução nas águas que percolam pelas fraturas e descontinuidades das rochas solúveis. O carbono apresenta duas origens principais, a fonte atmosférica, que atua a partir da interação das gotículas de água com o ar, e também os solos, onde a boa parte do dióxido de carbono pode ser solubilizado na água durante a percolação do fluido pelo solo contendo matéria

orgânica. Uma vez presente na água o dióxido de carbono forma o ácido carbônico através das reações (retiradas de Ford e Willians, 2007):



### 2.2.1. FEIÇÕES CÁRSTICAS

Segundo Stokes (2010) o ambiente cárstico pode ser dividido em três partes: (a) exocarste, (b) epicarste e (c) endocarste. Onde feições encontradas na superfície do terreno, independentemente da escala (de lapiás a poljes), estão englobadas no exocarste.

O epicarste pode ser definido como a zona onde estão presentes as aberturas e fraturas alargadas pela dissolução, se estendendo desde a superfície até profundidades de 10 a 30 metros.

Enquanto o endocarste corresponde as feições cársticas que ocorrem em maior profundidade, o que inclui cavernas, espeleotemas e sedimentos de cavernas, por exemplo.

As principais feições cársticas reconhecíveis em campo incluem dolinas, cavernas, sumidouros, nascentes cársticas, além de rochas arredondadas ou esculpidas por dissolução, que podem gerar lapiás. Contudo, outras feições também podem estar presentes em regiões cársticas, como vales secos, fendas, cânions cársticos, *poljés* e espeleotemas (STOKES, 2010). A seguir encontram-se descritas as principais formas desenvolvidas em relevo de carste.

- Dolinas: depressões com formato aproximadamente circular, com tamanho bastante variável, de metros a dezenas de metros (CHRISTOFOLETTI, 1980).
- Uvalas: são depressões alongadas, geradas através da coalescência de dolinas (CHRISTOFOLETTI, 1980).
- *Poljés*: geradas a partir da coalescência de uvalas e dolinas, também são conhecidas como planícies cársticas e se caracterizam por serem

depressões de fundo plano, variando de centenas a milhares de metros de extensão (CARVALHO JÚNIOR *et. al.*, 2008).

- Lapiás: Stokes (2010) as descreve como sulcos superficiais, gerados por dissolução, presentes em rochas calcárias que podem apresentar cristas e calhas angulosas ou arredondadas e que normalmente ocorrem em escalas centimétricas a decimétricas, porém podem alcançar expressão métrica.
- Nascentes cársticas: diferenciam-se de nascentes ordinárias por emergir de condutos cársticos ou cavernas, neste último caso também são conhecidas como surgências (STOKES, 2010).
- Sumidouros: São pontos onde os cursos de água superficiais passam a escoar por dutos subterrâneos (STOKES, 2010).
- Cavernas: podem ser entendidas como leitos subterrâneos dispostos tanto na vertical como na horizontal e apresentando um ou múltiplos níveis. Onde, em algum momento, no passado ou atualmente, ocorreu a circulação de água (CHRISTOFOLETTI, 1980).

### 2.2.2. RISCOS EM AMBIENTES CÁRSTICOS

A exposição ao perigo, perda ou a um evento potencialmente danoso a bens materiais, econômicos e humanos, numa determinada área e em um determinado período de tempo, em função de processos naturais ou associados a atividade humana, pode ser definida como risco (DE CASTRO *et. al.*, 2005).

Segundo Parise (2009) dolinas são um dos principais perigos presentes em regiões cársticas. Estas feições podem se desenvolver através de diferentes processos, por meio do colapso do teto de cavidades subterrâneas (dolinas de colapso), ou simplesmente por meio da dissolução de rochas solúveis (dolinas de dissolução), ou, ainda, podem ser diferenciadas pela presença de cobertura de solo, onde podem ser dolinas de queda (quando o solo é coesivo), ou dolinas de sufosão (onde ocorrem solos não coesivos). Porém, o fator mais importante na avaliação dos riscos associados a dolinas está na velocidade do processo de sua formação. Neste contexto, as mais perigosas são as formadas de maneira abrupta (como as dolinas de colapso e de queda), onde estas podem acarretar riscos a vida humana,

enquanto que as formadas em processos mais lentos mostram sinais de sua formação, assim tornando possível evitar tais riscos ao homem.

Movimentos de massa gravitacionais, além da formação de dolinas, também afetam regiões cársticas, principalmente onde o relevo apresenta alta energia e onde ocorrem cavernas. Neste ambiente ocorrem diversos tipos de movimento de massa, porém, os mais recorrentes são os envolvendo quedas e tombamento de blocos, devido a presença de fendas, entradas de cavernas e ravinas nestas regiões (PARISE, 2009).

Parise (2009) também ressalva a possibilidade de ocorrência de inundações em relevos cársticos, principalmente onde ocorrem poljes ou em porções muito planas. Em situações comuns, o fluxo de água em ambiente cárstico tende a ocorrer principalmente por vias subterrâneas, entretanto, estes condutos apresentam uma capacidade de armazenamento e condutividade limitados, assim sendo, quando este limite é atingido, o fluxo passa a ocorrer na superfície.

Por apresentar conexões diretas entre águas superficiais e subterrâneas, através de dolinas, cavernas, sumidouros ou até mesmo minas, os aquíferos cársticos são especialmente suscetíveis à contaminação (PARISE, 2009). Assim sendo, atividades humanas como a disposição de rejeitos sólidos e líquidos, assim como o uso descontrolado de agroquímicos representam um grande risco quando realizadas em regiões cársticas (MILEK, 2011).

### 2.3 TRABALHOS ANTERIORES

Três trabalhos se destacam no zoneamento territorial na RMC, são eles MINEROPAR (1997), CPRM (1999) e COMEC (2002). O primeiro possui escala 1:20.000 e tem um enfoque geotécnico, avaliando a adequabilidade para loteamentos residenciais, além de indicar restrições, problemas esperados e indicações ao uso do terreno.

CPRM (1999), no Atlas Geoambiental da RMC utilizou o zoneamento territorial com o intuito de fornecer subsídios a gestão ambiental. Tal projeto gerou, entre outros produtos, um mapa geoambiental em escala 1:150.000, através da fotointerpretação, levantamentos de campo e integração de dados pré-existentes. O relatório deste mapa descreve cada domínio geoambiental separadamente, listando

as características do meio físico, particularidades do terreno, seu potencial hídrico e mineral, sugere recomendações para o uso e ocupação do solo, além de classificar a fragilidade do domínio para diferentes usos.

A COMEC (2002) publicou o Mapa de Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo na Região do Karst na RMC, na escala de 1:50.000. Onde sugere a utilização territorial de diferentes maneiras, definindo regiões com restrição a ocupação, áreas onde o uso urbano deve ser revertido pra uso rural, inclusive sugerindo meios para a ocupação orientada em zonas de influencia direta e indireta do carste.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

As atividades deste trabalho tiveram início com a realização da revisão bibliográfica e sensoriamento remoto. Para tanto, foram visados trabalhos acerca de ambientes cársticos, que tratassem sobre zoneamento territorial, gestão pública, e questões ambientais de tal ambiente. Enquanto que o sensoriamento remoto se desenvolveu através de fotos aéreas e imagens de radar.

Uma etapa de campo ocorreu posteriormente, com o intuito de visitar pontos pré-selecionados para a validação das interpretações remotas e, também, para o reconhecimento de problemas ocupacionais existentes na região. Na etapa final do trabalho ocorreu o desenvolvimento da proposta de zoneamento territorial e consequente confecção do mapa de microzoneamento.

#### **3.1 SENSORIAMENTO REMOTO**

Para a fotoanálise utilizou-se três fotografias aéreas em escala 1:25.000, com aquisição no ano de 1980 pelo Instituto de Terras e Cartografia (ITC-PR), identificadas pelos números: 51006, 51007 e 51008. Estas fotos foram disponibilizadas pela Unidade de Serviços Hidrogeológicos da SANEPAR. A fotoanálise foi realizada com o uso de estereoscópio de bolso, e consistiu na identificação e traçado dos limites das dolinas.

As imagens radar utilizadas para o geoprocessamento são oriundas do projeto SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), obtidas a partir do United States Geological Survey (USGS). Estas cenas apresentam pixel de 30 metros, ou 01 arco

segundo da circunferência da terra. A partir destas foi gerado o modelo digital de terreno da região de estudo e também um mapa de declividades.

Para auxílio nas etapas de campo foi confeccionado um mapa base, contendo a localização e vias de acesso da área de estudo, rios, curvas de nível com espaçamento de 5 m. Tais dados foram obtidos dos órgãos PARANACIDADE, IPPUC e SUDERHSA, disponibilizados através do endereço eletrônico do Instituto das Águas do Paraná. No mapa base também foram plotados polígonos representando dolinas, derivados da digitalização das fotografias aéreas.

O processamento digital de imagens de satélite, a confecção do mapa base, do mapa de feições cársticas, do mapa de densidade de dolinas, além do mapa de microzoneamento territorial, foram realizados no *software ArcGIS®*, na versão 9.3.

### 3.2 MÉTODO DE ZONEAMENTO TERRITORIAL

O método utilizado para a realização do microzoneamento foi baseado no utilizado pelo serviço geológico da Columbia Britânica, Canadá, descrito em BCGS, 2001. Escolhido devido a sua praticidade e também pela disponibilidade de dados no atual projeto. Entretanto, adaptações foram feitas para que o método pudesse ser aplicado na área de estudo.

O método de zoneamento territorial é baseado em identificar, medir, mapear e classificar diferentes características do terreno cárstico. Ao final, a sobreposição dos mapas gerados, em diferentes camadas, resultará no mapa de vulnerabilidade do carste, em um sistema que classifica o terreno em polígonos situados dentro de quatro possíveis níveis de vulnerabilidade: baixa, moderada, alta e muito alta.

A primeira etapa deste método consiste no reconhecimento de rochas potencialmente portadoras de relevo cárstico, ou seja, rochas solúveis. Este fator tem caráter eliminatório, selecionando apenas as unidades com possibilidade de desenvolverem relevos cársticos. Desta maneira, o reconhecimento de unidades carbonáticas e não carbonáticas, através da utilização do mapa geológico de detalhe, permitiu tal caracterização.

Também utilizando o mapa geológico como base foi confeccionado o mapa de compartimentação de unidades cársticas. Este mapa tem o objetivo de

demonstrar a continuidade das células cársticas, portanto, a segmentação dos polígonos carbonáticos por objetos geológicos menos permeáveis caracterizam os limites das unidades cársticas.

Na etapa seguinte, foi quantificada a possibilidade do desenvolvimento do carste (PC) no terreno através de uma equação numérica. A qual considera a pureza química da rocha (P), a proporção de rocha solúvel na unidade (BL), a posição topográfica da unidade (TP) e a espessura/continuidade da unidade (UT), conforme tabela 01. Sendo que para cada variável é atribuído um valor entre 1 a 5.

Tabela 01: Variáveis utilizadas na equação de possibilidade de desenvolvimento do carste. Modificada de BCGS, 2001.

<b>Aspecto ambiental</b>	<b>Descrição</b>
Pureza química da rocha	É a valoração da pureza química da rocha, onde 1 é muito impura e 5 é pura.
Proporção de rocha solúvel na unidade	Avaliação da forma como ocorrem as rochas solúveis. 1 quando ocorrem em camadas métricas descontínuas e irregulares; 2 ou 3 quando a rocha solúvel está compreendida em múltiplas camadas interligadas; 4 ocorre quando as rochas solúveis correspondem a uma única camada, mas ainda ocorrem rochas insolúveis intercaladas; 5 corresponde a unidades formada por uma única ou poucas camadas de rochas solúveis.
Posição topográfica da unidade	É a avaliação da posição topográfica, onde 1 representa porções mais baixas e 5 as mais altas.
Espessura/continuidade da unidade	Avaliação da continuidade e espessura da unidade de rocha solúvel. 1 refere-se a unidades sem continuidade e pouco espessas, e o valor 5 é para grandes unidades contínuas.

A aplicação da equação resultou num valor numérico que, posteriormente, foi convertido para intervalos qualitativos, assim, se o resultado for superior a 40 a

unidade apresenta alta possibilidade de desenvolvimento cárstico, se entre 25 e 39 moderada, e abaixo de 25 baixa possibilidade. A equação utilizada é a seguinte:

$$PC = (4 \times P) + (3 \times BL) + (2 \times TP) + (UT)$$

O mapeamento de formas cársticas foi utilizado nas etapas seguintes, onde foi considerada a presença de dolinas, sumidouros, cavernas, nascentes, entre outras feições cársticas.

A avaliação de densidade de feições cársticas na superfície do terreno é um exemplo. O qual dividiu o terreno em quatro classes distintas, segundo o método BCGS (2001), baseando-se na concentração de dolinas presentes no terreno, são elas: Nula – onde não são observadas dolinas numa área de 01 hectare; baixa densidade – entre 01 e 05 dolinas por hectare; moderada densidade – onde existem entre 05 e 10 dolinas por hectare e; alta densidade – onde ocorrem mais de 10 dolinas por hectare no terreno.

O mapa de densidade de dolinas foi construído através de uma malha regular com células de 0,25 hectares, ou seja, retângulos com arestas de 50 metros. Posteriormente, os resultados de densidade obtidos foram convertidos, com o objetivo de que a relação de feições cársticas/hectare, das classes definidas por BCGS (2001), ainda pudesse ser aplicada.

O último mapa utilizado para determinar a vulnerabilidade do sistema cárstico foi o de zona de influência de dolinas. O qual, conforme BCGS (2001), atribui uma faixa de 20 metros de largura, no entorno das dolinas. A partir disso, a identificação da sobreposição de zonas de influência de dolinas distintas foi utilizada como um fator externo para determinar a vulnerabilidade do sistema cárstico. Na prática, a presença de zonas de influência de dolinas sobrepostas resulta no aumento de um nível de vulnerabilidade naquela célula da malha regular.

### 3.3 PROPOSTA DE USO E OCUPAÇÃO

Sugestões para o uso e ocupação do solo foram propostas a partir da constatação do nível de vulnerabilidade do carste, apresentando diferentes medidas para os lugares de baixa, moderada, alta e muito alta vulnerabilidade. Para isso, foi tido como base o trabalho de BCMF (2003), um trabalho complementar ao utilizado

para determinar o método de zoneamento. Onde são explicadas as medidas a serem tomadas para cada situação de vulnerabilidade e configuração ambiental identificadas no zoneamento. Adaptações utilizando trabalhos de uso e ocupação do solo e mapas geoambientais que abrangem a área alvo (COMEC, 2002; MINEROPAR, 1997; CPRM, 1999), além de medidas presentes em planos diretores de municípios afetados pelo carste, também foram consideradas nesta proposta. Para que, deste modo, as medidas estejam condizentes com a realidade local.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 MAPEAMENTO DE FEIÇÕES CÁRSTICAS**

A interpretação por meio de fotografias aéreas possibilitou o reconhecimento de 341 dolinas na área de estudo. Enquanto que a utilização de imagens de satélite se mostrou pouco efetiva para a identificação destas feições na escala utilizada. Isto se deve, provavelmente, a resolução espacial das imagens, visto que o pixel das imagens SRTM apresenta 30 metros de aresta, e como as dolinas possuem diâmetro de alguns metros a poucas dezenas de metros, apenas dolinas de porte excepcional seriam perceptíveis a este método de imageamento.

Outra vantagem que as fotografias aéreas apresentam está na época de sua aquisição, no ano de 1980, pois assim representam o terreno quando a ocupação na área era bastante reduzida. Atualmente, a região encontra-se inteiramente ocupada, seja por zonas urbanas ou agrícolas, o que certamente oculta feições originais do terreno, como por exemplo, dolinas entulhadas e porções terraplanadas do solo.

Durante o desenvolvimento da atividade de campo foi possível perceber que boa parte das dolinas mapeadas por foto aérea encontram-se em áreas atualmente urbanizadas ou ainda campos de plantações. Sendo rara a observação destas depressões no terreno, um dos poucos locais onde é possível reconhecer uma dolina facilmente, dentro da área de estudo, é o ponto 05 da etapa de campo (Figura 05).



Figura 05: Ponto 05 (ver localização no mapa de dolinas, fig. 06) onde se reconhece uma dolina circular, com aproximadamente 20 metros de diâmetro, seu centro encontrava-se inundado, indicando nível estático do aquífero bastante raso.

Outro fator que dificulta o reconhecimento de dolinas no terreno é a grande espessura de solos da região. Áreas próximas a área de estudo e envolvidas em sistemas geológicos, geomorfológicos e climáticos semelhantes comumente apresentam coberturas de solo superiores a 20 metros de espessura. Como, por exemplo, a bacia do rio Tumiri que possui média de cobertura inconsolidada (solo + rocha alterada) de 26 metros (HINDI *et. al.*, 2002).

O mapa de dolinas, resultante da digitalização das fotografias aéreas, somadas aos pontos de campo, dispostos sob o mapa que distingue rochas potencialmente cársticas das não-cársticas, encontra-se na figura 06, apresentada a seguir:

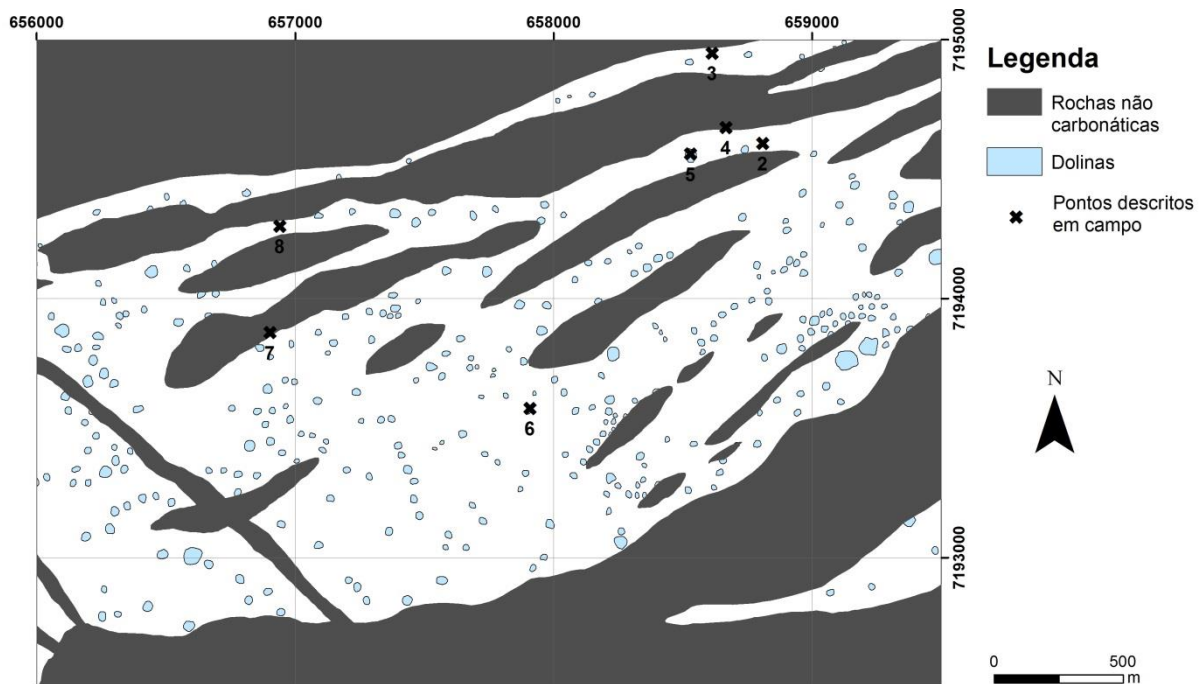


Figura 06: Mapa de dolinas contendo, também, pontos descritos em campo e “máscara” de rochas não carbonáticas.

## 4.2 MAPA DE VULNERABILIDADE POTENCIAL

O mapa de vulnerabilidade potencial é o resultado da sobreposição de diferentes mapas. Como o de unidades potencialmente portadoras de relevo cárstico, o mapa de diferentes unidades cársticas, mapa de condições para o desenvolvimento de carste e o mapa de densidade de dolinas. Cada um destes fatores é apresentado e detalhado nos capítulo seguintes.

### 4.2.1 UNIDADES POTENCIALMENTE CÁRSTICAS

Tendo como base o mapa geológico em escala de detalhe da área alvo, foram separadas as rochas carbonáticas, passíveis de sustentar relevo cárstico, das não carbonáticas, conforme figura 07. Restringindo, deste modo, a atenção à porção com potencial para desenvolvimento de carste.

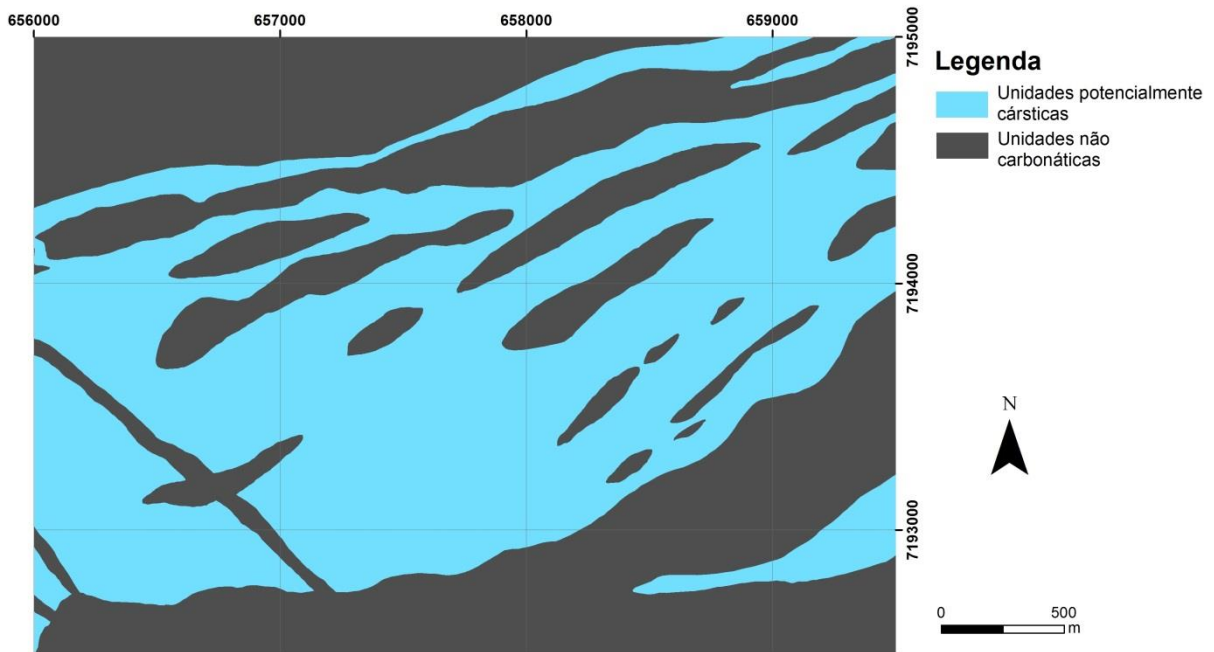


Figura 07: Mapa separando unidades com potencial para desenvolvimento de relevo cárstico de unidades sem esse potencial.

#### 4.2.2 COMPARTIMENTAÇÃO DAS UNIDADES CÁRSTICAS

A utilização do método proposto por BCGS (2001) baseia-se na compartimentação de unidades cársticas, atribuindo um nível de vulnerabilidade para cada uma das unidades. Esta segmentação teve como base a continuidade física das unidades passíveis de desenvolver relevo cárstico, ou seja, os mármores dolomíticos da área. Para tanto, barreiras físicas, tais como diques de diabásio e camadas de filito, foram consideradas como limites responsáveis pela segmentação das unidades carbonáticas.

Deste modo, partindo do mapa geológico em escala 1:10.000 de Fornazzari (2012), foram identificadas 7 unidades potencialmente portadoras de relevo cárstico distintas, como pode ser visto no mapa a seguir (figura 08).

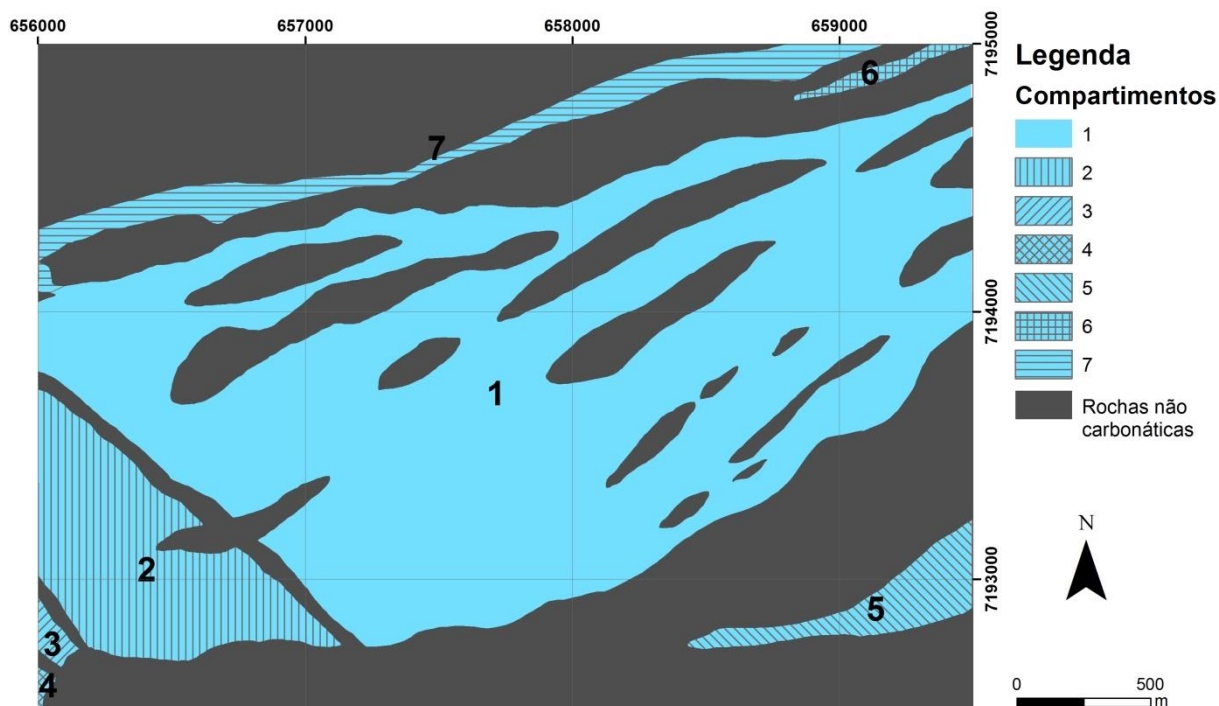


Figura 08: Mapa demonstrando as sete unidades passíveis de apresentarem relevo cárstico.

#### 4.2.3 MAPA DE CONDIÇÃO PARA DESENVOLVIMENTO CÁRSTICO

Este mapa depende de quatro fatores, a pureza química das rochas carbonáticas, a proporção de rochas carbonáticas da unidade, a posição topográfica da unidade e a continuidade/espessura da unidade.

A determinação da pureza química dos mármore dolomítico foi retirada do trabalho de Guimarães (2001), que caracteriza quimicamente metadolomitos da Formação Capiru de uma área próxima à deste projeto.

Não foi possível diferenciar a composição química de cada uma das unidades potencialmente cársticas, deste modo todas receberam a mesma avaliação, de 05, numa escala de 01 a 05. Pois, como Guimarães (2001, p. 62) demonstra, estes mármore apresentam uma baixa porcentagem de sílica (normalmente inferior a 20%), com elevados valores de cálcio e magnésio, comumente ultrapassando 90% da composição total da rocha.

Com relação à proporção de rochas carbonáticas, estas unidades também receberam valoração máxima, de 05, devido ao fato dos níveis carbonáticos serem maciços, sem intercalações com níveis não solúveis em escala métrica ou de afloramento.

O único fator utilizado na equação de BCGS (2001) que apresentou mudanças entre as diferentes unidades foi o de espessura/continuidade. Onde ocorreram variações de 01 a 05. Adotadas com base o tamanho relativo da área entre as diferentes células cársticas.

Já a determinação do valor do fator posição topográfica possui difícil quantificação, pois BCGS (2001) não deixa claro o que caracteriza cada um dos níveis dentro deste fator. Apenas menciona que este aspecto é relacionável a propensão de circulação de água na unidade, sendo favorecido quando situadas abaixo de encostas de mais altas declividades. Tal configuração é comumente observada na área alvo, onde unidades terrígenas ou vulcânicas estão em contato com mármores. Deste modo as unidades devem apresentar valores próximos a 05 neste quesito.

Entretanto, independentemente dos valores adotados para a posição topográfica, o resultado de todas as unidades se situam acima de 40 quando aplicados na equação PC, como apresentado na figura 09. Demonstrando que este método não é efetivo na escala utilizada.

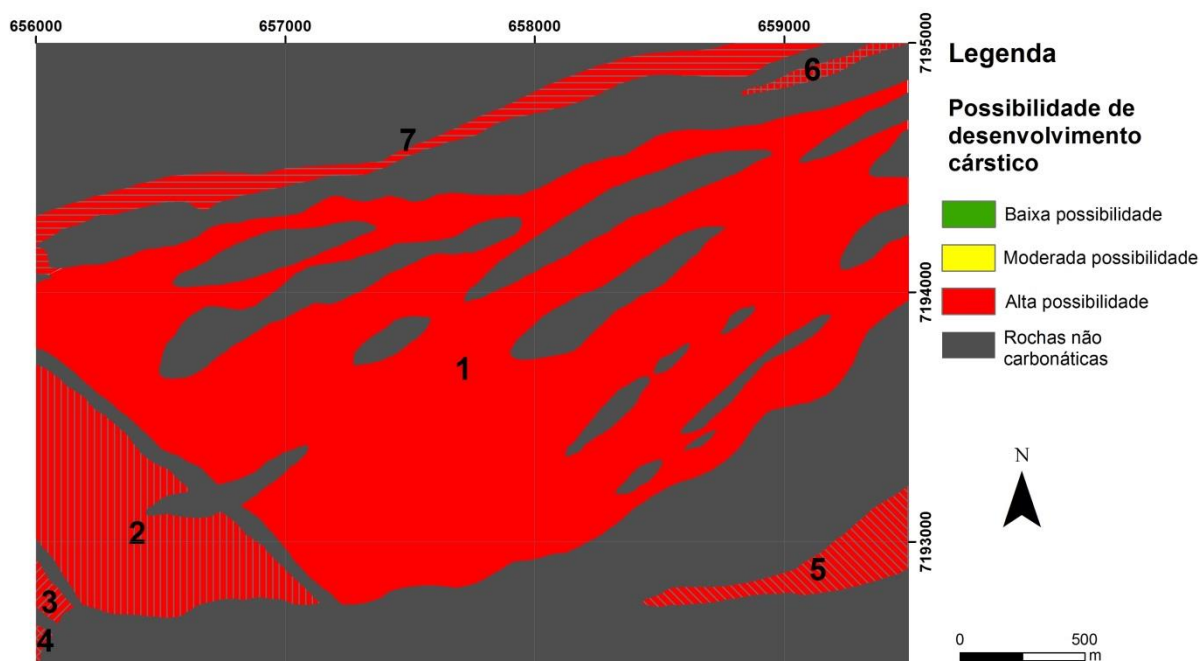


Figura 09: Mapa de possibilidade de desenvolvimento de relevo cárstico.

#### 4.2.4 MAPA DE DENSIDADE DE DOLINAS

O mapa de densidade de dolinas teve como base para sua confecção o mapa de dolinas, anteriormente apresentado. Tendo a densidade calculada a partir da contagem das feições cársticas em uma malha regular quadrada com espaçamento de 50 metros entre linhas, portanto com células de 0,25 ha.

Foram obtidos valores entre 00 e 12 dolinas por hectare. Os quais foram agrupados em intervalos pré-determinados pela BCGS (2001), como já apresentado anteriormente. A representação da abrangência espacial de cada um destes intervalos resultou no mapa de densidade de dolinas, apresentado na figura 10.

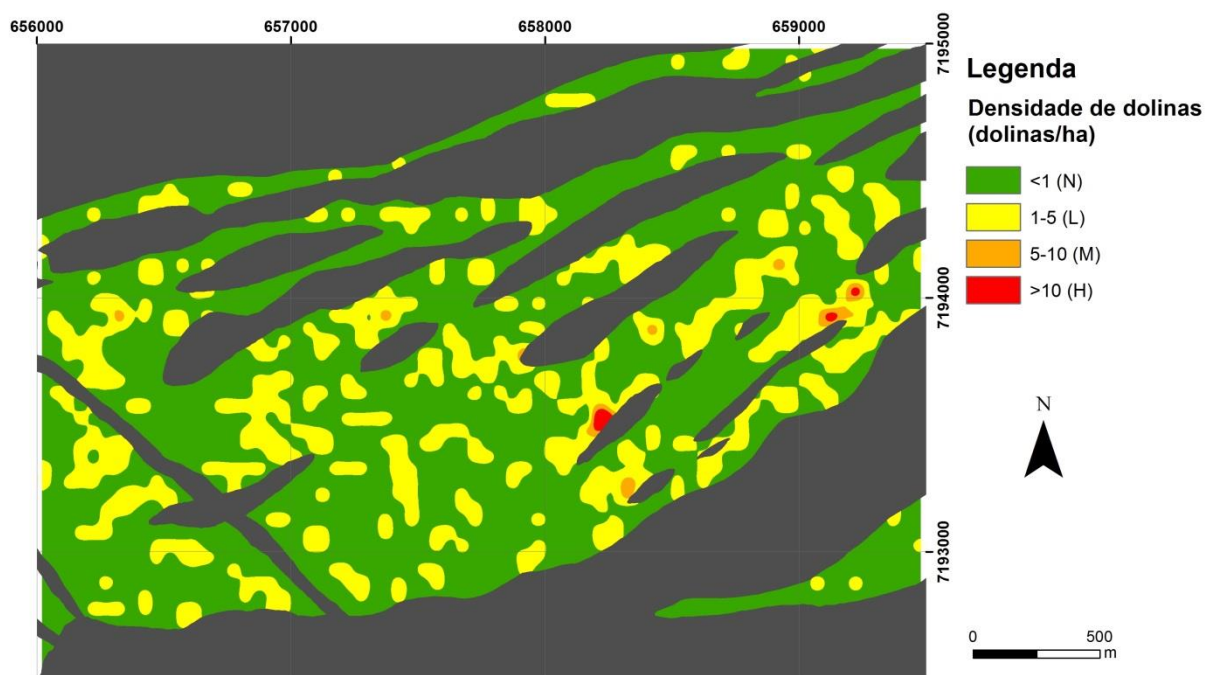


Figura 10: Mapa de densidade de dolinas.

#### 4.3.4 MAPA DE ZONEAMENTO TERRITORIAL

A compilação dos dados gerados nos diferentes dados deste projeto, à exceção o mapa de condição para desenvolvimento cárstico, resultou no mapa de zoneamento de uso territorial (Anexo I). O qual expressa, por meio de polígonos, a espacialização das classes de vulnerabilidade e, conseqüentemente, as finalidades recomendadas para cada porção do terreno. As recomendações de uso e ocupação para cada nível de vulnerabilidade proposto encontram-se na tabela 02, e são baseadas em diversos autores (MINEROPAR, 1997; CPRM, 1999; COMEC, 2002; BCMF, 2003).

Tabela 02: Recomendações para uso territorial em cada um dos níveis de vulnerabilidade do sistema cárstico

<b>Nível de Vulnerabilidade</b>	<b>Recomendação de uso</b>
Baixa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adequado a agricultura. Com uso de herbicidas permitido, desde que com o devido cuidado, considerando níveis de toxicidade. Não utilizar aplicação aérea;</li> <li>• Inadequado a locação de depósitos de rejeitos;</li> <li>• Inadequado a instalação de indústrias;</li> <li>• Adequado para obras viárias.</li> </ul>
Moderada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adequado a agricultura. Com uso de herbicidas permitido, desde que com o devido cuidado, considerando níveis de toxicidade. Não utilizar aplicação aérea. Não aplicar herbicidas nas proximidades de dolinas e drenagens;</li> <li>• Adequado a ocupação urbana, com adequação de tamanho mínimo de lote e adequação de descarga de efluentes;</li> <li>• Inadequado a locação de depósitos de rejeitos;</li> <li>• Inadequado a instalação de empreendimentos minerários;</li> <li>• Inadequado a instalação de indústrias;</li> <li>• Adequado para obras viárias, onde não ocorra o transporte de produtos perigosos.</li> </ul>
Alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adequado a agricultura desde que sem aplicação de herbicidas;</li> <li>• Inadequado a ocupação urbana;</li> <li>• Inadequado a locação de depósitos de rejeitos;</li> <li>• Inadequado a instalação de empreendimentos minerários;</li> <li>• Inadequado a instalação de indústrias poluidoras;</li> <li>• Inadequado para obras viárias</li> </ul>
Muito alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inadequada a agricultura;</li> <li>• Inadequado a ocupação urbana;</li> <li>• Inadequado a locação de depósitos de rejeitos;</li> <li>• Inadequado a instalação de empreendimentos minerários;</li> <li>• Inadequado para obras viárias.</li> </ul>

No mapa ainda encontram-se polígonos representando Áreas de Proteção Permanente (APP), conforme Lei nº 12.727 (BRASIL, 2012). Na área alvo, sobre rochas carbonáticas, se fazem presentes APPs de faixas marginais de cursos d'água, as quais apresentam 30 metros de largura, em correspondência com o proposto pela lei em função da largura dos canais.

Dolinas também estão plotadas no mapa de zoneamento e representam áreas totalmente restritivas. Sobre o polígono representando da dolina, e uma zona de influencia de 20 m, não se deve promover nenhum tipo de uso ou ocupação humana (BCMF, 2003).

## **5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES**

Ao comparar o mapa de zoneamento gerado neste projeto com os demais trabalhos acerca do zoneamento territorial da RMC fica evidente a influência da escala de trabalho nestes produtos. Sendo possível reconhecer que o anterior trabalho de maior detalhe (MINEROPAR, 1997), 1:20.000, é o que apresenta maior semelhança na disposição dos polígonos com relação ao mapa do presente relatório (1:10.000).

Fatores como ocupação, resolução espacial de imagens e cobertura de solo limitam o reconhecimento preciso de feições cársticas. Entretanto a fotografia aérea se mostrou uma boa ferramenta no mapeamento de dolinas. Enquanto o campo, apesar de bastante limitado devido à ocupação, apresentou importância para confirmar e detalhar as informações levantadas na fase de sensoriamento remoto.

O mapa de potencial para desenvolvimento de carste não apresentou resultado satisfatório quando aplicado em uma área reduzida (15 km<sup>2</sup>). Pois sua utilização não permitiu discriminar porções do terreno com características distintas. A aplicação deste método requer regiões de maior abrangência espacial, onde ocorram variações significativas nas configurações das unidades carbonáticas.

Com base nos resultados obtidos e observações de campo também foi possível concluir que a ocupação irregular é um problema bastante significativo na região, visto que existem residências em áreas de preservação permanente, bem como obras potencialmente poluidoras, como um cemitério localizado sobre zona cárstica. O que reforça a necessidade de zoneamento territorial como ferramenta na gestão pública.

## REFERÊNCIAS

- BCGS – British Columbia Geological Surveys. 2001. **Karst inventory standards and vulnerability assessment procedures for British Columbia**. Government publications centre. 122 p.
- BCMF – British Columbia Ministry of Forest. 2003. **Karst management handbook for British Columbia**. Victoria, BC. 69 p.
- BELO, B.P. 2003. **Natural Hazaed Mitigation Planning for Karst Terrains in Virginia**. Dissertação de mestrado. Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University.
- BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R. 1958. **Contribuição à geologia da região sul da série Açungui(Estado do Paraná)**. Boletim Paulista de Geografia. São paulo, n. 29. p. 3-19.
- BRASIL. **Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012**. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília.
- CAMPANHA, G.A.C. 1991. **Tectônica proterozóica no alto e médio Vale do Ribeira, estados de São Paulo e Paraná**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- CARVALHO JÚNIOR, O. A. 2008. **Ambientes Cársticos**. In: FLORENZANO, T.G Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais. São Paulo: Oficina de Textos. p. 185-218.
- CHRISTOFOLETTI, A. 1980. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher,
- COMEC- Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba & Consórcio Procesi Engenharia Hidráulica e Ambiental e Earth Tech Brasil. 2002. **Zoneamento de uso e ocupação do solo da área de Karst na Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba.
- CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 1999. **Atlas geoambiental da Região Metropolitana de Curitiba – subsídios ao planejamento territorial**. Escala 1:150.000. São Paulo.

DE CASTRO, C.M.; DE OLIVEIRA PEIXOTO, M.N.; DO RIO, G.A.P. 2005. **Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 28, n. 2, p. 11-30.

FIORI, A. P. 1992. **Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui – PR**. Boletim do Instituto de Geociências. Série Científica, São Paulo, v. 23, p. 55-74.

FORNAZZARI – Consultoria Geológica ambiental. 2012. **Estudo geológico-hidrogeológico e de formas cársticas das áreas de interesse do aquífero karst em Campo Magro-PR**. 34 p.

FORD, D.; WILLIAMS, P. 2007. **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. John Wiley & Sons Ltda. p. 47-49.

GOOGLE. 2017. **Google Earth**. Versão 7.1.

GUIMARÃES, S.B. 2001. **Os metadolomitos da região de Morro Azul-PR: características geológicas do minério explorado**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná.

HINDI, E.C.; DA ROSA FILHO, E.F.; DE LUCENA, L.R.F.; BITTENCOURT, A.V.L.; MANTOVANI, L.E.; XAVIER, J.M.; GIUSTI, D.A. 2002. **Características hidrogeológicas do aquífero cárstico em Colombo (pr) e impactos ambientais resultantes da sua exploração**. Águas Subterrâneas, n. 1.

LISBOA, A. A.; BONACIM, E. A. 1995. **Sistema aquífero cárstico: reservatório elevado da Região Metropolitana de Curitiba**. Revista SANARE. nº 4. Curitiba.

MILEK, Cristiano Bernardo. 2011. **Avaliação do risco de contaminação da água subterrânea em uma área urbana do aquífero carste em Almirante Tamandaré**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná – UFPR.

MINEROPAR. 1997. **Mapa de adequabilidade para loteamentos residenciais**. Escala 1:20.000. Curitiba

MMA- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2015. **Carta das Águas Subterrâneas do Paraná**. Brasil. Escala 1:650.000.

PARISE, Mario. 2010. **Hazards in karst**. Sustainability of the karst environment. Dinaric karst and other karst regions. IHP-UNESCO, Series on Groundwater, n. 2, p. 155-162.

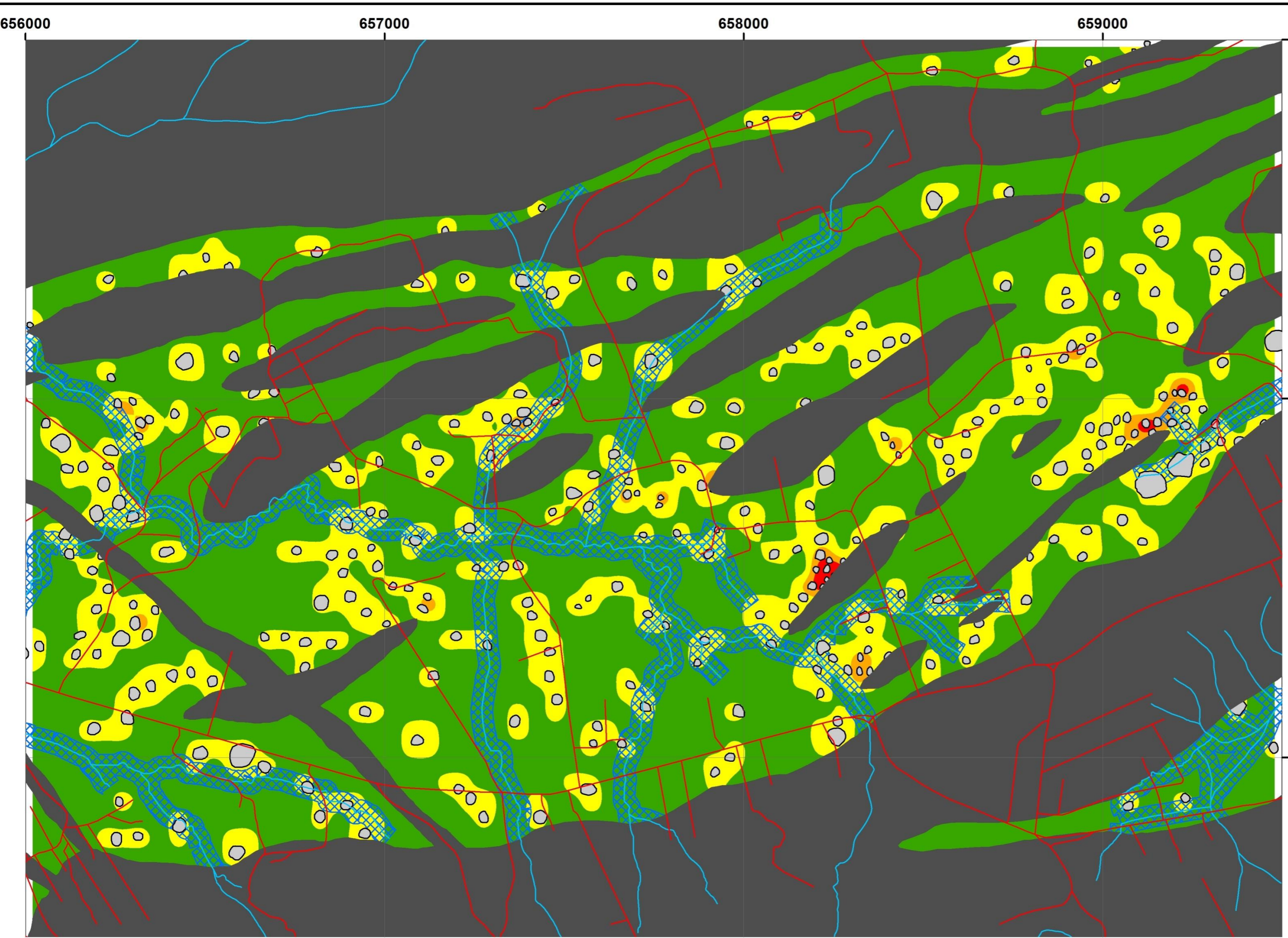
RENNE, P.; DECKART, K.; ERNESTO, M.; FÉRAUD, G.; PICCIRILLO, E.M. 1996. **Age of the Ponta Grossa dike swarm (Brazil), and implications to Paraná flood volcanism**. Earth and Planetary Science Letters 141, 199-211.

ROSA FILHO, E. F.; HINDI, E. C; LUCENA, L. R. F. 2002. **Os Aqüíferos que Contribuem no Abastecimento da Cidade de Curitiba - Paraná**. Águas Subterrâneas nº 16/ Maio 2002, p. 1-6.

STOKES, T.; GRIFFITHS, P.; RAMSEY, C. 2010. **Karst Geomorphology, Hydrology, and Management**. Compendium of forest hydrology and geomorphology in British Columbia. BC Min. For. Range, v. 66, p. 373.

VENI, G. 2001. **Living with karst**. American Geological Institute.

VESTENA, L.R.; KOBAYAMA, M.; SANTOS, L.J.C. 2002. **Considerações Sobre Gestão Ambiental em Áreas Carste**. R. RA' EGA (UFPR), v. 4, n. 6, p. 81-94.



### Legenda

#### Níveis de vulnerabilidade

- Baixa vulnerabilidade
- Moderada vulnerabilidade
- Alta vulnerabilidade
- Muito alta vulnerabilidade

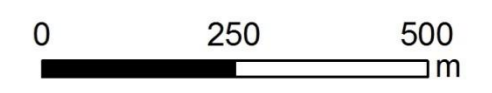
Área de Preservação Permanente

#### Geologia

- Dolinas
- Rochas não carbonáticas

#### Planimetria

- Estradas
- Rios



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**Projeto:** Mapeamento de formas cársticas para microzoneamento de uso territorial em região de carste, aplicado ao município de Campo Magro-PR

<b>Disciplina:</b> Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)	<b>Data:</b> 2017
<b>Autor:</b> Saulo Vila Lobus Strapasson	<b>Orientadores:</b> Eduardo Chemas Hindi Marcos Justino Guarda
<b>Escala:</b> 1:10.000	