



Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Geociências  
Programa de Pós-Graduação em Geologia



## DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

### **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO E DESEMPENHO HÍDRICO DAS DEPRESSÕES CÁRSTICAS DA REGIÃO DA APA CARSTE LAGOA SANTA (MG)**

**Autor:** Diógenes Guilherme Pampolini Amaral

**Orientadora:** Leila Nunes Menegasse Velásquez

Nº:195

BELO HORIZONTE  
21 de Dezembro 2018



DIÓGENES GUILHERME PAMPOLINI AMARAL

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO E DESEMPENHO  
HÍDRICO DAS DEPRESSÕES CÁRSTICAS DA REGIÃO DA  
APA CARSTE LAGOA SANTA (MG)**

Instituto de Geociências

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geologia.

**Área de Concentração:** Geologia Econômica

**Orientador:** Prof. Dra. Leila Nunes Menegasse Velásquez

Belo Horizonte - MG  
2018

A485a    Amaral, Diógenes Guilherme Pampolini.  
2018        Análise do comportamento e desempenho hídrico das depressões  
              cársticas da região da APA Carste Lagoa Santa (MG) [manuscrito] /  
              Diógenes Guilherme Pampolini Amaral – 2018.  
              141f., enc. (principalmente color.)

Orientadora: Leila Nunes Menegasse Velásquez.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais,  
Instituto de Geociências, 2018.  
Área de concentração: Geologia Econômica e Aplicada.  
Bibliografia: f. 115-125.  
Inclui anexos.

1. Hidrogeologia – Teses. 2. Geoprocessamento – Teses. 3. Sistemas  
de informação geográfica – Teses. 4. Análise multivariada – Teses. 5.  
Carste – Lagoa Santa (MG) – Teses. I. Velásquez, Leila Nunes  
Menegasse. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de  
Geociências. III. Título.

CDU: 556.3 (815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Análise do Comportamento e Desempenho Hídrico das Depressões Cársticas da Região da APA Carste Lagoa Santa (MG).**

**DIÓGENES GUILHERME PAMPOLINI AMARAL**

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA ECONÔMICA E APLICADA.

Aprovada em 21 de dezembro de 2018, pela banca constituída pelos membros:

Profa. Leila Nunes Menegasse Velásquez - Orientadora  
UFMG

Prof. Paulo Henrique Ferreira Galvão  
UFOP

Prof. Paulo César Horta Rodrigues  
CDTN

Prof. José Eugênio Cortes Figueira  
UFMG

Belo Horizonte, 21 de dezembro de 2018.

“Não to mandei eu?  
Esforça-te, e tem bom ânimo;  
Não temas, nem te espantes;  
Porque o Senhor teu Deus é contigo;  
Por onde quer que andares”

Josué 1:9

## AGRADECIMENTOS

---

Agradeço a Deus, Jesus, Nossa Senhora e a todos os mentores espirituais que harmonizaram meus pensamentos e me amparam direta e indiretamente, nesse trabalho.

Agradeço a professora Dra. Leila Nunes Menegasse Velásquez pelo intenso auxílio com muita paciência, carinho, fomento, comentários e sugestões técnicas essenciais durante esse projeto.

À minha família, principalmente minha mãe Gina Maria Pampolini Daniel e minha irmã, Izabela Mariane Pampolini Daniel pelas atenções e preocupações.

À minha amada Priscila Ferreira do Amaral pelo carinho, cuidado, presença, pelas preocupações diárias, diálogos e conselhos que sempre me confortam. E a toda sua família pelo incentivo nessa trajetória de muito aprendizado e mudanças.

Agradeço ao geólogo Dr. Paulo César Horta Rodrigues pela imprescindível e inestimada colaboração desde o início ao fim na produção desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela concessão da bolsa (Código de Financiamento 001) durante todo o período de estudos do mestrado, sem esse auxílio não teria conseguido.

Ao Instituto de Geociências (IGC) e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) pela infraestrutura, biblioteca e subsídio na realização desse trabalho sob o amparo e máximo conforto. Em especial ao William da secretaria da Pós pelo exemplar profissionalismo e ajudas.

Ao Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN) e demais colaboradores. Em especial ao Paulo Rodrigues e Peter Marshall Flemming.

Ao professor Dr. Jarbas Lima Dias Sampaio pelo apoio, prestatividade e ensinamentos.

À doutora Isabela Claret Torres pelos ensinamentos com paciência e bom coração acerca da estatística multivariada.

Ao professor Paulo Cyro Baptista Scudino e geólogo Milton Pereira Filho pelo ensino e inspiração em hidrogeologia.

Aos meus grandes novos amigos na UFMG, Rodrigo Sérgio de Paula, Pedro Henrique Pereira da Silva, Carolina Gomes Ribeiro, Luisa Costa Martins Vieira, Isabela Britto, Juliana Rosenberg, Maria Clara, Maria Isabel, Rogério Tadeu, Rafael de Magalhães, Arnon Costa, Jane e Jéssica, Leovigínio... Enfim, a todos que auxiliaram com dicas, ensinamentos, tutoriais e companheirismo nas análises, interpretações e trabalhos de campo.

*Finis Coronat Opus*

## RESUMO

---

Sob a ótica da singular geomorfologia e hidrogeologia cárstica, o presente estudo apresenta as investigações morfométricas e hídricas realizadas nas depressões cársticas da região da APA Carste Lagoa Santa – Minas Gerais, que afloram predominantemente nas rochas pelito-carbonáticas das formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena do Grupo Bambuí. Essas feições dissolutivas desempenham relevante papel ambiental semelhantes a bacias hidrográficas favorecendo a concentração de águas meteóricas e superficiais dando origem a lagoas e ou realizando a recarga hídrica dos níveis subterrâneos. As técnicas de geoprocessamento combinadas com sensoriamento remoto permitiram a detecção de 393 depressões cársticas através do Modelo Digital de Elevação (MDE) derivado de uma imagem do satélite ALOS PALSAR. A classificação supervisionada por meio do algoritmo classificador da Máxima Verossimilhança em imagens multiespectrais dos satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI/TIRS, coloridas a partir da composição de bandas espectrais, apresentou resultado de classificação excelente via Coeficiente de Kappa e Acurácia Global acima de 90%. Essa técnica identificou áreas de espelhos d'água no interior das depressões cársticas em quatro períodos hidrológicos distintos, consistindo de uma adequada ferramenta utilizada para avaliar o comportamento hídrico das consideradas depressões cársticas. As análises e investigações por instrumento da estatística multivariada permitiram constatar similaridades e correlações entre as propriedades morfométricas pertinentes à forma e evolução das depressões com os parâmetros morfoestruturais. Os resultados das Análises Fatoriais e dos Componentes Principais mostraram que as depressões situadas em menores cotas topográficas, com declividade mais suaves e com formas mais irregulares são as favoráveis ao acúmulo de água e possuem lagoas após a estação chuvosa em ano pluviométrico normal (2010) ou atipicamente seco (2014). E as depressões com grandes extensões, mais profundas, expressiva área de maciços calcários em seus interiores e considerado padrão estrutural (marcado pela porosidade secundária) são as com presença de lagos perenes, que tendem a não se secarem totalmente ao final do período de estiagem mesmo em ano com excepcional crise hídrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Depressões Cársticas, APA Carste Lagoa Santa, SIG, Espelhos d'Água, Geoprocessamento, Análise Multivariada.

## ABSTRACT

---

From the unique karst hydrogeology and geomorphology's perspective the present study aims to investigate the morphometric and hydrogeological features of karst depressions in the Lagoa Santa Environmental Protection Area (APA) Karst – Minas Gerais, that outcrop predominantly in the pelitic-carbonate rocks from the Sete Lagoas and Serra de Santa Helena Formations, Bambuí Group. These dissolving features play an important role, similar to the watersheds favoring the concentration of meteoric and surface waters giving rise to lagoons and performing water recharge of underground levels. Geoprocessing techniques coupled with remote sensing allowed the detection of 393 karst depressions using the Digital Elevation Model (DEM) through an ALOS PALSAR satellite image. The supervised classification per maximum likelihood algorithm in multispectral images from Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI/TIRS satellites, coloured via band composition, showed excellent classification as a result, according to the Kappa Coefficient and Global Accuracy over 90%. This technique identified water mirror areas inside karst depressions over four different hydrological periods, making it a suitable tool to appraise the karst depressions' hydric behaviour. Similarities and correlations between morphometric features related to the karst depression's shape and evolution were verified by analyses and investigations using multivariate statistics. Considering structural patterns (marked by secondary porosity), results from Factorial Analysis and Main components showed that large depressions, with greater depth and significant limestone massif inside, were the ones containing perennial lakes, that they may not dry out completely at the end of the drought period even in the year with exceptional water crisis.

**KEY WORDS:** Sinkholes, Lagoa Santa Environmental Protection Area, GIS, Water Mirror, Geoprocessing, Multivariate Analysis.

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS.....	2
3	JUSTIFICATIVA.....	2
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
4.1	ESTUDOS CARSTOLÓGICOS.....	3
4.2	CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE CÁRSTICO.....	6
4.3	REGIÃO DA APA CARSTE de LAGOA SANTA.....	11
4.4	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS (PDI).....	14
5	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	16
5.1	GEOLOGIA.....	17
5.2	GEOLOGIA TECTONO-ESTRUTURAL.....	19
5.3	HIDROGRAFIA.....	20
5.4	HIDROGEOLOGIA.....	23
5.5	GEOMORFOLOGIA.....	24
5.6	CLIMA.....	25
6	MATERIAIS.....	29
7	MÉTODOLOGIA.....	30
7.1	IDENTIFICAÇÃO E DETECÇÃO DAS DEPRESSÕES CÁRSTICAS.....	31
7.2	IDENTIFICAÇÃO E DETECÇÃO DOS ESPELHOS D'ÁGUA.....	43
7.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA.....	48
8	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
8.1	IDENTIFICAÇÃO E DETECÇÃO DAS DEPRESSÕES CÁRSTICAS.....	52
8.2	IDENTIFICAÇÃO E DETECÇÃO DOS ESPELHOS D'ÁGUA.....	74
8.3	COMPORTAMENTO HÍDRICO DAS DEPRESSÕES CÁRSTICAS.....	87
9	CONCLUSÃO.....	112
10	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	114
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115
	ANEXO – TABELA DESCRITIVA DAS DEPRESSÕES CÁRSTICAS.....	126

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 - Classificação genética de dolinas. ....	8
Figura 4.2 – Modelo esquemático de evolução de feições cársticas.....	10
Figura 5.1 - Localização da área de estudo .....	16
Figura 5.2 - Mapa geológico da área de estudo.....	17
Figura 5.3 - Mapa Hidrográfico da área de estudo.....	22
Figura 7.1 - Fluxograma das atividades sequenciais do estudo realizado.....	31
Figura 7.2 - Variável declividade.....	36
Figura 7.3 – Eixos de Alongamento no interior de depressões cársticas .....	39
Figura 7.4 – Eixos Principais no interior de depressões cársticas.....	41
Figura 7.5 - Eixos de Alongamento dos espelhos d'água em abril 2010.....	48
Figura 8.1 – Mapa resultante da etapa de aferição das depressões detectadas.....	53
Figura 8.2 – Mosaico de fotografias de depressões visitadas recentemente secas.....	54
Figura 8.3 – Mosaico de fotografias de depressões visitadas com maciços calcários rochosos .....	55
Figura 8.4 – Mosaico de fotografias de depressões com presença de espelhos d'água.....	55
Figura 8.5 – Mapa resultante da etapa de validação das depressões em campo. ....	56
Figura 8.6 - Histograma dos valores de Área das depressões cársticas .....	58
Figura 8.7 – Classificação das depressões cársticas segundo o parâmetro Área .....	59
Figura 8.8 - Histograma dos valores de Perímetro das depressões cársticas .....	61
Figura 8.9 - Histograma dos valores de Cota Topográfica das depressões cársticas .....	62
Figura 8.10 - Histograma dos valores de Profundidade das depressões cársticas.....	64
Figura 8.11 - Histograma dos valores de IC das depressões cársticas .....	65
Figura 8.12 - Histograma dos valores de Declividade Média das depressões cársticas.....	66
Figura 8.13 – Frequência das classes de Declividade Média das depressões cársticas.....	67
Figura 8.14 – Mapa com depressões cársticas classificadas pelo parâmetro Declividade Média. .	68
Figura 8.15 - Depressões cársticas com seus respectivos Eixos de Alongamento.....	69
Figura 8.16 - Histograma dos valores de IE das depressões cársticas .....	71
Figura 8.17 - Histograma dos valores de Área de Maciços no interior das depressões cársticas ...	73
Figura 8.18 – Mapa geológico exibindo maciços rochosos e depressões cársticas .....	73
Figura 8.19 - Gráfico de setores da frequência de depressões cársticas por litologia.....	74
Figura 8.20 - Composição de bandas espectrais coloridas das cenas Landsat. ....	76
Figura 8.21 - Resultados da classificação supervisionada das cenas Landsat .....	77
Figura 8.22 - Espelhos d'Água nos quatro períodos hidrológicos distintos .....	83

Figura 8.23 –Eixos de Alongamento dos Espelhos d'Água em abril de 2010 .....	86
Figura 8.24 - Gráfico de Dispersão das 393 depressões cársticas: Área x Profundidade x Presença de Maciços Rochosos .....	90
Figura 8.25 - Gráfico de Dispersão das 393 depressões cársticas: Área x IE x IC. ....	91
Figura 8.26 - Dendrograma da Análise Hierárquica de Variáveis das 393 depressões cársticas....	92
Figura 8.27 - Gráfico dos Eixos das Cargas Fatoriais dos parâmetros das 393 depressões cársticas na Análise de Componentes Principais .....	96
Figura 8.28 - Gráfico de Escores das 393 depressões cársticas classificadas segundo a presença de espelhos d'água em abril de 2010 na Análise de Componentes Principais. ....	97
Figura 8.29 - Gráfico de Escores das 393 depressões cársticas classificadas segundo o Tipo Hídrico em 2010 na Análise de Componentes Principais. ....	98
Figura 8.30 - Diagramas de Rosetas dos Eixos Principais das 393 depressões cársticas e Eixos de Alongamento dos 46 espelhos d'água em abril de 2010. ....	101
Figura 8.31 – Dendrograma da Análise Hierárquica de Variáveis das 46 Depressões com espelhos d'água.....	103
Figura 8.32 - Gráfico de Eixos da Carga Fatorial dos parâmetros das 46 depressões cársticas com espelhos d'água em abril de 2010 na Análise de Componentes Principais .....	107
Figura 8.33 - Gráfico de Escores das 46 depressões cársticas com espelhos d'água em abril 2010 classificadas segundo o Tipo Hídrico em 2010 na Análise de Componentes Principais. ....	108
Figura 8.34 - Gráfico de Eixos da Carga Fatorial dos parâmetros das 26 depressões cársticas com espelhos d'água em abril de 2014 na Análise de Componentes Principais .....	111
Figura 8.35 - Gráfico de Escores das 26 depressões cársticas com espelhos d'água em abril 2014 classificadas conforme o Tipo Hídrico em 2014 na Análise de Componentes Principais .....	112

## LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Série histórica de chuvas medida na Estação Pluviométrica de Pedro Leopoldo .....	27
Tabela 8.1 – Informação estatística do parâmetro Área das depressões cársticas .....	57
Tabela 8.2 - Distribuição do parâmetro Área em 20 intervalos de classes .....	57
Tabela 8.3 - Informação estatística do parâmetro Perímetro das depressões cársticas .....	60
Tabela 8.4 - Distribuição do parâmetro Perímetro em 20 intervalos de classes .....	60
Tabela 8.5 - Informação estatística do parâmetro Cota Topográfica das depressões cársticas.....	61
Tabela 8.6 - Distribuição do parâmetro Cota Topográfica em 20 intervalos de classes .....	62
Tabela 8.7 - Informação estatística do parâmetro Profundidade das depressões cársticas .....	63
Tabela 8.8 - Distribuição do parâmetro Profundidade em 20 intervalos de classes.....	63
Tabela 8.9 - Informação estatística do parâmetro IC das depressões cársticas.....	64
Tabela 8.10 - Distribuição do parâmetro IC em 20 intervalos de classes .....	65
Tabela 8.11 - Informação estatística do parâmetro Declividade Média das depressões cársticas ..	66
Tabela 8.12 - Distribuição do parâmetro Declividade Média em 20 intervalos de classes.....	66
Tabela 8.13 - Informação estatística do parâmetro IE das depressões cársticas .....	70
Tabela 8.14 - Distribuição do parâmetro IE em 20 intervalos de classes .....	70
Tabela 8.15 - Frequência de depressões em relação à classe azimutal do Eixo Principal .....	71
Tabela 8.16 - Informação estatística do parâmetro Área de Maciço Rochoso das depressões cársticas .....	72
Tabela 8.17 - Distribuição do parâmetro Área de Maciço Rochoso em 20 intervalos de classes... 72	
Tabela 8.18 - Matriz de Confusão da cena classificada de abril 2010 .....	78
Tabela 8.19 - Matriz de Erros da cena classificada de abril 2010.....	78
Tabela 8.20 - Matriz de Confusão da cena classificada de setembro 2010.....	79
Tabela 8.21 - Matriz de Erros da cena classificada de setembro 2010 .....	79
Tabela 8.22 - Matriz de Confusão da cena classificada de abril 2014 .....	80
Tabela 8.23 - Matriz de Erros da cena classificada de abril 2014.....	80
Tabela 8.24 - Matriz de Confusão da cena classificada de setembro 2014.....	80
Tabela 8.25 - Matriz de Erros da cena classificada de setembro 2014 .....	81
Tabela 8.26 - Comportamento Hídrico das depressões cársticas via Análise dos espelhos d'água	84
Tabela 8.27 - Frequência da Classe Azimutal dos Eixos de Alongamentos dos espelhos d'água em abril 2010.....	87
Tabela 8.28 – Valores dos Testes de Normalidade segundo Kolmogorov-Smirnov nas 393 depressões cársticas.....	89

Tabela 8.29 - Matriz de Correlação pelo Coeficiente de Spearman nas 393 depressões cársticas .	89
Tabela 8.30 - Matriz de Cargas Fatoriais dos parâmetros das 393 depressões cársticas na Análise Fatorial .....	94
Tabela 8.31 - Matriz de Cargas Fatoriais dos parâmetros selecionados das 393 depressões cársticas na Análise Fatorial .....	94
Tabela 8.32 - Matriz de Escores dos parâmetros das 393 depressões cársticas na Análise de Componentes Principais.....	95
Tabela 8.33 - Valores dos Testes de Normalidade segundo Kolmogorov-Smirnov nas 46 depressões cársticas com espelhos d'água em abril 2010.....	99
Tabela 8.34 - Matriz de Correlação pelo Coeficiente de Spearman nas 46 depressões cársticas com espelhos d'água em abril 2010.....	99
Tabela 8.35 – Matriz de Cargas Fatoriais dos parâmetros das 46 depressões cársticas com espelhos d'água em abril 2010 na Análise Fatorial. ....	105
Tabela 8.36 - Matriz de Cargas Fatoriais dos parâmetros selecionados das 46 depressões cársticas com espelhos d'água em abril 2010 na Análise Fatorial.....	105
Tabela 8.37 - Matriz de Cargas Fatoriais dos parâmetros na Análise de Componentes Principais das 46 depressões com presença de espelhos d'água em abril 2010.....	106
Tabela 8.38 - Matriz de Cargas Fatoriais dos parâmetros das 26 depressões cársticas com espelhos d'água abril 2014 na Análise Fatorial. ....	109
Tabela 8.39 –Matriz de Cargas Fatoriais dos parâmetros selecionados das 26 depressões cársticas com espelhos d'água abril 2014 na Análise Fatorial.....	109
Tabela 8.40 - Matriz de Cargas Fatoriais dos parâmetros na Análise de Componentes Principais das 26 depressões com presença de espelhos d'água em abril 2014.....	110

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 4.1 - Formato geométrico de dolinas segundo o diâmetro e a profundidade. ....	7
Quadro 7.1 - Classes de declividades e suas características topográficas e hídricas .....	37
Quadro 7.2 – Angulos e classes azimutais dos Eixos Principais .....	41
Quadro 7.3 - Qualidade da classificação em função do coeficiente de Kappa .....	46
Quadro 7.4 - Padrões de associação entre parâmetros a partir do coeficiente de correlação .....	50

# 1 INTRODUÇÃO

Entende-se por carste uma forma típica de relevo que se desenvolve em regiões predominantemente carbonáticas como calcários calcíticos e dolomíticos que ocupam aproximadamente 12% das áreas continentais sem cobertura glacial. Sua singular geomorfologia possui mecanismos genéticos desenvolvidos por processos naturais que dissolvem e erodem as rochas, gerando feições cársticas peculiares, tais como: *lapiás*, cavernas, espeleotemas, condutos, sumidouros, depressões cársticas, paredões, estruturas ruiformes entre outras formas dissolutivas (KOHLENER, 1989; FORD & WILLIAMS, 2007).

Dentre os agentes mais importantes para a construção de uma paisagem cárstica, a água se destaca como o de maior influência direta na evolução e geração de feições, associada à composição físico-química da rocha (teor de carbonato de cálcio), estrutura rochosa (acamamento, foliação, fraturamento e descontinuidades), condições climáticas e tempo cronológico (KOHLENER 1989, FORD & WILLIAMS, 2007;).

O típico ambiente cárstico ilustra poucos cursos d'água superficiais e uma complexa rede de condutos subterrâneos que se tornam mais largos a partir da dissolução e erosão de suas paredes. O fluxo d'água subterrâneo ocorre preponderantemente em dois tipos: fluxo laminar (*diffuse flow*), nas descontinuidades rochosas e fluxo turbulento (*conduit flow*) nos condutos e sumidouros (SHUSTER & WHITE, 1971, *apud* PESSOA 2005; FORD & WILLIAMS, 2007).

De acordo com White (2007), as depressões cársticas possuem grande importância na dinâmica hídrica subterrânea, pois elas favorecem a concentração, armazenamento e a recarga de água para o aquífero. Em terrenos onde há alta frequência de depressões cársticas, o fluxo de precipitação de chuva chega a ser quase todo capturado pelas depressões, fazendo com que ocorra intenso fluxo subterrâneo e baixo fluxo superficial.

Assim, a recarga hídrica nas depressões cársticas ocorre por meio da infiltração de água através de dois modos principais: pela percolação difusa e lenta nas porosidades da zona vadosa sobreposta e ou pela infiltração concentrada e rápida, também denominada como recarga do tipo localizada, nos condutos e sumidouros presentes nos mínimos altimétricos e afloramentos rochosos nas depressões (JONES *et al.*, 2003 e BRAGA, 2014).

Outrossim, as depressões cársticas desempenham um papel hidrológico semelhante à de uma bacia hidrográfica, cujo o comportamento hídrico é função de suas características geomorfológicas e geológicas tais como: forma, relevo, área, litologia, estrutura rochosa, hidrogeologia, pedologia, vegetação entre outras variáveis (LIMA, 1986; TONELLO, 2005; FERREIRA *et al.*, 2010).

Nesse âmbito, essa pesquisa propõe identificar as interrelações entre as características morfométricas das depressões cársticas presentes na área de estudo associando-as com os seus comportamentos e dinâmica hídrica.

## **2 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS**

O objetivo geral dessa pesquisa foi contribuir para a compreensão do comportamento e o desempenho das depressões cársticas na dinâmica hídrica do epicarste na área da região da Área de Proteção Ambiental (APA) Carste Lagoa Santa, MG.

Para isso, foram delineados os seguintes objetivos específicos:

- I. Elencar e identificar as variáveis morfométricas, morfoestruturais e hídricas das depressões cársticas;
- II. Avaliar a dinâmica hídrica no interior das depressões cársticas;
- III. Compreender as relações entre os elementos da dinâmica hídrica e os parâmetros morfométricos e morfoestruturais;
- IV. Fornecer subsídios a pesquisas futuras desenvolvidas no contexto das depressões cársticas ou da região da APA Carste Lagoa Santa;

## **3 JUSTIFICATIVA**

A grande importância biológica, econômica, cultural, espeleológica e humanística da região cárstica de Lagoa Santa está fortemente pressionada e fragilizada pela intensa urbanização, exploração de recursos naturais e contínuas alterações antrópicas realizadas no seu ecossistema. Tal situação conflitante é enaltecida pela proximidade geográfica à região metropolitana de Belo Horizonte (BERBERT-BORN, 2002).

A preocupação em preservar o referido ecossistema, implicou na criação de políticas de monitoramento, preservação e uso sustentável dos seus recursos, regulamentando a criação da Unidade de Conservação chamada de Área de Proteção Ambiental (APA Carste de Lagoa Santa) no ano de 1990.

Ademais, as depressões cársticas são estruturas extremamente importantes para a questão hídrica da região cárstica de Lagoa Santa e, conseqüentemente, para a bacia do Rio das Velhas e Rio São Francisco, pois elas podem desempenhar um papel de recarga hídrica direta ou difusa quando no período chuvoso.

Outro papel de singular importância ambiental que as depressões cársticas podem exercer é a manutenção do ecossistema, da ecologia (fauna e flora) local quando acumulam e formam lagoas

em seu interior. Ressalta-se que de acordo com Warming (1908), Figueira *et al.*, (2018), algumas lagoas presentes na área são pontos de parada para importantes populações de aves migratórias.

Devido à importância e vulnerabilidade ambiental da região, este estudo pretende contribuir para a compreensão do comportamento e do papel das feições de depressões cársticas da região tanto para fins de gestão dos recursos hídricos subterrâneos quanto dos ecossistemas.

Esse estudo foi executado no âmbito do projeto em desenvolvimento intitulado “*Projeto de adequação e implantação de uma rede de monitoramento de águas subterrâneas em áreas com cavidades cársticas da bacia do rio São Francisco, aplicado à área piloto da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais*”, financiado pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAV, do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio, com parceria com o Conselho Nacional de Energia Nuclear / Centro de Desenvolvimento da Energia Nuclear – CNEN/CDTN e apoio do Serviço Geológico do Brasil (CPRM/BH) e Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM.

## **4 REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo são apresentados os trabalhos que embasaram o desenvolvimento desta pesquisa por meio de subdivisões temáticas. O estado da arte descreve desde os estudos pioneiros realizados no século XIX acerca do ambiente cárstico no mundo até as investigações mais recentes que estão sendo desenvolvidos na região cárstica de Lagoa Santa. São apontados também os desenvolvimentos das tecnologias e metodologias multidisciplinares que permitiram a obtenção e interpretação dos dados ambientais que são apresentados e discutidos nesta dissertação.

### **4.1 ESTUDOS CARSTOLÓGICOS**

Os primeiros relatos acerca do termo Carste tiveram sua origem no nordeste da Itália e noroeste da Eslovênia sendo empregado o termo Karst “Krs”, cuja tradução é: *terreno rochoso* (PILÓ, 1998; FORD & WILLIAMS, 2007;).

Na Europa, os primeiros estudos sobre o Carste se iniciaram no século XIX, a partir da exploração de cavernas na Áustria e França. Outra forte vertente sobre o tema foi o surgimento da ciência geomorfológica pelos pioneiros geomorfólogos William Morris Davis (norte-americano) e Albrecht Penck, de Viena – Áustria (PILÓ, 1998; WHITE, 2007).

Em 1899, Penck e Davis fizeram uma pesquisa excursionista para o Carste Adriático na Bósnia Herzegovina que influenciou fortemente o desenvolvimento dos estudos sobre o tema, amplificando assim importantes debates entre os dois discípulos de Penck, os pesquisadores: Alfred Grund e Jovan Cvijić.

Cvijić (1893) na sua importante obra “*Das Karstphänomen*” (em português, *carstificação*) foi o primeiro a descrever a forma básica e diagnóstica do carste, denominado “*vrtaca*” ou “*kraska*”, cujo significado é dolina. Posteriormente, foi publicada sua publicação final (CVIJIC, 1960), fruto da compilação de suas ideias (GAMS, 1978 *apud* BONDESAN *et al*, 1992; WHITE, 2007; CALIĆ, 2009).

Grund (1903) *apud* White (2007) e Grund (1914) *apud* Ford & Williams (2007) indicaram uma importante sequência teórica da evolução da paisagem levando em conta o carste da região Dinárica (Albânia, Bosnia Herzegovina e Croácia) e o carste tropical úmido da Jamaica e Java. Grund (1914) *apud* Piló (1998) também escreveu a respeito do comportamento da hidrologia cárstica, conjecturando uma relação entre as águas que fluíam para o interior de sumidouros até um corpo de água subterrânea que descarregava para o mar e sofria interferências do nível deste.

Opostamente, outros estudos sobre a hidrologia cárstica, estabeleceram os conceitos de rios subterrâneos independentes fluindo em diferentes níveis podendo eventualmente ressurgir em superfície. Tais conceitos foram expostos por experientes exploradores de cavernas (KATZER, 1909; MARTEL, 1910 *apud* WHITE, 2007).

Estudos posteriores indicaram que ambos os estudos estavam parcialmente corretos, apontando para a existência de rios subterrâneos e corpos d’água em zonas profundas (ZÖTL, 1961 *apud* WHITE, 2007).

Davis (1930) se destacou na pesquisa cárstica por meio de uma significativa interpretação sobre as origens das cavernas através de uma concepção cíclica (PILÓ, 1998; WHITE, 2007). A partir da evolução das cavernas proposta por Davis, H. Lehmann descreveu a diferença no desenvolvimento do carste em função dos fatores climáticos. Discutiu também sobre a circulação de águas subterrâneas nas juntas e fraturas rochosas relativa à evolução e maturidade do cenário cárstico superficial (LEHMANN, 1936 *apud* PILÓ, 1998).

Jennings (1975), expandiu o conhecimento cárstico a partir de um completo estudo morfométrico em dolinas da região de Nova Zelândia, fornecendo caracterizações tipológicas e morfométricas juntamente com análises estatísticas somadas a teorias qualitativas de evolução e desenvolvimento espeleológico.

O estudo realizado por Bögli (1980), *apud* Piló (1998), indicou que as morfologias cársticas se diferenciam segundo a localização onde ocorrem os processos dissolutivos, descrevendo os termos exocarste e endocarste. O primeiro (exocarste) representa as feições dissolutivas externas ou superficiais, e o endocarste se caracteriza pelas formas internas ou subterrâneas. White (1988) também distingue as morfologias cársticas relativamente à localização geográfica que ocorrem, tais como: formas cársticas de superfície e formas cársticas subterrâneas.

Dentre os vários estudos sobre o cenário cárstico, Jovan Cvijić foi um dos pioneiros a estudá-lo. Seus estudos ampliaram os conhecimentos sobre a presença de depressões cársticas no processo evolutivo de carstificação, propondo a evolução de estudos relacionados com a hidrogeologia, clima, litologia e estruturas rochosas (ŠUŠTERŠIČ, 1985; PILÓ, 1998; ĆALIĆ, 2009).

Apesar de existir um extenso acervo de referências bibliográficas levantadas sobre o carste e suas particularidades, serão abordados daqui por diante os estudos cujos eixos referenciais são de cunho morfológico, morfométrico e morfoestrutural de depressões cársticas, que constituem o elemento central do presente estudo.

Em relação à geomorfologia cárstica, no final do século XVIII e início do século XIX, Cvijić e Grund em suas pesquisas sugeriram a evolução do carste por meio da amalgamação de depressões. Ou seja, dolinas evoluindo para uvalas e para poljés por meio de relações hidrogeológicas e intempéricas. Desde então muitos trabalhos acerca da morfologia e morfometria das depressões cársticas foram realizados tais como: Sweeting (1972); Gams (1978); Jennings, (1975), White (1988); Ford & Williams (2007), entre outros.

Ainda nesse contexto, os primeiros conceitos e aspirações acerca da morfometria cárstica por intermédio de processamento de dados topográficos foram observados em Šušteršič (1985) e Bondesan *et al.*, (1992). Destaca-se a importância do trabalho Bondesan *et al.*, (1992) utilizando como guia para as análises morfométricas realizadas nesse trabalho. Segundo os autores, os parâmetros morfométricos extraídos nas depressões cársticas (fundamentalmente em dolinas) possibilitam especular observações espaciais e estatísticas, contextualizando a dinâmica das dolinas e classificando-as segundo aos seguintes aspectos: mecanismo genético e evolucionário, contexto topográfico, morfológico, climático e hidrogeológico.

Ademais, a adoção de análises multicritérios vem permitindo interpretações cada vez mais ricas sobre a dinâmica das depressões cársticas. White (1988) acercou a importância da estatística multivariada nos estudos cársticos para dados morfométricos, ambientais e hidrológicos.

Alguns trabalhos tais como Lamelas *et al.*, (2008) caracterizaram os riscos geológicos de subsidência e colapso de depressões cársticas em áreas urbanizadas. Ćalic (2009, 2011), estudou detalhadamente as típicas feições, uvalas, no carste Dinárico e no carste dos Carpatho-Balkanides dando atenção à morfometria e geologia estrutural por meio de SIG e mapeamento estrutural-geológico. Já Villarroya (2015) fez a utilização de métodos geofísicos terrestres para a caracterização de depressões cársticas na Espanha.

No Brasil, são encontradas diversas pesquisas sobre a morfologia e morfometria das feições dissolutivas cársticas no tocante do papel e interações com o meio ambiente, destacando

os estudos de Silva (1984), Piló (1989), Ferrari *et al.*, (1998), Hardt (2004), Rodrigues (2011), Braga (2014), Braga *et al* (2016).

Em suma, diversos estudos sobre as depressões cársticas têm sido desenvolvidos desde o pioneiro pesquisador Cvijić, com intuito de entender o complexo sistema cárstico e suas relações multidisciplinares por meio da observação de multiparâmetros e o meio ambiente.

## 4.2 CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE CÁRSTICO

As rochas carbonáticas têm sua formação estritamente ligada à vida marinha. São formadas a partir da decomposição e deposição de sedimentos carbonáticos provenientes de organismos ricos em cálcio, tais como algas, conchas, corais e moluscos gerados por processos biológicos, químicos e aloquímicos. Apresentam composição mineralógica composta por calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), aragonita ( $\text{CaCO}_3$ ) que se difere da calcita pela estrutura cristalina, dolomita ( $\text{CaMgCO}_3$ ), ankerita ( $\text{Ca}_2\text{MgFe}(\text{CO}_3)_4$ ), siderita ( $\text{FeCO}_3$ ) e magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ). (CAMBIER, 2011).

As rochas calcárias são constituídas de no mínimo 50% de minerais carbonatados, dos quais a calcita é o mineral mais comum, já as rochas dolomíticas são também carbonáticas, porém constituídas por pelo menos 50% de dolomita ( $\text{CaMgCO}_3$ ). Em função do caráter dissolutivo, os dolomitos são menos susceptíveis à dissolução e conseqüentemente, menos afetados ou mais resistentes ao intemperismo químico. Portanto, o relevo formado em regiões de rochas calcárias é geomorfologicamente diferente de regiões compostas por rochas dolomíticas (FOLK, 1959; JENSEN, 2007).

A água das precipitações retém o gás carbônico da atmosfera e/ou da decomposição orgânica reagindo em contato com o calcário formando bicarbonato de cálcio (solúvel) segundo as reações abaixo (Goldscheider and Drew 2007):



O processo químico de carbonatação no interior dos maciços ocorre principalmente ao longo de planos de estratificações, contatos rochosos e descontinuidades dissolvendo e abrindo gradualmente as fendas, gerando as drenagens subterrâneas e as típicas morfologias cársticas. Assim, no endocarste, são observadas as feições clássicas subterrâneas: cavernas, condutos e espeleotemas. E no exocarste a dissolução promove a formação das feições: lapiás, sumidouros, vales cegos, ressurgências, depressões cársticas, “*swallow holes*”, paredões, torres, entre outras estruturas dissolutivas e ruiformes.

As depressões cársticas são divididas em três tipos principais: dolinas, uvalas e poljés caracterizadas em função de suas larguras, comprimento e profundidade, e diferenciadas conforme as proporções entre estes parâmetros (WHITE, 1988).

As dolinas, termo utilizado primeiramente por Cvijić (1893), são depressões fechadas com formas circulares ou elípticas que geralmente se apresentam mais largas que profundas com dimensões que variam de poucos milhares de metros de diâmetro. Suas encostas variam de levemente inclinadas a verticais, podendo medir até algumas centenas de metros de profundidade (WHITE, 1988; BONDESAN *et al.*, 1992; WALTHAM & FOOKES, 2003 e FORD & WILLIAMS, 2007) por exemplo.

Conforme White (1988), Bondesan *et al* (1992) e Lino (2011), as dolinas também são classificadas segundo as relações entre o diâmetro e a profundidade (Quadro 4.1): dolinas em tigela (*bowl-shapped dolines*), dolinas em funil (*funnel-shaped doline*) e dolinas em caldeirão (*well-shapped dolines*).

Quadro 4.1 - Formato geométrico de dolinas segundo o diâmetro e a profundidade.

Fonte: Adaptado de Bondesan et al., (1992)

<b>Relação D/H</b>	<b>Formato Geométrico</b>
$5 > D/H > 2$	Dolina em Tigela
$2 > D/H > 1,5$	Dolina em Funil
$1,5 > D/H$	Dolina em Caldeirão

Onde, D = Diâmetro; P = Profundidade

Cvijić (1893) também reconheceu, pioneiramente, que as dolinas são formadas por processos de dissolução química e ou colapso de rochas. De acordo com Jennings (1975), Bögli (1980), Ford & Williams (2007) e Lino (2011), a classificação mais comum de dolinas destaca quatro tipos principais que se diferem segundo os seus mecanismos genéticos e tipológicos (Figura 4.1), caracterizadas a seguir.

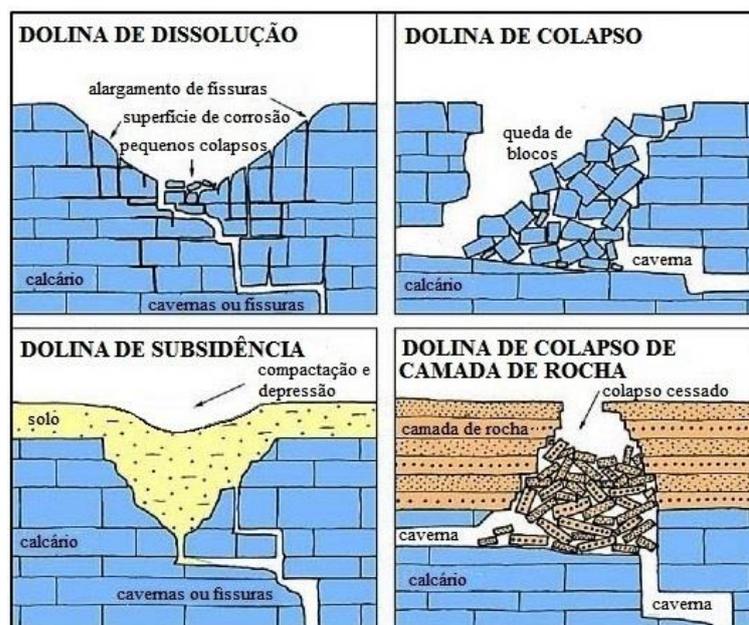


Figura 4.1 - Classificação genética de dolinas. Adaptado de Waltham & Fookes (2003).

*Dolinas de Dissolução:* são formadas pela lenta dissolução da rocha carbonática, ocorrendo em locais susceptíveis (fraturas, juntas, planos de acamamento) à ação das águas ligeiramente ácidas da superfície. As dissoluções na rocha tornam as pequenas depressões em pontos preferenciais de escoamento e percolação de água. Esse processo expõe as rochas a um maior volume de águas acelerando o processo de dolinamento. Essas dolinas possuem formato de tigela ou funil apresentando largura muito maior que a profundidade. Suas bordas são pouco inclinadas e o fundo é aproximadamente côncavo, recoberto com um pouco de solo.

*Dolinas de Colapso ou abatimento:* são formadas quando o teto de grandes cavernas ou um grupo de cavidades menores próximas à superfície se desmorona. O processo de dissolução alarga as cavernas em demasia, o teto não suporta o peso e colapsa, formando claraboias nas cavernas. São de modo geral cilíndricas com formato de caldeirão, fundamentalmente mais profundas do que largas e por vezes apoiadas em grandes depósitos de blocos e matacões.

*Dolinas de Subsidência:* ocorrem quando existe uma ou mais cavernas situadas em calcário subjacente a um pacote de sedimentos. O processo de desabamento do calcário em profundidade ocasiona a compactação e subsidência do material sotoposto encaixado. A feição é formada sem que o calcário seja exumado em superfície. Apresentam diâmetro maior que a profundidade, com formato de funil ou tigela, sendo observadas com água em período chuvoso.

*Dolinas de colapso de camada de rocha:* são comparadas às dolinas de colapso, porém se diferem devido a existência de uma ou mais camadas de rocha insolúvel e fraturada sobreposta ao calcário em profundidade provido de cavidades e cavernas. Com o contínuo alargamento das

cavernas por dissolução, pode ocorrer a perda de sustentação da camada de rocha capeadora e consequente colapso, normalmente abrupto. Possuem o mesmo formato das dolinas de colapso, mas podem apresentar pináculos ou resquícios de calcário ruiformes em seu interior.

No cenário cárstico são observadas feições geradas por dissolução seguidas de erosão e colapso, não obstante também há morfologias, produto do colapso e abatimento que foram acometidas por dissolução química também. Devido à interrelação entre os processos morfogenéticos atuantes nas dolinas, potencialmente, o mapeamento morfológico e espeleológico permite a caracterização genética das depressões indicando o processo que atuou mais veemente. Cvijić reconheceu os processos de dissolução e colapso na gênese de depressões cársticas, todavia considerou que os processos de dissolução são mais proeminentes (PILÓ, 1989; BRAGA, 2014).

As dolinas podem ser comparadas a unidades hidrográficas elementares, tais como as bacias hidrográficas, com interflúvios (margens), vertentes e encostas que direcionam e convergem as águas de escoamento superficial para talvegues (mínimos altimétricos) sendo desta forma absorvidas (recarga difusa) ou drenadas para os sistemas de condutos subterrâneos (recarga concentrada, direta ou localizada) conhecidos como sumidouros, também denominados de *sinking streams*, *swallow holes* ou *swallets* (PILÓ, 1989; BONDESAN *et al.*, 1992; FORD e WILLIAMS, 2007, FERRARI e KARMANN, 2008 e BRAGA, 2014).

Assim como as dolinas, outras depressões cársticas apresentam morfologia, e dinâmica hidrológica semelhante, são elas: uvalas, poljés e vales cegos. Desse modo as depressões cársticas assumem particular importância na recarga de aquíferos cárstico-fissurais, uma vez que essas estruturas geomorfológicas favorecem a concentração de água de escoamento superficial para uma região específica. Não obstante, algumas depressões cársticas podem não contribuir tão veemente para a recarga hídrica, permanecendo “impermeáveis” ou se comportando como zonas de descarga de base. Ambas exibem espelhos d’água exercendo um papel excepcional na manutenção ecológica do bioma a que está inserida.

A Figura 4.2 ilustra um modelo esquemático da evolução de dolinas por alargamento e coalescência formando algumas típicas feições cársticas.

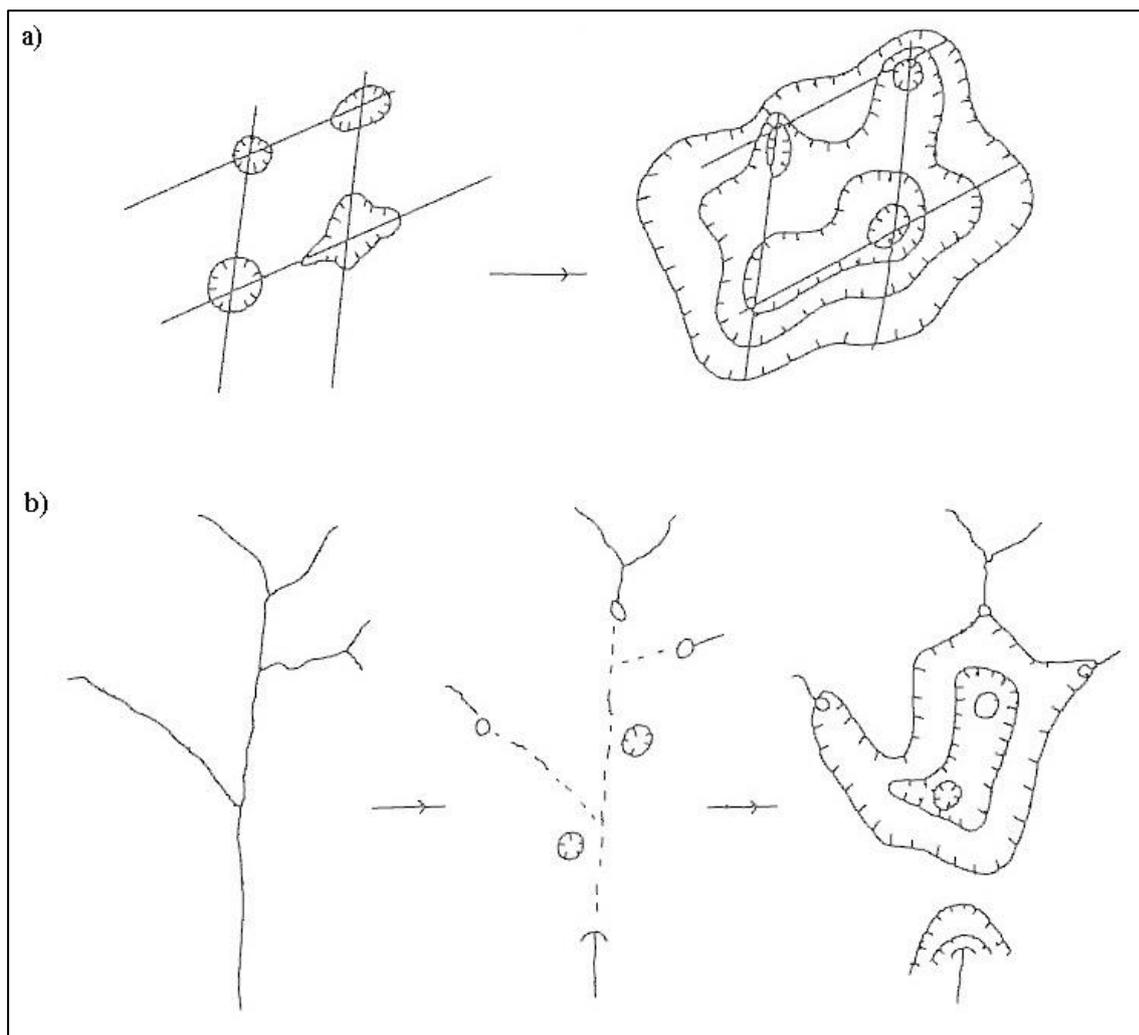


Figura 4.2 – Modelo esquemático de evolução de feições cársticas. a) alargamento e coalescência de dolinas formando uvalas; b) alargamento e dissolução de vales fluviais e dolinas formando vales cegos. Fonte: Adaptado de WHITE (1988).

Uvalas são formadas pelo contínuo processo de carstificação de uma ou mais dolinas que se alargam e coalescem gerando uma grande depressão fechada com múltiplos mínimos altimétricos e de pontos de absorção hídrica. Também denominadas de *compound sink*, as uvalas são genericamente rasas com relevo semelhante a morros de topo arredondado em seu interior podendo medir vários quilômetros quadrados de extensão (ĆALIĆ, 2011).

Vales cegos também conhecidos como *blind valleys* é um tipo de feição cárstica bem particular, sendo encontrados em locais onde o cenário cárstico se encontra maduro e bem desenvolvido. Os vales fluviais entalhados se tornam não drenantes (sem cursos d'água superficiais) por meio da dissolução das rochas carbonáticas pela água, formando sumidouros e condutos. A água superficial desaparece ao fluir para o interior dos sumidouros seguindo por

condutos, fendas e galerias subterrâneas, podendo ressurgir em superfície em pontos distantes (centenas de metros ou quilômetros) denominadas ressurgências ou *Springs* (WHITE, 1988).

*Poljés* são grandes e largas depressões fechadas com fundo sub-horizontalizado que podem medir dezenas de quilômetros de extensão. Geralmente possuem bordas íngremes e fundo plano coberto por sedimentos aluviais argilosos inconsolidados. São formados em locais onde a cota do nível d'água se apresenta próximo da superfície do fundo da depressão. Alguns *poljés* podem ter a forma alongada, quando sob a influência geotectônica, ou não, com formas irregulares, e alguns podem ser encontrados saturados com água em certos períodos do ano (PILÓ, 1998,; HARDT, 2004; FORD & WILLIAMS, 2007 e ČALIĆ, 2009).

A dissolução dos calcários não ocorre homogeneamente, sendo observados inúmeros fatores condicionantes, tais como: variações na natureza química e faciológica da rocha, porosidade (primária e ou secundária), grau de fraturamento, posição estratigráfica, relevo e clima locais. Tais fatores fazem com que certas áreas sejam particularmente solúveis, enquanto outras oferecem maior resistência (LINO, 2011)

Os tamanhos e densidade de depressões cársticas se diferem numa região em relação à outra devido a detalhes da geologia local, particularmente mais pela geologia estrutural e petrológica do que por diferenças climáticas (WHITE, 1989).

### **4.3 REGIÃO DA APA CARSTE DE LAGOA SANTA**

Os afamados estudos realizados na região foco deste estudo, denominada de região cárstica de Lagoa Santa, advém do século XVIII quando comitivas de naturalistas estrangeiros vieram realizar diversos estudos no Brasil.

Peter Wilhem Lund foi um notável naturalista dinamarquês zoólogo que aos 34 anos chegou em Lagoa Santa em 1835 e nunca mais retornou a sua pátria. Ele viveu e pesquisou na região até falecer em 1880. Segundo Lund (1950) em suas memórias relata e descreve importantes e inéditos aspectos naturais da fauna e flora, sendo um dos expoentes principais nas descobertas e pesquisas arqueológicas e paleontológicas na região.

Johannes Eugenius Bülow Warming, naturalista botânico dinamarquês, foi secretário de Peter Lund, o qual realizou o primeiro levantamento do cerrado da região de Lagoa Santa. Warming dissertou sobre uma grande variedade florística local associada à presença e tipos de solos, descrições de rochas, morfologias e também relacionando a aspectos climáticos (temperatura, chuvas, vento e queimadas). Em sua pesquisa, há descrições detalhadas de características de algumas rochas da região principalmente a das características das rochas calcárias (WARMING, 1908).

Em relação ao comportamento hídrico das lagoas, Warming (1908) fez uma notável observação à lagoa da Quinta (Lagoa do Parque Estadual do Sumidouro) no qual relata que em um lugar denominado Lapinha, no período chuvoso, a lagoa se torna bem grande, mas que no final do período de seca ela diminui onde a água escoava por sumidouros e dutos subterrâneos até se tornar apenas um riacho e algumas poças.

Carl Hermann Conrad Burmeister também foi um importante naturalista alemão que investigou a região de Lagoa Santa, durante um menor período, juntamente com Lund, onde pautou sobre as formações calcárias com presença de cavernas, maciços e o planalto do rio das Velhas (BURMEISTER, 1980 *apud* PILÓ, 1998).

Sobre as rochas calcárias da região, Barbosa (1961) foi o pioneiro a descrever o termo “Região Kárstica de Lagoa Santa”. Kohler *et al* (1978) delimitou geograficamente a região a Leste pelo rio das Velhas e a oeste pelo ribeirão da Mata e ao sul segundo contato litológico com o Complexo Belo Horizonte, o embasamento cristalino.

A região cárstica de Lagoa Santa abrange municípios bem próximos da capital mineira (Matozinhos, Pedro Leopoldo, Funilândia, Prudente de Moraes, Confins e Vespasiano). No final da década de 80, desde então, diversos estudos de cunho geológico, carstológico, geomorfológico, espeleológico, hidrogeológico vem sendo realizados na região. A pressão antrópica na região levou à criação da Unidade de Conservação denominada de Área de Proteção Ambiental (APA Carste de Lagoa Santa) pelo IBAMA em 1990.

Embora existam muitos outros importantes trabalhos realizados na referida área do projeto deste estudo, citam-se aqui apenas os mais pertinentes a esta pesquisa. Silva *et al* (1987) pesquisaram a dinâmica hídrica local por meio de análises morfométricas e hidroquímicas, Kohler (1989) destacou a geomorfologia da região em um contexto bem sofisticado e amplo. Parizzi (1993) realizou estudos palinológicos, geomorfológicos e geológicos na bacia da Lagoa Santa. Auler (1994) realizou estudos hidroquímicos e hidrológicos de sub-superfície em parte da região, denominando-a de "Carste de Matozinhos - Pedro Leopoldo".

Destacam-se também os significativos trabalhos realizados no Projeto Vida (Viabilidade Industrial e Defesa Ambiental), pela CPRM, a partir do ano de 1991, que integram pesquisas multidisciplinares acerca do desenvolvimento socioeconômico e preservação do meio ambiente da região. Ainda nesse projeto, Tuller *et al*. 1992 produziram um estudo de cunho investigativo abrangendo sistematicamente o mapeamento geológico em escala de detalhe 1:50.000, composto por dados de campo e dados de ortofotocartas.

Berbert-Born (1994), integrante do grupo de pesquisadores do Projeto Vida, realizou uma intensa pesquisa espeleológica cujo resultado foi a catalogação e mapeamento de mais de 218

cavidades na localidade conhecida como Matozinhos-Mocambeiro. O espetacular produto final do Projeto Vida foi reeditado por Ribeiro *et al.* 2003, o qual é referenciado neste estudo na seção de geologia regional.

Pessoa (1996) realizou uma ampla pesquisa hidrogeológica na região da Lapa Vermelha, município de Lagoa Santa, tendo empregado dados e informações, tais como: testemunhos de sondagens, traçadores corantes, poços de monitoramento hídrico, registros de operações de mineração local, resultados de análises hidroquímicas dentre outros. Dentre os resultados destacam-se: *i*) o registro de uma espessa camada de solos sobreposta a uma importante faixa de carbonatos puros, contendo condicionantes estruturais favoráveis a recarga e à circulação aquífera; *ii*) a determinação de rotas e velocidades de fluxo subterrâneo em função dos contatos tectônicos e feições topográficas do embasamento cristalino; *iii*) a identificação de um sistema aquífero integrado e *iv*) o valor da taxa de denudação cárstica local.

Outro notável estudo executado na área, denominado APA Carste Lagoa Santa, realizado pela CPRM e IBAMA por Viana *et al.*, (1998) e Herrmann *et al.*, (1998), envolveram diversos estudos multidisciplinares e levantamentos ambientais culminando na produção de 6 relatórios: Meio Físico (Volume I), Meio Biótico (Volume II), Patrimônio Espeleológico, Histórico e Cultural (Volume III), Sócio-Economia (Volume IV), Zoneamento Ambiental e Gestão Ambiental.

Shinzato (1998) destacou a geomorfologia e estratigrafia na influência da pedogênese cárstica da região. Piló (1998) caracterizou em detalhe a dinâmica e a evolução de uma feição cárstica denominada depressão poligonal Macacos-Baú em Matozinhos, utilizando análise de processos morfogenéticos e seus materiais constituintes. Sua pesquisa evidenciou que 98% do resíduo dos carbonatos presentes na região é solúvel e não teria formado solo, ou seja, o espesso manto pedológico existente em escala regional é proveniente dos materiais intemperizados das rochas sobrepostas aos carbonatos, mais especificamente os metapelitos.

Meneses (2003) realizou uma abordagem geossistêmica com objetivo de auxiliar as decisões dos órgãos do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SISEMA na região. A autora elaborou um conjunto de mapas temáticos dos meios abiótico e biótico na escala de 1:50.000 destacando as fortes pressões derivadas de atividades industriais e urbanas que colocam em risco a integridade do patrimônio natural, histórico e cultural da APA Carste de Lagoa Santa.

Pessoa (2005) realizou análises distintas para o entendimento dos mecanismos de controle hidrogeoquímico e hidrodinâmico dos sistemas aquíferos cársticos em uma região além dos arredores da mina Lapa Vermelha, em uma faixa significativa do município de Lagoa Santa. O

autor sugeriu o termo Carste coberto de Lagoa Santa para designar a peculiaridade geológica estratigráfica e geotectônica local.

Sampaio (2010) realizou uma pesquisa gerando um banco de dados com arquivos vetoriais nos domínios da geologia, geomorfologia cárstica, hidrogeologia, paleontologia e arqueologia da região desse estudo. Nessa pesquisa foi sugerida a criação de um Geoparque segundo padrões estabelecidos pela UNESCO como forma de preservação, incentivo ao geoturismo e desenvolvimento econômico.

Galvão (2015) gerou um modelo hidrogeológico conceitual da cidade de Sete Lagoas, já fora da área desse estudo, a partir de estudos geológicos, hidrogeológicos, geoquímicos e de isótopos estáveis. Além do mais, o autor gerou um mapa de risco geotécnico informando zonas favoráveis a dolinamentos e colapsos.

Mais recentemente, no contexto disciplinar e regional do projeto, o qual extrapola o limite norte e oeste da APA, e no qual essa dissertação se insere, referenciam-se algumas importantes pesquisas até então:

Vieira (2015) realizou uma caracterização geológica da área a partir de análises mineralógicas, petrográficas e químicas de rochas que afloram na área de estudo.

Tayer (2016) investigou a vulnerabilidade intrínseca do aquífero cárstico da área do projeto pelo método COP por meio da análise de parâmetros obtidos por técnicas de geoprocessamento; nesse estudo são detectadas as depressões cársticas presentes no interior da APA Carste Lagoa Santa pelo método de Rodrigues (2011).

Ribeiro *et al.* (2016) e Ribeiro *et al.* (2019) realizou um mapeamento geológico e estrutural na área de estudo em escala de detalhe (1:50.000) com ênfase nas estruturas rúpteis, onde estudou as direções dos fluxos hídricos no aquífero cárstico fissural através da medida de centenas de planos estruturais presentes em condutos, protocondutos e fraturas.

Os estudos realizados no contexto do projeto apresentam contribuições aprofundadas acerca da complexa rede hidrogeológica e suas interações com o ambiente local da bacia do rio das Velhas.

#### **4.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS (PDI)**

No cenário cárstico os estudos de geoprocessamento utilizando imagens vetoriais constituem um ramo científico multidisciplinar que permite a realização de análises espaciais mais rápidas e seguras utilizando ferramentas cada vez mais sofisticadas e adequadas para a grande variedade de formas e modelados que a superfície terrestre apresenta.

No cenário cárstico, a implementação de trabalhos de geoprocessamento em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) vem ocorrendo desde a década de 80, permitindo investigações das típicas feições dissolutivas do exocarste, fornecendo importantes subsídios para análises quantitativas e qualitativas para estudos ambientais e evolutivos.

Šušteršič (1985) fundamentou a análise morfométrica em dolinas por intermédio do processamento de dados topográficos utilizando cálculos computacionais. Bondesan *et al.* (1992) sugerem em sua pesquisa sobre estudos geomorfológicos em depressões cársticas, uma metodologia via geoprocessamento para medição de parâmetros morfométricos, especificamente em dolinas, possibilitando specular observações espaciais e estatísticas a fim de contextualizar a dinâmica das referidas feições com os diversos aspectos do cenário cárstico.

Estudos morfométricos em depressões cársticas utilizando SIG possibilitam realizar análises multicritérios com a finalidade de correlacionar parâmetros, como: hidrogeologia, espeleologia, riscos geológicos, contaminação e preservação ambiental. Assim, a adoção de análises multicritérios vem permitindo interpretações cada vez mais ricas sobre a dinâmica das depressões cársticas.

Nascimento (2009) realizou análises morfométricas por meio de geoprocessamento em SIG e Sensoriamento Remoto em feições cársticas da região metropolitana de Curitiba –PR, com intuito de determinar as relações existentes entre os diferentes tipos de feições existentes nas rochas da região com a evolução geomorfológica na escala de sub-bacias.

Rodrigues (2011) elaborou em seu trabalho uma metodologia lógica a partir de uma sequência de passos via sensoriamento remoto no *software* ArcGIS®, para a detecção semi-automática de depressões em ambientes cársticos, utilizando de imagens de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), em uma região cárstica do norte de Minas Gerais.

Pardo-Iguzquiza *et al* (2014) desempenham um estudo acerca do relevo cárstico da região de Málaga na Espanha. O estudo se baseou na análise de depressões detectadas automaticamente através de cálculos algébricos em dois Modelos Digitais de Elevação (MDE) da referida região.

De Carvalho *et al.* (2014) realizaram análises morfométricas em dolinas detectadas por métodos semi-automáticos a partir de um MDE derivado de imagens de radar da Bacia hidrográfica do São Francisco na Bahia. Os testes realizados por eles, nas imagens ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) com 30 metros de resolução, e SRTM, com 90 metros de resolução, demonstraram que esses dados não são satisfatórios para a detecção de depressões cársticas, devendo ser utilizadas imagens combinadas e ou de alta resolução a fim de se obter um melhor padrão de exatidão cartográfico.

Prado (2009), Silva e Santos (2011) e Reno (2011) utilizaram as imagens ALOS/PALSAR para a identificação de tipos de coberturas na superfície terrestre em seus trabalhos. Eles concluíram que as abordagens de classificação digital adotadas no tratamento dos dados ALOS/PALSAR foram adequadas para a realização dos estudos e asseguraram informações necessárias ao mapeamento e monitoramento da paisagem. Prado (2009) também sugeriu a confirmação dos dados geoprocessados por meio de trabalhos de campo e avaliação da relação sinal-ruído para a identificação de algumas classes que se mostram limitadas.

## 5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada a aproximadamente 30 km a norte da capital mineira Belo Horizonte. Possuindo 504,92 km<sup>2</sup>, ela extrapola e abrange completamente a Área de Proteção Ambiental (APA) Carste Lagoa Santa, envolvendo parte dos municípios de Confins, Funilândia, Lagoa Santa, Matozinhos, Pedro Leopoldo, Prudente de Moraes e Vespasiano (Figura 5.1). Seus limites hidrográficos são bem definidos pelo Rio das Velhas a nordeste e Ribeirão da Mata a oeste-sudoeste.

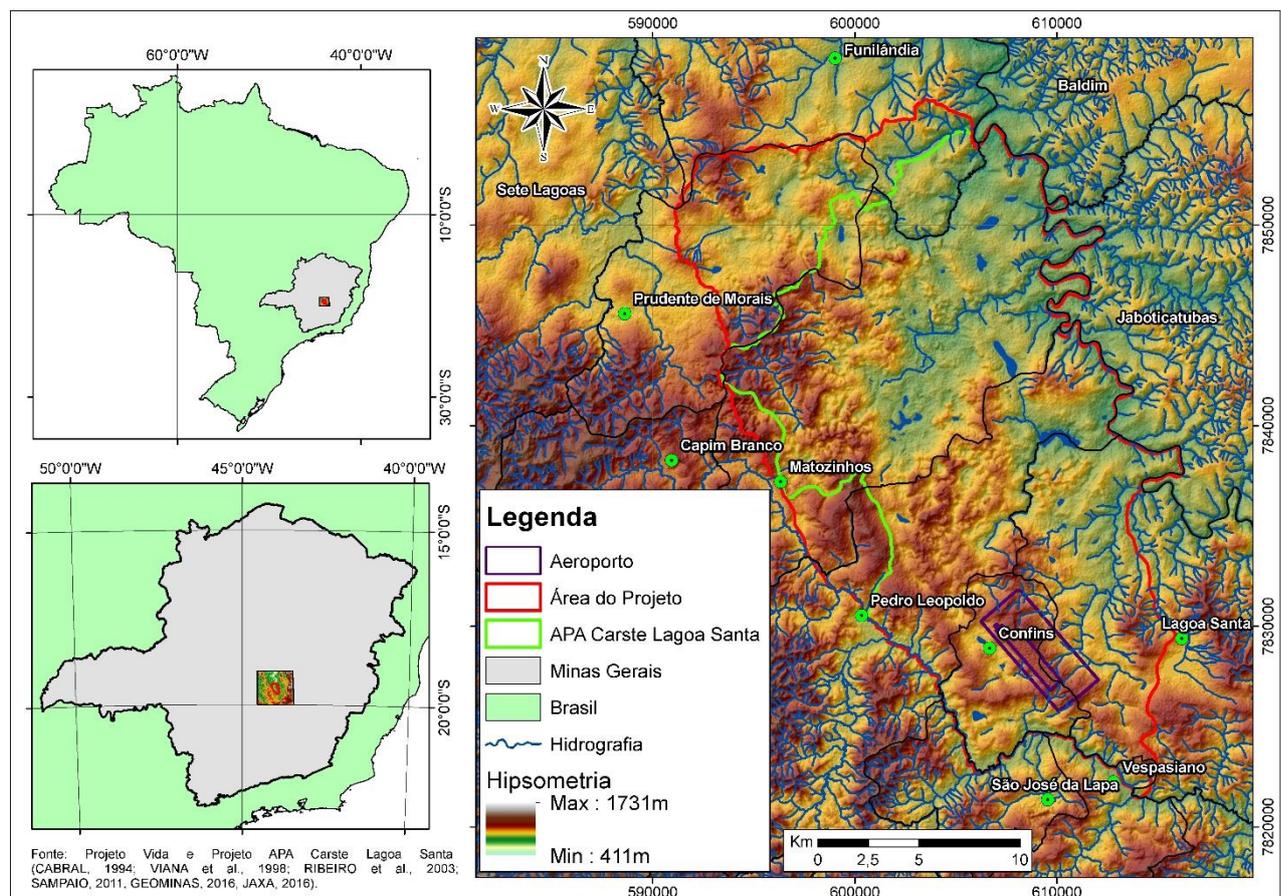


Figura 5.1 - Localização geográfica da área de estudo

## 5.1 GEOLOGIA

A região foco está localizada na bacia do rio São Francisco, na porção centro-sudeste do Cráton homônimo. Estratigraficamente, é observado na área mencionada o embasamento cristalino do cráton, unidades basais do Grupo Bambuí (Supergrupo São Francisco), além de parcelas significativas de cobertura sedimentar jovem (ALKMIM & MARTINS NETO, 2001) vide Figura 5.2.

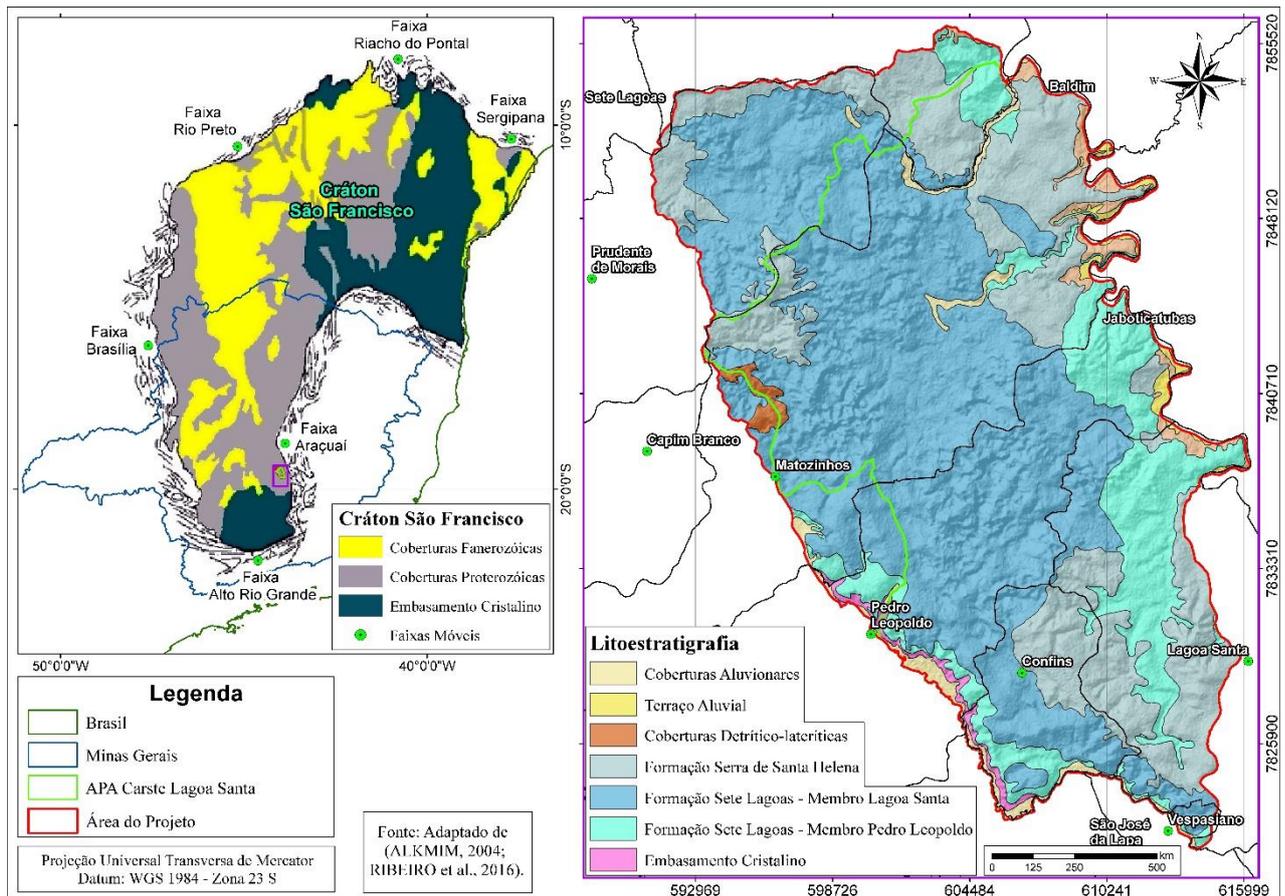


Figura 5.2 - Mapa litoestratigráfico da área de estudo contextualizado no mapa geológico simplificado do Cráton São Francisco.

O embasamento do Cráton São Francisco, denominado como Complexo Cristalino, aflora com pouca expressão na porção oeste do mapa, sendo representado por rochas gnáissico-granítico-migmatíticas do Arqueano e Paleoproterozóico. Os gnaisses desta unidade apresentam-se bandados com colorações bege e cinza claro nas bandas leucocráticas e tons escuros acinzentados a preto nas bandas melanocráticas (RIBEIRO *et al.*, 2003; RIBEIRO *et al.*, 2016).

O Supergrupo São Francisco é composto por unidades litoestratigráficas que foram depositadas sobre o embasamento do cráton até as faixas móveis marginais. O Grupo Bambuí, que jaz sobre o embasamento, é constituído por coberturas sedimentares químicas e clásticas geradas

em um ambiente continental afetado por transgressões e regressões marinhas, com idade mínima relativa de 630 Ma (Neoproterozoico) (DARDENNE, 1978; VIEIRA, 2007; ZALÁN e ROMEIRO-SILVA, 2007).

A Formação Sete Lagoas, que na área de estudo manifesta-se na base do Grupo Bambuí, é constituída por uma sucessão carbonática composta por calcários, dolomitos e metapelitos intercalados. Esta Formação é subdividida em dois membros: Membro Pedro Leopoldo e Membro Lagoa Santa (VIEIRA, 2007).

O Membro Pedro Leopoldo consiste em uma sequência composta por calcários impuros e silicosos onde predominam fácies de calcissiltitos e calcilutitos finamente laminados com frequentes intercalações argilosas terrígenas delgadas. Mostra-se com coloração verde escuro, azul acinzentado e bege amarronzado sendo observados veios de calcita e ou quartzo, por vezes dobrados e com boundins (VIANA *et al.*, 1998; RIBEIRO *et al.*, 2003 e RIBEIRO *et al.*, 2016).

O Membro Lagoa Santa apresenta contato com o membro inferior, muito irregular, podendo ser observado o caráter transicional, brusco ou cisalhado. É composto por calcários mais puros, grosseiros e escuros tais como calcarenitos, com intercalações, calcissiltitos e calcirruditos, apresentando veios de quartzo e calcita. Este membro possui alto teor de calcita,  $CaCO_3$ , em alguns locais superior a 94%, em que se apresenta com tonalidade acinzentada e azul acinzentada escuro (BERBERT-BORN *et al.*, 2002; RIBEIRO *et al.*, 1994 e RIBEIRO *et al.*, 2016). As rochas desta formação se destacam pela sua alta capacidade de dissolução por águas naturais, onde são observadas as principais estruturas dissolutivas típicas do cenário cárstico da região.

Segundo Berbert-Born *et al.*, (2002); Zalán e Romeiro-Silva (2007); Ribeiro *et al.*, (2016), a Formação Serra de Santa Helena apresenta contato com a sequência carbonática inferior transicional, com participação de camadas margosas intermediárias ou em conexão discordante. Esta formação é definida como uma sequência metapelítica composta por metassiltitos e metargilitos com estratificação plano paralela e frequentemente veios de quartzo deformados. Possui coloração em tons pastéis bege, amarelo, laranja, marrom claro e ocre.

As coberturas cenozóicas são representadas por sequências sedimentares recentes caracterizadas por coberturas detrito-lateríticas e coberturas aluvionares.

A representação da coluna estratigráfica da região de estudo é apresentada pela Figura 5.3

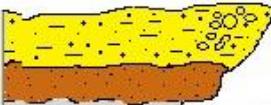
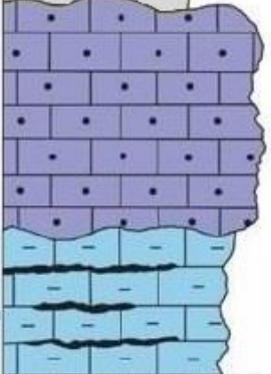
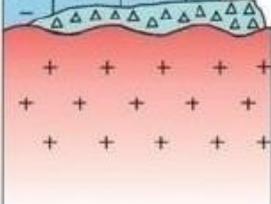
Unidades Litoestratigráficas	Coluna Estratigráfica	Representação litológica	
Coberturas recentes inconsolidadas aluvionares e detrito-lateríticas		Depósitos sedimentares recentes, aluviões e colúvios pedregulhosos, arenosos a silto-argilosos.	
Supergupo São Francisco - Grupo Bambuí	Formação Serra de Santa Helena	Sedimentos lateríticos, areno-argiloso.	
		Contato tectônico discordante	
	Formação Sete Lagoas	Membro Lagoa Santa	Sequência metapelítica, representada por metassiltitos e metargilitos Presença de veios de quartzo por vezes estirados.
		Membro Pedro Leopoldo	Contato tectônico
Formação Carrancas		Metacalcarenitos calcíticos, essencialmente puros. Localmente milonitizados	
		Contato gradacional a abrupto	
Complexo Belo Horizonte		Metacalcisiltitos impuros, laminados	
		Contato erosivo	
		Metadiamicctitos e metaconglomerados	
		Contato discordante	
		Complexo cristalino Gnaissico-granítico-migmatítico	

Figura 5.3 - Coluna litoestratigráfica simplificada da base do Grupo Bambuí sobrejacente ao embasamento que ocorre na área de estudo.

Fonte: Adaptado de VIANA *et al.*, 1998 e RIBEIRO *et al.*, 2016.

## 5.2 GEOLOGIA TECTONO-ESTRUTURAL

A evolução tectono-estrutural da bacia do São Francisco se iniciou no Neoproterozóico decorrente da Orogênese Brasileira (740 a 530 Ma). A deformação e metamorfismo das rochas dessa bacia apresentam aumento gradativo do interior do Cráton em direção às faixas móveis Araçuaí (leste) e Brasília (oeste). Três domínios tectono-estruturais são observados: compartimento oeste, compartimento central e compartimento leste, onde está situada a área deste estudo (BACELLAR, 1989; ALKMIM & MARTINS-NETO, 2001).

Em geral, o compartimento leste exibe elementos estruturais com vergências para oeste influenciados pela faixa Araçuaí. Apresenta falhas de empurrão, cavalgamentos, dobras, cisalhamentos e um significativo par conjugado de juntas NE-SW e NW-SE. O embasamento foi preservado (deformação *thin skinned*) e o metamorfismo é progredido gradacionalmente no sentido leste até fácies xisto verde (BACELLAR, 1989; ALKMIM & MARTINS-NETO, 2001).

Ribeiro *et al.*, (2003), no Projeto VIDA, observou que as manifestações estruturais presentes no embasamento tiveram sua gênese precedente à formação da Bacia do São Francisco (1800 Ma), destacando-se foliação e ou bandamento gnáissico, intrusões de diques básicos com orientação NNW-SSE e veios de quartzo de direção ENE-WSW.

Ainda estes autores agruparam em 3 fases distintas de deformação os conjuntos de estruturas impressas nas rochas neoproterozóicas do Grupo Bambuí. Sendo elas: *i*) etapa distensiva (E1D); *ii*) etapa compressiva (E2Cm); e *iii*) etapa distensiva (E3D).

A primeira etapa (E1D) é caracterizada por falhas normais com alto ângulo de mergulho para Leste, e orientação de *trend* estrutural modal NNW-SSE. Foram geradas pelo menos em partes, devido às diferenças topográficas (*horsts e grabens*) no assoalho da bacia durante a deposição.

A segunda fase é a mais importante denominada de deformação compressiva (E2Cm) é composta por um sistema cisalhamento de baixo ângulo com orientação preferencial N-S, reconhecida por falhas de empurrão com baixo ângulo de mergulho (em geral inferior a 20°), zonas de cisalhamento interestratais, dobramentos, foliações sub-horizontalizadas com lineações associadas além de descolamento basal (deformação *thin skinned*). Esta fase foi gerada a partir de um evento compressivo de orientação genérica E-W. Bacellar (1989) estudou as estruturas presentes no Supergrupo São Francisco e reconheceu as estruturas N-S, “*as mais proeminentes*” relacionando-as à frentes de empurrão no setor leste da Bacia do São Francisco.

A terceira fase, extensional (E3D), é referente aos movimentos distensivos, desta vez, envolvendo também o complexo basal. Os basculamentos geraram deformações antiformes e siniformes de eixo em torno de E-W, dobramentos e falhas normais na cobertura sedimentar. Associada a esse evento foram observadas feições rúpteis tais como: fraturas e lineamentos no complexo basal e no pacote de rochas do Grupo Bambuí.

### **5.3 HIDROGRAFIA**

Localizada no interior da bacia hidrográfica do rio das Velhas, pertencente à bacia do rio São Francisco, a área do estudo engloba seis sub-bacias pertencentes aos respectivos córregos: Jaque, Samambaia, Palmeira, Jaguará, Gordura e Flor (Figura 5.4).

O rio das Velhas nasce a aproximadamente 1.300 metros de altitude no Parque Natural Municipal das Andorinhas no município de Ouro Preto (MG). Possuindo extensão de aproximadamente 700 km, ele é um dos principais tributários do rio São Francisco. Por sua vez, o ribeirão da Mata nasce a leste e segue bordejando o limite sul da área de estudo se revelando um dos principais afluentes do rio das Velhas.

Dentre as seis sub-bacias situadas no interior da área de estudo apenas o córrego Palmeira não possui foz direta no rio das Velhas, pois desagua em um sumidouro situado no talvegue de um vale cego. São escassas as drenagens superficiais, as quais fluem no sentido às baixas cotas topográficas como em sumidouros, depressões cársticas e ou cavernas percolando para o aquífero subterrâneo, através de condutos e aberturas de dissolução que compõem uma complexa rede hídrica subterrânea.

Além da esparsa rede de drenagem superficial, destaca-se também uma relativa presença de lagoas, em que Lund (1837), Warming (1908), Lanari (1909) e Coutard *et al.* (1978) descrevem sobre a alta frequência destas, algumas com padrões irregulares de variações do nível d'água destacando complexos ciclos comportamentos hídricos. Os autores Lanari, Coultard e colaboradores dissertam sobre a existência de ciclos secos de 15 anos. Entretanto, o comportamento hídrico das lagoas exige monitoramento por se mostrar muito complexo. (AULER, 1994).

Auler (1994), explana sobre a ocorrência de três tipos de lagoas na região da APA Carste Lagoa Santa:

- i)* Lagoas sobre filitos;
- ii)* Lagoas tipo dolina;
- iii)* Lagoas tipo nível d'água do aquífero aflorante.

Os dois últimos tipos são restritos às rochas calcárias, em que as lagoas tipo dolina ocorrem primordialmente em altas topografias no fundo de depressões cársticas profundas, e as lagoas do tipo nível d'água aflorante ocorrem em locais de baixa elevação topográfica. Em geral as lagoas sobre filitos apresentam-se estáveis, enquanto as sobre rochas calcárias possuem níveis d'água oscilantes, podendo secar em ocasiões raras. A cota do nível d'água destas lagoas está relacionada com a quantidade de precipitação pluvial e com a permeabilidade da cobertura pedológica no fundo dos lagos (AULER, 1994).

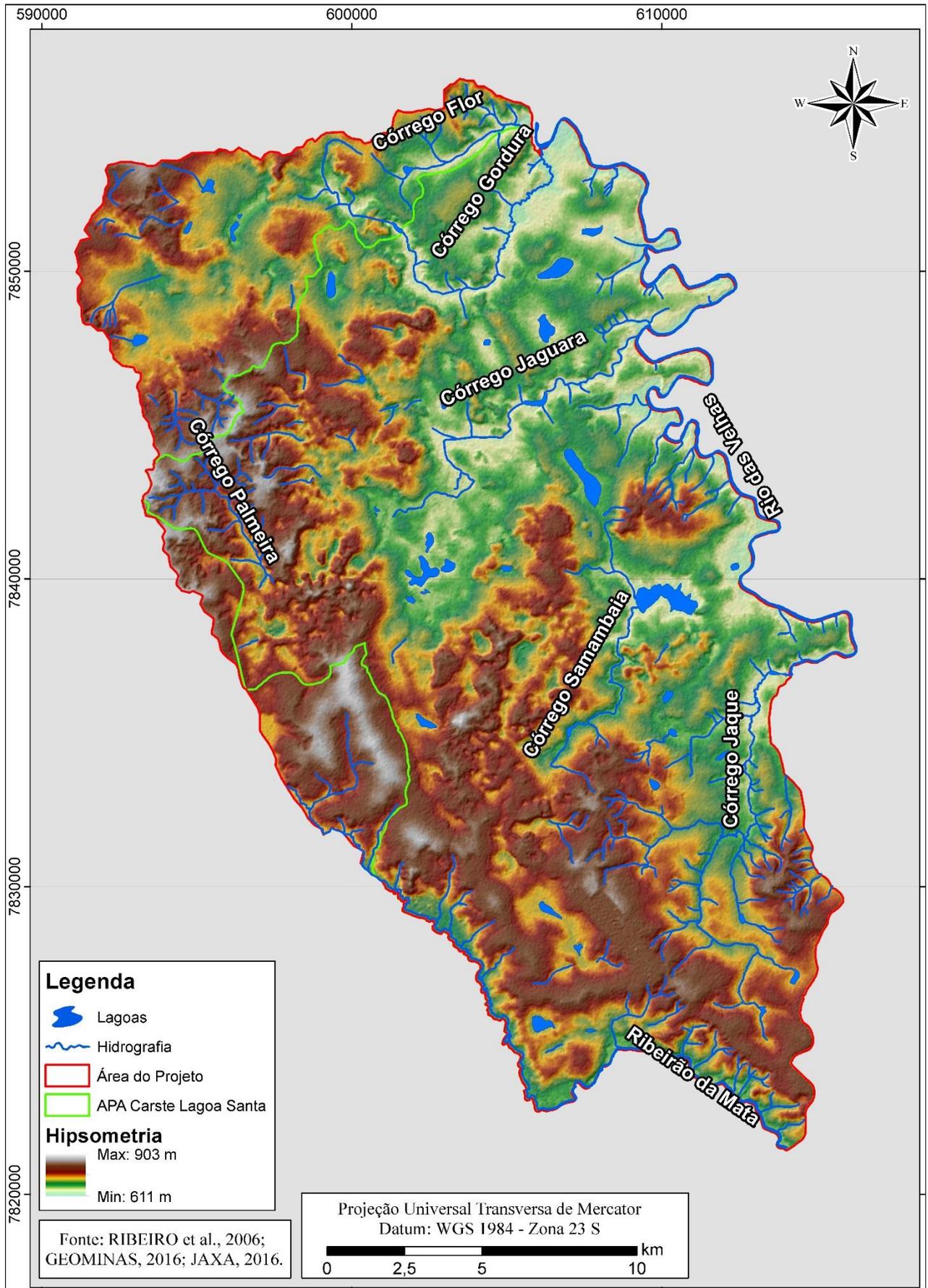


Figura 5.4 - Mapa Hidrográfico destacando a hipsometria da área de estudo.

## 5.4 HIDROGEOLOGIA

Segundo Auler (1994), a Formação Sete Lagoas compreende aquíferos livres cárstico-fissurais limitados na base por rochas gnáissicas impermeáveis do embasamento cristalino.

A Formação Sete Lagoas exhibe aquíferos cársticos-fissurais que se diferem principalmente em função da composição química da rocha (capacidade de dissolução) e pela estruturação tectônica. Enquanto o fluxo d'água subterrâneo no Membro Lagoa Santa se desenvolve no interior das feições cársticas dissolvidas devido a sua composição mineralógica mais pura essencialmente calcítica, no Membro Pedro Leopoldo, composto por uma assembleia mineral diversa composta por minerais carbonáticos com contribuição siliciclástica, o fluxo d'água subterrâneo flui sumariamente pelas estruturas rúpteis geradas durante o evento orogênico Brasileiro (SILVA *et al.*, 1987; AULER, 1994).

As rochas calcárias da região apresentam porosidade secundária bem desenvolvida integrando o principal aquífero da região onde o fluxo d'água subterrâneo se movimenta fundamentalmente de acordo com a interseção entre dos planos da foliação rochosa, contatos litológicos e as direções das fraturas conjugadas, geralmente do sentido oeste para leste em direção ao nível de base, o rio das Velhas. (AULER, 1994; PESSOA, 2005).

Viana *et al.*, (1998) investigou a relação hidrogeológica das litoestratigrafias que ocorrem na região da APA Carste Lagoa Santa por meio dos lineamentos estruturais e a quantidade de poços tubulares e suas vazões. Os poços tubulares localizados na Formação Sete Lagoas apresentam capacidade específica média de 14,42 m<sup>3</sup>/h/m para o Membro Lagoa Santa e de 2,78 m<sup>3</sup>/h/m para o Membro Pedro Leopoldo.

Já a Formação Serra de Santa Helena sobreposta, constituída por metapelitos, possui baixa permeabilidade se configurando um aquíclode e por vezes um aquífero pobre, onde os poços tubulares inventariados por Viana *et al.*, (1998) apresentaram capacidade específica irregular, comumente inferior a 2,78 m<sup>3</sup>/h/m.

A partir de fotolineamentos traçados em MDE (derivado de imagem SRTM), traçados em escala 1:150.000 em baixos estruturais, Ribeiro *et al.* (2016) obteve duas direções principais: N50E e N40-70W (Figura 5.5A). Ainda de acordo com os autores, o acamamento dos metacalcários apresenta direção preponderante N0-20E com ângulo de mergulho ( $\theta$ ) menor do que 20° (Figura 5.5B).

As fraturas medidas nas rochas do embasamento cristalino exibem direção com intervalo principal N50-80E (Figura 5.5C). As fraturas nos calcários da Formação Sete Lagoas com ângulo de mergulho entre 15° e 45° apresentam direções predominantes no intervalo N0- 40E (Figura

5.5D) e as fraturas com ângulo de mergulho subverticais (maiores que 45°) com direções dominantes entre N70-90E e N60-90W, com o máximo geral em N80-90W (Figura 5.5E).

Já na Formação Serra de Santa Helena observa se também dois intervalos predominantes de fraturas, o de N70-90E e N70-90W, e não menos importantes as medidas N0-30W (Figura 5.5E).

Os fotolineamentos se relacionam principalmente com as fraturas do embasamento, apontando para um forte controle estrutural do embasamento sobre as coberturas litológicas sobrejacentes.

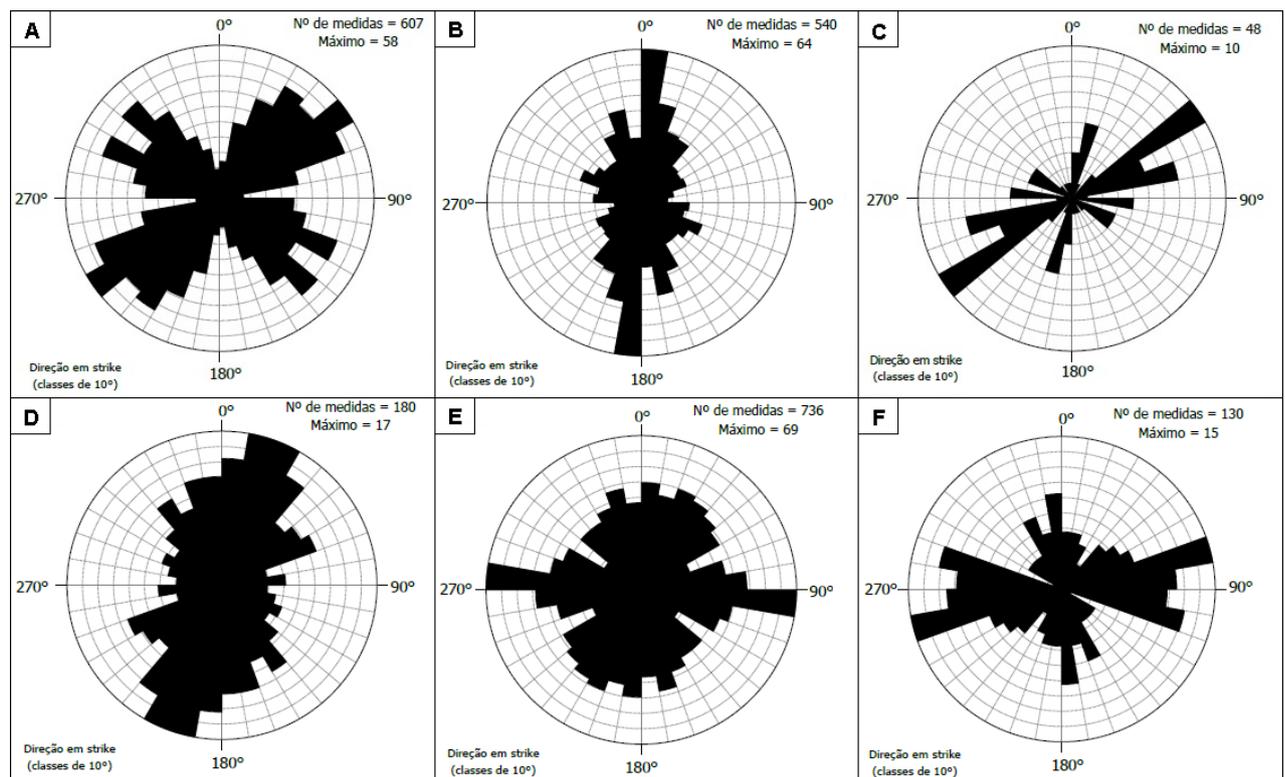


Figura 5.5 - Diagrama de rosetas das principais estruturas presentes na área de estudo. A) Fotolineamentos traçados em baixos estruturais na superfície do relevo; B) Planos de acamamento da Formação Sete Lagoas; C) Planos de fratura do Embasamento Cristalino; D) Planos de fratura da Formação Sete Lagoas (mergulho entre 15° e 45°); E) Planos de fratura da Formação Sete Lagoas (mergulho maior que 45°); F) Planos de fratura Formação Serra de Santa Helena. Fonte: Ribeiro *et al.* (2016); Ribeiro *et al.* (2019).

## 5.5 GEOMORFOLOGIA

A região cárstica de Lagoa Santa localizada entre os rios das Velhas e Ribeirão da Mata, está inserida em um contexto geomorfológico planáltico exibindo cotas topográficas que variam de 650 a 900 metros. Geomorfologicamente, a superfície apresenta relevo ondulado e montanhoso marcado por expressivas porções desnudadas, onde se exumam as litologias calcárias antagônicas às regiões encobertas (KOHLE, 1998; PESSOA, 2005).

Dois tipos mais proeminentes de relevo foram definidos por Herrmann *et al.*, 1998: Compartimento Cárstico e Compartimento não Cárstico. O Compartimento não cárstico é definido pelo relevo desenvolvido nos metapelitos da Formação Serra de Santa Helena e porções compostas por uma espessa camada de sedimentos sobrejacente às formações calcárias. Tendem a se localizar nas cotas topográficas mais altas acima de 800 metros, caracterizada predominantemente por colinas com topos alongados e convexos entalhadas por um padrão de drenagem dendrítico. Raras feições cársticas, tais como dolinas, paredões e vertentes com rugosidades são observadas atestando a manifestação superficial de carstificação em profundidade dos carbonatos de cálcio (Herrmann *et al.*, 1998).

O Compartimento Cárstico, entre as altitudes de 800 a 650 metros, revela mudanças hipsométricas bruscas marcadas por feições cársticas em superfície (exocarste) e em profundidade (endocarste). As formas superficiais e subsuperficiais quase sempre se apresentam intimamente ligadas entre si. Nesta unidade são observados desfiladeiros e abismos com altos paredões e grande maciços rochosos com uma elevada concentração de cavernas, vales fechados, vales cegos, torres, arcos e pontes ruiformes. Ocupando grande parte da extensão da área de estudo, este compartimento é composto por cinturões de uvalas, planalto de dolinas, depressões largas de fundo aplainado (*poljés*), depressões formadas por dissolução e ou por colapso, com formas amebóides, côncavas (tigela), cônicas (funil), cilíndricas (caldeirão) grandes ou pequenas, apresentando encostas com declividades íngremes e ou suaves, com ou sem paredões ou maciços coligados, secas, com água perene ou intermitente (KOHLENER, 1989; Herrmann *et al.*, 1998; RIBEIRO *et al.*, 2003).

Ainda sobre este compartimento geomorfológico, como consequência da alta permeabilidade causada pela porosidade secundária das rochas locais, são observados poucos cursos d'água superficiais, e em alguns locais, principalmente condicionados às grandes irregularidades do terreno, desenvolvem-se sumidouros e em outros pontos surgências e ressurgências.

## **5.6 CLIMA**

Segundo CETEC (1983), o tipo climático de uma região, é definido de acordo com as seguintes variáveis meteorológicas: taxa de umidade, cota topográfica e circulação atmosférica. A classificação climática de Köppen (1931) apresenta tipo climático Aw, denominado tropical de savana, isto é, clima tropical com inverno seco e estação chuvosa no verão.

De acordo com a série histórica de dados medidos na estação pluviométrica de Pedro Leopoldo, durante 1980 e 2015, a região apresentou média pluviométrica anual de 1.280,4 mm (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Série histórica pluviométrica da estação meteorológica de Pedro Leopoldo<sup>3</sup> (MG). Fonte: Hidroweb (ANA, 2017).

<b>Pluviometria</b>	<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Mai</b>	<b>Junho</b>	<b>Julho</b>	<b>Agosto</b>	<b>Setembro</b>	<b>Outubro</b>	<b>Novembro</b>	<b>Dezembro</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1980</b>	265,4	72,8	33,0	209,1	1,5	33,2	0,0	0,0	21,3	6,3	211,8	391,2	1245,6
<b>1981</b>	209,7	9,4	179,4	21,4	6,0	34,0	0,0	23,2	5,0	182,6	396,9	271,2	1338,8
<b>1982</b>	201,6	16,2	297,2	17,6	14,2	0,0	3,0	2,0	5,1	90,3	120,0	280,8	1048,0
<b>1983</b>	451,4	225,6	259,7	34,6	87,0	8,6	15,0	2,0	74,6	278,6	205,2	347,8	1990,1
<b>1984</b>	91,0	2,0	163,0	49,5	0,0	0,0	8,4	54,1	95,6	129,8	201,6	297,6	1092,6
<b>1985</b>	566,8	168,6	86,3	49,6	20,2	8,0	0,0	7,0	58,4	105,6	228,1	224,6	1523,2
<b>1986</b>	194,9	177,0	61,6	55,4	62,9	1,2	27,3	37,3	4,4	0,4	105,2	332,6	1060,2
<b>1987</b>	164,3	19,4	124,2	100,5	36,8	23,9	1,6	3,7	41,7	70,5	86,4	371,2	1044,2
<b>1988</b>	159,8	307,2	159,2	40,6	20,0	5,0	0,0	0,0	76,2	51,0	200,7	270,9	1290,6
<b>1989</b>	187,4	158,5	180,4	0,0	0,0	92,5	77,8	33,2	17,3	147,2	289,4	431,3	1615,0
<b>1990</b>	57,4	246,7	64,3	14,5	28,7	0,0	22,7	35,8	62,6	85,7	147,0	125,2	890,6
<b>1991</b>	438,5	208,0	207,4	60,8	16,1	0,0	0,0	0,0	66,1	137,1	198,4	187,0	1519,4
<b>1992</b>	443,1	209,6	17,9	76,6	25,4	0,8	0,0	2,4	116,8	95,6	277,9	142,1	1408,2
<b>1993</b>	90,0	58,9	37,0	75,2	4,6	6,0	0,0	3,6	97,2	70,8	207,5	131,8	782,6
<b>1994</b>	340,2	52,0	266,8	10,2	37,9	1,7	7,5	0,0	12,1	67,8	172,7	226,0	1194,9
<b>1995</b>	67,1	175,0	245,9	99,8	17,4	0,4	0,0	0,0	79,2	95,2	136,0	550,9	1466,9
<b>1996</b>	157,0	135,3	118,9	41,0	16,2	0,0	10,8	18,0	57,4	63,0	465,6	292,1	1375,3
<b>1997</b>	448,0	125,8	134,9	108,2	40,2	48,5	0,0	0,9	69,6	79,6	138,6	388,3	1582,6
<b>1998</b>	300,8	247,0	31,8	28,9	41,1	0,0	0,0	34,6	12,8	104,8	220,2	177,7	1199,7
<b>1999</b>	198,6	53,0	202,5	25,5	0,5	0,2	7,4	0,0	9,7	39,3	284,5	274,7	1095,9
<b>2000</b>	278,0	121,6	268,2	6,3	2,8	0,0	13,6	26,0	63,8	32,0	243,8	187,3	1243,4
<b>2001</b>	189,9	17,4	82,2	16,3	20,7	0,0	6,0	57,9	44,9	99,9	274,2	421,3	1230,7
<b>2002</b>	268,7	285,2	95,9	13,6	15,2	0,0	24,4	0,0	61,5	45,5	136,9	373,9	1320,8
<b>2003</b>	550,0	79,3	107,4	11,8	24,5	0,0	0,0	13,2	13,2	25,5	151,0	269,5	1245,4
<b>2004</b>	366,5	333,6	188,0	82,0	30,0	27,9	39,3	0,0	0,0	43,6	124,6	290,4	1525,9
<b>2005</b>	238,7	191,7	294,8	33,1	21,9	8,8	0,9	1,8	80,9	37,5	390,0	295,4	1595,5
<b>2006</b>	75,4	112,5	265,3	2,8	17,2	2,8	6,7	5,2	39,6	71,0	226,7	404,2	1229,4

<b>Pluviometria</b>	<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Maió</b>	<b>Junho</b>	<b>Julho</b>	<b>Agosto</b>	<b>Setembro</b>	<b>Outubro</b>	<b>Novembro</b>	<b>Dezembro</b>	<b>TOTAL</b>
<b>2007</b>	337,0	149,6	120,2	101,1	14,2	0,8	4,9	0,0	1,1	119,2	93,0	185,5	1126,6
<b>2008</b>	286,6	164,7	274,6	101,9	0,0	0,6	0,0	22,8	92,1	31,2	135,1	433,3	1542,9
<b>2009</b>	284,1	178,7	182,6	43,0	13,9	4,2	0,0	18,8	74,5	282,4	92,1	392,6	1566,9
<b>2010<sup>1</sup></b>	152,3	68,9	178,7	62,4	39,2	2,9	0,0	0,0	22,6	110,8	349,8	367,1	1354,7
<b>2011</b>	169,4	28,3	322,7	33,7	5,1	3,4	0,0	0,0	0,3	161,4	274,7	426,4	1425,4
<b>2012</b>	334,0	9,4	183,3	80,8	34,5	1,3	0,0	1,1	12,7	35,1	243,7	127,2	1063,1
<b>2013</b>	154,6	28,4	133,4	76,7	37,2	10,8	0,0	0,0	47,6	117,5	161,2	507,2	1274,6
<b>2014<sup>2</sup></b>	54,3	10,7	48,4	58,4	3,9	2,3	53,0	0,0	6,4	74,5	124,6	127,5	564,0
<b>2015</b>	109,0	210,4	150,8	28,3	35,6	6,0	14,5	0,7	32,2	84,2	157,1	190,1	1018,9
<b>Média</b>	246,7	129,4	160,2	52,0	22,0	9,3	9,6	11,3	43,8	90,9	207,6	297,6	1280,4

<sup>1</sup> Cor azul – Indicando ano com índice pluviométrico normal em comparação com a média pluviométrica histórica.

<sup>2</sup> Cor laranja – Indicando ano com baixo índice pluviométrico (seca excepcional) em comparação com a média pluviométrica da seca histórica.

<sup>3</sup>Coordenadas Geográficas da Estação Pluviométrica Pedro Leopoldo - Datum WGS 1984 - Zona 23S - 592.646/7.847.395

De acordo com Viana *et al.* (1998), no período entre (1961-1990), o município de Lagoa Santa apresentou temperatura média compensada anual de 21,4°C, temperatura média das mínimas (nos meses mais frios) de 12,5°C e temperatura média das máximas (nos meses mais quentes) de 29,3°C. Durante o ano, o mês de julho apresenta as menores temperaturas e o mês mais quente é março.

Ainda referente ao trabalho realizado pelos autores, a região de Lagoa Santa apresenta evaporação média anual de 912 mm, série de dados evaporimétricos relativos ao período medido de 1961-1970 através de atmômetro tipo *Piché*. Os valores médios mensais de evaporação variaram de um mínimo de 55 mm correspondente ao mês de fevereiro até o máximo de 114 mm relativo a setembro.

Em relação à umidade, os autores obtiveram para o período referente aos anos de 1961-1990, umidade relativa média compensada anual de 69,8%. Nos meses de maior umidade, respectivos a dezembro, janeiro, fevereiro, o valor médio de umidade foi de 75,3% e nos meses mais secos, agosto e setembro a média de umidade foi de 60,5%.

## **6 MATERIAIS**

O desenvolvimento deste trabalho consistiu em uma sequência de etapas fundamentadas em geoprocessamento, sensoriamento remoto e estudos estatísticos em que os resultados foram logrados por meio do desenvolvimento de análises morfométricas, análises espaciais, hidrológicas, de campo e estatística multivariada.

A multidisciplinaridade desta pesquisa teve como meta o entendimento da relação morfológica e hídrica das depressões, elencando os principais parâmetros das depressões cársticas com seus respectivos fatores, interações e papéis em ano com distribuição pluviométrica normal (2010) e um ano de seca excepcional (2014) de acordo com Tabela 5.1.

A etapa inicial do trabalho se baseou na coleta de material bibliográfico, bases vetoriais, *shapefiles* e imagens orbitais de satélite, tais como:

- Imagem de radar ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) PALSAR – *Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*), com resolução (12,5 metros) cena adquirida pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA, 2016), código da imagem: ALPSRP269566790, data de imageamento em 15 de fevereiro de 2011, para dados altimétricos.
- *Shapefiles*, arquivos vetoriais georreferenciados e compilados a partir de mapas e dados do “Projeto VIDA” (CABRAL, 1994; RIBEIRO *et al.*, 2003), “APA

Carste Lagoa Santa” (IBAMA, 1998; VIANA *et al.*, 1998; COMIG, 2003; GEOMINAS, 2016 e SAMPAIO, 2011).

- Séries históricas de pluviometria medidos em municípios da região de estudo (anos de 1980 a 2016) coletados no site da Agência Nacional de Águas - ANA, a partir da plataforma Hidroweb (ANA, 2017)
- Imagens da cobertura terrestre procedentes do *software* Google Earth® Pro (GOOGLE, 2017).
- Mosaico de recortes de imagens órbita/ponto 218/73 e 218/74 dos sensores: LANDSAT 5 TM (*Thematic Mappers*): datas de imageamento em 27 de abril de 2010 e 18 de setembro de 2010 e LANDSAT 8 OLI/TIRS (*Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor*): datas de imageamento em 06 março de 2014 e 29 de setembro de 2014, provenientes do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2017).

Todos os Mapas, Rasters e arquivos vetoriais foram geoprocessados no sistema de coordenada Universal Transversa de Mercator, com Datum WGS-1984, Zona 23S.

## **7 MÉTODOLOGIA**

A realização dessa pesquisa foi pautada em etapas metodológicas, que consistiu inicialmente, na identificação e detecção de depressões cársticas por meio de geoprocessamento. Essas feições foram aferidas por sensoriamento remoto e em seguida validadas em campo. Subsequentemente, a validação em campo foi realizada a parametrização e medição das variáveis morfológicas das depressões cársticas detectadas.

Seguiu-se a etapa de análise hídrica realizada por meio da investigação do comportamento dos espelhos d'água no interior das depressões cársticas em épocas hidrológicas distintas, pós-período chuvoso e pós-estiagem em ano hídrico normal 2010 e em ano com severa crise hídrica, 2014. Esse estudo foi realizado por meio de sensoriamento remoto via classificação supervisionada.

Os conjuntos de dados morfocársticos e hídricos obtidos foram processados segundo ferramentas de estatística elementar, análise espacial e análise estatística

multivariada. A Figura 7.1 apresenta o fluxograma das etapas desenvolvidas nesta pesquisa.

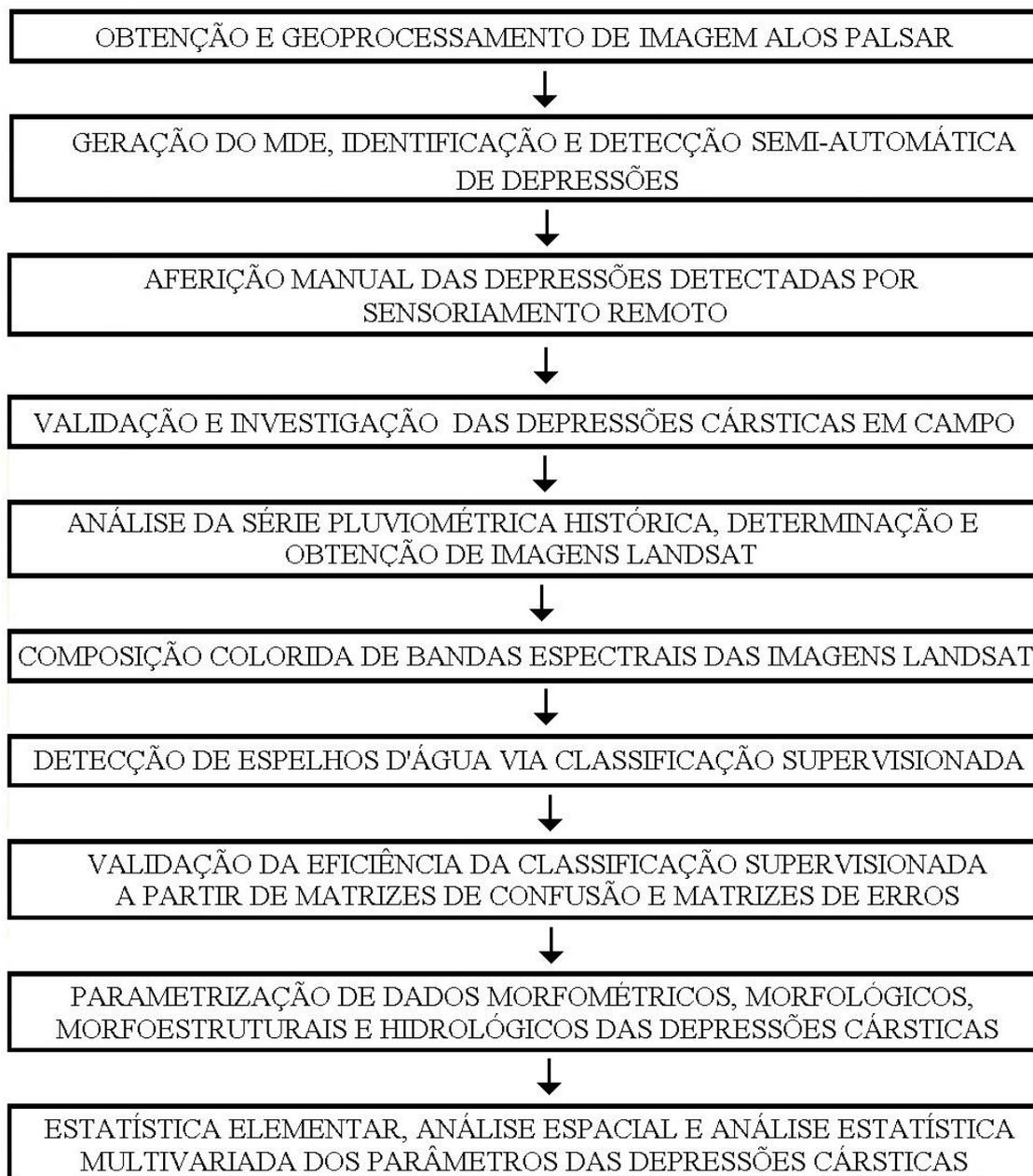


Figura 7.1 - Fluxograma das atividades sequenciais do estudo realizado.

## 7.1 IDENTIFICAÇÃO E DETECÇÃO DAS DEPRESSÕES CÁRSTICAS

Todas as atividades de geoprocessamento foram realizadas utilizando ferramentas do *ArctoolBox* do *software* ArcGIS® (ESRI, 2011).

Com foco na detecção das depressões cársticas, primeiramente, utilizou-se um recorte do *Raster* ALOS/PALSAR que, em seguida, foi transformado em um arquivo vetorial, *Shapefile* de pontos o qual foi posteriormente interpolado com auxílio da ferramenta *Spline* para a resolução de 5 metros, que leva em consideração as tendências laterais.

O produto da interpolação somado a um efeito de sombreamento de relevo com a ferramenta *Hillshade* otimizou a representação do mapa hipsométrico, fundamental para as análises morfológicas de detalhe. A interpolação foi realizada com o propósito de aumentar a resolução além de suavizar e arredondar as curvas de nível geradas diretamente da imagem ALOS.

Cabe ressaltar que essas imagens, devido à sua tecnologia de aquisição, representam um modelo digital de elevação (MDE) e não um modelo digital de terreno (MDT), ou seja, não diferenciam copas de árvores, telhados, construções e demais elementos acima do solo em relação ao terreno propriamente dito. Soma-se a isso a não penetração das bandas ALOS PALSAR em espelhos d'água.

Surpreendentemente, todas as depressões cársticas detectadas no MDE derivado da imagem interpolada (resolução 5 metros) foram detectados no MDE derivado da imagem ALOS (resolução 12,5 metros).

Através da ferramenta *Contour*, foram geradas curvas de nível topográficas com equidistâncias de três metros. Assim, o limite de corte utilizado na detecção das depressões altimétricas foi definido como sendo o intervalo entre as curvas de nível, ou seja, apenas depressões com mais de 3 metros de profundidade puderam ser consideradas neste trabalho. Para a detecção das depressões cársticas foi empregada uma simplificação da metodologia desenvolvida por Rodrigues (2011).

As depressões altimétricas foram detectadas seguindo as curvas de nível fechadas que se apresentavam externas a outras curvas com cotas topográficas menores. As margens das depressões foram traçadas automaticamente por meio da ferramenta *Feature to Polygon*, no qual foram admitidas manualmente apenas aquelas cujo a margem fosse a curva de nível fechada de maior cota topográfica dentre as outras curvas concêntricas. Este critério foi adotado para que a depressão detectada representasse o maior polígono fechado contendo, eventualmente, outras depressões concêntricas menores. Tal procedimento teve com o intuito de delimitar a maior área interna possível da depressão, de modo que o formato geral do polígono traçado expressasse a forma mais próxima da feição real.

Ao todo, foram detectadas 564 depressões altimétricas, que foram posteriormente aferidas manualmente em imagens do *software* Google Earth® (GOOGLE, 2017).

### **7.1.1 Aferição das Depressões Detectadas**

As depressões altimétricas detectadas foram verificadas segundo o mapa geológico do Projeto VIDA de Ribeiro *et al.* (2003), no qual as depressões sobre as litologias carbonáticas e carbonáticas encobertas dos Membros Lagoa Santa e Pedro Leopoldo da Formação Sete Lagoas e sobre as coberturas cenozóicas sobrejacentes aos calcários foram confirmadas como depressões cársticas.

As depressões cársticas detectadas foram aferidas por meio de uma análise sistemática fundamentada em Sensoriamento Remoto visual através de imagens RGB do *software* Google Earth® (GOOGLE, 2017), com intuito de verificar as detectadas no MDE derivado das imagens ALOS PALSAR. Assim como as imagens ALOS PALSAR, as imagens Landsat também não penetram em nenhum elemento acima do solo nem mesmo ultrapassam as nuvens. Essa limitação foi contornada pela seleção adequada de cenas Landsat.

O produto da aferição via Sensoriamento Remoto foi a seleção de depressões detectadas erroneamente devido à interferência de ruídos, tais como: bordas geométricas artificiais criadas por dosséis vegetais, vales de cursos d'água (calhas de rios), matas ciliares, obras de terra, agriculturas com pivôs centrais de irrigação, barramentos e cavas de mineração. Todas as depressões detectadas erroneamente foram caracterizadas como ruídos e excluídas.

Nessa etapa de aferição também foi realizada a modificação manual de algumas feições detectadas de modo a ajustar os seus limites segundo a análise dos padrões das curvas de nível (equidistantes de três metros) e imagens do *software* Google Earth® (avaliação das interferências dos dosséis e ruídos). Essas modificações redundaram em compartimentações e redimensionamento de algumas das feições originais.

Das 564 depressões altimétricas detectadas, 171 foram excluídas e 45 tiveram as suas margens reajustadas manualmente para adequação em função das imagens analisadas.

Ainda na etapa de Sensoriamento Remoto, posteriormente à aferição das depressões cársticas, foi realizada detecção por interpretação visual dos maciços calcários rochosos na área de estudo.

### **7.1.2 Validação em Campo das Depressões Cársticas**

Foram realizados trabalhos em campo nos dias 22 a 26 de agosto de 2017 visando a confirmação e a caracterização das depressões detectadas pela metodologia apresentada. Foram incluídos diversos locais de observação que haviam sido descritos em datas aleatórias anteriores a essa empreitada de campo.

O trabalho de campo foi conduzido de modo a visitar as depressões cársticas detectadas além da observação das principais características: tamanho, profundidade, arredondamento, dimensões, presença ou ausência de maciços rochosos e de água em seu interior, dentre outras. Constatou-se uma grande variedade de formas e relevos morfológicos ligados às depressões que demandariam um levantamento de campo em tempo incompatível com o tempo para o presente estudo, para a classificação das mesmas em uvalas, poljes e vales cegos. Assim, optou-se por uma classificação morfométrica única das feições fechadas, reportadas como depressão cárstica.

Existem porções no interior das depressões que resistiram mais ao processo de dissolução e erosão, permanecendo topograficamente mais altas, e áreas que foram preferencialmente dissolvidas e ou colapsadas, gerando feições topograficamente mais baixas. Tais feições podem ser originadas principalmente nas regiões propícias: zonas de controle faciológico (variações na composição litológica em uma mesma unidade estratigráfica – em escala não mapeável) e zonas de controle estrutural. Não há como se caracterizar o controle faciológico pelo escopo (extensão e escala de abrangência da área de estudo), porém é possível o estudo de padrões estruturais e sua análise pelas ferramentas de estatística e representações características por estereogramas ou rosetas.

O trabalho de campo teve como premissa ser bem distribuído nas regiões da área de estudo, confirmando a presença de depressões de diversos tipos, características, formas e tamanhos. Foram visitadas e confirmadas 73 depressões cársticas nas investigações em campo realizadas.

### **7.1.3 Parâmetros Morfométricos das Depressões Cársticas**

De acordo com Bondesan *et al.* (1992) os parâmetros morfométricos favorecem a geração de hipóteses acerca da evolução e do dinamismo das depressões cársticas com o meio.

Através de técnicas de geoprocessamento realizadas no MDE, mapa geológico do Projeto VIDA de Ribeiro *et al.*, (2003) e de sensoriamento remoto nas imagens RGB

do *software* Google Earth® (2017), foram definidos e calculados os seguintes parâmetros nas depressões cársticas:

- Área (m<sup>2</sup>),
- Perímetro (m),
- Cota Topográfica (m),
- Profundidade (m),
- Índice de Circularidade,
- Declividade Média ( $\alpha$ ),
- Comprimento dos Eixos de Alongamento (m),
- Índice de Eixos de Alongamento (m),
- Azimute do Eixo Principal (°),
- Área de Maciços Calcários Rochosos (m<sup>2</sup>),
- Litologia

#### **7.1.3.1 Área Projetada**

O parâmetro Área corresponde à extensão interna em (m<sup>2</sup>) das depressões cársticas, obtidos por meio da ferramenta *Calculate Geometry/area* na tabela de atributos onde foram realizados os cálculos dos arquivos vetoriais no *software* ArcGIS® (ESRI, 2011).

#### **7.1.3.2 Perímetro**

O parâmetro Perímetro corresponde ao comprimento da margem mais externa em (m) das depressões cársticas, variando de acordo com seu formato e tamanho. Os valores foram obtidos por meio da ferramenta *Calculate Geometry/length* na tabela de atributos onde foi realizado os cálculos dos arquivos vetoriais no *software* ArcGIS® (ESRI, 2011).

#### **7.1.3.3 Cota Topográfica**

O parâmetro Cota Topográfica foi representado pela altitude do ponto mais profundo (mínimo altimétrico) da depressão cárstica em relação ao nível do mar. Os valores foram calculados segundo a ferramenta *Zonal Statistics as Table* do *ArctoolBox*, *software* ArcGIS® (ESRI, 2011).

#### 7.1.3.4 Profundidade

A Profundidade foi obtida a partir da diferença entre a cota topográfica do máximo altimétrico (topo) e a cota topográfica do mínimo altimétrico (fundo) por meio da ferramenta *Zonal Statistics as Table* do *ArctoolBox*, software ArcGIS® (ESRI, 2011).

#### 7.1.3.5 Índice de Circularidade (IC)

O (IC) foi utilizado como índice de forma para expressar o quanto um polígono tende à forma circular, de modo que, quanto mais circular a depressão for, mais o IC tenderá a 1. O IC foi calculado a partir de Tonello, (2005) segundo a equação:

$$IC = \frac{12,57 * A}{P^2}$$

Onde: A = Área da depressão; P = Perímetro da depressão.

O índice de circularidade (IC) é um parâmetro inicialmente proposto por Miller (1953) *apud* Ferrari *et al.*, (1998).

#### 7.1.3.6 Declividade Média

O parâmetro Declividade expressa o declive das vertentes das depressões cársticas. É definido pelo ângulo ( $\alpha$ ) de inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal, no qual os seus valores variam de 0° a 90°. A análise deste parâmetro está ligada ao transporte gravitacional, se dizendo respeito ao escoamento e infiltração das águas superficiais e subterrâneas. A Figura 7.2 ilustra o cálculo da declividade das vertentes das depressões cársticas, onde  $\alpha$  = ângulo de declividade, DV = distância vertical e DH = distância horizontal.

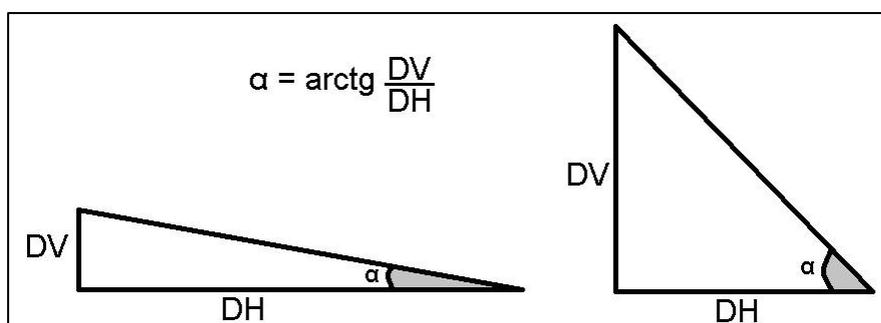


Figura 7.2 - Variável declividade. Adaptado de Valeriano (2008).

De acordo com Valeriano (2008), é importante ressaltar que todas as operações que atribuem o parâmetro declividade devem ser realizadas com a variável expressa em graus, radianos ou grados, por serem lineares e proporcionais, já que a declividade

calculada em ângulos varia exclusivamente de 0° a 90° enquanto os valores de declividade em porcentagem variam de 0 a infinito, indicando assim que os valores em porcentagem não são adequados por não variarem linearmente.

Embora o valor genuíno do ângulo da declividade seja bastante empregado em diversos estudos, a subdivisão desses valores em intervalos de classes se faz necessária para uma abordagem mais específica principalmente sob a lógica da análise do relevo e representação de mapas (VALERIANO, 1998).

Em seu manual Lepsch *et al.*, (1991) adotou sete classes de declividades com intervalos não equidistantes levando em consideração frequências de inundação, erosividade, pedogênese entre outros quesitos mas ressalta que os limites e quantidades dos intervalos podem ser variados segundo as situações, utilizações e localidades.

Nesta pesquisa os limites das classes de declividade foram assumidos a partir de uma adaptação das classes apresentadas por Lepsch *et al.*, (1991), EMBRAPA (1999) e a partir do arredondamento da classificação gerada automaticamente segundo o método *Natural Breaks (Jenqs)* no software ArcGIS® (ESRI, 2011) que agrupou as classes segundo as particularidades dos dados (Quadro 7.1).

Quadro 7.1 - Classes de declividades e suas características topográficas e hídricas. Adaptado de Lepsch *et al.*, (1991) e EMBRAPA (1999).

Classes	Ângulo	Características
A	< 3°	Áreas planas ou com declives suaves, nos quais, na maior parte dos solos, o escoamento superficial ou enxurrada (deflúvio) é muito lento, lento ou médio favorecendo a infiltração hídrica.
B	3° - 6°	Áreas com superfícies pouco inclinadas, geralmente com relevo ondulado, nas quais o escoamento superficial, para a maior parte dos solos, é médio ou rápido, favorecendo um pouco a infiltração hídrica.
C	6° - 10°	Compreende áreas muito inclinadas ou colinosas, onde o escoamento superficial é rápido na maior parte dos solos, ocorrendo pouca ou nenhuma recarga hídrica subterrânea.
D	10° - 24°	Representada por áreas fortemente inclinadas, cujo escoamento superficial é muito rápido na maior parte dos solos.
E	24° - 35°	Constituída por áreas íngremes, de regiões montanhosas, onde o escoamento superficial é sempre muito rápido e, os solos, extremamente suscetíveis a erosão hídrica.
F	> 35°	São áreas de relevo escarpado ou muito íngreme, onde normalmente nenhum solo se desenvolve ou só existem solos muito rasos, geralmente em associação com exposições rochosas.

Cada depressão foi representada por um valor único de declividade, calculado pela média aritmética dos valores dos ângulos de declividade internos obtido pelas ferramentas *Slope* e *Zonal Statistics as table* do *ArctoolBox*, software ArcGIS® (ESRI, 2011).

#### **7.1.3.7 Comprimento dos Eixos de Alongamento**

Depressões que se desenvolvem segundo uma direção preferencial mostram obrigatoriamente a existência de um ou mais eixos de alongamento, ou seja, apresentam diferenças consideráveis entre os seus diâmetros menor e maior. Esse eixo de alongamento pode expressar a influência da geologia estrutural – direção das descontinuidades potenciais para o desenvolvimento de porosidade secundária que favorece a percolação de fluidos e contribui para o desenvolvimento das depressões, auxiliando na análise dos fenômenos geogenéticos do cenário cárstico.

A identificação dos eixos decorreu, portanto, dos padrões direcionais do relevo interno das depressões cársticas em que eles foram traçados manualmente e por análise visual fundamentalmente nos fundos dos polígonos, seguindo as formas das curvas de nível tendo como base os eixos morfométricos traçados no interior das dolinas conforme Bondesan *et al.* (1992).

Nas depressões pequenas e pouco sinuosas os eixos são expressos pela reta composta pelos dois pontos mais distantes horizontalmente das bordas ou com maiores inflexões recorrentes nas curvas de nível. Naquelas grandes e com IC baixo, ou seja, com formas *amebóides*, podem eventualmente ocorrer mais de um eixo preferencial. A Figura 7.3 ilustra um exemplo dos eixos de alongamentos traçados em algumas depressões cársticas.

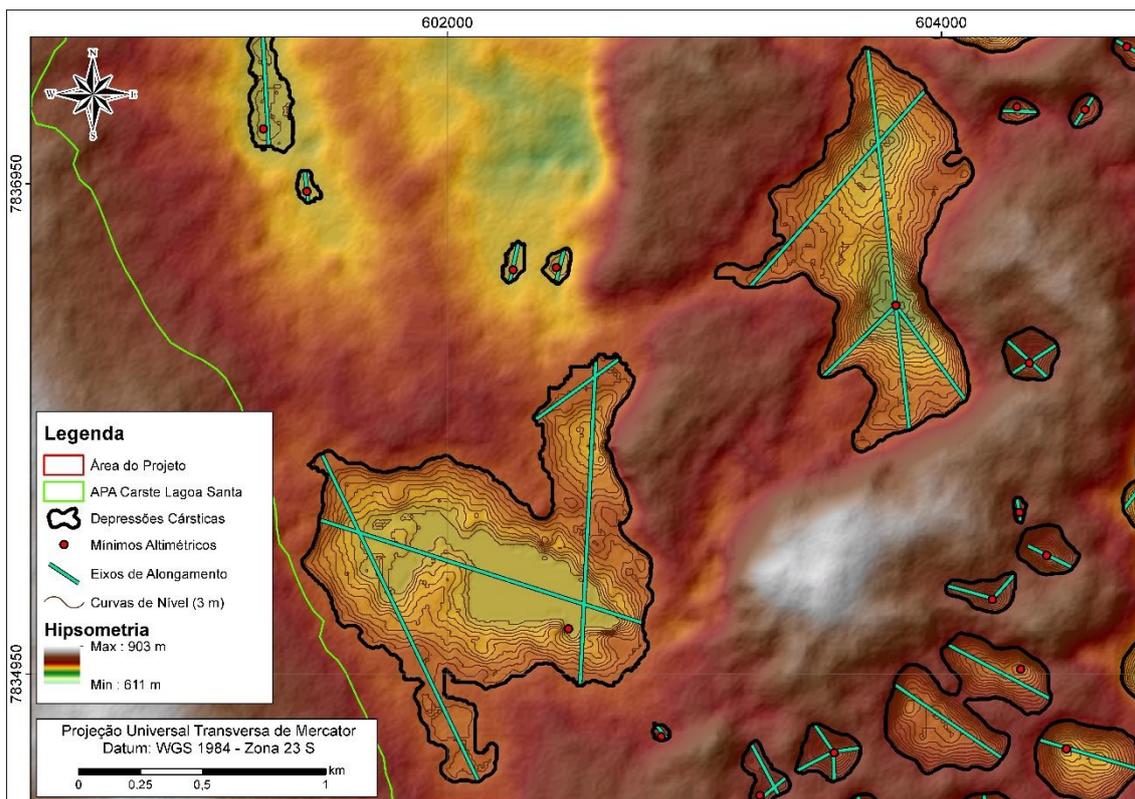


Figura 7.3 – Eixos de Alongamento no interior de depressões cársticas

Em seguida à delimitação dos Eixos de Alongamento, foi calculado o comprimento das retas traçadas em cada depressão por meio da ferramenta *Calculate Geometry* na tabela de atributos no *software* ArcGIS® (ESRI, 2011). Em suma, cada depressão cárstica obteve um valor numérico respectivo ao parâmetro Comprimento do Eixo de Alongamento.

O valor do comprimento do eixo de alongamento, representa quantitativamente a influência da estrutura tectônica nas depressões, isto é, a medida inferida das descontinuidades (potencialmente a porosidade secundária) que atua na morfogênese das depressões cársticas e feições dissolutivas (BONDESAN *et al.*, 1992).

#### 7.1.3.8 Índice de Eixo de Alongamento (IE)

O Índice de Eixos representa um parâmetro que foi desenvolvido com o objetivo de melhor aquilatar a relação do comprimento dos eixos de alongamento com o formato do polígono respectivo a cada depressão cárstica, sendo relevante para o estudo morfométrico e genético das depressões.

Essa variável é a razão entre o somatório do comprimento dos eixos de alongamento e o Índice de Circularidade de cada depressão que foi calculado a partir da seguinte equação:

$$IE = \frac{\Sigma EA}{IC}$$

Onde: EA = Comprimento dos Eixos de Alongamento; IC = Índice de Circularidade.

Quanto maior o índice de eixos de alongamento, maior será o controle estrutural no desenvolvimento e alargamento das depressões cársticas.

#### **7.1.3.9 Azimute do Eixo Principal**

Foram traçados os eixos principais manualmente em todas as depressões cársticas. Esses eixos podem representar a direção das descontinuidades que potencialmente constituem as estruturas que formam a porosidade secundária. Essas estruturas representam planos que favorecem a percolação de fluidos e conseqüentemente o desenvolvimento das feições dissolutivas, entre elas as depressões cársticas em uma direção principal.

Os referidos eixos foram traçados seguindo a direção principal de desenvolvimento, sendo delineado, segundo Bondesan *et al.* (1992), pelo maior segmento interno que intercepta o ponto de mínimo altimétrico interno da depressão. A Figura 7.4 ilustra exemplos de Eixos Principais traçados em algumas depressões cársticas

Seguiu-se o cálculo do azimute da reta representativa do eixo principal, ou seja, o ângulo que a reta faz com o Norte geográfico por meio da ferramenta *Split into COGO lines* do *ArctoolBox* do *software* ArcGIS® (ESRI, 2011). Esses azimutes foram agrupados em 12 classes com amplitude de 15 ° em cada classe (Quadro 7.2).

Para a geração dos diagramas de rosetas dos Eixos Principais foi utilizado a ferramenta *AzimuthFinder*® do *ArctoolBox* (ArcGIS®), desenvolvida pela GeoVetor. Os diagramas de rosetas foram gerados utilizando o *software* Stereo32® (ROLLER & TREPMANN, 2003, ESRI, 2011; QUEIROZ *et al.*, 2014).

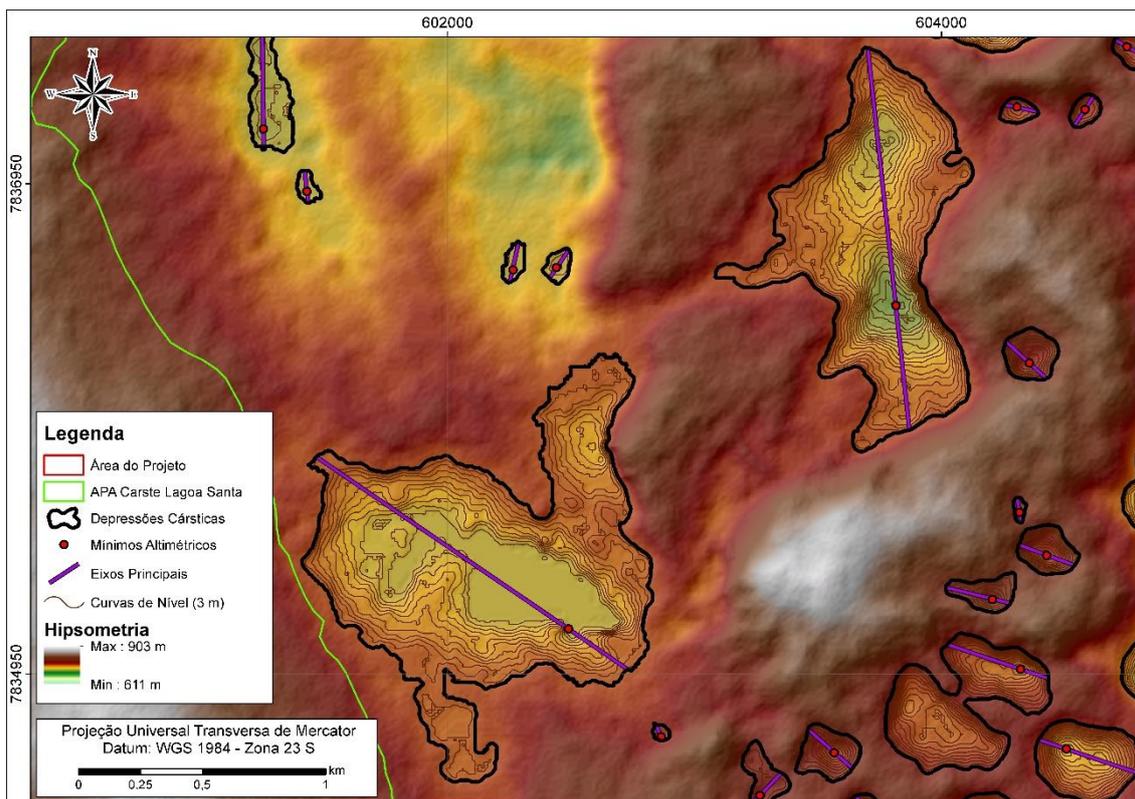


Figura 7.4 – Eixos Principais no interior de depressões cársticas

Quadro 7.2 – Angulos e classes azimutais dos eixos principais

Classe Azimutal Eixos Principais	Valor ângulo	Direção de referência
1	0 - 14,9°	N-NE
2	15 – 29,9°	N-NE
3	30° - 44,9°	NE
4	45° - 59,9°	NE
5	60° - 74,9°	NE
6	75° - 89,9°	E-W
7	90° - 104,9°	E-W
8	105° - 119,9°	NW
9	120° - 134,9°	NW
10	135° - 149,9°	NW
11	150° - 174,9°	N-NW
12	174,9° - 180°	N-NW

#### **7.1.3.10 Área de Maciços**

O parâmetro Área de Maciços diz respeito à extensão (em m<sup>2</sup>) de maciço calcário rochoso presente no interior de cada depressão cárstica. Essa variável foi analisada com intuito de se investigarem as interações dos maciços com a presença de água e com outros parâmetros morfométricos das depressões cársticas medidos.

Nas imagens analisadas por sensoriamento remoto, os maciços se apresentavam sobre diversos padrões, sendo observados aflorantes e exumados (sem vegetação), bem como cobertos por vegetação de campo rupestre ou até mesmo com vegetação de médio a grande porte.

Assim, devido à dificuldade na percepção dos limites dos maciços calcários automaticamente pela classificação supervisionada, causado pelos diferentes tipos de cobertura vegetal, a identificação dos maciços calcários rochosos foi realizada via sensoriamento remoto por meio de foto observação visual e manual a partir das imagens RGB do software Google Earth® Pro (GOOGLE, 2017) e imagens espectrais dos satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI/TIRS (USGS, 2017).

Após a identificação dos paredões rochosos e maciços calcários presentes na área do projeto de estudo, apenas aqueles localizados no interior das depressões cársticas foram selecionadas para compor o exposto parâmetro. A seleção dos maciços calcários presentes no interior de cada depressão cárstica foi realizada por meio da ferramenta *clip* do *ArctoolBox* do software ArcGIS® (ESRI, 2011).

Em suma, o parâmetro Área de Maciços diz respeito à extensão (m<sup>2</sup>) de maciço calcário rochoso situado segundo as litologias carbonáticas localizadas no interior de cada depressão cárstica. Essa variável foi analisada com intuito de investigar as interações dos maciços com os outros parâmetros morfométricos das depressões cársticas medidos.

#### **7.1.3.11 Litologia**

O parâmetro litologia é qualitativo e foi expresso segundo o nome da unidade carbonática (membros Lago Santa ou Pedro Leopoldo) na qual cada depressão está vinculada, de acordo com o mapa geológico da área de estudo do Projeto VIDA (RIBEIRO *et al.*, 2003). No caso das depressões que estavam sobre duas ou mais rochas (contato), adotou-se a camada de rocha com maior ocorrência para a representação no referido parâmetro. Assim foram determinados os parâmetros: Membro Lagoa Santa,

Membro Pedro Leopoldo, Formação Serra de Santa Helena e Coberturas sedimentares recentes associadas.

As depressões foram classificadas por meio da função *Joins and Relates* do *software* ArcGIS® (ESRI, 2011) entre os *shapefiles* das depressões cársticas detectadas e o mapa geológico do Projeto VIDA.

## 7.2 IDENTIFICAÇÃO E DETECÇÃO DOS ESPELHOS D'ÁGUA

O estudo do comportamento hídrico das depressões cársticas se baseou na investigação de espelhos d'água em cenas da cobertura terrestre obtidas em períodos hidrológicos distintos. As investigações foram realizadas através da classificação supervisionada por meio do *software* Envi Classic® versão 5.0.

Classificação supervisionada é um processo computacional utilizado para identificar informações em uma imagem da superfície terrestre por meio do mapeamento dos pixels que possuem valores próximos a áreas de interesse. Os resultados gerados são mapas temáticos digitais (denominados *Rasters*) com pixels rotulados como as áreas de interesse (alvos) definidas como padrão no início da classificação (BRITES *et al.*, 1996; FIGUEIREDO e VIEIRA, 2007; MENESES e ALMEIDA, 2012; e CATTANI *et al.*, 2013).

A determinação das cenas da cobertura terrestre representativas dos distintos períodos hidrológicos decorreu da análise do regime pluviométrico da região através das séries históricas de chuva medidas em uma estação pluviométrica localizada no interior da área do projeto, no município de Pedro Leopoldo. A série histórica foi obtida por meio da plataforma Hidroweb (ANA, 2017).

Devido ao fato das imagens Landsat não penetrarem em nenhum elemento acima do solo nem mesmo ultrapassam as nuvens, essa limitação foi contornada pela seleção adequada de cenas Landsat no site do Serviço Geológico Norte Americano (USGS, 2017).

Segundo Warming (1982) a estação de seca se inicia aproximadamente em abril e se estende até setembro, e a estação chuvosa vai do mês de outubro até março.

Para o processamento foram utilizadas quatro cenas de imagens orbitais do satélite Landsat sem interferências de nuvens.

- i) Duas imagens Landsat 5 TM do ano de 2010 (pluviometria normal), sendo uma representativa do final de período chuvoso (abril) e uma representativa do final de período estiagem (setembro);

- ii) Duas imagens Landsat 8 OLI/TIRS do ano de 2014 (pluviometria muito abaixo da média histórica da região), também representativas do final de período chuvoso (abril) e final de período de estiagem (setembro).

Para o ano de 2010 não foram utilizadas imagens Landsat 7 ETM+ devido às distorções e manchas nas imagens disponíveis e à missão Landsat 8 ainda não tinha sido lançada, que ocorreu em 11/fev/2013). Por conta disso foram utilizadas as bandas com mesmo comprimento de onda em todas as quatro cenas, não tendo sido utilizada a banda pancromática 8 nas Landsat 8. Além do mais, algumas cenas Landsat 8 apresentam a banda 8 pancromática com deslocamento em relação às outras sete bandas.

No *software* Envi Classic®, o procedimento inicial foi a criação de um mosaico das imagens Landsat, a partir da união de cenas de mesma data mesma órbita e pontos subsequentes, com objetivo de obter uma cena única cobrindo totalmente a área de estudo. O mosaico gerado foi posteriormente cortado segundo uma máscara (área de influência ou buffer) de 2 quilômetros da área do projeto por meio da ferramenta *Apply Mask Input File* do *Basic tools*.

Após o recorte do mosaico da imagem Landsat foi realizada a composição de bandas espectrais através da ferramenta *Available Bands List*. Tal composição foi utilizada para aumentar os contrastes entre a água e os demais materiais destacados. As composições coloridas adotadas foram a de falsa cor: Red-Green-Blue (RGB) com as bandas espectrais 5, 4 e 3 nas LANDSAT 5 TM e 6, 5 e 4 para as Landsat 8 OLI/TIRS. As sequências de empilhamento de bandas foram diferentes entre as LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI/TIRS devido aos diferentes intervalos entre os comprimentos de onda (bandas espectrais) dos sensores (SILVA *et al.*, 2005; MARTINS *et al.*, 2007 e ROSA *et al.*, 2011).

Após a geração das imagens com as bandas espectrais coloridas foram definidas classes para a classificação supervisionada por meio da ferramenta *ROI Tool*. As classes definidas, denominadas ROIs (*Region of Interest*), foram: Água, Vegetação, Solo Exposto, Região Urbana, Cava de Mina e Cicatrizes de Áreas de Queimadas. Para cada classe foram selecionadas aproximadamente 25 áreas de treinamento (regiões já conhecidas em função da classe selecionada) com a finalidade de se obter boa representatividade de cada ambiente definido.

A classificação fundamenta-se na cor, tonalidade, textura, estrutura, sombras e homologias, que são os aspectos que auxiliam na separabilidade das áreas de treinamento das classes pré-definidas (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Posteriormente à seleção das áreas de treinamento, foi utilizada a ferramenta *Maximum Likelihood Parameters* para efetuar a classificação por meio do algoritmo classificador da Máxima Verossimilhança. Esse atributo considerou a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos. O classificador calculou a probabilidade que um dado pixel tem de pertencer a uma classe específica e o rotulou a classe que tem a mais alta probabilidade (MENESES E ALMEIDA, 2012 e ANDRADE *et al.*, 2014).

O resultado obtido no final do processo foi a geração de imagens *Raster* da cobertura terrestre relativo a cada cena: abril/2010, setembro/2010, abril/2014 e setembro/2014.

### **7.2.1 Validação da Detecção dos Espelhos d'Água**

Para a verificação da eficiência dos resultados obtidos nas classificações supervisionadas, foram geradas Matrizes de Confusão e Matrizes de Erros para cada cena classificada através da ferramenta "*Post-Classification*" > "*Confusion Matrix*" > "*Using Ground Truth ROIs*" ainda no *software* Envi Classic®.

As Matrizes de Confusão dispõem dos dados da Acurácia Geral (ou global) e do Coeficiente de Kappa (*K*) da classificação realizada, além de informar a porcentagem de pixels classificados corretamente em cada classe e a proporção de pixels que cada classe representa no total da imagem classificada.

As Matrizes de Erros apresentam os “Erros de Inclusão” por meio da porcentagem de pixels pertencentes a outras classes que foram erroneamente atribuídos a uma devida classe, e os “Erros de Exclusão” representados pela porcentagem de pixels que pertencem à classe de interesse (treinamento), mas o classificador atribuiu a outras classes (BRITES *et al.* 1996; FIGUEIREDO e VIEIRA, 2007; CHAGAS *et al.* 2009; NASCIMENTO *et al.* 2009 e MENESES e ALMEIDA, 2012).

De acordo com Cattani *et al.* (2013) e Meneses e Almeida (2012) a Acurácia Geral (AG) também intitulada como Exatidão Global, expressa em porcentagem a razão entre o número de amostras classificadas corretamente e o número total de amostras de referência (áreas de treinamento). Ainda conforme os autores, o Coeficiente de Kappa (*K*) é uma medida que informa se as inteirações realizadas podem ser legitimadas ou não. Para a avaliação dos Coeficientes de Kappa obtidos, consideraram-se os valores da tabela de qualidade proposta por Landis e Koch (1977) *apud* Meneses e Almeida (2012) vide Quadro 7.3.

Quadro 7.3 - Qualidade da classificação em função do coeficiente de Kappa. Segundo Landis e Koch (1977).

<b>Coeficiente de Kappa (K)</b>	<b>Qualidade do <i>Raster</i> gerado</b>
0,0 – 0,2	Ruim
0,2 – 0,4	Razoável
0,4 – 0,6	Boa
0,6 – 0,8	Muito boa
0,8 – 1,0	Excelente

Após a validação da classificação supervisionada realizada, as cenas geradas foram encaminhadas para o software ArcGIS onde a imagem *Raster* foi transformada em um arquivo *shapefile* por intermédio da ferramenta do *ArctoolBox* denominada *Extract by Polygon*, permitindo edições e exclusões posteriores.

Os polígonos classificados como a classe Água em todas as cenas foram separados das demais classes com vistas aos estudos hídricos. As demais classes: Vegetação, Solo Exposto, Região Urbana, Cava de Mina e Cicatrizes de Áreas de Queimadas foram excluídas.

### **7.2.2 Parâmetros Morfométricos dos Espelhos d'Água**

Para o estudo hídrico das depressões cársticas, os polígonos classificados como água nos mapas temáticos gerados pela classificação supervisionada, que não estavam situados no interior das depressões ou que foram averiguados como sendo atividades antrópicas foram excluídos do estudo. Apenas os polígonos referentes à classe água situados no interior das depressões cársticas foram identificados como espelhos d'água naturais e permaneceram no estudo.

Nos polígonos respectivos aos dos espelhos d'água situados no interior das depressões cársticas, foram calculados os seguintes parâmetros:

- Azimute Espelho d'Água (°),
- Área de Espelho d'Água em abril/2010 (m<sup>2</sup>),
- Área de Espelho d'Água em setembro/2010 (m<sup>2</sup>),
- Retração de Espelho d'Água em 2010 (m<sup>2</sup>),
- % Retração de Espelho d'Água em 2010,
- Área de Espelho d'Água abril/2014 (m<sup>2</sup>),
- Área de Espelho d'Água setembro/2014 (m<sup>2</sup>),
- Retração de Espelho d'água em 2014 (m<sup>2</sup>) e
- % Retração de Espelho d'Água em 2014.

### **7.2.2.1 Área dos Espelhos d'Água**

Foram calculadas as áreas (m<sup>2</sup>) dos espelhos d'água nos quatro mapas temáticos classificados referentes a abril/2010, setembro/2010, abril/2014 e setembro/2014. Em seguida foram calculadas a retração dos espelhos d'água (m<sup>2</sup>) e a porcentagem dessa retração entre abril e setembro de 2010 e entre abril e setembro de 2014.

### **7.2.2.2 Retração dos Espelhos d'Água**

O parâmetro Retração dos Espelhos d'Água representa a retração absoluta dos espelhos d'água em cada ano analisado (2010 e 2014). Esse parâmetro é representado em área (m<sup>2</sup>) sendo calculado segundo a equação:

$$R = ED \text{ (abril)} - ED \text{ (setembro)}$$

Em que: R = Retração Absoluta; ED = Área do Espelho d'Água.

### **7.2.2.3 Porcentagem de retração dos Espelhos d'Água**

O parâmetro Porcentagem de Retração dos Espelhos d'Água representa a proporção da área de espelhos d'água que foi retraída em cada ano analisado (2010 e 2014). Essa variável é expressa em porcentagem e calculada em cada respectivo ano segundo a equação:

$$\% R = \frac{|R|}{ED \text{ (abril)}} * 100$$

Onde: % R = Porcentagem de Retração; ED = Área do Espelho d'Água

### **7.2.2.4 Eixo de Alongamento dos Espelhos d'Água**

Para cada depressão com água na cena de abril de 2010, ano pluviométrico normal, foi traçado, manualmente, um eixo segundo a direção principal do lago que compõe o espelho d'água. Foram medidos os azimutes de 0 a 180 graus desses eixos, os quais foram agrupados em 12 classes com amplitude de 15° em cada classe (Quadro 7.2). A Figura 7.5 ilustra um exemplo de eixos traçados em algumas depressões cársticas.

Os Eixos de Alongamento dos Espelhos d'água foram geoprocessados com auxílio da ferramenta *AzimuthFinder* do *ArctoolBox*, *software* ArcGIS® (ESRI, 2011) desenvolvida pela GeoVetor, e posteriormente representados por diagramas de rosetas por meio do *software* Stereo32® (ROLLER & TREPMANN, 2003; ESRI, 2011; QUEIROZ *et al.*, 2014).

Foram traçados 46 eixos de alongamento nos espelhos d'água, um para cada espelho na imagem respectiva de abril de 2010.

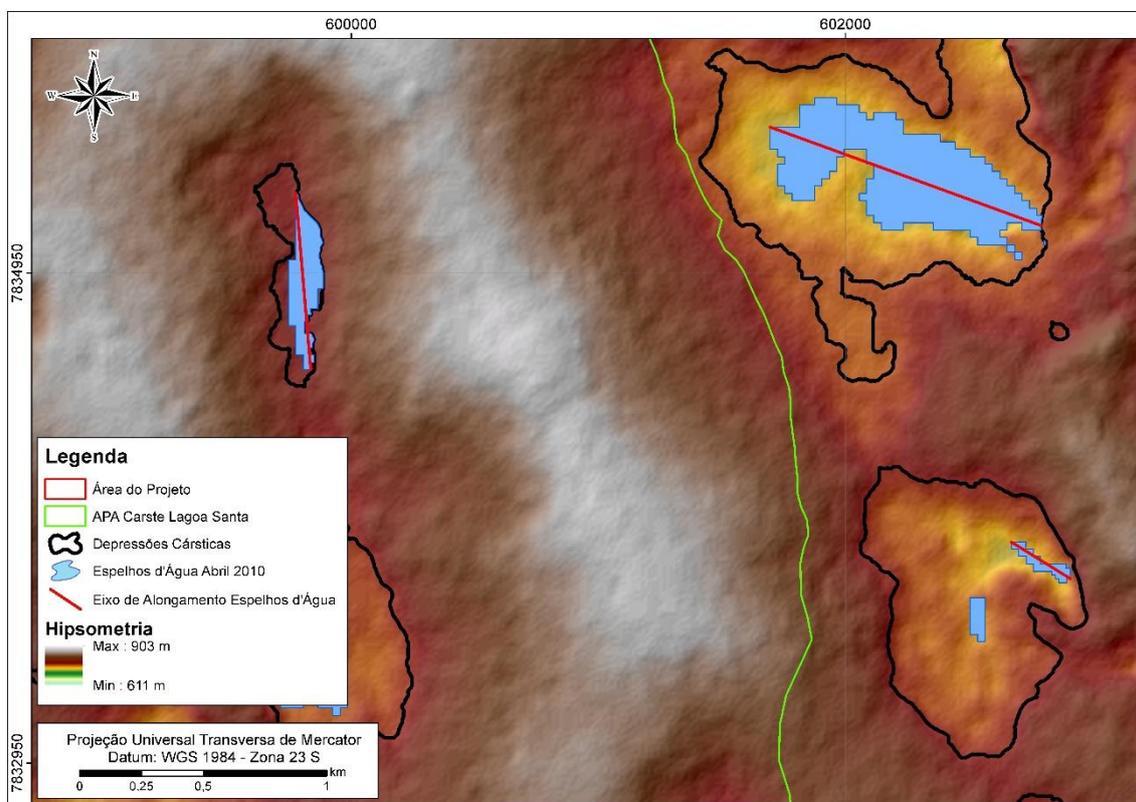


Figura 7.5 - Eixos de Alongamento dos espelhos d'água em abril 2010

### 7.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando ferramentas dos softwares Minitab® versão 16 (MINITAB, 2006) e Statistica® (STATSOFT, Inc. 2004).

Para o entendimento da distribuição e o comportamento das variáveis morfométricas nas depressões cársticas foi realizado o estudo da estatística multivariada permitindo assim analisar simultaneamente os diversos parâmetros medidos. A análise estatística multivariada consistiu de uma sequência de testes e interações, dentre elas: Teste de Normalidade, Matriz de Correlação, Análise de Agrupamento Hierárquico, Gráfico de Dispersão, Análise Fatorial e Análise de Componentes Principais que foram separados em duas etapas, a primeira nas 393 depressões cársticas detectadas e a outra etapa nas depressões com presença de espelhos d'água, 46 no ano de 2010 e 26 no ano de 2014.

Devido à estatística multivariada não considerar a distribuição espacial dos dados no contexto geográfico, torna-se necessário que alguns resultados sejam contextualizados espacialmente por meio da análise espacial. Escolheu-se o software ArcGIS® (ESRI, 2011) e suas ferramentas estatísticas para a avaliação e reconhecimento das relações espaciais dos padrões indicados na estatística multivariada.

Portanto, partindo-se dos resultados obtidos nas análises utilizadas na estatística multivariada, principalmente na Matriz de Correlação e Análise de Agrupamentos Hierárquicos, alguns parâmetros com significativos coeficientes de correlações e similaridades foram refinados à luz da Análise Espacial.

A ferramenta inicial para a análise espacial no software ArcGIS é o *Scatter Plot* o qual apesar de representar apenas gráficos XY, permite representar uma terceira variável a partir de uma rampa de cores (colorimetria).

### **7.3.1 Teste de Normalidade**

Anteriormente à geração da matriz de correlação, foi realizado a avaliação da normalidade das distribuições dos parâmetros estudados por meio do Teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) com auxílio do *software* Statistica® (STATSOFT, Inc. 2004). De acordo com o resultado do teste de normalidade, as variáveis que apresentassem um padrão de distribuição do tipo normal (paramétrico) o coeficiente de correlação utilizado seria o de Pearson, e, para aquelas de padrão não normal (não paramétrico), utilizar-se-ia o coeficiente segundo Spearman.

Foi admitido um nível de significância de 5% no teste K-S, em que o resultado levou em consideração duas hipóteses:  $H_0$  e  $H_1$  em função do p-valor:

- ( $H_0$ ): Para variáveis paramétricas, onde é possível prever o comportamento dos parâmetros medidos, p-valor  $> 0,05$ .
- ( $H_1$ ): Para variáveis não paramétricas, onde não se é possível prever o comportamento dos parâmetros obtidos, p-valor  $< 0,05$ .

P-valor expressa a probabilidade de se encontrar um resultado estatístico igual ou maior ao observado em uma amostra, ou seja, é uma inferência do todo através de uma amostragem. Portanto, neste trabalho, se p-valor apresentar valor menor que o nível de significância, que é de 0,05, refuta-se o  $H_0$ . Mas se p-valor for maior que 0,05, aceita-se  $H_0$ .

### 7.3.2 *Matriz de Correlação*

O valor do coeficiente de correlação entre duas variáveis é uma medida que expressa o nível de associação entre elas variando entre -1 e 1. O sinal positivo indica que as variáveis correlacionadas são diretamente proporcionais e o negativo, inversamente proporcionais. Quanto mais relacionadas entre si as variáveis são mais o valor do coeficiente tende à unidade, do contrário, valores tendendo a 0 indicam pouca ou nenhuma correlação.

A matriz de correlação gerada no *software* Statistica® (STATSOFT, Inc. 2004), foi utilizada para avaliar o relacionamento entre os parâmetros das depressões cársticas em que os valores obtidos foram interpretados segundo os níveis de correlação propostos por Shimakura (2006), Quadro 7.4.

Quadro 7.4 - Padrões de associação entre parâmetros a partir do coeficiente de correlação. Adaptado de Shimakura (2006).

Valor da Correlação	Interpretação	Cor na Matriz de Correlação
0,00 a 0,19	Correlação desprezível	Sem cor
0,20 a 0,39	Correlação fraca	Amarelo
0,40 a 0,69	Correlação moderada	Azul
0,70 a 0,89	Correlação forte	Verde
0,90 a 1,00	Correlação muito forte	Vermelho

### 7.3.3 *Análise de Agrupamentos Hierárquicos*

Análise de Agrupamento ou *Cluster Analysis* é uma análise multivariada utilizada com a finalidade de se observar agrupamentos segundo características em comuns, isto é, similaridades ou diferenças (dissimilaridades) em grupos específicos ou no próprio universo amostral a ser analisado. O resultado da análise de agrupamento se dá por meio de uma representação específica denominada dendrograma ou diagrama de árvore, onde são observadas divisões no conjunto segundo seus níveis de similaridade ou distância no agrupamento.

A análise de agrupamento realizada no *software* Minitab® versão 16 (MINITAB, 2006) utilizou a Distância Euclidiana para medir a similaridade entre os objetos e o método da Ligação Simples, para se representar o menor valor correspondente à distância individual entre os valores obtidos ao longo das próprias variáveis, sem utilizar centroides ou a média das proximidades.

#### 7.3.4 *Análise Fatorial (FA)*

Segundo Hair *et al.*, (2005) e Alencar (2009), a Análise Fatorial é um método estatístico utilizado para analisar as interrelações entre vários parâmetros cujo objetivo é de se obterem resultados analíticos do conjunto utilizando um número menor de variáveis, buscando uma perda mínima de dados e informações.

Com auxílio do *software* Minitab® versão 16 (MINITAB, 2006), a FA foi realizada nos parâmetros quantitativos das depressões cársticas através do critério da raiz latente, no qual apenas os fatores com autovalores (*eigenvalue*) maiores que 1 foram considerados significantes para explicar a variância dos dados. Os demais foram descartados (NAKAMURA *et al.*,2010; FIGUEIREDO FILHO e SILVA JÚNIOR, 2010).

Essa análise foi realizada com o intuito de se reduzir o número de parâmetros, e, conseqüentemente, permitir a investigação dos fatores eleitos na etapa de Análise de Componentes Principais.

#### 7.3.5 *Análise de Componentes Principais (PCA)*

De acordo com Girão *et al.* (2007), a Análise de Componentes Principais é uma técnica que pode ser utilizada para a identificação dos parâmetros que possuem maior significância na variância total dos dados estudados. Na análise de Componentes Principais as n-variáveis são reduzidas, isto é, “amalgamadas” em uma nova distribuição através do cálculo de matrizes algébricas (MOITA NETO, 2004 e HAIR *et al.*, 2005).

Também por meio do *software* Minitab® versão 16 (MINITAB, 2006), a PCA foi realizada para os parâmetros selecionados na etapa anterior (FA) com o objetivo de se identificar, a partir de uma nova distribuição (transformada nos componentes principais PC1 e PC2), quais eram as variáveis com maior significância na classificação das depressões.

De posse dessa análise, pode-se identificar quais, os tipo (direta ou inversa) e o grau de influência que os parâmetros morfométricos, geomorfológicos e morfoestruturais, pertencentes ao PC1 e PC2, exerceram sobre: *i*) a presença ou ausência de água nas depressões em abril de 2010 e 2014; *ii*) o caráter perene das lagoas, isto é, de manter água no seu interior até setembro (após período de estiagem) dos respectivos anos; *iii*) o caráter intermitente das lagoas, isto é, de se apresentarem secas em setembro dos respectivos anos.

## **8 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo são apresentados os resultados globais da detecção e extração dos parâmetros morfométricos, morfoestruturais e hídricos das depressões cársticas, através das etapas que compreenderam geoprocessamento em ambiente SIG, sensoriamento remoto, dados de campo, classificação supervisionada em imagens multiespectrais, estatística elementar e análises estatísticas multivariadas juntamente com a análise espacial de dados.

### **8.1 IDENTIFICAÇÃO E DETECÇÃO DAS DEPRESSÕES CÁRSTICAS**

A partir do MDE gerado pela imagem de radar ALOS PALSAR, foram detectadas 564 depressões altimétricas através da metodologia desenvolvida por Rodrigues (2011) descrita no item 7.1.

#### **8.1.1 Aferição das Depressões Cársticas (em escritório)**

As 564 depressões cársticas detectadas foram foto observadas e aferidas manualmente através de imagens RGB do *software* Google Earth® Pro (2017) e imagens do satélite Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI/TIRS com intuito de apurar polígonos detectados como consequência de interferências e ruídos no MDE. O resultado da etapa de aferição foi uma minuciosa observação que culminou na exclusão de 171 depressões detectadas erroneamente, restando apenas 393 depressões para o prosseguimento do estudo. Destas, 45 (11,5%) tiveram a forma dos seus polígonos reajustada manualmente devido à interferência de ruídos nos limites das curvas de nível (Figura 8.1).

O somatório da área de todas as depressões é de 73.264.196 m<sup>2</sup>, resultando em uma cobertura de 14,51% da área de estudo.

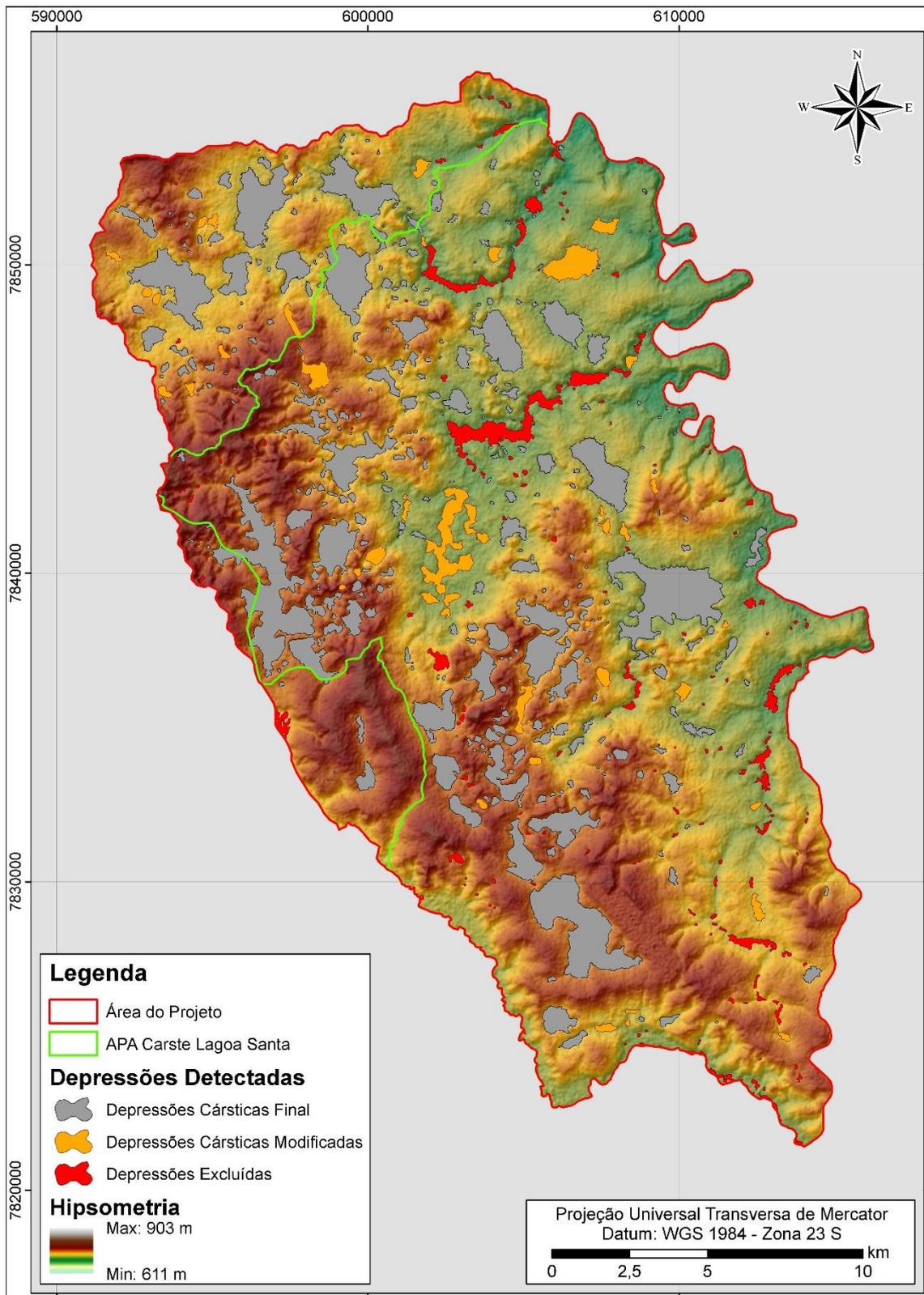


Figura 8.1 – Mapa resultante da etapa de aferição das depressões detectadas

### 8.1.2 Validação da Detecção das Depressões Cársticas (em campo)

Para a validação das depressões detectadas e aferidas, foi realizado uma campanha de trabalho de campo na área de estudo onde foram visitadas 73 depressões (18,6%) a exemplo das mostradas nas Figura 8.2, Figura 8.3 e Figura 8.4. Todas as depressões visitadas haviam sido detectadas e aferidas nas etapas anteriores de geoprocessamento e sensoriamento remoto. A Figura 8.5 apresenta um mapa da área de estudo informando as depressões que foram visitas em campo.

O trabalho de campo foi realizado de modo a visitar as depressões cársticas detectadas de diversos tipos e formas, tais como: rasas, profundas, arredondadas, alongadas, grandes, pequenas, com maciços, sem maciços, com água, recentemente secas, secas e situadas em diferentes localizações geográficas da área de estudo.

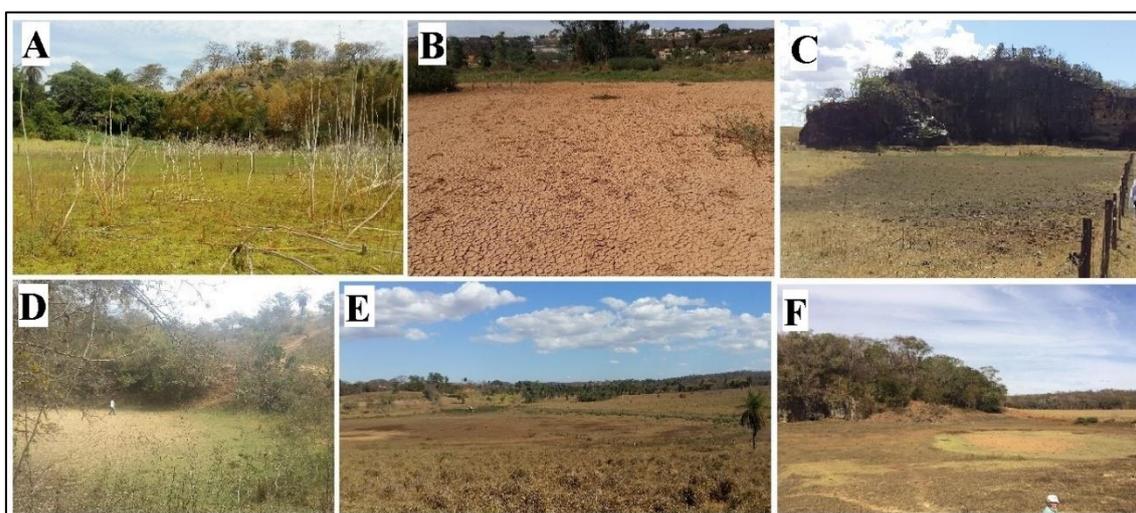


Figura 8.2 – Mosaico de fotografias de depressões cársticas visitadas recentemente secas e com presença de mud creek - agosto de 2017. A) Depressão 352 visada 270°; B) Depressão 352 visada 90°; C) Depressão 360 visada 130°; D) Depressão 174 visada 75°; E) Depressão 337 visada 10°; F) Depressão 390 visada 45.

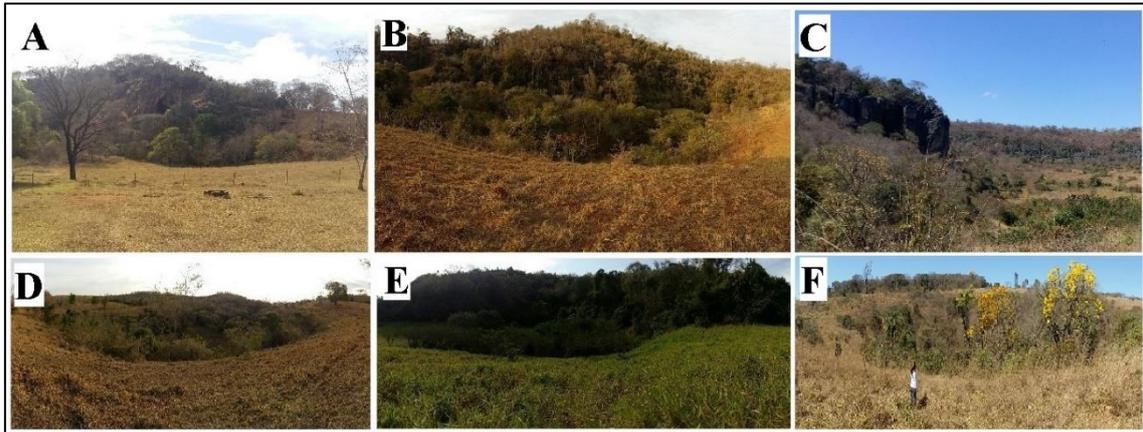


Figura 8.3 – Mosaico de fotografias de depressões cársticas visitadas com maciços calcários rochosos em seus interiores - agosto de 2017. A) Depressão 393 visada 75° destacando Gruta da Brígida ao fundo; B) Depressão 345 visada 60°; C) Depressão 372 visada 135°; D) Depressão 232 visada 320°; E) Depressão 363 visada 350°; F) Depressão 387 visada 150°.

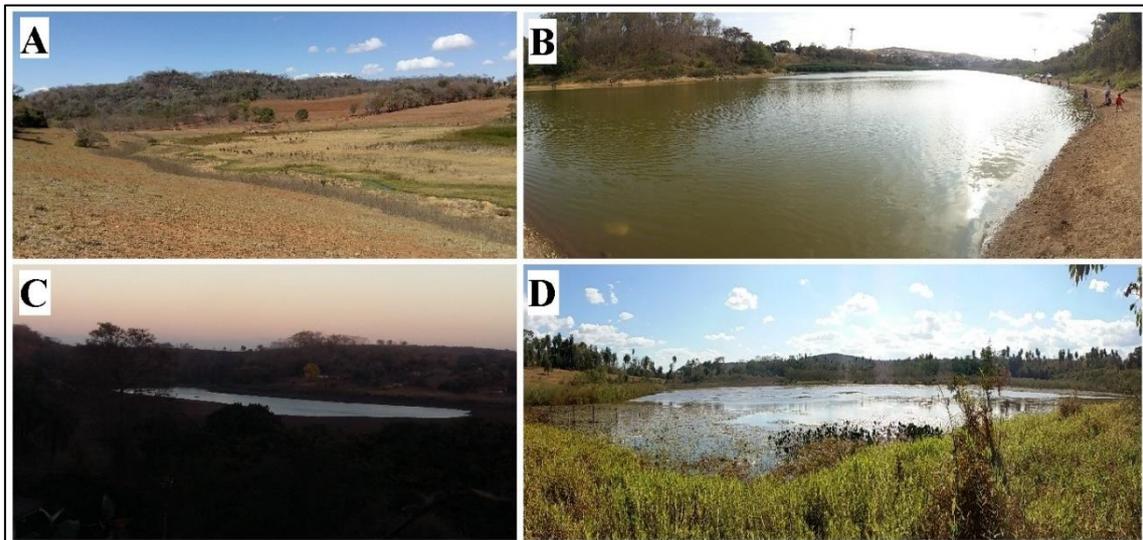


Figura 8.4 – Mosaico de fotografias de depressões cársticas com presença de espelhos d'água em seus interiores - agosto de 2017. A) Depressão 385 visada 140°; B) Depressão 378 visada 290°, Lagoa Santo Antônio; C) Depressão 369 visada 120°, Lagoa dos Mares; D) Depressão 312 visada 315°.

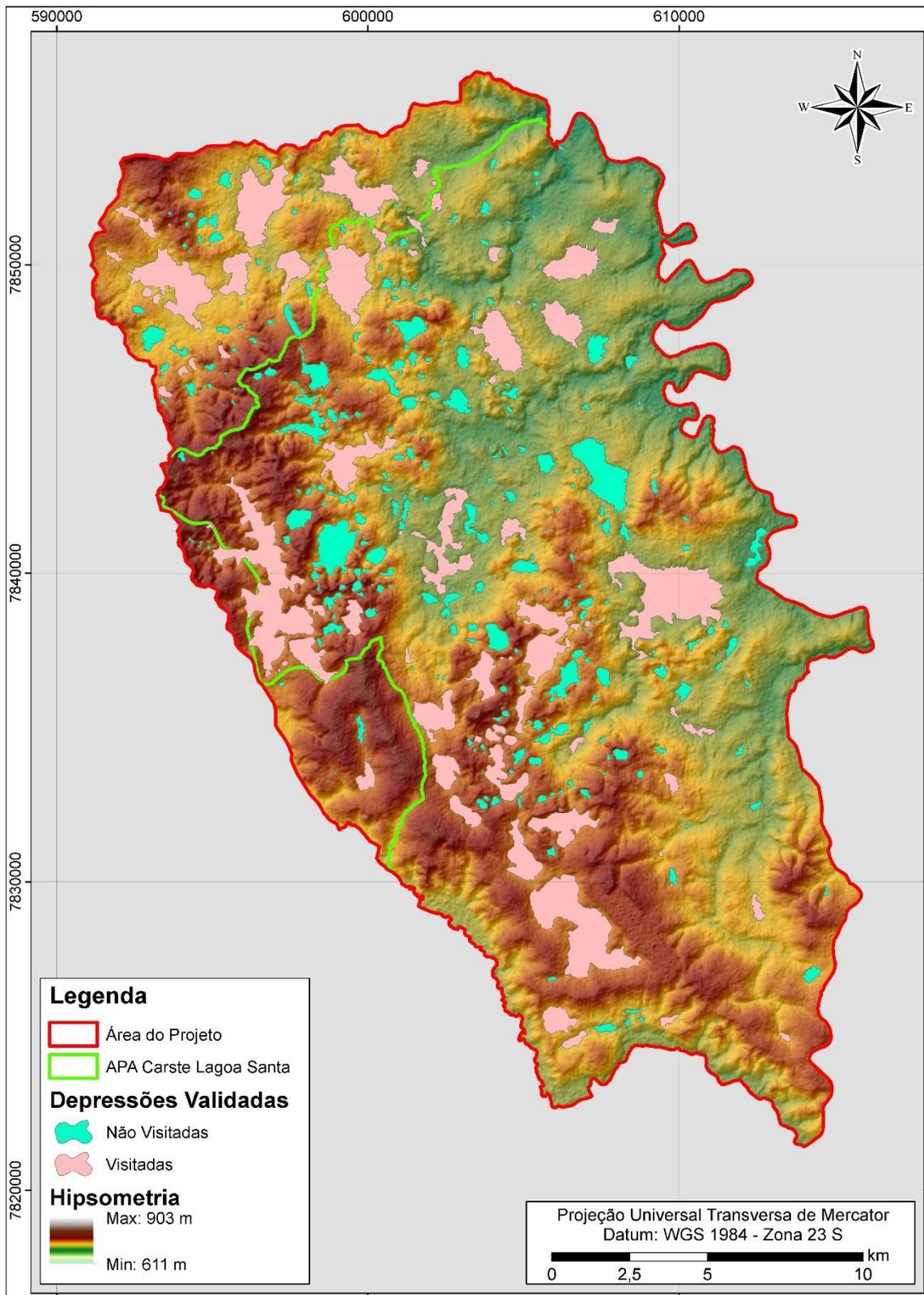


Figura 8.5 – Mapa resultante da etapa de validação das depressões cársticas em campo.

### 8.1.3 Parâmetros Morfométricos das Depressões Cársticas

Foi realizado um estudo estatístico preliminar de todas as variáveis parametrizadas e medidas nas 393 depressões cársticas detectadas. As representações dos dados morfométricos serão mostrados via estatística elementar por tabelas contendo a distribuição dos elementos em 20 intervalos de classe e ilustrados por histogramas.

#### 8.1.3.1 Parâmetro Área (m<sup>2</sup>)

A estatística elementar da área das depressões é representada pela Tabela 8.1 Tabela 8.2, e Figura 8.6.

Tabela 8.1 – Informação estatística do parâmetro Área das depressões cársticas

Número de Depressões Cársticas	393	unidades
Intervalos de classes	20	intervalos
Área Mínima	2.546	m <sup>2</sup>
Área Máxima	6.089.556	m <sup>2</sup>
Amplitude	6.087.010	m <sup>2</sup>
Valor dos intervalos de classes	304.350,5	m <sup>2</sup>
Moda:	2.887	m <sup>2</sup>
Mediana:	27.977	m <sup>2</sup>
Média:	186.450,43	m <sup>2</sup>
Desvio Padrão	601.735,77	m <sup>2</sup>

Tabela 8.2 - Distribuição do parâmetro Área em 20 intervalos de classes

Intervalo	Metros por Classe		Freq.	Freq.Acum.	Freq.Relat.	Freq.Relat.Acum.
1	2546	-	306897	350	350	89,06%
2	306.897	-	611.247	18	368	4,58%
3	611.247	-	915.598	5	373	1,27%
4	915.598	-	1.219.948	4	377	1,02%
5	1.219.948	-	1.524.299	3	380	0,76%
6	1.524.299	-	1.828.649	3	383	0,76%
7	1.828.649	-	2.133.000	2	385	0,5%
8	2.133.000	-	2.437.350	2	387	0,5%
9	2.437.350	-	2.741.701	2	389	0,5%
10	2.741.701	-	3.046.051	1	390	0,3%
11	3.046.051	-	3.350.402	0	390	0,0%
12	3.350.402	-	3.654.752	0	390	0,0%
13	3.654.752	-	3.959.103	0	390	0,0%
14	3.959.103	-	4.263.453	0	390	0,0%
15	4.263.453	-	4.567.804	0	390	0,0%
16	4.567.804	-	4.872.154	0	390	0,0%
17	4.872.154	-	5.176.505	1	391	0,3%
18	5.176.505	-	5.480.855	1	392	0,3%
19	5.480.855	-	5.785.206	0	392	0,0%
20	5.785.206	-	6.089.556	1	393	0,3%

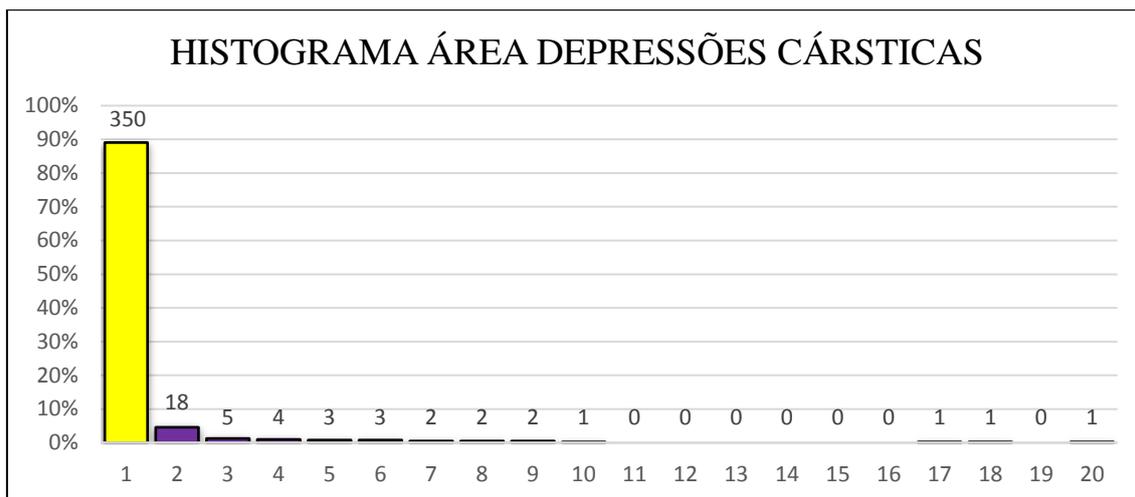


Figura 8.6 - Histograma dos valores de Área das depressões cársticas

O histograma evidencia pelo menos dois grupos principais: **Grupo 1** (amarelo) correlato ao 1º intervalo de classe com 89% das depressões (350) e valores entre 2.546 a 306.89 m<sup>2</sup> e **Grupo 2** (azul), com apenas 11% (43) depressões com extensões maiores que 306.896 m<sup>2</sup>, representado pelos 19 intervalos de classes restantes.

O **Grupo 1** equivalente a 21,5% (15.759.684 m<sup>2</sup>) da área de todas as depressões e a 3,1% do total da área de estudo. O **Grupo 2** corresponde a 78,5% (57.515.336 m<sup>2</sup>) da área de todas as depressões e a 11,4% da área de estudo.

Apesar do **Grupo 1** ser 8,1 vezes mais frequente do que o **Grupo 2**, o **Grupo 2** cobre uma área 3,6 vezes maior do que a do **Grupo 1** (Figura 8.7).

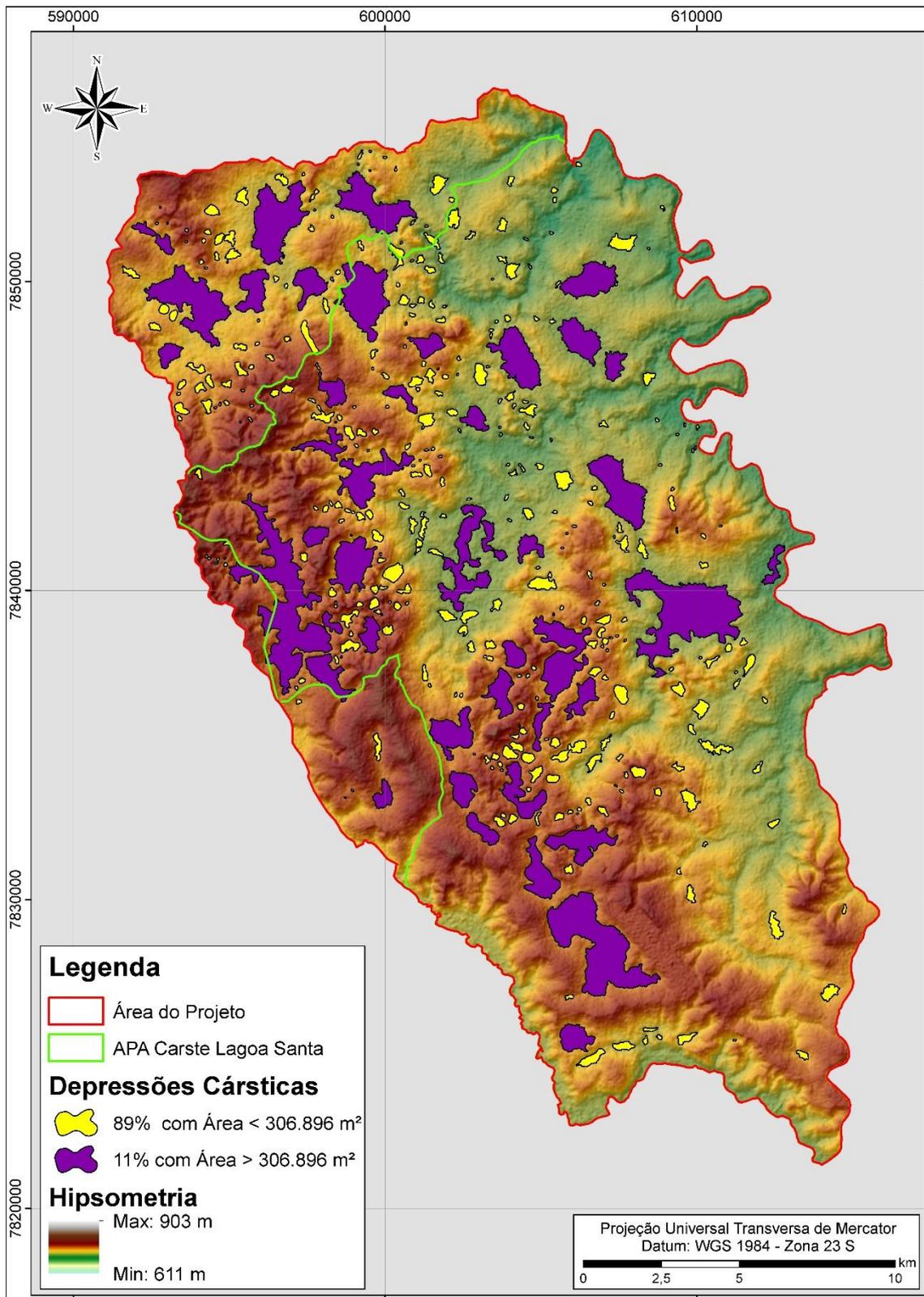


Figura 8.7 – Classificação das depressões cársticas segundo o parâmetro Área

### 8.1.3.2 Parâmetro Perímetro (m)

A estatística elementar da área das depressões é representada pela Tabela 8.3,

Tabela 8.4 e Figura 8.8.

Tabela 8.3 - Informação estatística do parâmetro Perímetro das depressões cársticas

Número de Depressões Cársticas	393	unidades
Intervalos de classes	20	intervalos
Perímetro Mínima	194	m
Perímetro Máxima	33.719	m
Amplitude	33.525	m
Valor dos intervalos de classes	1.676	m
Moda:	209	m
Mediana:	748	m
Média:	1.589	m
Desvio Padrão	2.926	m

Tabela 8.4 - Distribuição do parâmetro Perímetro em 20 intervalos de classes

Intervalo	Metros por Classe		Freq.	Freq.Acum.	Freq.Relat.	Freq.Relat.Acum.
1	194	- 1870	324	324	82,44%	82,4%
2	1870	- 3547	30	354	7,63%	90,1%
3	3547	- 5223	16	370	4,07%	94,1%
4	5223	- 6899	7	377	1,78%	95,9%
5	6899	- 8575	5	382	1,27%	97,2%
6	8575	- 10.252	3	385	0,76%	98,0%
7	10.252	- 11.928	2	387	0,5%	98,5%
8	11.928	- 13.604	2	389	0,5%	99,0%
9	13.604	- 15.280	0	389	0,0%	99,0%
10	15.280	- 16.957	1	390	0,3%	99,2%
11	16.957	- 18.633	1	391	0,3%	99,5%
12	18.633	- 20.309	0	391	0,0%	99,5%
13	20.309	- 21.985	0	391	0,0%	99,5%
14	21.985	- 23.662	1	392	0,3%	99,7%
15	23.662	- 25.338	0	392	0,0%	99,7%
16	25.338	- 27.014	0	392	0,0%	99,7%
17	27.014	- 28.690	0	392	0,0%	99,7%
18	28.690	- 30.367	0	392	0,0%	99,7%
19	30.367	- 32.043	0	392	0,0%	99,7%
20	32.043	- 33.719	1	393	0,3%	100,0%

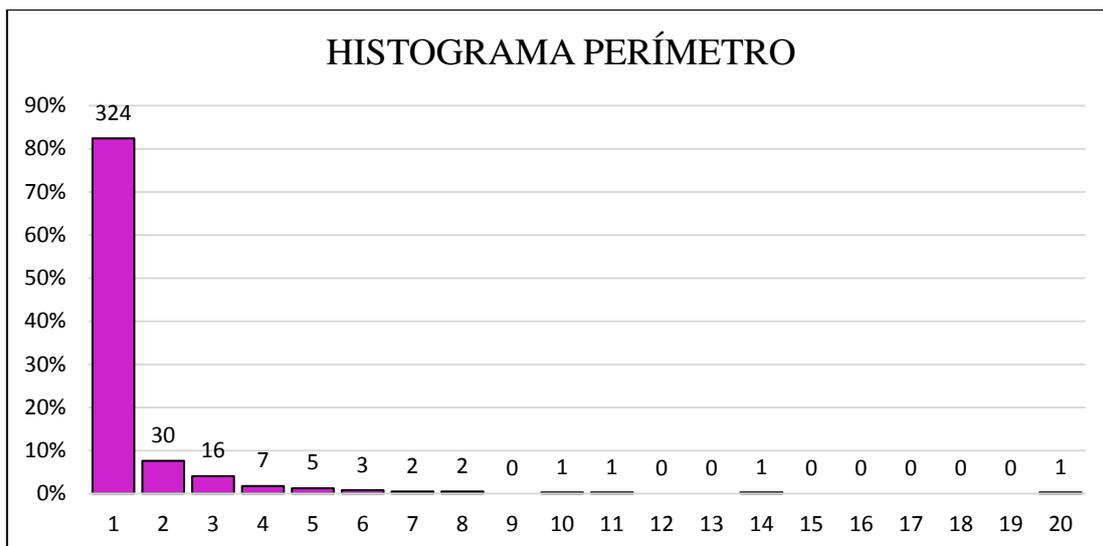


Figura 8.8 - Histograma dos valores de Perímetro das depressões cársticas

O parâmetro Perímetro apresenta distribuição muito semelhante à distribuição Área, pois ambos exprimem a forma das depressões. Portanto, na distribuição são destacados dois grandes grupos, um com 82,4% (324) da frequência das depressões e um outro com 17,3% (69). A partir desses dados pode-se dizer que a grande maioria das depressões cársticas da área de estudo são pequenas, com perímetros menores que 2 quilômetros.

#### 8.1.3.3 Parâmetro Cota Topográfica (m)

O parâmetro Cota Topográfica é representado pelo valor mínimo da altimetria no fundo de cada depressão. As distribuições dos valores medidos são mostradas na Tabela 8.5, Tabela 8.6 e Figura 8.9, respectivamente.

Tabela 8.5 - Informação estatística do parâmetro Cota Topográfica das depressões cársticas

Número de Depressões Cársticas	393	unidades
Intervalos de classes	20	intervalos
Cota Topográfica Mínima	622,0	m
Cota Topográfica Máxima	829,7	m
Amplitude	207,7	m
Valor dos intervalos de classes	10,4	m
Moda:	-	m
Mediana:	719,7	m
Média:	716,3	m
Desvio Padrão	43,5	m

Tabela 8.6 - Distribuição do parâmetro Cota Topográfica em 20 intervalos de classes

Intervalo	Metros por Classe	Freq.	Freq.Acum.	Freq.Relat.	Freq.Relat.Acum.
1	622  - 632	7	7	1,8%	1,8%
2	632  - 643	7	14	1,8%	3,6%
3	643  - 653	18	32	4,6%	8,1%
4	653  - 664	19	51	4,8%	13,0%
5	664  - 674	28	79	7,1%	20,1%
6	674  - 684	30	109	7,6%	27,7%
7	684  - 695	26	135	6,6%	34,4%
8	695  - 705	26	161	6,6%	41,0%
9	705  - 716	25	186	6,4%	47,3%
10	716  - 726	34	220	8,7%	56,0%
11	726  - 736	37	257	9,4%	65,4%
12	736  - 747	28	285	7,1%	72,5%
13	747  - 757	30	315	7,6%	80,2%
14	757  - 768	26	341	6,6%	86,8%
15	768  - 778	24	365	6,1%	92,9%
16	778  - 788	13	378	3,3%	96,2%
17	788  - 799	8	386	2,0%	98,2%
18	799  - 809	4	390	1,0%	99,2%
19	809  - 820	1	391	0,3%	99,5%
20	820  - 830	2	393	0,5%	100,0%

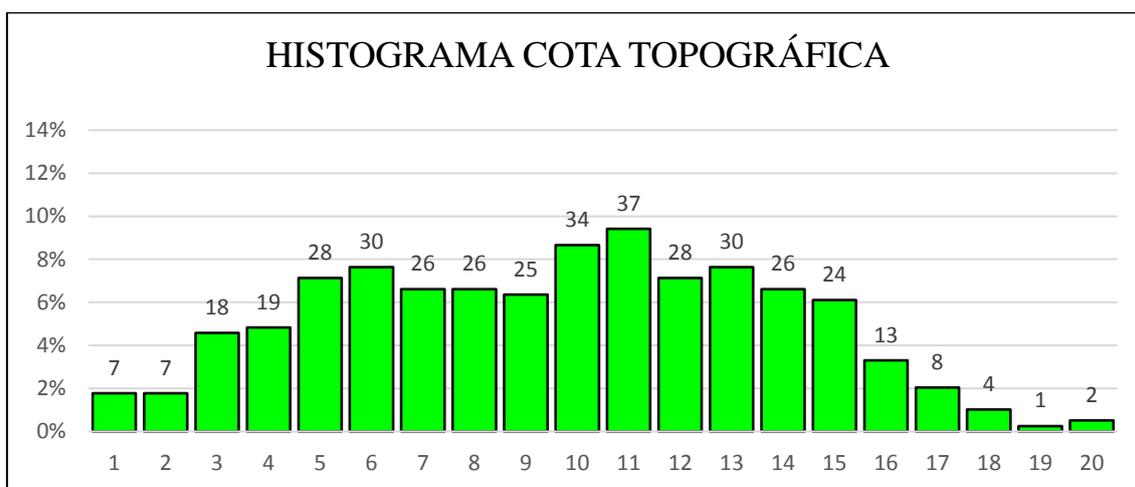


Figura 8.9 - Histograma dos valores de Cota Topográfica das depressões cársticas

Ressalta-se que a diferença entre as cotas máxima e mínima nas depressões cársticas é de 207,7 metros, no qual o histograma ilustra uma distribuição normal com ausência de um agrupamento nítido, isto é, frequência de distribuição bem regular.

#### 8.1.3.4 Parâmetro Profundidade (m)

O parâmetro Profundidade, diz respeito à diferença entre a cota topográfica do topo (máximo altimétrico) e a cota topográfica do fundo (mínimo altimétrico) das depressões cársticas, valor calculado a partir do MDE.

A Tabela 8.7, Tabela 8.8 e Figura 8.10 , informam os valores das frequências e o histograma das profundidades das depressões cársticas.

Tabela 8.7 - Informação estatística do parâmetro Profundidade das depressões cársticas

Número de Depressões Cársticas	393	unidades
Intervalos de classes	20	intervalos
Profundidade Mínima	3,0	m
Profundidade Máxima	120,0	m
Amplitude	117,0	m
Valor dos intervalos de classes	5,8	m
Moda:	7,3	m
Mediana:	9,5	m
Média:	15,3	m
Desvio Padrão	15,6	m

Tabela 8.8 - Distribuição do parâmetro Profundidade em 20 intervalos de classes

Intervalo	Metros por Classe		Freq.	Freq.Acum.	Freq.Relat.	Freq.Relat.Acum.
1	3	- 9	189	189	48,09%	48,09%
2	9	- 15	72	261	18,32%	66,41%
3	15	- 20	39	300	9,92%	76,34%
4	20	- 26	34	334	8,65%	84,99%
5	26	- 32	7	341	1,78%	86,77%
6	32	- 38	13	354	3,31%	90,08%
7	38	- 44	14	368	3,56%	93,64%
8	44	- 49	6	374	1,53%	95,17%
9	49	- 55	6	380	1,53%	96,69%
10	55	- 61	7	387	1,78%	98,47%
11	61	- 67	1	388	0,25%	98,73%
12	67	- 73	2	390	0,51%	99,24%
13	73	- 78	0	390	0,00%	99,24%
14	78	- 84	0	390	0,00%	99,24%
15	84	- 90	0	390	0,00%	99,24%
16	90	- 96	2	392	0,51%	99,75%
17	96	- 102	0	392	0,00%	99,75%
18	102	- 107	0	392	0,00%	99,75%
19	107	- 113	0	392	0,00%	99,75%
20	113	- 120	1	393	0,25%	100,00%

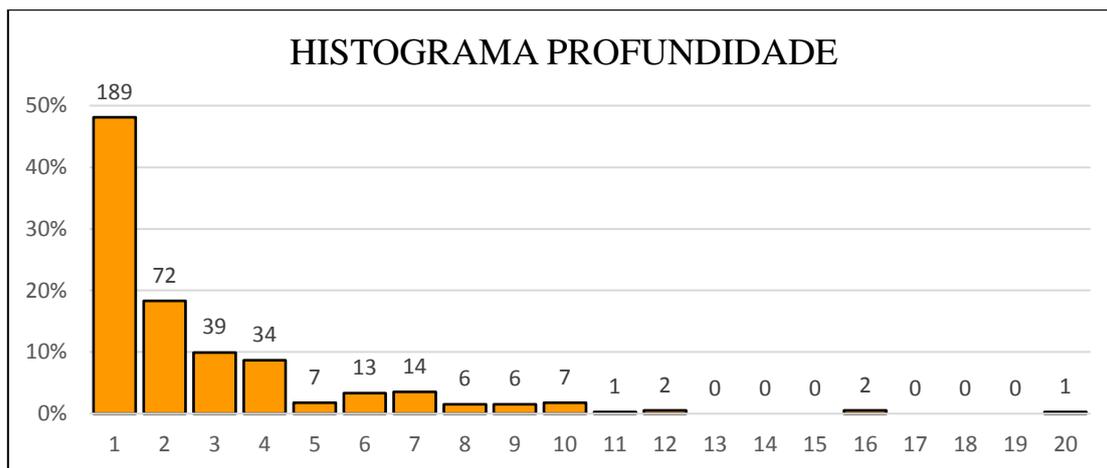


Figura 8.10 - Histograma dos valores de Profundidade das depressões cársticas

De acordo com o histograma, constata-se uma distribuição semelhante à dos parâmetros Área e Perímetro onde a maior frequência de depressões está no 1º intervalo de classe com 50% da frequência total das depressões reafirmando que a maioria das depressões detectadas possuem pequenas extensões e pequenas profundidades.

#### 8.1.3.5 Parâmetro Índice de Circularidade (IC)

O parâmetro Índice de Circularidade (IC) expressa o quanto que a forma de um polígono tende à forma circular, em que, quanto mais circular o polígono for, mais próximo de 1 será o valor do IC e quanto menos circular, o IC se aproxima de zero.

A Tabela 8.9, Tabela 8.10 e Figura 8.11, informam os valores das frequências e o histograma do IC das depressões cársticas.

Tabela 8.9 - Informação estatística do parâmetro IC das depressões cársticas

Número de Depressões Cársticas	393	unidades
Intervalos de classes	20	intervalos
IC Mínima	0,07	
IC Máxima	0,97	
Amplitude	0,90	
Valor dos intervalos de classes	0,0451	
Moda:	-	
Mediana:	0,68	
Média:	0,64	
Desvio Padrão	0,21	

Tabela 8.10 - Distribuição do parâmetro IC em 20 intervalos de classes

Intervalo	Metros <sup>2</sup> por Classe		Freq.	Freq.Acum.	Freq.Relat.	Freq.Relat.Acum.
1	0,07	- 0,12	2	2	0,51%	0,5%
2	0,12	- 0,16	1	3	0,25%	0,8%
3	0,16	- 0,21	8	11	2,04%	2,8%
4	0,21	- 0,25	4	15	1,02%	3,8%
5	0,25	- 0,30	9	24	2,29%	6,1%
6	0,30	- 0,34	7	31	1,78%	7,9%
7	0,34	- 0,39	25	56	6,4%	14,2%
8	0,39	- 0,43	17	73	4,3%	18,6%
9	0,43	- 0,48	21	94	5,3%	23,9%
10	0,48	- 0,52	16	110	4,1%	28,0%
11	0,52	- 0,57	30	140	7,6%	35,6%
12	0,57	- 0,61	18	158	4,6%	40,2%
13	0,61	- 0,66	31	189	7,9%	48,1%
14	0,66	- 0,70	26	215	6,6%	54,7%
15	0,70	- 0,75	29	244	7,4%	62,1%
16	0,75	- 0,79	23	267	5,9%	67,9%
17	0,79	- 0,84	51	318	13,0%	80,9%
18	0,84	- 0,88	32	350	8,1%	89,1%
19	0,88	- 0,93	27	377	6,9%	95,9%
20	0,93	- 0,97	16	393	4,1%	100,0%

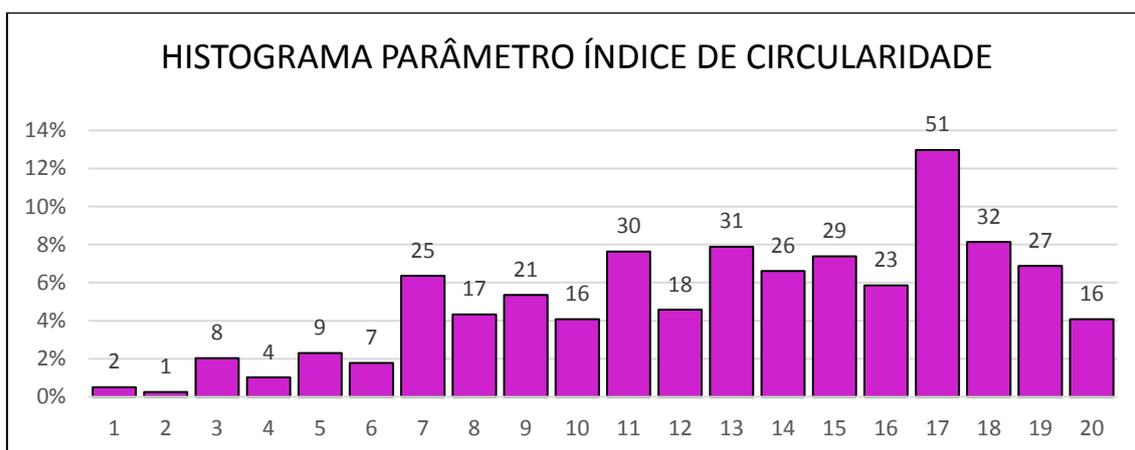


Figura 8.11 - Histograma dos valores de IC das depressões cársticas

O histograma revela que 72% das depressões apresentam IC menor que 0,5 ou seja, são alongadas e/ou sinuosas sugerindo que na área de estudo há grande controle estrutural ou controle faciológico de detalhe que ambos induzem a morfogênese.

#### 8.1.3.6 Parâmetro Declividade Média (°)

Cada depressão apresenta uma única medida de declividade representada pela média dos ângulos de todas as vertentes situadas em seu interior. A Tabela 8.11, Tabela 8.12 e Figura 8.12 mostram a distribuição dos valores de declividade média das depressões cársticas.

Tabela 8.11 - Informação estatística do parâmetro Declividade Média das depressões cársticas

Número de Depressões Cársticas	393	unidades
Intervalos de classes	20	intervalos
Declividade Média Mínima	2,6	°
Declividade Média Máxima	21,5	°
Amplitude	18,9	°
Valor dos intervalos de classes	0,945	°
Moda:	-	°
Mediana:	6,7	°
Média:	7,6	°
Desvio Padrão	3,3	°

Tabela 8.12 - Distribuição do parâmetro Declividade Média em 20 intervalos de classes

Intervalo	Metros por Classe	Freq.	Freq.Acum.	Freq.Relat.	Freq.Relat.Acum.	Classe
1	2,6 - 3,5	8	8	2,04%	2,04%	A
2	3,5 - 4,5	49	57	12,47%	14,50%	B
3	4,5 - 5,4	47	104	11,96%	26,46%	B
4	5,4 - 6,4	73	177	18,58%	45,04%	B
5	6,4 - 7,3	50	227	12,72%	57,76%	C
6	7,3 - 8,3	37	264	9,41%	67,18%	C
7	8,3 - 9,2	24	288	6,11%	73,28%	C
8	9,2 - 10,2	26	314	6,62%	79,90%	C
9	10,2 - 11,1	24	338	6,11%	86,01%	D
10	11,1 - 12,1	15	353	3,82%	89,82%	D
11	12,1 - 13,0	13	366	3,31%	93,13%	D
12	13,0 - 13,9	8	374	2,04%	95,17%	D
13	13,9 - 14,9	4	378	1,02%	96,18%	D
14	14,9 - 15,8	5	383	1,27%	97,46%	D
15	15,8 - 16,8	1	384	0,25%	97,71%	D
16	16,8 - 17,7	1	385	0,25%	97,96%	D
17	17,7 - 18,7	4	389	1,02%	98,98%	D
18	18,7 - 19,6	1	390	0,25%	99,24%	D
19	19,6 - 20,6	1	391	0,25%	99,49%	D
20	20,6 - 21,5	2	393	0,51%	100,00%	D

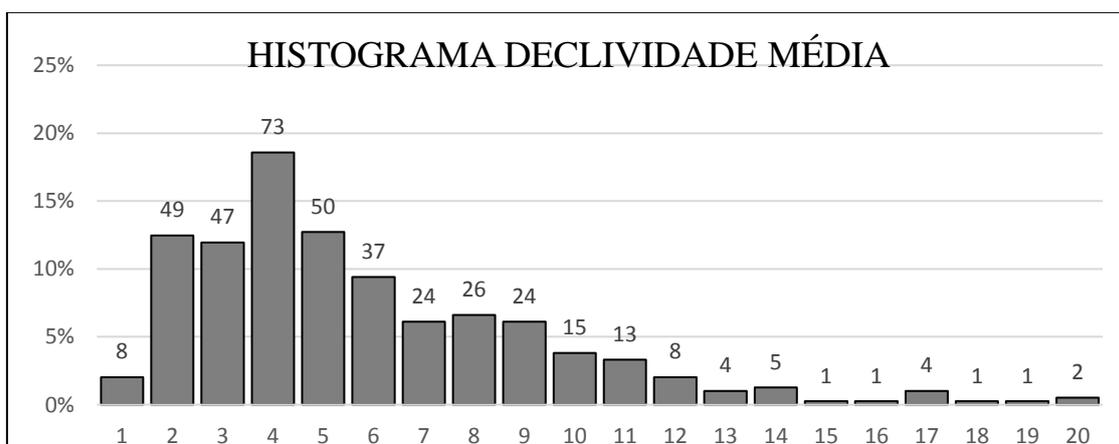


Figura 8.12 - Histograma dos valores de Declividade Média das depressões cársticas

Conforme o histograma apresentado, aproximadamente 77% das depressões cársticas são da classe de declividade média B e C (com ângulo médio variando entre 3,5° e 10,2°), significando que a maioria das depressões cársticas da área de estudo se comportam como áreas favoráveis à infiltração e recarga hídrica subterrânea.

A Figura 8.13 ilustra a distribuição de frequência das depressões cársticas classificadas quanto às classes de declividade média. As depressões cársticas apresentaram ângulo médio de declividade suave a médio, variando de 2,6° a 21,5°.

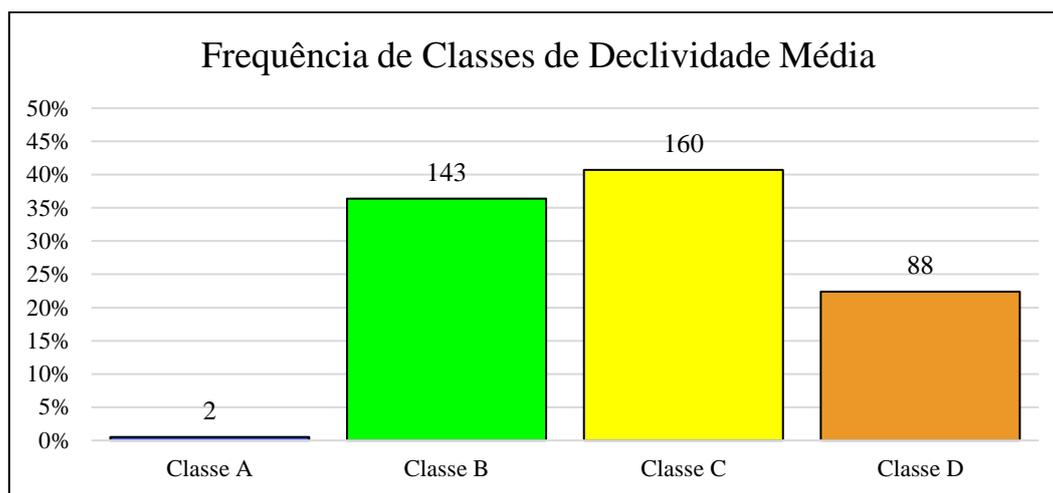


Figura 8.13 – Frequência das classes de Declividade Média das depressões cársticas. Adaptado de Lepsch *et al.*, (1991) e EMBRAPA (1999).

Quanto à distribuição geográfica, a Figura 8.14A exibe as depressões com seus ângulos de declividade de suas encostas e a Figura 8.14B ilustra as depressões cársticas classificadas quanto às suas declividades médias segundo os intervalos de classes.

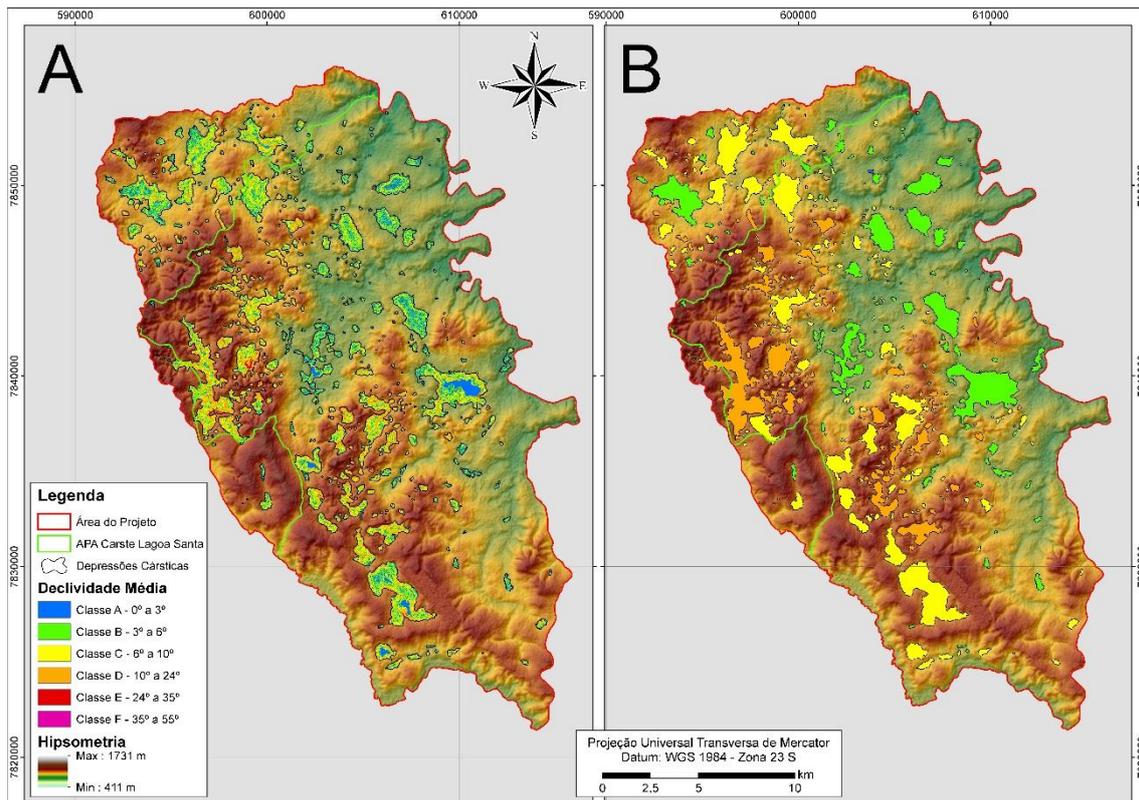


Figura 8.14 – Mapa com depressões cársticas classificadas pelo parâmetro Declividade Média.

### 8.1.3.7 Parâmetro Eixo de Alongamento (m)

Foram traçados os eixos de alongamento ao longo dos talvegues presentes no interior das 393 depressões (Figura 8.15). Esse levantamento visou retratar as estruturas tectônicas ou discontinuidades (porosidade secundária) que influenciam as direções de dissolução e desenvolvimento das depressões cársticas.

O parâmetro Eixo de Alongamento representa a soma do comprimento desses eixos em cada depressão. Esta variável permite inferir que as depressões com formas mais sinuosas apresentam maior comprimento de eixo de alongamento em comparação com uma outra depressão de mesma área, porém menos arredondada, isto é, com maior influência de estruturas que assinalam sentidos preferenciais para a percolação hídrica e, conseqüentemente, para a dissolução e alargamento das feições.

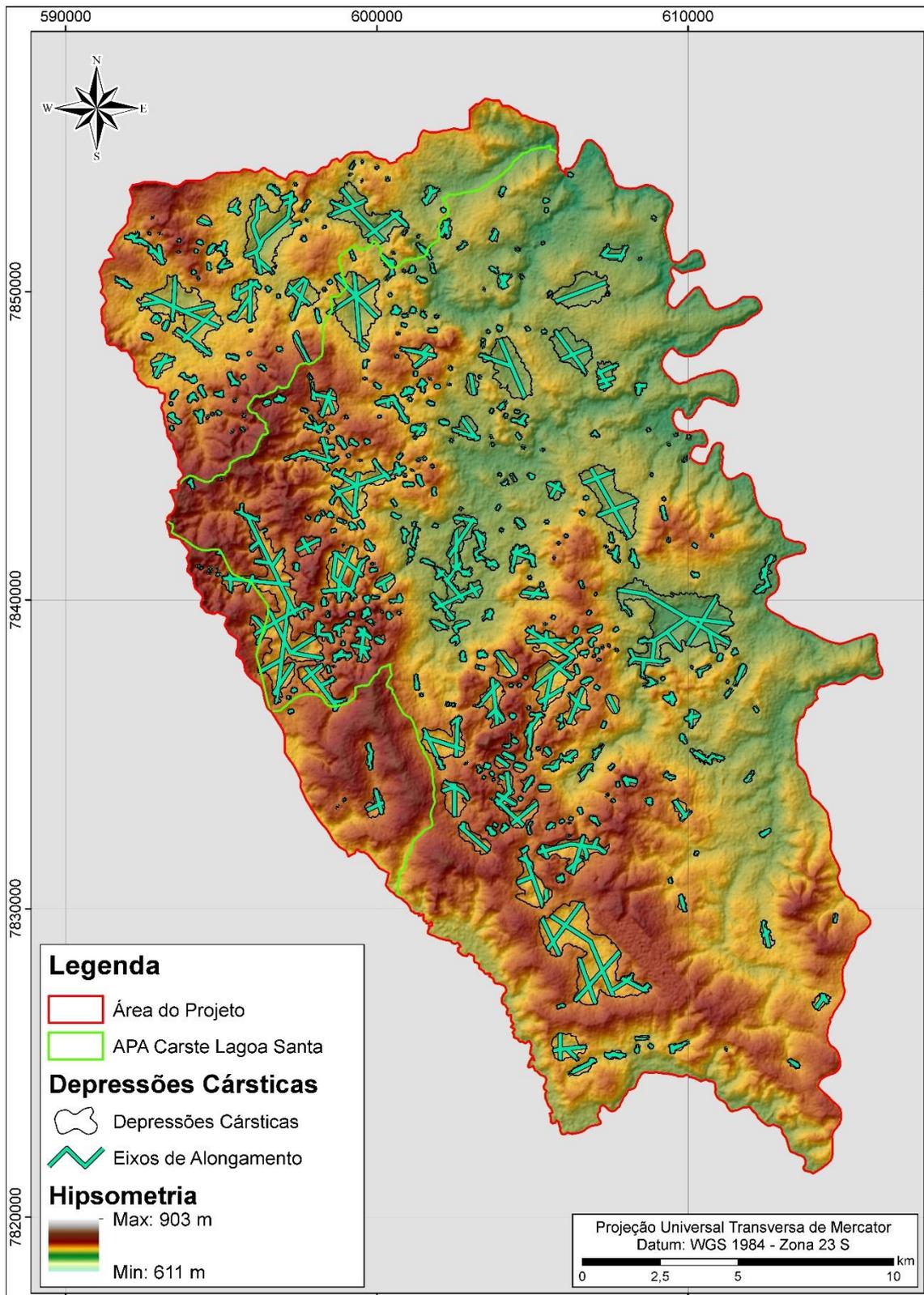


Figura 8.15 - Depressões cársticas com seus respectivos Eixos de Alongamento

### 8.1.3.8 Parâmetro Índice de Eixos de Alongamento (IE)

O Índice de Eixos (IE) é um parâmetro que representa o quanto da forma de uma dada depressão é controlada pelos eixos de alongamento.

No estudo morfométrico das depressões cársticas, quanto menor o IE, menos a depressão tem sua forma controlada pela descontinuidade geológico-estrutural, e do contrário, quanto maior o IE maior a influência da estrutura sobre a sua forma.

A Tabela 8.13, Tabela 8.14 e Figura 8.16 apresentam a distribuição de frequência desse parâmetro.

Tabela 8.13 - Informação estatística do parâmetro IE das depressões cársticas

Número de Depressões Cársticas	393	unidades
Intervalos de classes	20	intervalos
IC Mínima	53,2	
IC Máxima	3.100,4	
Amplitude	3.047,1	
Valor dos intervalos de classes	152,4	
Moda:	-	
Mediana:	185,3	
Média:	332,8	
Desvio Padrão	402,9	

Tabela 8.14 - Distribuição do parâmetro IE em 20 intervalos de classes

Intervalo	Metros por Classe		Freq.	Freq.Acum.	Freq.Relat.	Freq.Relat.Acum.
1	53,23	-	205,59	209	209	53,18%
2	205,59	-	357,94	79	288	20,10%
3	357,94	-	510,30	43	331	10,94%
4	510,30	-	662,66	15	346	3,82%
5	662,66	-	815,01	13	359	3,31%
6	815,01	-	967,37	6	365	1,53%
7	967,37	-	1.119,73	4	369	1,02%
8	1.119,73	-	1.272,08	6	375	1,53%
9	1.272,08	-	1.424,44	5	380	1,27%
10	1.424,44	-	1.576,80	2	382	0,51%
11	1.576,80	-	1.729,15	5	387	1,27%
12	1.729,15	-	1.881,51	1	388	0,25%
13	1.881,51	-	2.033,87	2	390	0,51%
14	2.033,87	-	2.186,22	1	391	0,25%
15	2.186,22	-	2.338,58	0	391	0,00%
16	2.338,58	-	2.490,94	0	391	0,00%
17	2.490,94	-	2.643,29	0	391	0,00%
18	2.643,29	-	2.795,65	0	391	0,00%
19	2.795,65	-	2.948,01	1	392	0,25%
20	2.948,01	-	3.100,37	1	393	0,25%

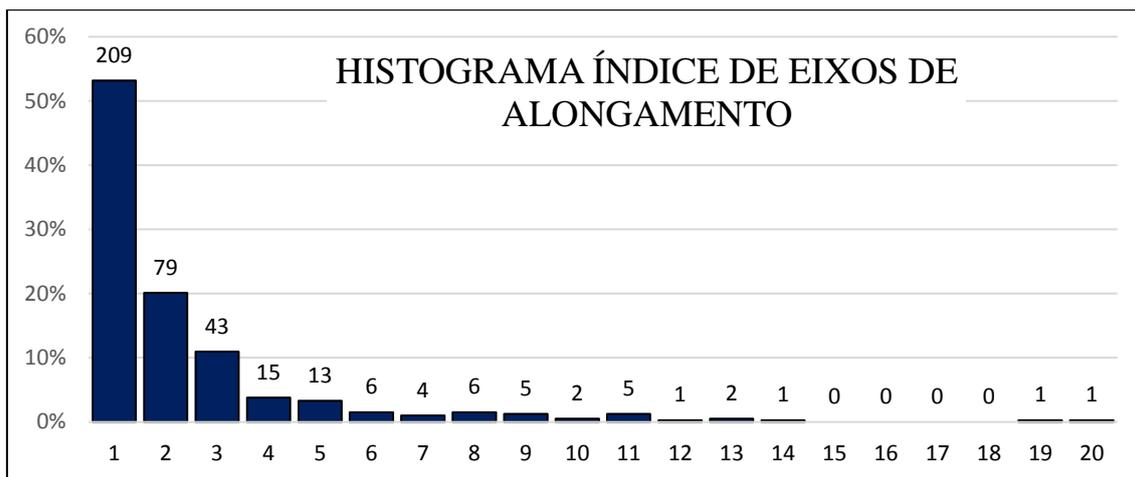


Figura 8.16 - Histograma dos valores de IE das depressões cársticas

A partir do histograma nota-se que assim como os parâmetros Área, Perímetro e Profundidade, o parâmetro IE apresenta uma distribuição com padrão assimétrico distorcido à direita, indicando que a maioria das depressões apresenta o IE baixo, corroborando ser uma variável que correlaciona o fator forma com a morfogênese, desenvolvimento e presença de controle estrutural.

#### 8.1.3.9 Parâmetro Azimute do Eixo Principal (°)

O azimute do segmento que representa a principal direção do eixo de desenvolvimento de cada depressão foi delineado segundo Bondesan *et al.* (1992). A Tabela 8.15 mostra a distribuição de frequência das classes azimutais dos Eixos Principais agrupados em 12 classes com amplitude de 15° cada.

Tabela 8.15 - Frequência de depressões em relação à classe azimutal do Eixo Principal

Direção de Referência	Classe Azimutal Eixos Principais	Frequência de Depressões
N	1	35
N-NE	2	23
NE	3	43
NE	4	25
NE	5	27
E-W	6	27
E-W	7	24
NW	8	42
NW	9	42
NW	10	39
N-NW	11	32
N	12	34

A partir da tabela, observa-se que há uma grande distribuição de direções em todas as direções, porém se destaca das demais o par direcional NW-SE e NE-SW, em

que mais a frente será discutido a relação dos ângulos com a estrutural, geotectônica regional e hidrografia/hidrogeologia.

### 8.1.3.10 *Parâmetro Área de Maciço Rochoso (m<sup>2</sup>)*

Os maciços calcários rochosos possuem estruturas rúpteis tais como fraturas, condutos e descontinuidades que propiciam a percolação de água favorecendo a recarga aquífera do tipo localizada. Foram delimitados visual e manualmente 246 maciços calcários rochosos e medidas as suas extensões (m<sup>2</sup>) no interior das depressões.

A Tabela 8.17 e Figura 8.17 mostram as distribuições dos valores de extensão (m<sup>2</sup>) dos maciços calcários rochosos medidos no interior das depressões cársticas.

Tabela 8.16 - Informação estatística do parâmetro Área de Maciço Rochoso das depressões cársticas

Número de Depressões Cársticas	393	unidades
Intervalos de classes	20	intervalos
Área Maciço Mínima	3,2	m <sup>2</sup>
Área Maciço Máxima	520.605,0	m <sup>2</sup>
Amplitude	520.601,8	m <sup>2</sup>
Valor dos intervalos de classes	27.400,1	m <sup>2</sup>
Moda:	-	m <sup>2</sup>
Mediana:	4,5	m <sup>2</sup>
Média:	12.706,8	m <sup>2</sup>
Desvio Padrão	45.526,8	m <sup>2</sup>

Tabela 8.17 - Distribuição do parâmetro Área de Maciço Rochoso em 20 intervalos de classes

Intervalo	Metros <sup>2</sup> por Classe		Freq.	Freq.Acum.	Freq.Relat.	Freq.Relat.Acum.
1	0	-	0	191	48,6%	48,6%
2	0	-	27.400	164	41,7%	90,3%
3	27400	-	54.800	16	4,1%	94,4%
4	54.800	-	82.200	6	1,5%	95,9%
5	82.200	-	109.600	6	1,5%	97,5%
6	109.600	-	137.001	2	0,5%	98,0%
7	137.001	-	164.401	1	0,3%	98,2%
8	164.401	-	191.801	1	0,3%	98,5%
9	191.801	-	219.201	1	0,3%	98,7%
10	219.201	-	246.601	0	0,0%	98,7%
11	246.601	-	274.001	2	0,5%	99,2%
12	274.001	-	301.401	1	0,3%	99,5%
13	301.401	-	328.801	0	0,0%	99,5%
14	328.801	-	356.201	0	0,0%	99,5%
15	356.201	-	383.601	1	0,3%	99,7%
16	383.601	-	411.002	0	0,0%	99,7%
17	411.002	-	438.402	0	0,0%	99,7%
18	438.402	-	465.802	0	0,0%	99,7%
19	465.802	-	493.202	0	0,0%	99,7%
20	493.202	-	520.602	1	0,3%	100,0%

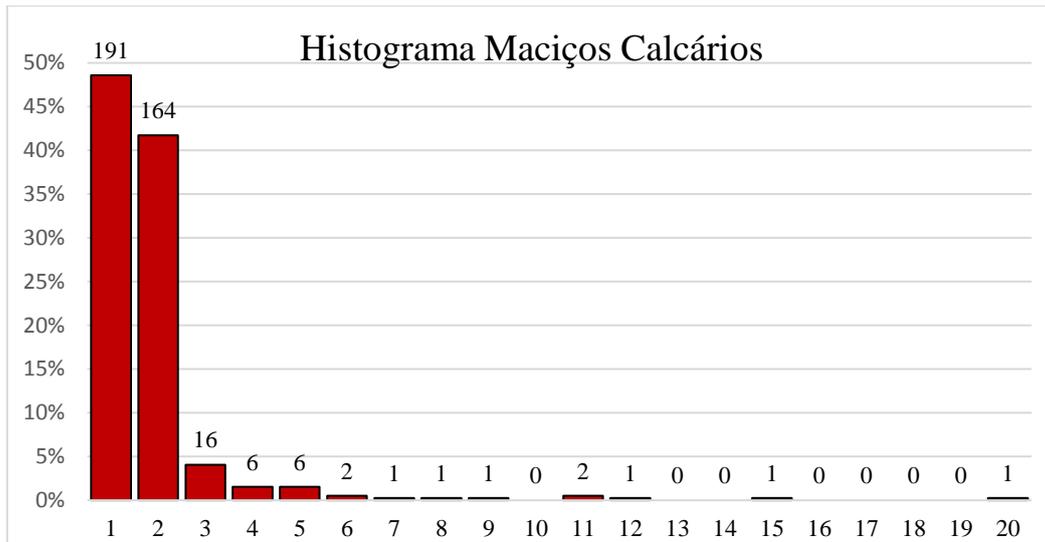


Figura 8.17 - Histograma dos valores de Área de Maciços no interior das depressões cársticas

O histograma aclara que 41,7% (164) do total das depressões possuem áreas de maciços calcários em seus interiores. A Figura 8.18A ilustra o Mapa litoestratigráfico da área do projeto contendo os maciços calcários rochosos delimitados e na Figura 8.18B inclui também as depressões cársticas.

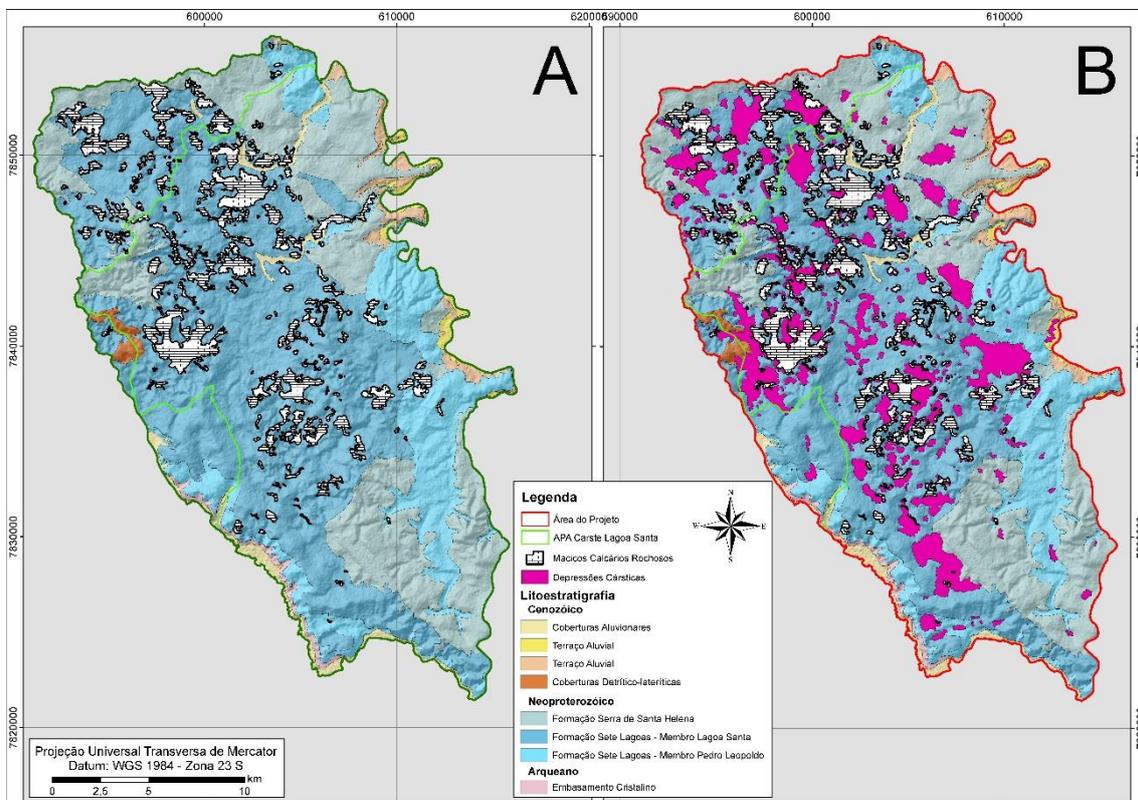


Figura 8.18 – A) Mapa geológico exibindo os maciços calcários rochosos B) Mapa geológico exibindo os maciços calcários rochosos e as depressões cársticas

O somatório da área dos maciços calcários é de 46.116.023 m<sup>2</sup> (9,13% do total da área estudada) e a de todas as depressões é de 73.264.196 m<sup>2</sup> (14,51% da área total). Juntas, perfazem 114.425.166 m<sup>2</sup> (22,7% da área de estudo), as quais possuem potencial para promover a recarga aquífera do tipo localizada.

#### 8.1.3.11 *Parâmetro Litologia*

Em conformidade com o mapa geológico do Projeto Vida de Ribeiro *et al.*, (2003), as depressões cársticas detectadas foram classificadas em função das litoestratigrafias em que estão assentadas. Das 393 depressões cársticas, 351 jazem diretamente sobre as litoestratigrafias com grande potencial dissolutivo representadas pelas rochas carbonáticas dos Membros Lagoa Santa e Membro Pedro Leopoldo da Formação Sete Lagoas – Grupo Bambuí. Outras 42 depressões cársticas estão situadas nas litologias estratigraficamente sobrejacentes aos calcários - pelitos da Fm. Serra de Santa Helena e Coberturas Cenozóicas, portanto, sujeitas à formação de depressões causada pela dissolução dos calcários subjacentes (Figura 8.19).



Figura 8.19 - Gráfico de setores da frequência de depressões cársticas por litologia

## 8.2 IDENTIFICAÇÃO E DETECÇÃO DOS ESPELHOS D'ÁGUA

Como já mencionado, os espelhos d'água foram detectados por classificação supervisionada através do software ENVI Classic®, utilizando-se imagens orbitais dos

satélites Landsat, e registrados nos períodos de pós-estação chuvosa (abril) e pós estação de estiagem (setembro) em um ano com regime pluviométrico normal (2010) e em ano de severa seca (2014) – ver pluviometria histórica na Tabela 5.1 de 1.280,4 mm.

A classificação supervisionada foi realizada a partir de uma sequência de interações:

- i) Geração de Mosaico de imagens Landsat (cobrindo totalmente a área de estudo);
- ii) Composição de Bandas Espectrais (Colorimetria);
- iii) Criação de Classes e Determinação de Áreas de Treinamento.

Nas imagens Landsat foram definidas composições de bandas espectrais de falsa cor Red-Green-Blue (RGB) resultando em contrastes entre a água e os demais materiais/classes (Figura 8.20). As imagens coloridas permitiram a determinação de 6 classes, onde se definiram aproximadamente 25 áreas de treinamento já conhecidas em cada cena, sendo elas: Água, Vegetação, Solo Exposto, Região Urbana, Cava de Mina e Cicatrizes de Queimadas.

O produto da classificação supervisionada realizada (com auxílio do algoritmo classificador da Máxima Verossimilhança) foi a geração de quatro imagens temáticas (*Raster* reclassificado) da cobertura terrestre segundo as classes definidas (Figura 8.21).

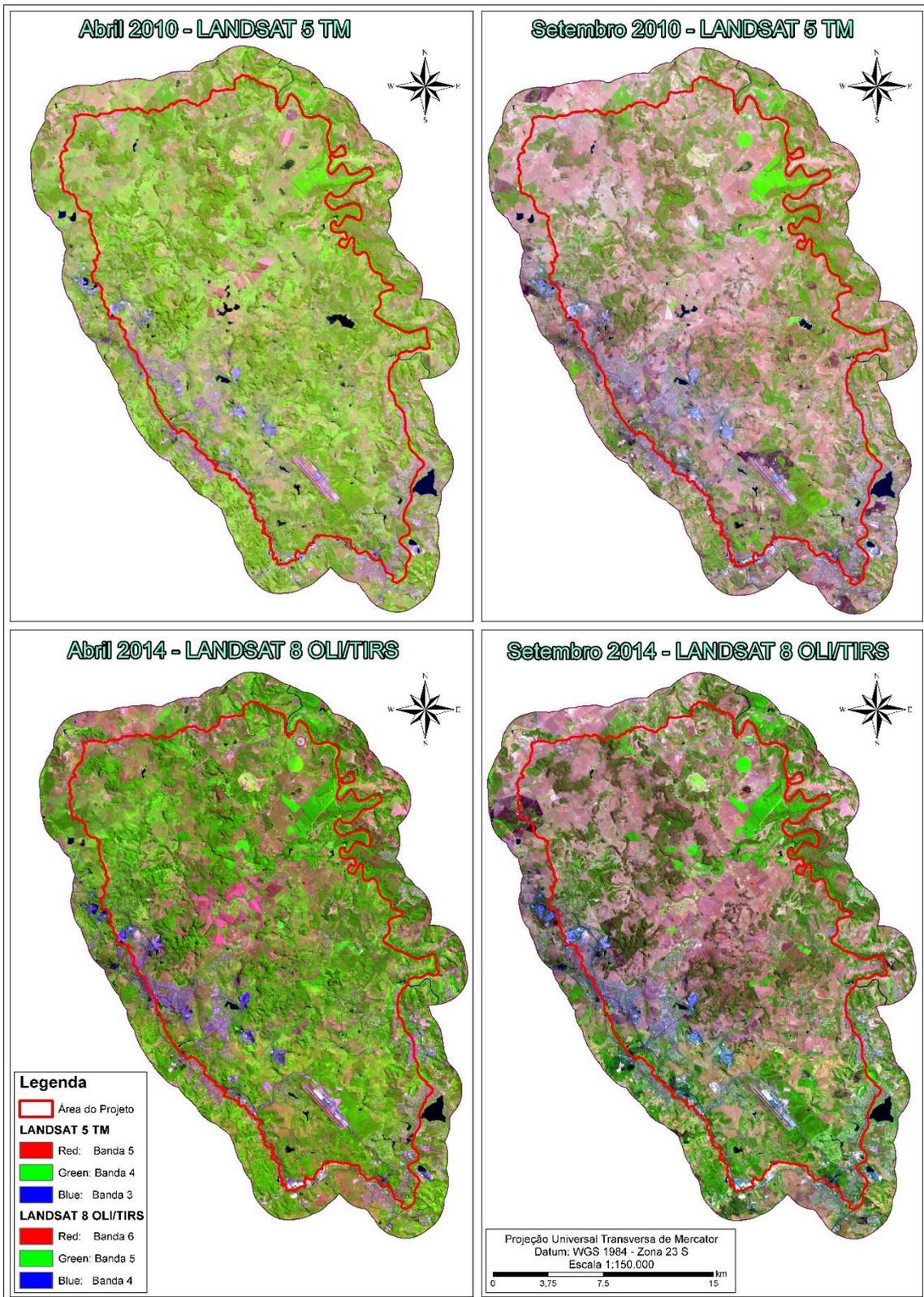


Figura 8.20 - Composição de bandas espectrais coloridas das cenas Landsat.

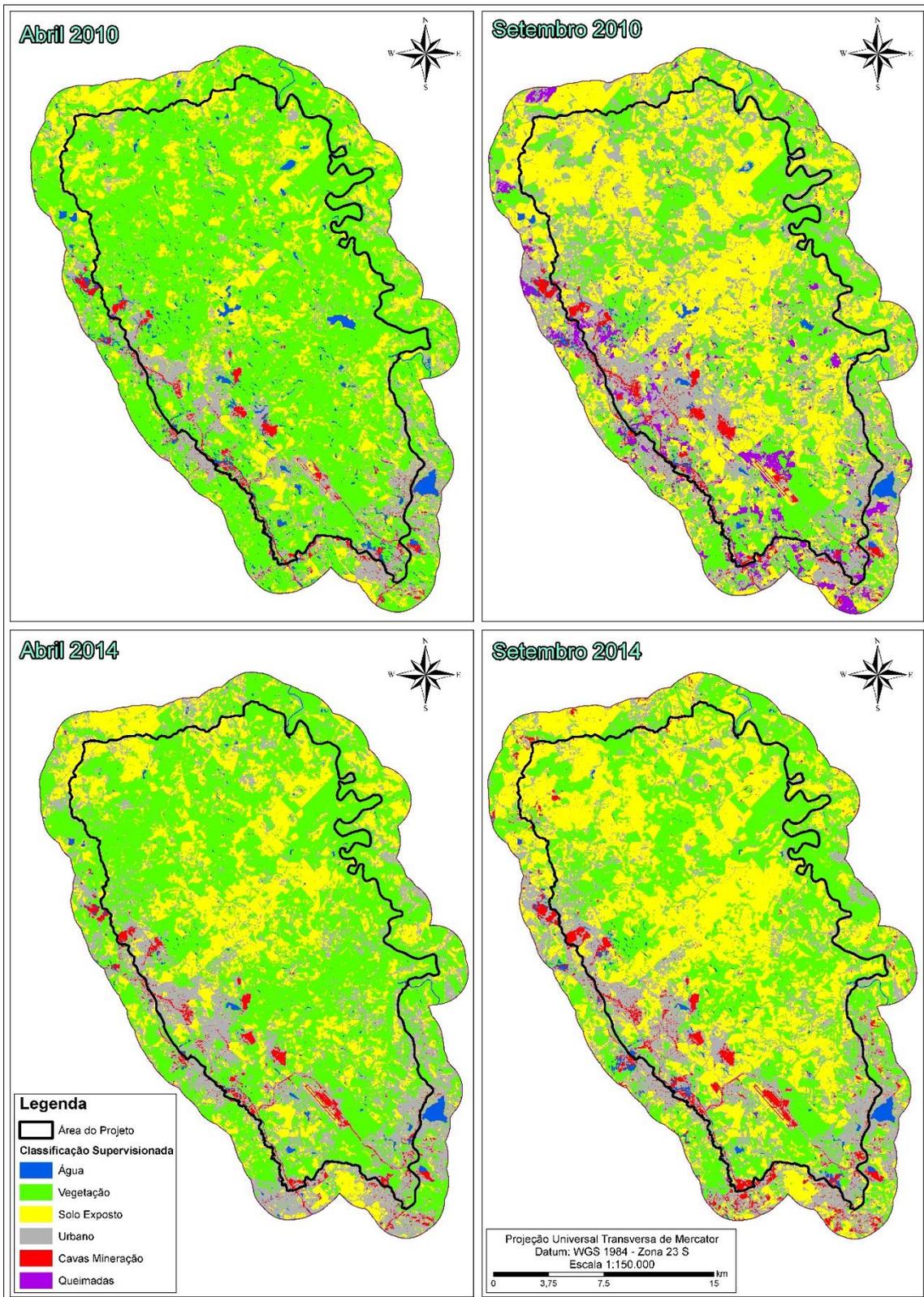


Figura 8.21 - Resultados da classificação supervisionada das cenas Landsat

### 8.2.1 Validação da Detecção dos Espelhos d'Água

A validação das classificações realizadas pelo algoritmo classificador da Máxima Verossimilhança se deu por meio de Matrizes de Confusão e Matrizes de Erros, nos quais são exibidas na Tabela 8.18, Tabela 8.19, Tabela 8.20, Tabela 8.21, Tabela 8.22, Tabela 8.23, Tabela 8.24, Tabela 8.25, pertinentes às quatro cenas classificadas: abril/2010, setembro/2010, abril/2014 e setembro/2014 respectivamente.

Tabela 8.18 - Matriz de Confusão da cena classificada de abril 2010

Classes	Vegetação	Solo Exposto	Urbano	Água	Cava Mineração	Total
Não Classificado	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Vegetação	96,2%	1,5%	5,5%	0,5%	0,1%	44,6%
Solo Exposto	2,9%	93,4%	8,2%	0,0%	0,0%	15,2%
Urbano	0,4%	5,1%	77,2%	2,0%	10,8%	24,2%
Água	0,4%	0,0%	0,3%	95,5%	2,9%	10,5%
Cava Mineração	0,0%	0,0%	8,8%	2,0%	86,2%	5,5%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

**Acurácia Geral = 89,9%; Coeficiente de Kappa = 0,8549**

Tabela 8.19 - Matriz de Erros da cena classificada de abril 2010

Classes	Erros de Inclusão	Erros de Exclusão
Vegetação	4,2%	3,8%
Solo Exposto	24,3%	6,6%
Urbano	5,6%	22,8%
Água	3,5%	4,5%
Cava Mineração	51,5%	13,8%

A classificação supervisionada da Cena de 27 abril de 2010 obteve resultado de classificação excelente, de acordo com Landis e Koch (1977), evidenciado pelo Coeficiente de Kappa de 0,8549 e Acurácia Geral (exatidão global) de 89,9%.

A matriz de confusão (Tabela 8.18) informa que a classe “Vegetação” foi a melhor classificada com 96,2% de exatidão, seguida da classe “Água” com 95,5% de exatidão. Observa-se também que todos os pixels foram classificados, em que do total 44,6% pertencem a classe Vegetação, 15,2% Solo Exposto, 24,2% Urbano, 10,5% Água e 5,5% Cavas de Mineração.

Os “Erros de Inclusão” expressam a porcentagem de pixels pertencentes a outras classes que foram erroneamente atribuídos a uma classe e os “Erros de Exclusão” representam a porcentagem de pixels que pertencem à classe de interesse, mas que o classificador atribuiu a outras classes (Tabela 8.19). A Classe Água foi a que apresentou menor erro de inclusão (3,5%) e a que apresentou o segundo menor erro de exclusão

(4,5%). Devido aos contrastes de cores, a classe Cava de Mineração obteve o maior erro de inclusão (51,5%), e a classe Urbano o maior erro de exclusão (22,8%).

Tabela 8.20 - Matriz de Confusão da cena classificada de setembro 2010

Classes	Água	Vegetação	Solo Exposto	Urbano	Cava Mineração	Queimadas	Total
Não Classificado	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Água	95,9%	0,0%	0,0%	0,0%	2,9%	0,1%	4,0%
Vegetação	0,0%	97,2%	0,1%	3,2%	0,0%	1,7%	23,7%
Solo Exposto	0,0%	0,1%	94,1%	4,9%	0,1%	1,2%	45,1%
Urbano	1,4%	2,7%	3,4%	83,2%	9,1%	1,3%	17,9%
Cava Mineração	2,0%	0,0%	0,0%	8,1%	85,9%	0,4%	4,6%
Queimadas	0,6%	0,0%	2,4%	0,6%	2,0%	95,4%	4,7%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

**Acurácia Geral = 92,6%; Coeficiente de Kappa = 0,8941**

Tabela 8.21 - Matriz de Erros da cena classificada de setembro 2010

Classes	Erros de Inclusão	Erros de Exclusão
Água	2,8%	4,1%
Vegetação	2,9%	2,8%
Solo Exposto	2,1%	5,9%
Urbano	14,8%	16,8%
Cava Mineração	35,1%	14,1%
Queimadas	28,3%	4,7%

A classificação supervisionada da Cena de 18 setembro de 2010 também apresentou resultado de classificação excelente, de acordo com Landis e Koch (1977), evidenciado pelo Coeficiente de Kappa de 0,8941 e Acurácia Geral de 92,6%.

A matriz de confusão (Tabela 8.20) mostra que a classe “Vegetação” foi a melhor classificada, com 97,2% de exatidão, seguida da classe “Água” com 95,9% de exatidão. Verifica-se também que 100% dos pixels foram classificados, em que 45,1% pertencem a “Solo Exposto”, 23,7% “Vegetação”, 17,9% Urbano, 4,7% “Queimadas”, 4,5% “Cavas de Mineração” e 4,0% “Água”.

A matriz de erros representada pela Tabela 8.21, informa que a classe “Solo Exposto” apresentou menor erro de inclusão (2,1%) seguido da classe “Água” (2,8%) e também menor erro de exclusão (2,8%) seguido da classe “Água” (4,1%).

Tabela 8.22 - Matriz de Confusão da cena classificada de abril 2014

<b>Classes</b>	<b>Água</b>	<b>Vegetação</b>	<b>Solo Exposto</b>	<b>Urbano</b>	<b>Cava Mineração</b>	<b>Total</b>
Não Classificado	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Água	93,7%	0,0%	0,0%	0,0%	2,4%	6,7%
Vegetação	0,1%	98,6%	0,0%	1,6%	0,1%	42,9%
Solo Exposto	0,0%	0,7%	95,8%	4,2%	0,0%	17,1%
Urbano	1,8%	0,7%	4,2%	88,1%	11,1%	27,4%
Cava Mineração	4,4%	0,0%	0,0%	6,1%	86,4%	5,9%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
<b>Acurácia Geral = 94,2%; Coeficiente de Kappa = 0,9171</b>						

Tabela 8.23 - Matriz de Erros da cena classificada de abril 2014

<b>Classe</b>	<b>Erros de Inclusão</b>	<b>Erros de Exclusão</b>
Água	1,7%	6,3%
Vegetação	1,1%	1,4%
Solo Exposto	8,9%	4,2%
Urbano	5,8%	11,9%
Cava Mineração	35,4%	13,6%

A classificação supervisionada da Cena de 06 de abril de 2014 apresentou excelente resultado, em conformidade com Landis e Koch (1977), evidenciado pelo Coeficiente de Kappa de 0,9171 e Acurácia Geral de 94,2%.

A matriz de confusão (Tabela 8.22) informa que a classe “Vegetação” foi a melhor classificada, com 98,6% de exatidão, seguida do “Solo Exposto” com 95,8% e a classe “Água” com 93,7%. Todos os pixels foram classificados, em que 42,9% pertencem “Vegetação”, 27,4% “Urbano”, 17,1% “Solo Exposto”, 6,7% “Água” e 5,9% “Cavas de Mineração”.

Observa-se na matriz de erros representada pela Tabela 8.23 que a classe “Vegetação” apresentou menor erro de inclusão (1,1%) seguido da classe “Água” (1,7%). Ainda em relação a matriz de erros, a classe “Vegetação” foi a melhor classificada, obtendo o menor erro (1,4%), seguido da classe “Solo Exposto” (4,2%) e “Água” (6,3%).

Tabela 8.24 - Matriz de Confusão da cena classificada de setembro 2014

<b>Classe</b>	<b>Água</b>	<b>Solo Exposto</b>	<b>Vegetação</b>	<b>Urbano</b>	<b>Cava Mineração</b>	<b>Total</b>
Não Classificado	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Água	96,1%	0,0%	0,3%	0,0%	1,1%	3,8%
Solo Exposto	0,0%	94,8%	0,1%	2,6%	0,2%	46,1%
Vegetação	0,0%	1,0%	98,0%	1,4%	0,0%	23,0%
Urbano	0,2%	3,9%	1,6%	88,3%	11,3%	20,9%
Cava Mineração	3,6%	0,3%	0,0%	7,6%	87,4%	6,2%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
<b>Acurácia Geral = 93,9%; Coeficiente de Kappa = 0,9103</b>						

Tabela 8.25 - Matriz de Erros da cena classificada de setembro 2014

Classe	Erros de Inclusão	Erros de Exclusão
Água	3,1%	3,9%
Solo Exposto	1,2%	5,2%
Vegetação	3,3%	2,0%
Urbano	13,6%	11,7%
Cava Mineração	29,6%	12,6%

A classificação supervisionada da Cena de 29 de setembro de 2014 mostra um resultado excelente, conforme Landis e Koch (1977), evidenciado pelo Coeficiente de Kappa de 0,9103 e Acurácia Geral de 93,9%.

A matriz de confusão (Tabela 8.24) mostra que a classe “Vegetação” foi a mais bem classificada, com 98,0% de exatidão, seguido da “Água” com 96,1% de exatidão. Nenhum pixel ficou sem ser classificado, no qual do total da imagem classificada 46,1% dos pixels foram classificados como “Solo Exposto”, 23,0% “Vegetação”, 20,9% “Urbano”, 6,2% “Cava de Mineração” e 3,8% “Água”.

A matriz de erros representada pela Tabela 8.25 informa que a classe “Cava Mineração” foi a que apresentou maior dificuldade de identificação, pois foi a classe que obteve maior erro de inclusão (29,6%) e maior erro de exclusão (12,6%). Já a classe “Água” foi a classe que obteve o segundo menor erro de inclusão (3,1%) e terceiro menor erro de exclusão (3,9 %), sendo a classe “Solo Exposto” e “Vegetação” as que melhor foram classificadas na respectiva cena.

Em suma, a classe água foi muito bem classificada o que é o mais importante.

### 8.2.2 *Parâmetros Morfométricos dos Espelhos d’Água*

As classes resultantes nas quatro cenas classificadas foram transformadas em arquivos vetoriais (formato *shapefile*) permitindo assim edições, exclusões e parametrizações.

Por meio de uma minuciosa averiguação visual e manual em imagens do *software* Google Earth® Pro (GOOGLE, 2017) os polígonos da classe água constatados como produto de atividades antrópicas tais como barragens, cursos d’água e fundos de cava de mineração foram excluídos do estudo. Reitera-se também que nos casos em que sombras de paredões, maciços e vegetações foram equivocadamente classificados na classificação supervisionada também foram excluídos.

Considera-se, assim, apenas os polígonos referentes à classe Água nas quatro cenas inseridas no interior das depressões cársticas.

### ***8.2.2.1 Parâmetro Área dos Espelhos d'Água***

Foi realizada a parametrização dos espelhos d'água em função dos períodos hidrológicos e a análise do comportamento hídrico das depressões cársticas.

No ano de 2010, com total pluviométrico de 1354 mm, mediu-se na cena de abril de 2010 (representativa do período pós estação chuvosa) 46 depressões cársticas com Espelhos d'Águas naturais, totalizando uma área de: 4,3 km<sup>2</sup>. Na cena de setembro do mesmo ano (representativa do período pós estação de seca) foram medidas 33 depressões cársticas com Espelhos d'Águas naturais, totalizando área de 2,2 km<sup>2</sup>.

Já no ano de 2014, cujo total pluviométrico foi de 564 mm, foram medidos na cena de abril de 2014, 26 depressões com presença de Espelhos d'Água naturais, totalizando uma área de 1,0 km<sup>2</sup>. Na cena de setembro mediu-se 15 depressões cársticas com Espelhos d'Águas naturais, totalizando uma área de 0,6 km<sup>2</sup>. A Figura 8.22 ilustra os Espelhos D'água medidos nas quatro cenas representativas dos quatro períodos hidrológicos.

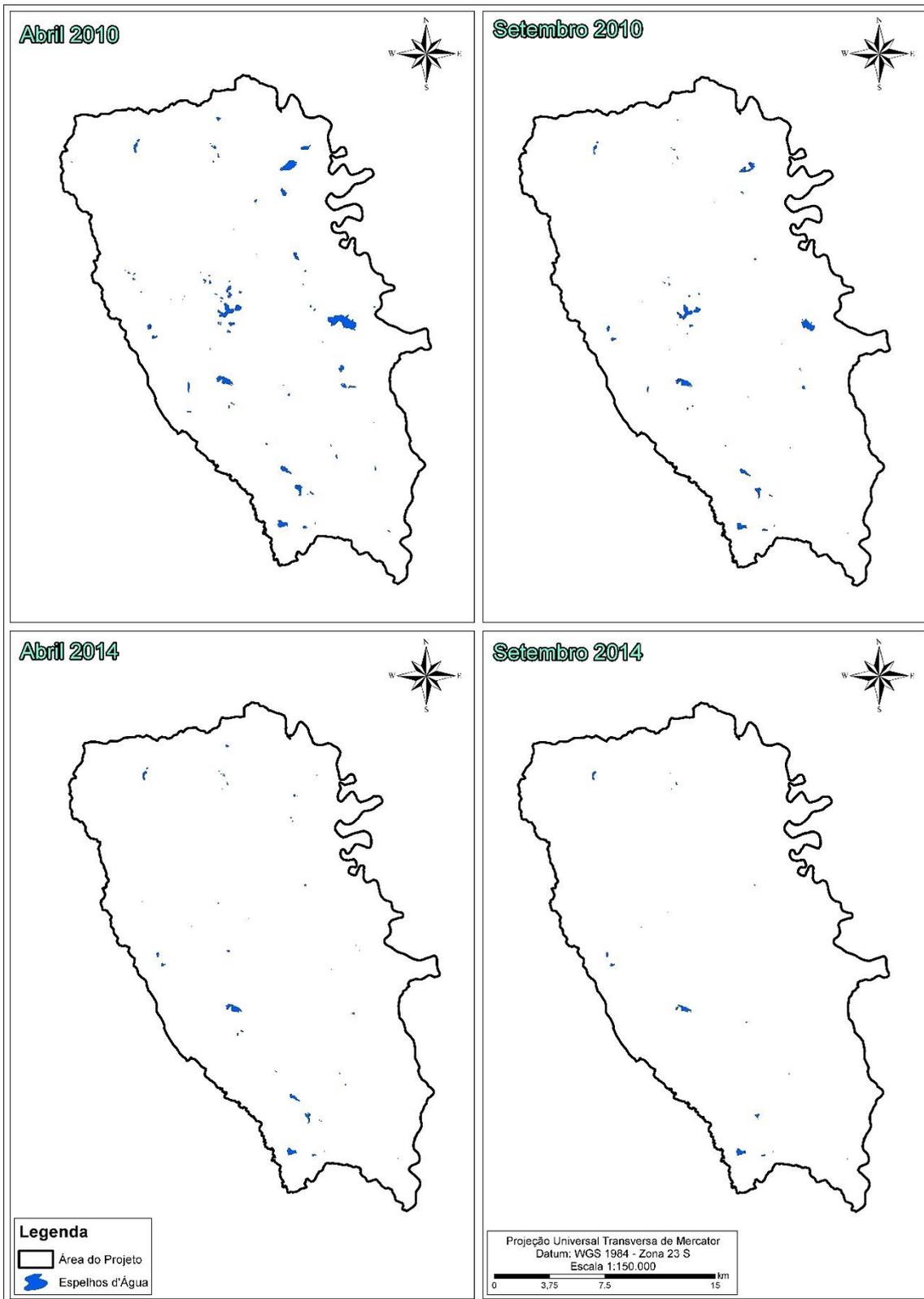


Figura 8.22 - Espelhos d'água pós estação úmida (abril) e pós estação seca (setembro) de 2010 e 2014.

### 8.2.2.2 *Parâmetro Retração dos Espelhos d'água*

Para essa análise considerou-se, de acordo com a média pluviométrica histórica (1.280,4 mm), em que o ano de 2010 choveu normalmente (1354,7 mm) e o ano de 2014 foi um ano de extrema seca (564 mm) vide Tabela 5.1. No período de estiagem, de abril a setembro, a tendência é de diminuição dos espelhos d'água das depressões devido aos fenômenos da evapotranspiração e recarga subterrânea indireta derivada dos lagos. E no período chuvoso, de outubro e março a tendência é de aumento dos espelhos d'água das depressões, em decorrência da precipitação direta e da recarga subterrânea.

Após a medição dos espelhos d'água no interior das depressões cársticas nos distintos períodos climáticos de 2010 e 2014 foi calculada a área de retração (m<sup>2</sup>) e a sua respectiva porcentagem em cada depressão cárstica. O estudo da retração dos Espelhos d'Água permitiu a classificação das depressões cársticas em função do comportamento hídrico em três tipos:

- i) Depressão Sempre Seca;
- ii) Depressão Retrai Total
- iii) Depressão Retrai Parcial.

Esta classificação foi utilizada na etapa de Estatística Multivariada. A Tabela 8.26 exprime os valores de área e retração dos Espelhos d'Água presentes no interior das depressões cársticas nas duas estações climáticas dos anos considerados. Ressalta-se que das 393 depressões cársticas, 46 se apresentaram com presença de Espelhos d'Água em abril de 2010 e 26 em abril de 2014.

Tabela 8.26 - Comportamento Hídrico das depressões cársticas via Análise dos espelhos d'água

Ano	2010		2014	
Total Pluviométrico no ano (mm)	1354,7		564,0	
Período hidrológico (mês)	Abril	Setembro	Abril	Setembro
Número de Espelhos d'Água	46	33	26	15
Área Espelho d'Água (km <sup>2</sup> )	4,3	2,2	1,0	0,6
Retração Espelho d'Água (km <sup>2</sup> )	-	2,2	-	0,4
Porcentagem de Retração	-	50,4%	-	42,2%
Número de Espelhos d'Água Secaram	-	13	-	11
Porcentagem que Secaram total	-	28,3%	-	42,3%

No ano de 2010 houve uma retração média dos Espelhos d'Água da ordem de 50,4%. Neste ano, das 46 depressões com presença de lagoas em abril, 13 (28,3%) secaram totalmente em setembro (lagoas intermitentes); e os 33 (71,7%) lagos restantes tiveram os Espelhos d'água retraídos parcialmente (lagoas perenes).

Em abril de 2014 foram detectados apenas 56,5% (26) Espelhos d'Água em relação aos 46 encontrados em 2010, isto é, houve uma considerável redução de 43,4% do número de lagoas com água desde então, devido às baixas pluviosidades de 2012 a 2014.

Ainda em 2014 houve uma retração média dos Espelhos d'Água da ordem de 42,2% de abril a setembro, portanto, menor do que 2010. Porém, a porcentagem dos lagos que secaram totalmente em setembro (lagoas intermitentes) foi bastante elevada 11 (42,3%), contra os 28,3% observados em setembro de 2010. 12 (46,2%) lagos restantes tiveram os espelhos d'água retraídos parcialmente (lagoas perenes) e 3 (11,5%) mantiveram a mesma extensão.

Atribui-se o maior número de lagos totalmente secos em setembro de 2014 a muito baixa pluviometria ano hidrológico de 2014, aumento da evapotranspiração, diminuição da recarga aquífera e consequente rebaixamento do nível d'água subterrâneo. Assim, foram afetados os lagos de todas as origens (dolinas, sobre filitos e por surgimento do nível d'água).

### ***8.2.2.3 Parâmetro Eixo de Alongamento dos Espelhos d'Água***

A direção principal do Espelho d'Água, isto é, comprimento do Espelho d'Água no interior de cada depressão cárstica, foi traçado manualmente (Figura 8.23) na cena de abril de 2010 visando relacioná-la com as estruturas que refletem as direções principais das depressões cársticas (Eixo Principal, item 8.1.3.9). A Tabela 8.27 mostra a distribuição de frequência das classes azimutais desses Eixos de Alongamento.

O parâmetro Classe Azimutal dos Espelhos d'Água será mais bem estudado nas etapas posteriores de estatística multivariada.

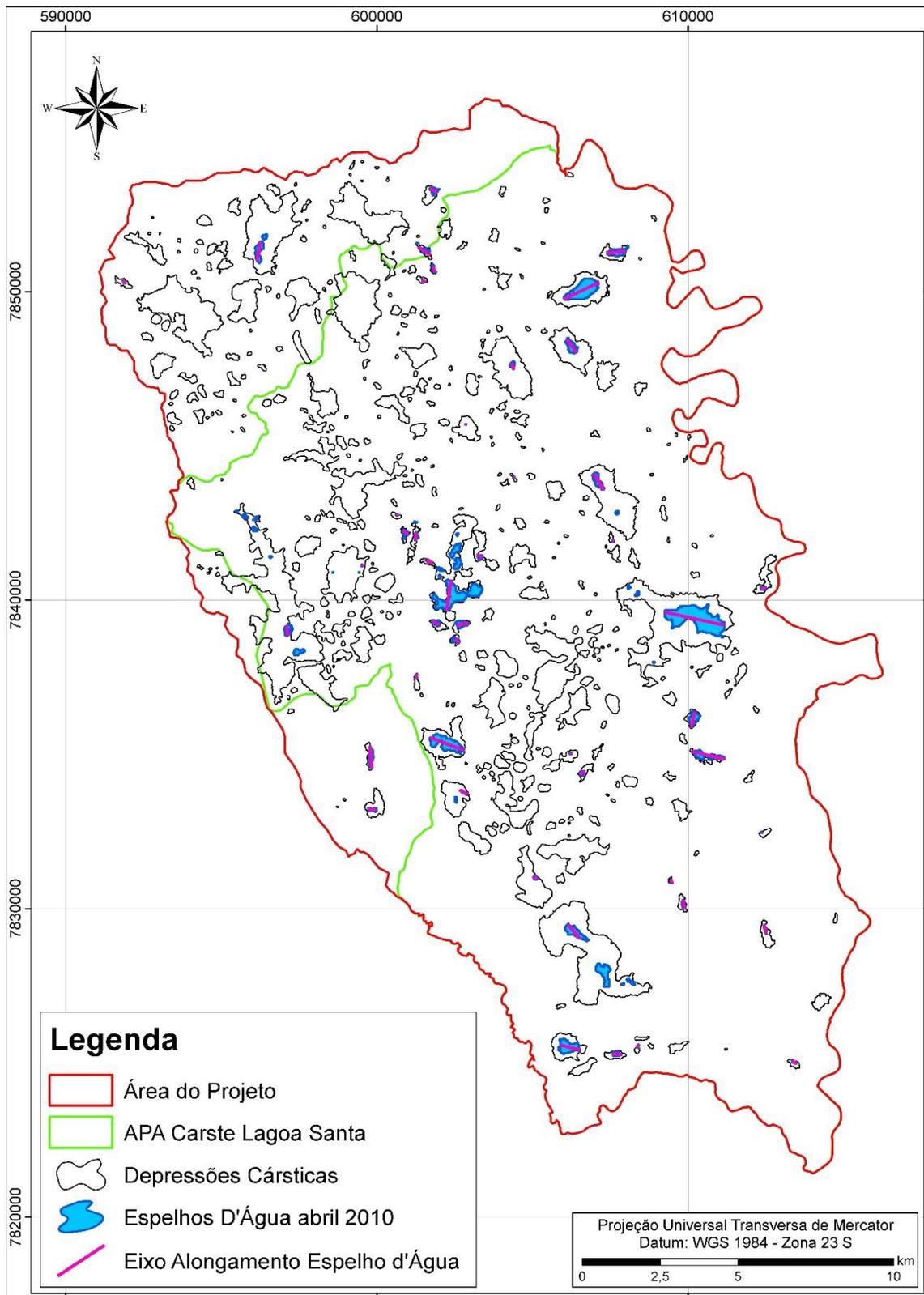


Figura 8.23 –Eixos de Alongamento dos espelhos d'água em abril 2010

Tabela 8.27 - Frequência da Classe Azimutal dos Eixos de Alongamentos dos espelhos d'água de abril 2010.

Classe Azimutal Alongamentos	Valor ângulo	Direção de referência	Frequência de Depressões
1	0 - 14,9°	N-NE	4
2	15 - 29,9°	N-NE	3
3	30° - 44,9°	NE	4
4	45° - 59,9°	NE	3
5	60° - 74,9°	NE	1
6	75° - 89,9°	E-W	3
7	90° - 104,9°	E-W	2
8	105° - 119,9°	NW	7
9	120° - 134,9°	NW	4
10	135° - 149,9°	NW	4
11	150° - 174,9°	N-NW	4
12	174,9° - 180°	N-NW	7

### 8.3 COMPORTAMENTO HÍDRICO DAS DEPRESSÕES CÁRSTICAS

O comportamento hídrico das depressões cársticas refere-se à ausência de água no seu interior (sempre seca) ou à sua presença, isto é, se o lago se comportou de forma intermitente (Retrai total) ou perene (Retrai parcial) de acordo com os resultados das extensões dos espelhos d'água no período de pós chuva (abril) e pós seca (setembro) de 2010 e 2014.

Para verificar em qual medida o comportamento hídrico das depressões (Sempre Seca, Retração Parcial, Retração Total) está sendo influenciado pelos parâmetros morfométricos, geomorfológicos e morfoestruturais, esses parâmetros foram submetidos a testes de correlação entre si e posteriormente empregados os estudos estatísticos Análise Hierárquica de Variáveis, Análise Fatorial e Análise de Componentes Principais. Os parâmetros analisados foram assim classificados:

- i) Morfométricos:
  - Área – [m<sup>2</sup>]
  - Perímetro [m<sup>2</sup>]
  - Índice de Circularidade (IC) [adimensional]
  - Profundidade [m]
  - Cota Topográfica [m]
  - Declividade Média [ ° ]
- ii) Geomorfológicos:

- Litologia [adimensional]
  - Área de Maciço Calcário [m<sup>2</sup>]
- iii) Morfoestruturais:
- Classe Azimutal do Eixo Principal [ ° ]
  - Comprimento dos Eixos de Alongamento [m]
  - Índice de Eixos de Alongamento [m]
  - Classe Azimutal Espelho d'água em abril 2010 [ ° ]
- iv) Hidrológicos:
- Presença de Espelho d'Água 2010
  - Presença de Espelho d'Água 2014
  - Tipo Hídrico 2010
  - Área Espelho d'Água abril 2010 [m<sup>2</sup>]
  - Área Espelho d'Água setembro 2010 [m<sup>2</sup>]
  - Retração 2010 [m<sup>2</sup>]
  - % Retração 2010
  - Tipo Hídrico 2014
  - Área Espelho d'Água abril 2014[m<sup>2</sup>]
  - Área Espelho d'Água setembro 2014 [m<sup>2</sup>]
  - Retração 2014 [m<sup>2</sup>]
  - % Retração 2014

A análise multivariada foi dividida em duas fases, uma realizada em todas as 393 depressões cársticas detectadas e a outra em apenas as 46 depressões cársticas com presença de espelhos d'água (pautadas pela cena de abril do ano de 2010).

### ***8.3.1 Associações entre os parâmetros morfométricos, geomorfológicos, morfoestruturais e hidrológicos das 393 depressões cársticas***

O estudo inicial da análise foi a geração de uma Matriz de Correlação com objetivo de retratar os conjuntos de relações e correspondências entre os parâmetros envolvidos no estudo.

Todas as variáveis analisadas apresentaram p-valor < 0,05 por meio do Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (K-S) apresentado pela Tabela 8.28. Portanto os valores de correlação entre as variáveis analisadas (par a par) na Matriz de Correlação (Tabela 8.29) foram obtidos a partir do coeficiente de correlação de Spearman.

Tabela 8.28 – Valores dos Testes de Normalidade segundo Kolmogorov-Smirnov nas 393 depressões cársticas

	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Profundidade (m)	Cota Topográfica (m)	IC	Declividade Média (°)	Classe Azimutal Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento (m)	IE (m)	Área Maciços (m <sup>2</sup> )	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Esp d'Água Abr 2010 (m <sup>2</sup> )	Esp d'Água Set 2010 (m <sup>2</sup> )	Retração 2010 (m <sup>2</sup> )	Esp d'Água Abr 2014 (m <sup>2</sup> )	Esp d'Água Set 2014 (m <sup>2</sup> )	Retração 2014 (m <sup>2</sup> )
Média	186450	1589	15,3	716,3	0,6432	7,647	6,689	879,5	332,8	12707	1,265	1,201	1,11	11035	5470	5565	2580	5470	1078
Desvio Padrão	601736	2926	15,6	43,5	0,2052	3,322	3,449	2063	402,9	45527	0,6358	0,573	0,46	72722	37799	39734	20814	37799	9822
Mediana	27977	748	9,5	719,7	0,6759	6,727	7,0	295	185,3	5,0	1,0	-	-	0	0	0	0	0	0
K-S	0,380	0,317	0,21515	0,062	0,092	0,121	0,256	0,346	0,244	0,390	0,501	0,516	0,53	0,446	0,47	0,44	0,48	0,50	0,48
<b>p-valor</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>
Normalidade	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal
Coefficiente Correlação	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman

Tabela 8.29 - Matriz de Correlação pelo Coeficiente de Spearman nas 393 depressões cársticas

	Área	Perímetro	Profundidade	Cota Topográfica	IC	Declividade Média	Classe Azimutal Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014
Área	1,00	0,99	0,82	-0,29	-0,69	0,17	0,03	0,97	0,95	0,28	-0,10	0,40	0,33	0,41	0,36	0,41	0,32	0,21	0,24
Perímetro		1,00	0,77	-0,32	-0,78	0,10	0,02	0,98	0,92	0,25	-0,07	0,41	0,33	0,42	0,37	0,42	0,33	0,22	0,24
Profundidade			1,00	-0,04	-0,34	0,66	0,05	0,77	0,84	0,48	-0,25	0,18	0,21	0,19	0,21	0,19	0,21	0,17	0,13
Cota Topográfica				1,00	0,42	0,35	0,14	-0,30	-0,21	0,06	-0,21	-0,28	-0,22	-0,29	-0,25	-0,29	-0,22	-0,14	-0,19
IC					1,00	0,24	0,01	-0,76	-0,56	-0,05	-0,06	-0,40	-0,30	-0,41	-0,34	-0,41	-0,29	-0,21	-0,22
Declividade Média						1,00	0,05	0,12	0,25	0,48	-0,33	-0,24	-0,10	-0,24	-0,15	-0,24	-0,09	0,00	-0,14
Classe Azimutal Eixo Principal							1,00	0,01	0,03	0,07	-0,03	0,05	0,01	0,05	0,02	0,05	0,02	0,04	0,01
Comprimento Eixos Alongamento								1,00	0,96	0,26	-0,10	0,39	0,31	0,40	0,35	0,40	0,31	0,20	0,23
IE									1,00	0,33	-0,16	0,33	0,27	0,34	0,31	0,34	0,28	0,18	0,20
Área Maciços										1,00	-0,29	-0,04	0,08	-0,02	0,07	-0,03	0,10	0,12	0,04
Litologia											1,00	0,05	0,05	0,04	-0,03	0,04	0,05	-0,02	0,02
Tipo Hídrico 2010												1,00	0,72	0,99	0,80	0,99	0,71	0,53	0,55
Tipo Hídrico 2014													1,00	0,76	0,82	0,76	0,98	0,71	0,76
Esp d'Água Abr 2010														1,00	0,85	1,00	0,75	0,56	0,58
Esp d'Água Set 2010															1,00	0,85	0,81	0,66	0,62
Retração 2010																1,00	0,74	0,54	0,58
Esp d'Água Abr 2014																	1,00	0,75	0,77
Esp d'Água Set 2014																		1,00	0,45
Retração 2014																			1,00

<sup>1</sup> Correlação Desprezível - 0,00 a 0,19 (sem cor); Correlação Fraca - 0,20 a 0,39 (amarelo); Correlação Moderada - 0,40 a 0,69 (azul); Correlação Forte - 0,70 a 0,89 (verde); Correlação Muito Forte - 0,90 a 1,00 (vermelho).

<sup>2</sup> Tipo Hídrico é composto pelas classificações: Sempre Seca, Retrai Parcial e Retrai Total.

As maiores depressões tendem a ser também as mais profundas ( $R = 0,82$ ) (Tabela 8.29), e quando tais parâmetros são relacionados à presença de Maciços (Figura 8.24) tem-se uma correlação moderada de ( $R = 0,48$ ) com a Profundidade e baixa ( $R = 0,28$ ) com a Área. Assim, as depressões cársticas tendem a ser maiores e mais profundas pelo processo de dissolução dos carbonatos e a presença de maciços calcários Figura 8.24 é mais marcante nas depressões mais evoluídas, isto é, maiores e mais profundas.

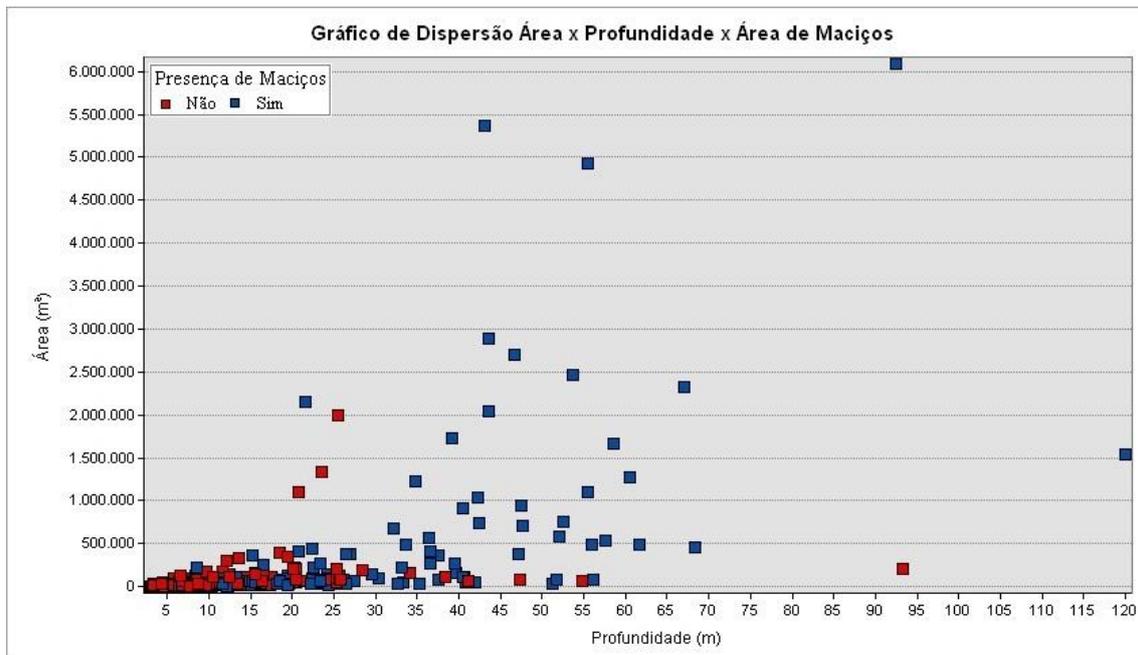


Figura 8.24 - Gráfico de Dispersão das 393 depressões cársticas: Área x Profundidade x Presença de Maciços Rochosos

A Área, um dos parâmetros que exprime o estado evolutivo das depressões, está fortemente correlacionada com o Comprimento Eixos de Alongamento ( $R = 0,97$ ) e o Índice de Eixos de Alongamento ( $R = 0,95$ ), os quais traduzem a estrutura rúptil das rochas. Depressões maiores possuem, assim, maior controle estrutural, indicado pelo Índice de Eixos de Alongamento (IE), e tendem a possuir formas mais irregulares (menor IC), isto é, a maior porosidade secundária (Figura 8.25).

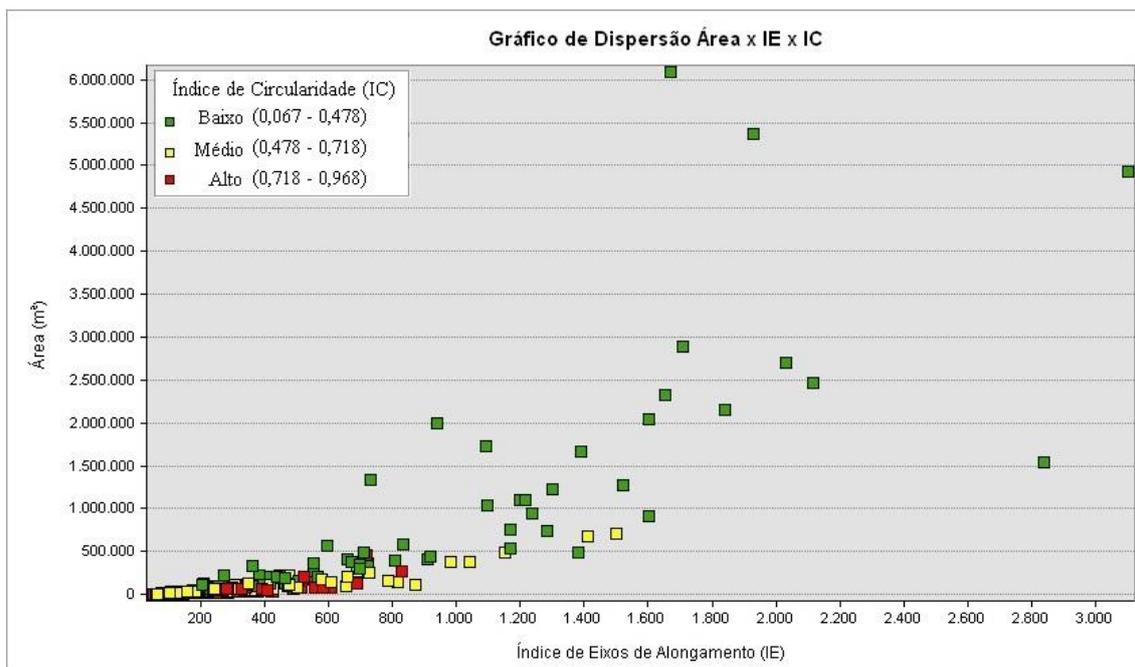


Figura 8.25 - Gráfico de Dispersão das 393 depressões cársticas: Área x IE x IC.

Quanto aos parâmetros hidrológicos, a extensão dos Espelhos d'água abril 2010, assim como o Tipo hídrico 2010 e a Retração 2010, estão vinculados muito forte entre si, moderadamente com a Área, Perímetro, IC, Comprimento Eixos de Alongamento e fracamente com a Cota Topográfica, Declividade Média, Comprimento dos Eixos de Alongamento e IE. Já em 2014 a extensão dos Espelhos d'Água em abril, o Tipo Hídrico e a Retração exibiram correlações fracas com a Área, Perímetro, Cota Topográfica, Declividade Média, IC, Comprimento de Eixos e IE, respectivamente.

Ainda na Tabela 8.29, a Litologia e a Classe Azimutal do Eixo Principal não apresentaram correlação expressiva com nenhum outro parâmetro.

Com o intuito de se observarem e confirmarem as similaridades entre os parâmetros medidos na matriz de correlação, foi realizada uma análise de Agrupamento Hierárquico de variáveis nas 393 depressões cársticas por meio do dendrograma apresentado na Figura 8.26.

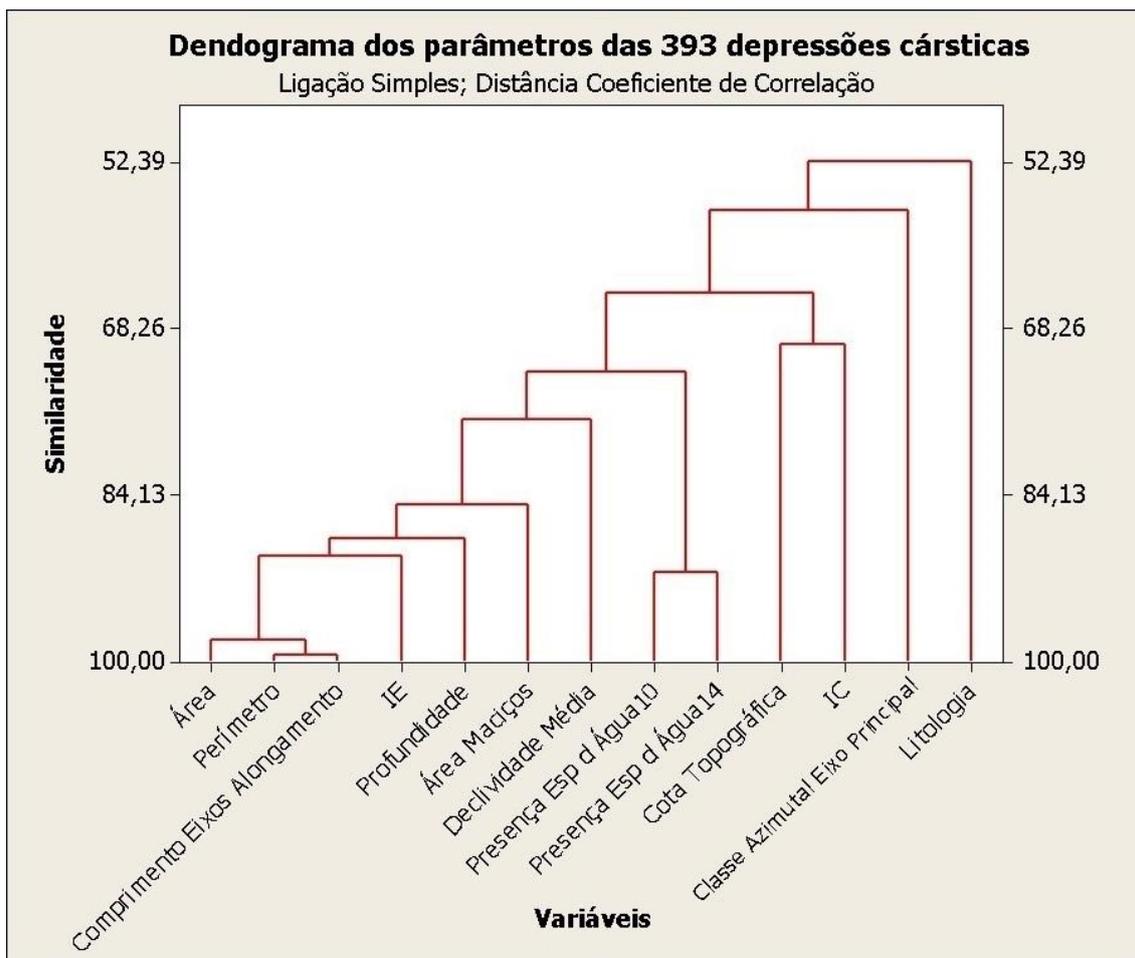


Figura 8.26 - Dendrograma da Análise Hierárquica de Variáveis das 393 depressões cársticas

No Dendrograma de variáveis observa uma similaridade muito forte (98%) entre os parâmetros morfométricos (Área, Perímetro) e morfoestrutural (Comprimento de Eixos Alongamento) que dizem respeito ao desenvolvimento das depressões segundo controle estrutural das depressões cársticas. Os parâmetros hidrológicos representados pelas variáveis presença de Espelhos d'Água nas depressões nas cenas de abril de 2010 e 2014, apresentam alta similaridade entre si (92%) e similaridades maiores que 72% com os parâmetros morfométricos, morfoestruturais e geomorfológicos, sendo: IE, Profundidade, Área de Maciços e Declividade Média respectivamente. As menores similaridades são observadas entre as variáveis: Classe Azimutal do Eixo Principal e Litologia, presumindo serem variáveis com similaridades mais complexas, sendo necessários estudos mais aprofundados como, por exemplo: a Litologia sendo necessários mapeamentos em escalas de detalhe em função das diferenças faciológicas que ocorrem dentro de uma mesma formação estratigráfica.

Após a Matriz de Correlação e Análise Hierárquica de variáveis foi aplicado um estudo estatístico (Análise Fatorial) acerca dos parâmetros das 393 depressões cársticas (morfométricos, geomorfológicos, morfoestruturais e hídricas), de modo a se descrever a distribuição dos dados utilizando um número menor de conceitos e fatores.

Foram utilizados nove parâmetros das depressões cársticas, pois os pares: Área – Perímetro e Comprimento de Eixos de Alongamento - IE, apresentam altas similaridades entre si além de representarem o mesmo conceito morfocárstico. A decisão da escolha de apenas um dos parâmetros entre os pares diminui as interferências na Análise Fatorial e conseqüentemente nas cargas fatoriais dos parâmetros na distribuição.

Na Análise Fatorial somente três fatores obtiveram autovalores maiores do que um, os demais parâmetros obtiveram baixa carga fatorial (pouca expressão) e foram excluídos segundo o critério da raiz latente. A Tabela 8.30, apresenta a Matriz de Carga Fatorial antes da determinação e exclusão dos fatores e a Tabela 8.31 apresenta a Matriz de Carga Fatorial com apenas os parâmetros que obtiveram cargas fatoriais maiores do que 0,6 (destacadas em vermelho) dentre os 3 primeiros fatores eleitos. Esse valor de 0,6 foi adotado como sendo o limite mínimo na determinação da relação entre os parâmetros e fatores, explicado pela variância mínima.

Tabela 8.30 - Matriz de Carga Fatorial dos parâmetros das 393 depressões cársticas na Análise Fatorial

Variáveis	<b>Fator 1<sup>2</sup></b>	<b>Fator 2</b>	<b>Fator 3</b>	Fator 4	Fator 5	Fator 6	Fator 7	Fator 8	Fator 9	Comunalidade
Área	<b>0,85</b>	0,13	-0,10	0,10	-0,26	-0,17	-0,25	-0,29	-0,07	1,00
Cota Topográfica	-0,27	<b>-0,68</b>	-0,13	0,07	-0,59	0,29	0,04	0,02	-0,01	1,00
Profundidade	<b>0,86</b>	-0,32	0,05	-0,20	0,15	0,14	-0,02	0,18	-0,19	1,00
Índice de Circularidade (IC)	<b>-0,61</b>	-0,52	0,05	-0,20	-0,08	-0,46	-0,29	0,11	-0,02	1,00
Declividade Média	0,23	<b>-0,81</b>	0,13	-0,32	0,32	0,12	-0,02	-0,21	0,09	1,00
Índice de Eixos de Alongamento (IE)	<b>0,91</b>	0,07	-0,01	0,06	-0,07	0,09	-0,29	0,19	0,17	1,00
Classe Azimutal Eixo Principal	0,05	-0,23	<b>-0,94</b>	0,13	0,20	-0,07	0,03	0,02	0,01	1,00
Área de Maciços	<b>0,78</b>	-0,15	0,03	-0,16	-0,21	-0,36	0,41	0,04	0,05	1,00
Litologia	-0,16	0,52	-0,27	<b>-0,77</b>	-0,17	0,10	-0,04	-0,01	0,01	1,00
Variância <sup>1</sup>	<b>3,43</b>	<b>1,86</b>	<b>1,00</b>	0,84	0,66	0,51	0,40	0,21	0,08	9,00
% Variabilidade	0,38	0,21	0,11	0,09	0,07	0,06	0,04	0,02	0,01	1,00
% Variabilidade Acumulado	<b>0,38</b>	<b>0,59</b>	<b>0,70</b>	0,79	0,87	0,92	0,97	0,99	<b>1,00</b>	-

Tabela 8.31 - Matriz de Carga Fatorial dos parâmetros selecionados das 393 depressões cársticas na Análise Fatorial

Variáveis	<b>Fator 1</b>	<b>Fator 2</b>	<b>Fator 3</b>	Comunalidade
Área	<b>0,85</b>	-0,11	0,12	0,76
Cota Topográfica	-0,29	<b>0,68</b>	0,10	0,56
Profundidade	<b>0,85</b>	0,37	-0,12	0,88
Índice de Circularidade (IC)	<b>-0,63</b>	0,52	-0,12	0,68
Declividade Média	0,21	<b>0,84</b>	-0,23	0,81
Classe Azimutal Eixo Principal	0,05	0,28	<b>0,94</b>	0,96
Índice de Eixos de Alongamento (IE)	<b>0,91</b>	-0,05	0,02	0,84
Área de Maciços	<b>0,78</b>	0,20	-0,08	0,65
Variância	<b>3,41</b>	<b>1,71</b>	<b>0,99</b>	6,12
% Variabilidade	0,43	0,21	0,12	0,76
% Variabilidade Acumulado	0,43	0,64	<b>0,77</b>	-

<sup>1</sup>Variâncias destacadas em vermelho para fatores maiores que 1 segundo o critério da raiz latente

<sup>2</sup>Cargas de Fatores destacadas em negrito e vermelho para valores maiores que 0,60 segundo relevância do parâmetro na distribuição do fator na Análise Fatorial.

Os parâmetros: Área, Índice de Circularidade (IC), Profundidade, Índice de Eixos de Alongamento (IE) e Área de Maciços apresentaram cargas fatoriais acima de 0,6 no Fator 1 equivalendo a 43% da variabilidade dos dados. A Cota Topográfica e Declividade Média apresentaram cargas fatoriais satisfatórias no Fator 2 comportando 21% da variabilidade dos dados, e a Classe Azimutal do Eixo Principal no Fator 3 com 12%.

Visando se conhecer o comportamento hídrico das depressões cársticas a partir dos parâmetros selecionados na Análise Fatorial, foi realizada a Análise dos Componentes Principais com apenas os respectivos parâmetros que obtiveram carga fatorial maior que 0,6 na Análise Fatorial:

- Área
- Cota Topográfica
- Profundidade
- Índice de Circularidade (IC)
- Declividade Média
- Índice de Eixos de Alongamento (IE)
- Área de Maciços.

Na Análise de Componentes Principais das 393 depressões cársticas, apenas dois componentes apresentaram autovalor maior que um, sendo os componentes principais (PC1 e PC2) que representam juntos 72,8% da variância total dos dados. A Tabela 8.32 exibe a matriz de escores gerada na referida análise.

Tabela 8.32 - Matriz de Escores dos parâmetros das 393 depressões cársticas na Análise de Componentes Principais.

Parâmetros	Primeiro Componente	Segundo Componente
Área	<b>0,462</b>	-0,092
Cota Topográfica	-0,157	<b>0,517</b>
Profundidade	<b>0,462</b>	0,297
Índice de Circularidade (IC)	-0,339	<b>0,408</b>
Declividade Média	0,110	<b>0,665</b>
Índice de Eixos de Alongamento (IE)	<b>0,495</b>	-0,034
Área de Maciços	<b>0,421</b>	0,162
Autovalor (Eigenvalue)	<b>3,413</b>	<b>1,678</b>
Variância	0,488	0,240
Variância Acumulada	0,488	<b>0,728</b>

De acordo com a Matriz de Escores, o PC1 representado pelos parâmetros: Área, Profundidade, Índice de Eixos de Alongamento (IE) e Área de Maciços, retratou 48,8%

da variabilidade dos dados e o PC2, correspondido pelos parâmetros: Cota Topográfica, Índice de Circularidade (IC) e Declividade Média, retratou 24%.

A Figura 8.27 apresenta o gráfico dos eixos das cargas fatoriais indicando as direções e sentidos da distribuição dos parâmetros das 393 depressões cársticas.

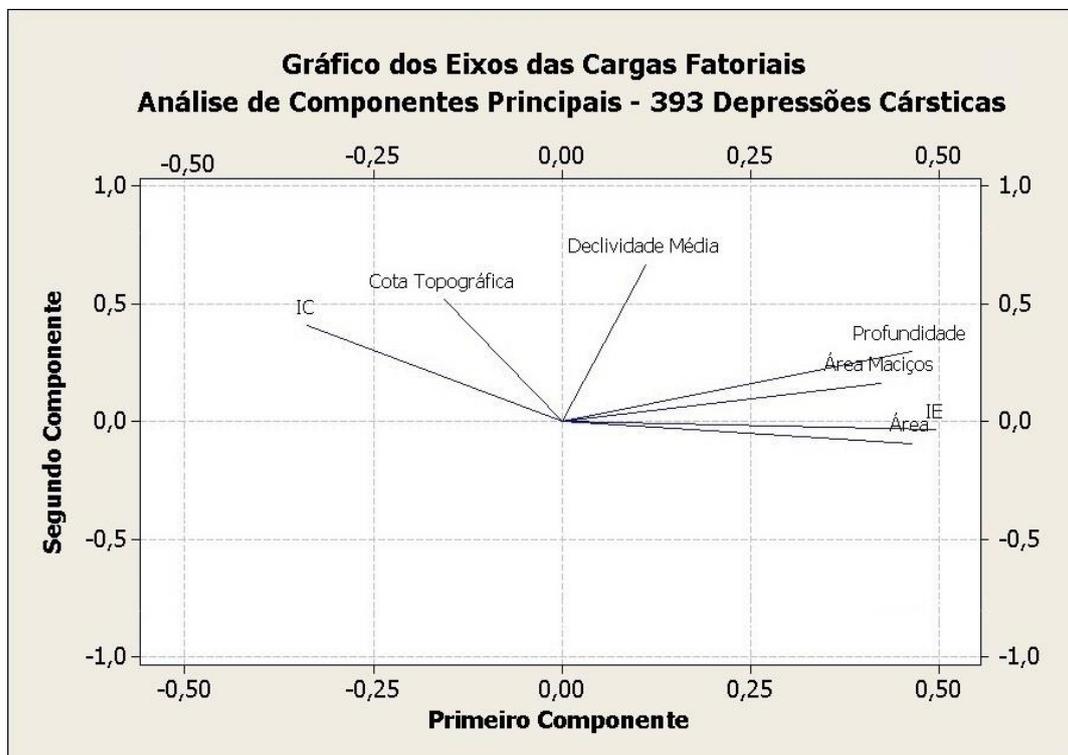


Figura 8.27 - Gráfico dos Eixos das Cargas Fatoriais dos parâmetros das 393 depressões cársticas na Análise de Componentes Principais

No gráfico de escores, ao se classificarem os pontos (depressões cársticas) segundo a Presença de Espelhos d'Água em abril 2010 (Figura 8.28), verificou-se que estes se separam majoritariamente ao longo do PC2. Ou seja, as depressões situadas nas Cotas Topográficas mais baixas, que possuem Declividades Médias suaves e que possuem suas formas mais irregulares (baixo IC), tenderam a armazenar água formando espelhos d'água em seus interiores no período pós chuvas em abril 2010. Os parâmetros do PC1 possuem uma menor influência para a presença de espelhos d'água nesta análise.

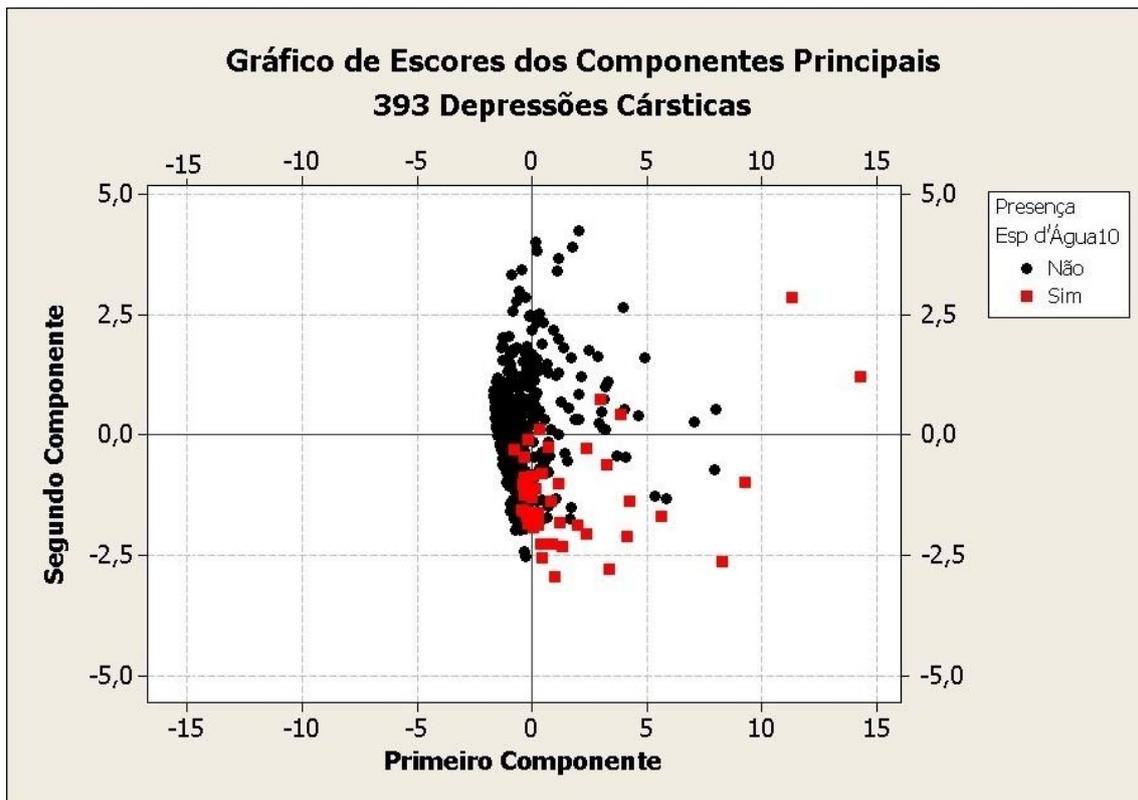


Figura 8.28 - Gráfico de Escores das 393 depressões cársticas classificadas segundo a presença de espelhos d'água em abril de 2010 na Análise de Componentes Principais.

Ao se classificarem os pontos (depressões cársticas) segundo o Tipo Hídrico 2010 (Figura 8.29), observou-se que as depressões cársticas com lagos intermitentes (Retrai total) não mostraram uma tendência clara dos parâmetros segundo o PC1. Porém, as demais depressões, que mantiveram os lagos perenes até setembro, tenderam para a direita do primeiro componente, ou seja, são as depressões com maiores Áreas de extensão, mais Profundas, com maior Índice de Eixos de Alongamento (controle estrutural) e com maiores Áreas de Maciços rochosos (geomorfológicos) em seus interiores, quando comparadas com as intermitentes.

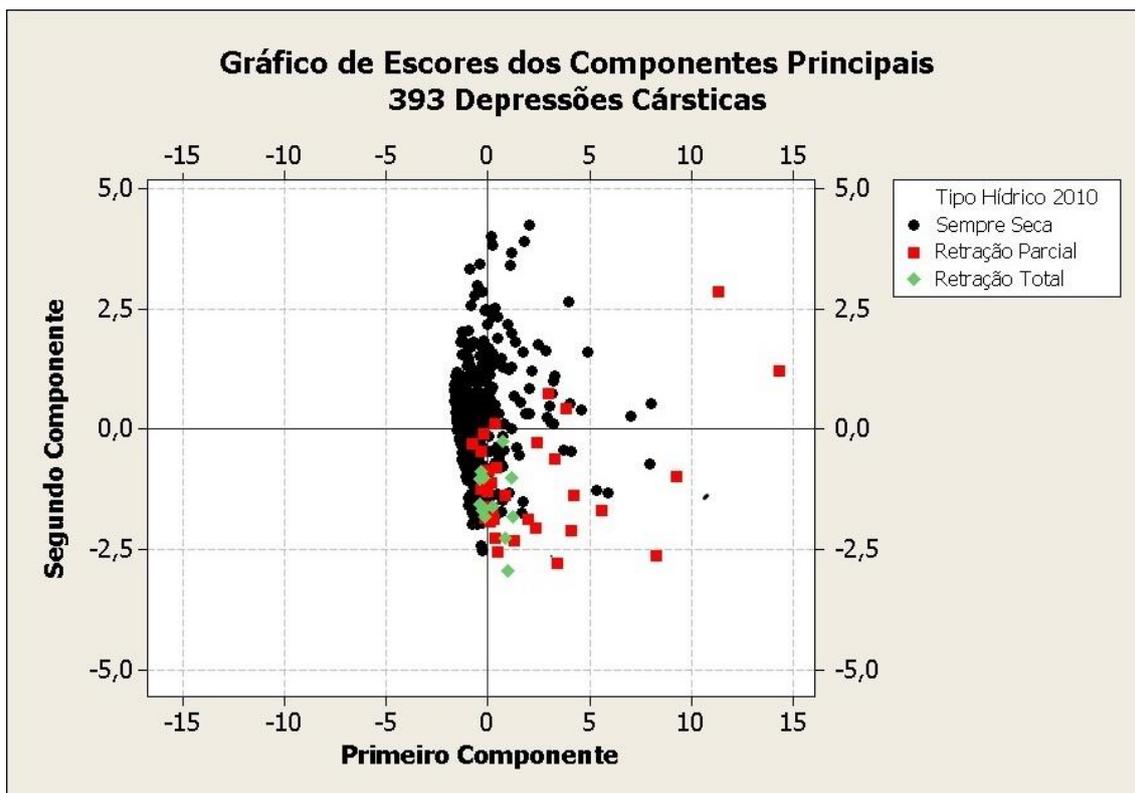


Figura 8.29 - Gráfico de Escores das 393 depressões cársticas classificadas segundo o Tipo Hídrico em 2010 na Análise de Componentes Principais.

### 8.3.2 Associações entre os parâmetros morfométricos, geomorfológicos, morfoestruturais e hidrológicos das 46 depressões cársticas

A análise das relações entre os parâmetros morfológicos, de feições típicas, estruturais e hidrológicos exclusiva para as depressões cársticas com espelhos d'água abril 2010, 46 ao todo, foi realizada no intuito de se aclarar os fatores que atuam sobre o comportamento hídrico das depressões sem a interferência dos dados das demais depressões que se apresentaram sempre secas.

O tipo de distribuição de cada variável (paramétrica ou não paramétrica) foi examinado pelo Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov (K-S) vide Tabela 8.33. No teste realizado foi definido o coeficiente de correlação de Spearman para a Matriz de Correlação (Tabela 8.34).

Tabela 8.33 - Valores dos Testes de Normalidade segundo Kolmogorov-Smirnov nas 46 depressões cársticas com espelhos d'água em abril 2010.

	Área	Perímetro	Profundidade	Cota Topográfica	IC	Declividade Média	Classe Azimutal Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Presença Maciços	Área Maciços	Litologia	Classe Azimutal Esp d'Água	Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Set 10	Retração 2010	Esp d'Água Abr 14	Esp d'Água Set 14	Retração 2014
Média	807389	4884	22,29	682,39	0,40	5,76	7,20	2962,0	745,0	0,61	27526,0	1,35	7,80	94274	46731	47544	22045	12838	9206
Desvio Padrão	1406129	6349	22,81	35,43	0,15	2,05	3,69	4670,0	713,0	0,49	94382,0	0,74	3,34	195056	102349	108227	57751	40456	27639
Mediana	190360	2559	13,57	671,30	0,42	5,20	8,0	1246,0	457,0	-	0,0	1,00	8,50	20943	3116	15313	1350	0	40
K-S	0,31	0,25	0,24	0,14	0,10	0,15	0,15	0,29	0,20	-	0,39	0,49	0,14	0,32	0,37	0,33	0,38	0,43	0,35
<b>p-valor</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>0,03</b>	<b>&gt;0,150</b>	<b>0,01</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>0,03</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>
Normalidade	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal	Não Normal
Coefficiente Correlação	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Pearson	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman	Spearman

Tabela 8.34 - Matriz de Correlação pelo Coeficiente de Spearman nas 46 depressões cársticas com espelhos d'água em abril 2010

	Área	Perímetro	Profundidade	Cota Topográfica	IC	Declividade Média	Classe Azimutal Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Classe Azimutal Esp d'Água	Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Set 10	Retração 2010	Esp d'Água Abr 14	Esp d'Água Set 14	Retração 2014
Área	1,00	0,98	0,79	-0,10	-0,62	0,04	-0,18	0,97	0,94	0,50	-0,17	-0,19	0,65	0,52	0,63	0,39	0,14	0,24
Perímetro		1,00	0,75	-0,12	-0,75	0,00	-0,18	0,98	0,88	0,50	-0,19	-0,19	0,64	0,52	0,63	0,36	0,12	0,23
Profundidade			1,00	-0,05	-0,31	0,56	-0,30	0,77	0,80	0,65	-0,18	-0,21	0,43	0,47	0,34	0,44	0,37	0,19
Cota Topográfica				1,00	0,16	0,21	0,23	-0,10	-0,01	0,00	0,16	0,24	-0,16	-0,09	-0,17	0,02	0,14	-0,08
IC					1,00	0,19	-0,04	-0,70	-0,43	-0,30	0,21	0,05	-0,41	-0,32	-0,44	-0,03	0,03	0,02
Declividade Média						1,00	-0,08	0,04	0,12	0,58	-0,18	0,07	-0,15	0,14	-0,30	0,32	0,54	0,02
Classe Azimutal Eixo Principal							1,00	-0,16	-0,14	0,08	0,07	0,82	-0,13	-0,11	-0,06	-0,03	0,06	-0,10
Comprimento Eixos Alongamento								1,00	0,93	0,53	-0,24	-0,16	0,62	0,52	0,59	0,35	0,13	0,21
IE									1,00	0,52	-0,15	-0,14	0,61	0,49	0,57	0,42	0,18	0,26
Área Maciços										1,00	-0,33	0,17	0,26	0,42	0,21	0,47	0,49	0,21
Litologia											1,00	0,11	-0,07	-0,31	0,03	0,02	-0,15	0,02
Classe Azimutal Esp d'Água												1,00	-0,21	-0,18	-0,13	-0,03	-0,02	-0,10
Esp d'Água Abr 10													1,00	0,81	0,91	0,55	0,23	0,50
Esp d'Água Set 10														1,00	0,60	0,63	0,46	0,51
Retração 2010															1,00	0,35	-0,01	0,35
Esp d'Água Abr 14																1,00	0,67	0,80
Esp d'Água Set 14																	1,00	0,29
Retração 2014																		1,00

A partir da Matriz de Correlação apresentada pela Tabela 8.34, pode-se observar que os parâmetros morfométricos que exprimem o desenvolvimento e alargamento das depressões cársticas (Área e Profundidade), apresentaram uma correlação forte entre si ( $R = 0,79$ ). Essas depressões mais desenvolvidas são as que possuem maior controle estrutural, evidenciado pelo coeficiente de correlação muito forte e forte entre os parâmetros:

- Área x Índice de Eixos de Alongamento ( $R = 0,94$ );
- Área x Comprimento Eixos Alongamento ( $R = 0,98$ );
- Profundidade x Índice de Eixos de Alongamento ( $R = 0,80$ );
- Profundidade x Comprimento Eixos Alongamento ( $R = 0,77$ ).

Os Maciços rochosos tendem a estar em maior proporção nas depressões maiores ( $R = 0,50$ ), mais profundas ( $R = 0,65$ ) e mais íngremes ( $R = 0,58$ ); nesta última correlação o fato é explicado pela presença dos paredões abruptos dos maciços calcários e onde não há maciços, a declividade média é mais suave. Os Maciços ainda se relacionam diretamente com os parâmetros estruturais Índice de Eixos de Alongamento ( $R = 0,52$ ) e Comprimento Eixos Alongamento ( $R = 0,53$ ).

Embora a variável Cota Topográfica não tenha apresentado correlação expressiva com nenhum parâmetro, ela exibiu uma correlação fraca com a Classe Azimutal do Eixo Principal ( $R = 0,23$ ), com a Classe Azimutal do Espelho d'Água ( $R = 0,24$ ) e com a Declividade Média ( $R = 0,21$ ). Pode-se inferir que as depressões situadas em cotas topográficas específicas possuem semelhantes direções de desenvolvimento principais.

A Classe Azimutal do Eixo Principal das depressões se apresentou fortemente relacionada com a Classe Azimutal do Espelho d'Água ( $R = 0,82$ ), indicando que os corpos d'água concordam com o azimute de desenvolvimento geral das depressões cársticas. As Figura 8.30A e Figura 8.30B mostram os diagramas de rosetas respectivos aos ângulos dos Eixos Principais e dos Eixos de Alongamento dos Espelhos d'Água. Em ambos os diagramas de rosetas a direção modal é NW, seguido das direções próximas N-S e NE.

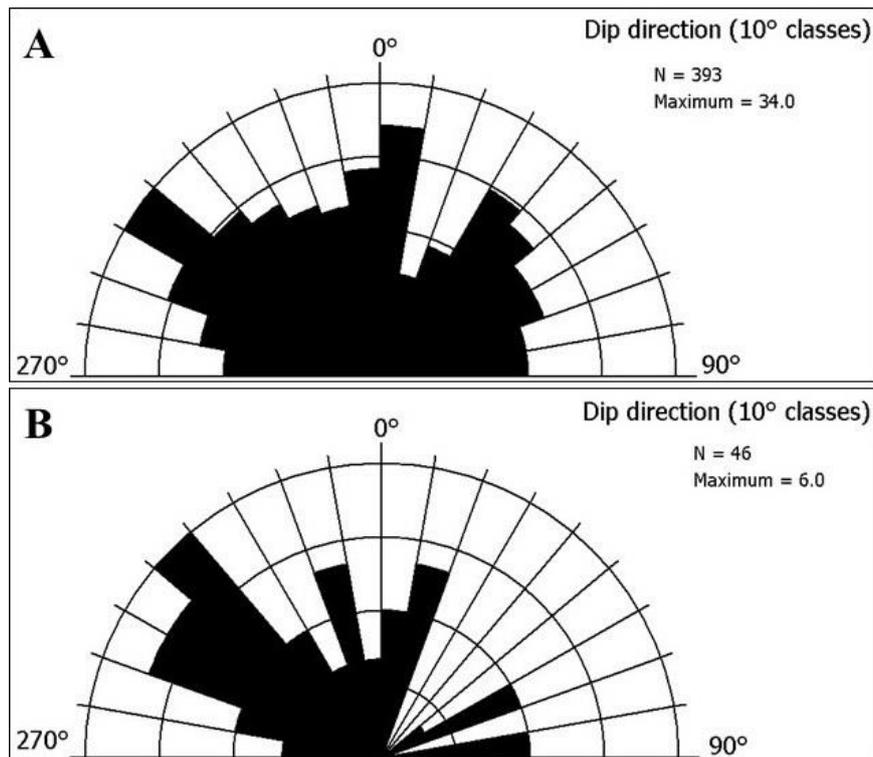


Figura 8.30 - Diagramas de Rosetas A) Eixos Principais das 393 depressões cársticas; B) Eixo de Alongamento dos 46 espelhos d'água em abril de 2010.

Em relação aos diagramas de rosetas, o azimute modal NW se relaciona com os azimutes das medidas de fraturas do embasamento cristalino e dos fotolineamentos medidos por Ribeiro *et al.*, (2016) e com a primeira fase de deformação geotectônica caracterizada pelas falhas normais geradas pelas diferenças topográficas (*horst e grabens*) no assoalho da bacia, indicando forte controle das estruturas do embasamento no desenvolvimento das feições cársticas em superfície.

Todavia, as componentes direcionais NE e E-W observadas nos diagramas de rosetas, se correlacionam com as fraturas medidas nos metacalcários e metapelitos das Formações Sete Lagoas e Lagoa Santa, no qual as E-W, são principalmente correlacionadas com as direções dos dutos de dissolução (RIBEIRO *et al.*, 2016).

As direções N-S estariam associadas aos processos de carstificação gerados pelos planos de interseção entre os planos de cisalhamento interestratais e os planos de acamamento, juntas e foliações tectônicas assinadas nos carbonatos (PESSOA, 2005)

Os parâmetros hídricos medidos no ano de 2010 (Espelho d'Água Abril 2010, Espelho d'Água Setembro 2010, Retração 2010) apresentaram os coeficientes de correlação moderada a fraca com os parâmetros morfométricos, geomorfológicos e morfoestruturais, cujos coeficientes estão na devida ordem:

- Área (R=0,65; R=0,52; R=0,63)
- Profundidade (R=0,43; R=0,47; R=0,34)
- Índice de Circularidade (R=-0,41; R=-0,32; R=-0,44)
- Comprimento de Eixos de Alongamento (R=0,62; R=0,52; R=0,59)
- Índice de Eixos de Alongamento (R=0,61; R=0,49; R=0,57)
- Área de Maciços (R=0,26; R=0,42; R=0,21)

Já os parâmetros hídricos representativos do ano de 2014 (Espelho d'Água Abril 2014, Espelho d'Água Setembro 2014, Retração 2014) apresentaram os coeficientes de correlação fraca a moderada com os parâmetros morfométricos, morfoestruturais e geomorfológicos, cujos coeficientes estão na devida ordem:

- Área (R=0,39; R=0,14; R=0,24)
- Profundidade (R=0,44; R=0,37; R=0,19)
- Índice de Circularidade (R=-0,33; R=-0,03; R=-0,02)
- Comprimento de Eixos de Alongamento (R=0,35; R=0,13; R=0,21)
- Índice de Eixos de Alongamento (R=0,42; R=0,18; R=0,26)
- Área de Maciços (R=0,47; R=0,49; R=0,21)

Comparando as correlações entre os parâmetros morfométricos, geomorfológicos, morfoestruturais e os parâmetros hídricos, verifica-se que no ano de 2010 as correlações são mais fortes entre todos os parâmetros, exceto com a Área de Maciços. Essa mais forte correlação em 2014, corrobora a importância dos maciços para a conservação dos espelhos d'água no interior das depressões cársticas, especialmente em anos de estresse hídrico. O estudo hídrico deste ano será melhor estudado e interpretado nas etapas posteriores.

Para se obter o nível de similaridade entre os parâmetros (morfométricos, de geomorfológicos, morfoestruturais e hidrológicos) nas 46 depressões cársticas providas de Espelhos d'Água abril 2010, foi realizada a Análise de Agrupamento Hierárquico de Variáveis (Figura 8.31). Observa-se um alto nível de similaridade (96,1) entre os parâmetros hídricos concernentes às áreas dos Espelhos d'Água em abril, setembro e Retração, de 2010. O mesmo ocorre para o ano de 2014, com nível de similaridade de 88,8.

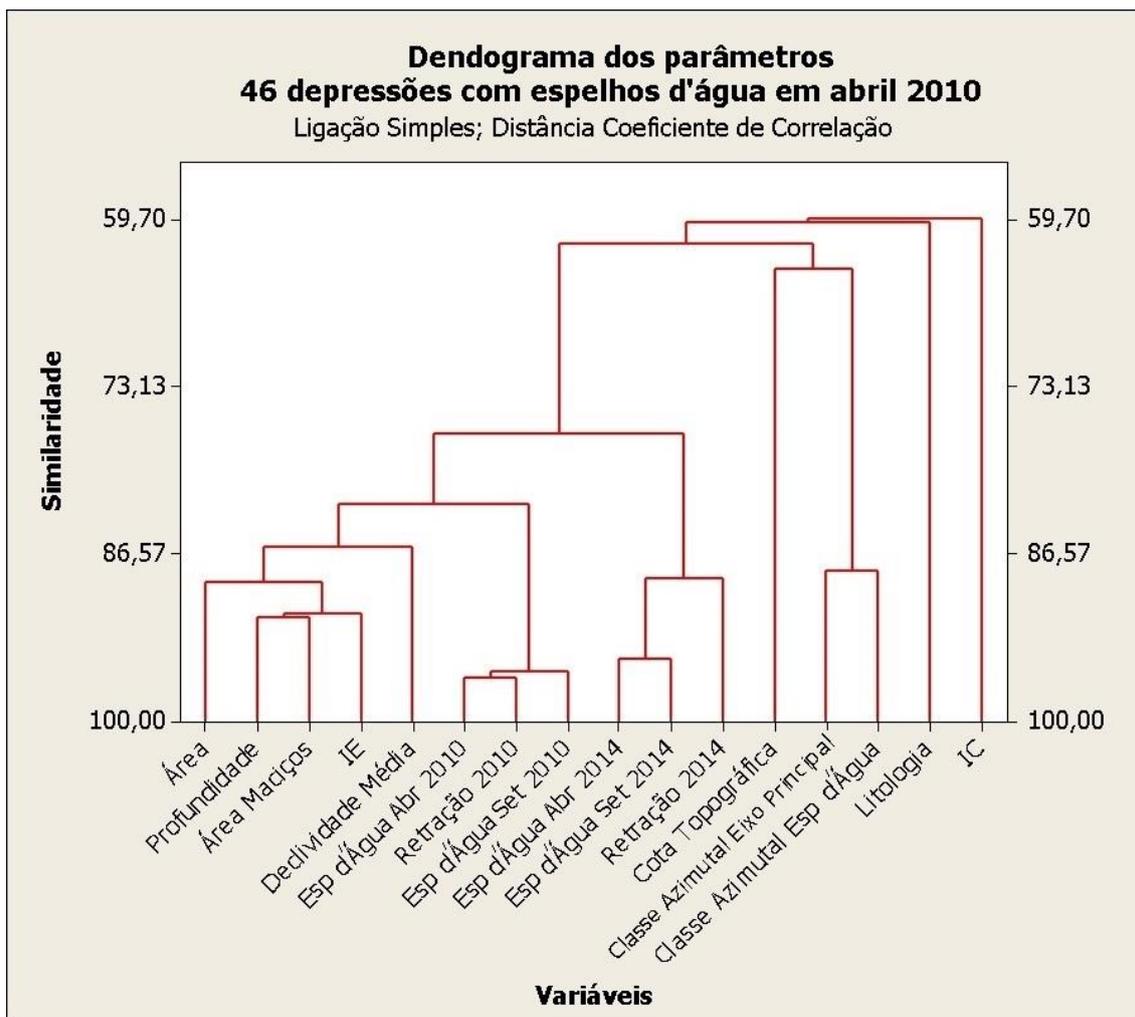


Figura 8.31 – Dendrograma da Análise Hierárquica de Variáveis das 46 Depressões com espelhos d'água

Entre os parâmetros morfométricos (Área, Profundidade e Declividade Média), parâmetros geomorfológicos (Área de Maciços) e morfoestruturais (IE), observa-se um alto grau de similaridade variando de 91,6 a 86,0.

O agrupamento referente aos parâmetros morfométricos apresentam satisfatório nível de similaridade com os parâmetros hídricos do ano de 2010 (82,6) e do ano de 2014 (76,9) respectivamente.

Observa-se também um grau de similaridade significativo de 87,9 entre os parâmetros que representam as direções de desenvolvimento das depressões cársticas (Classe Azimutal Eixo Principal) e da orientação principal dos lagos (Classe Azimutal Espelho d'Água).

As variáveis Cota Topográfica, Litologia, Índice de Circularidade (IC) e das Classes Azimutais não apresentaram níveis de similaridade tão expressivos em comparação com os demais parâmetros, entretanto, os níveis de similaridade são

moderados, com semelhanças maiores que 60. Ressalta-se que os menores níveis de similaridades encontrados na variável litologia são explicados pela baixa variabilidade de tipos litológicos, predominando o Membro Lagoa em 84% dos casos.

Com objetivo de se avaliar a distribuição dos parâmetros das 46 depressões cársticas com presença de espelhos d'água em 2010, foi realizada a Análise Fatorial que permitiu a exclusão dos parâmetros menos influentes na variabilidade dos dados segundo o critério da raiz latente e posteriormente uma aquilatação das variáveis para a Análise de Componentes Principais.

Na Análise Fatorial somente três fatores obtiveram autovalores maior do que um, a Tabela 8.35 revela a Matriz de Carga Fatorial antes da exclusão dos parâmetros pelo critério da raiz latente e a Tabela 8.36 apresenta a Matriz de Carga Fatorial com apenas os parâmetros selecionados que apresentaram carga fatorial maior que 0,6 em um dos três fatores principais eleitos.

Tabela 8.35 – Matriz de Carga Fatorial dos parâmetros das 46 depressões cársticas com espelhos d'água em abril 2010 na Análise Fatorial.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6	Fator 7	Fator 8	Fator 9	Comunalidade
Área	<b>0,84</b>	-0,20	-0,32	0,05	0,05	-0,20	-0,05	-0,32	0,02	1,00
Cota Topográfica	-0,03	<b>0,73</b>	-0,31	0,04	-0,60	0,10	0,05	-0,06	0,00	1,00
Profundidade	<b>0,96</b>	0,17	0,13	0,10	0,02	0,01	0,04	0,15	0,09	1,00
Índice de Circularidade (IC)	-0,49	<b>0,59</b>	0,44	-0,09	0,22	-0,34	0,19	-0,11	0,01	1,00
Declividade Média	<b>0,63</b>	0,52	0,47	-0,10	0,09	0,08	-0,31	-0,03	-0,03	1,00
Índice de Eixos de Alongamento (IE)	<b>0,86</b>	-0,03	-0,06	0,11	-0,16	-0,44	0,07	0,16	-0,06	1,00
Classe Azimutal Eixo Principal	-0,05	0,37	<b>-0,70</b>	-0,51	0,32	-0,07	-0,06	0,09	0,00	1,00
Área de Maciços	<b>0,83</b>	0,17	-0,02	0,01	0,25	0,37	0,26	-0,04	-0,04	1,00
Litologia	-0,31	0,34	-0,31	0,78	0,29	-0,02	-0,07	0,03	-0,01	1,00
Variância	<b>3,78</b>	<b>1,49</b>	<b>1,21</b>	0,90	0,69	0,50	0,22	0,17	0,02	9,00
% Variabilidade	0,42	0,17	0,14	0,10	0,08	0,06	0,03	0,02	0,00	1,00
% Variabilidade Acumulado	0,42	0,59	<b>0,72</b>	0,82	0,90	0,95	0,98	1,00	1,00	-

Tabela 8.36 - Matriz de Carga Fatorial dos parâmetros selecionados das 46 depressões cársticas com espelhos d'água em abril 2010 na Análise Fatorial

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
Área	<b>0,85</b>	-0,28	-0,26	0,85
Cota Topográfica	-0,01	<b>0,68</b>	-0,40	0,62
Profundidade	<b>0,96</b>	0,15	0,15	0,97
Índice de Circularidade (IC)	-0,48	<b>0,66</b>	0,33	0,78
Declividade Média	<b>0,63</b>	0,58	0,38	0,87
Índice de Eixos de Alongamento (IE)	<b>0,86</b>	-0,06	-0,03	0,74
Classe Azimutal Eixo Principal	-0,04	0,31	<b>-0,83</b>	0,78
Área de Maciços	<b>0,84</b>	0,14	-0,01	0,73
Variância	<b>3,71</b>	<b>1,45</b>	<b>1,18</b>	6,34
% Variabilidade	0,46	0,18	0,15	0,79
% Variabilidade Acumulado	0,46	0,65	<b>0,79</b>	-

O Fator 1, correspondido pelos parâmetros: Área, Profundidade, Declividade Média, Índice de Eixos de Alongamento (IE) e Área de Maciços, representou 46% da variabilidade dos dados, o Fator 2 traduzido pela Cota Topográfica e Índice de Circularidade (IC) refletiu 18% da variabilidade dos dados e o parâmetro Classe Azimutal do Eixo Principal, representado pelo Fator 3, exibiu 15% da variabilidade dos dados.

A partir da Análise Fatorial realizada nas 46 depressões cársticas com presença de espelhos d'água em abril 2010, os seguintes parâmetros foram selecionados para a Análise de Componentes Principais.

- Área
- Cota Topográfica
- Profundidade
- Índice de Circularidade (IC)
- Declividade Média
- Índice de Eixos (IE)
- Área de Maciços.

Na Análise de Componentes Principais das 46 depressões com espelhos d'água em abril 2010, apenas dois componentes apresentaram autovalor maior que um, sendo os componentes principais (PC1 e PC2) que juntos são responsáveis por 72,8% da variância dos dados. A Tabela 8.37, mostra a matriz de escores gerada na respectiva análise.

Tabela 8.37 - Matriz de Escores dos parâmetros na Análise de Componentes Principais das 46 depressões com presença de espelhos d'água em abril 2010.

Parâmetros	Primeiro Componente	Segundo Componente
Área	<b>0,439</b>	-0,277
Cota Topográfica	-0,003	<b>0,489</b>
Profundidade	<b>0,498</b>	0,151
Índice de Circularidade (IC)	-0,251	<b>0,596</b>
Declividade Média	0,324	<b>0,540</b>
Índice de Eixos de Alongamento (IE)	<b>0,446</b>	-0,052
Área de Maciços	<b>0,438</b>	0,103
Autovalor (Eigenvalue)	<b>3,710</b>	<b>1,426</b>
Variância	0,530	0,204
Variância Acumulada	0,530	<b>0,734</b>

O primeiro componente (PC1), responsável por 53,0% da variabilidade dos dados, é fundamentado pelos parâmetros: Área, Profundidade, Índice de Eixos de Alongamento (IE) e Área de Maciços e o segundo componente (PC2), referente a 20,4%

da variabilidade dos dados, é correspondido pelos parâmetros: Cota Topográfica, Índice de Circularidade (IC) e Declividade Média.

A Figura 8.32 ilustra os gráfico dos eixos das cargas fatoriais indicando as direções e sentidos da distribuição dos parâmetros das 393 depressões cársticas.

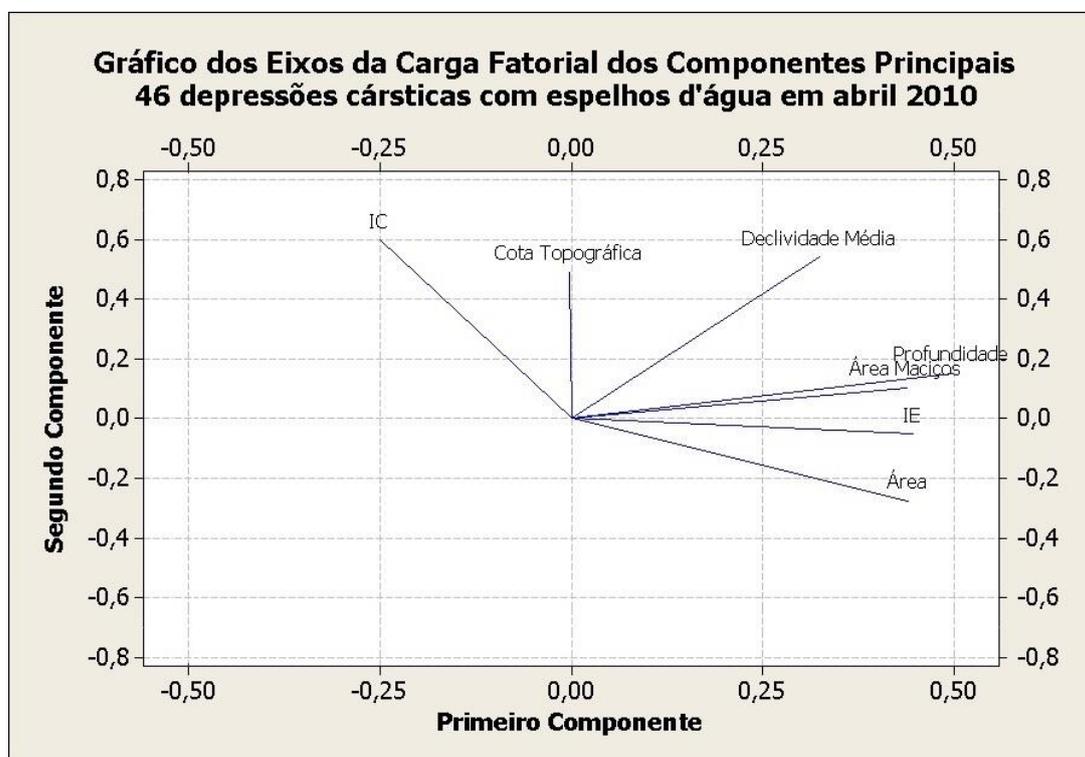


Figura 8.32 - Gráfico de Eixos da Carga Fatorial dos parâmetros das 46 depressões cársticas com espelhos d'água em abril de 2010 na Análise de Componentes Principais

Ao se classificarem os pontos (depressões cársticas) no gráfico de escores segundo o Tipo Hídrico 2010 (Figura 8.33), pode-se observar que as lagoas de comportamento intermitente (Retração Total), se concentram à esquerda do eixo do Primeiro Componente (PC1) isto é, são regidas por depressões menores, menos profundas, com menores áreas de maciços e com menores Índices de Eixo de Alongamento. Não se verificou influência significativa do PC2 (Cota Topográfica, IC e Declividade Média) sobre esse comportamento. Já as lagoas de comportamento perene (Retração Parcial), embora estejam bem distribuídas numericamente ao longo do PC1, constata-se que os scores à direita são maiores, mostrando uma tendência nesse sentido. Ou seja, a manutenção dessas águas está vinculada a depressões maiores, com maiores Índices de Eixo de Alongamento, mais profundas e com maiores áreas de maciços no seu interior. O PC2 não mostrou exercer influência significativa sobre esse comportamento.

Assim, se reafirma que os parâmetros pertinentes ao primeiro componente são bastantes significativos para que as depressões permaneçam com água durante o ano todo, principalmente pós período de estiagem.

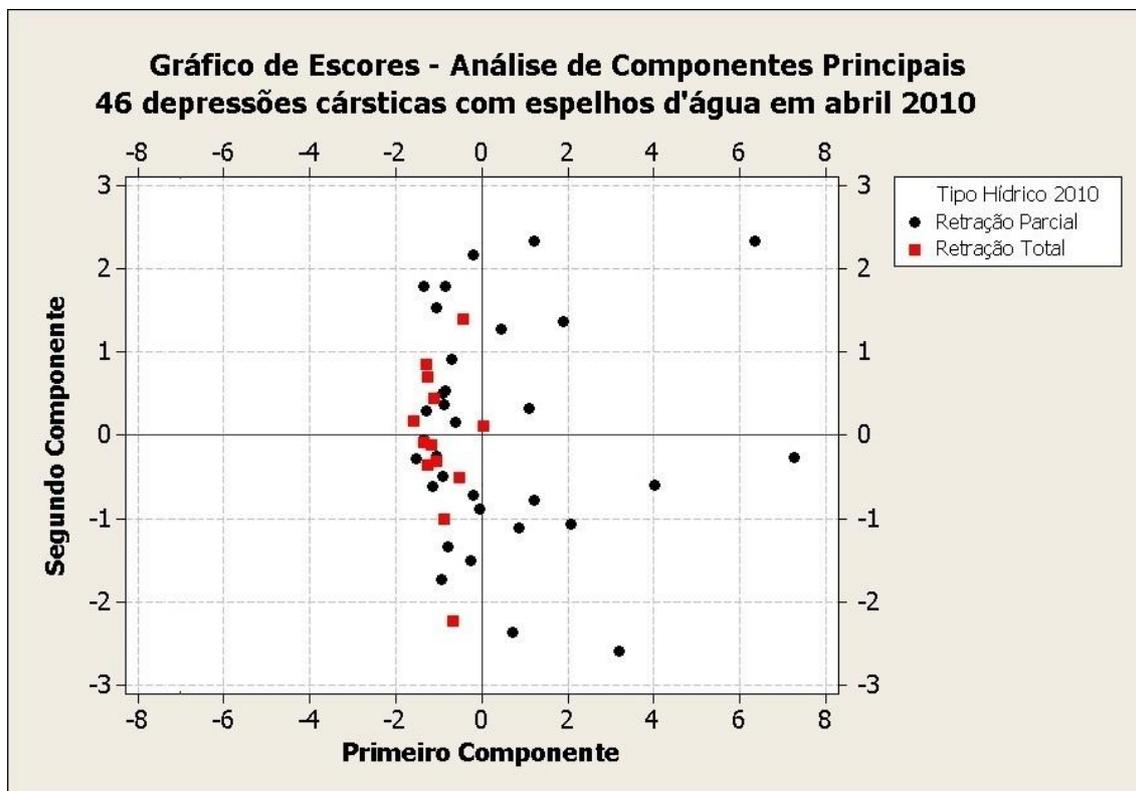


Figura 8.33 - Gráfico de Escores das 46 depressões cársticas com espelhos d'água em abril 2010 classificadas segundo o Tipo Hídrico em 2010 na Análise de Componentes Principais.

Após a análise do comportamento das depressões cársticas com espelhos d'água no ano de 2010, realizou-se a análise do comportamento hídrico das depressões cársticas em ano de estresse hídrico (ano de 2014). Essa análise teve como principal fundamento a compreensão do desempenho hídrico das depressões cársticas com espelhos d'água em ano adverso em comparação com um ano com índice pluviométrico normal.

Na Análise Fatorial somente três fatores alcançaram autovalores maiores do que um, a Tabela 8.38, ilustra a Matriz de Carga Fatorial antes da exclusão dos parâmetros pelo critério da raiz latente e a Tabela 8.39 apresenta a Matriz de Carga Fatorial com apenas os parâmetros que obtiveram carga fatorial maior que 0,6 em um dos três fatores significativos.

Tabela 8.38 - Matriz de Carga Fatorial dos parâmetros das 26 depressões cársticas com espelhos d'água abril 2014 na Análise Fatorial.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6	Fator 7	Fator 8	Fator 9	Comunalidade
Área	<b>0,82</b>	-0,31	-0,29	0,10	0,03	0,18	-0,26	0,18	-0,02	1,00
Cota Topográfica	0,07	<b>0,70</b>	-0,42	0,08	0,48	-0,29	-0,03	0,05	0,00	1,00
Profundidade	<b>0,94</b>	0,22	0,15	0,14	-0,03	0,02	0,11	-0,09	-0,09	1,00
Índice de Circularidade (IC)	-0,56	<b>0,68</b>	0,18	-0,10	-0,05	0,37	0,06	0,20	-0,02	1,00
Declividade Média	0,58	<b>0,66</b>	0,29	-0,16	-0,21	0,04	-0,21	-0,15	0,03	1,00
Índice de Eixos de Alongamento (IE)	<b>0,84</b>	-0,07	-0,01	0,12	0,37	0,14	0,07	-0,08	0,00	1,00
Classe Azimutal Eixo Principal	0,07	0,12	<b>-0,87</b>	-0,36	-0,28	0,34	0,15	-0,06	0,05	1,00
Área de Maciços	<b>0,84</b>	0,15	0,01	0,13	-0,39	-0,24	0,15	0,18	0,04	1,00
Litologia	-0,44	0,19	-0,25	0,81	-0,21	0,10	-0,03	-0,08	0,01	1,00
Variância	<b>3,80</b>	<b>1,62</b>	<b>1,21</b>	0,88	0,69	0,46	0,18	0,15	0,01	9,00
% Variabilidade	0,42	0,18	0,13	0,10	0,08	0,05	0,02	0,02	0,00	1,00
% Variabilidade Acumulada	0,42	0,60	0,74	0,83	0,91	0,96	0,98	1,00	1,00	-

Tabela 8.39 –Matriz de Carga Fatorial dos parâmetros selecionados das 26 depressões cársticas com espelhos d'água abril 2014 na Análise Fatorial.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
Área	<b>0,83</b>	-0,35	0,24	0,87
Cota Topográfica	0,10	<b>0,68</b>	0,43	0,66
Profundidade	<b>0,95</b>	0,20	-0,18	0,97
Índice de Circularidade (IC)	-0,54	<b>0,71</b>	-0,13	0,81
Declividade Média	0,58	<b>0,67</b>	-0,24	0,85
Índice de Eixos de Alongamento (IE)	<b>0,83</b>	-0,09	-0,02	0,70
Classe Azimutal Eixo Principal	0,07	0,09	<b>0,91</b>	0,84
Área de Maciços	<b>0,85</b>	0,11	-0,05	0,74
Variância	<b>3,65</b>	<b>1,60</b>	<b>1,18</b>	6,44
% Variabilidade	0,46	0,20	0,15	0,81
% Variabilidade Acumulada	0,46	0,66	<b>0,81</b>	-

Os parâmetros: Área, Profundidade, Índice de Eixos de Alongamento (IE) e Área de Maciços apresentaram cargas fatoriais adequadas (acima de 0,6) no Fator 1 correspondendo a 42% da variabilidade dos dados. As variáveis: Cota Topográfica, Índice de Circularidade e Declividade Média apresentaram cargas fatoriais satisfatórias no Fator 2 refletindo 20% da variabilidade dos dados. Já o parâmetro Classe Azimutal do Eixo Principal representado pelo do Fator 3 expressou 15% da variabilidade dos dados.

A partir da Análise Fatorial feita para as 26 depressões cársticas com espelhos d'água em abril 2014, os respectivos parâmetros foram designados para a Análise de Componentes Principais:

- Área
- Cota Topográfica
- Profundidade
- Índice de Circularidade (IC)
- Declividade Média
- Índice de Eixos (IE)
- Área de Maciços.

Apenas dois componentes apresentaram autovalor maior que um (1) na Análise de Componentes Principais das 26 depressões cársticas com espelhos d'água em abril 2014, sendo eles responsáveis por 75% da variância dos dados. A Tabela 8.40 exemplifica a Matriz de Escores dos parâmetros gerada na devida análise.

Tabela 8.40 - Matriz de Escores dos parâmetros na Análise de Componentes Principais das 26 depressões com presença de espelhos d'água em abril 2014.

Parâmetros	Primeiro Componente	Segundo Componente
Área	<b>0,43</b>	-0,29
Cota Topográfica	0,05	<b>0,52</b>
Profundidade	<b>0,50</b>	0,17
Índice de Circularidade (IC)	-0,29	<b>0,56</b>
Declividade Média	0,31	<b>0,54</b>
Índice de Eixos de Alongamento (IE)	<b>0,44</b>	-0,07
Área de Maciços	<b>0,45</b>	0,09
Autovalor ( <i>Eigenvalue</i> )	<b>3,65</b>	<b>1,60</b>
Variância	0,52	0,23
Variância Acumulada	0,52	<b>0,75</b>

Os parâmetros: Área, Profundidade, Índice de Eixos de Alongamento (IE) e Área de Maciços respectivos ao Componente Principal 1 representam 52% da variância

dos dados e os parâmetros Cota Topográfica, Índice de Circularidade (IC) e Declividade Média, 23%.

A Figura 8.34 apresenta o gráfico dos eixos das cargas fatoriais indicando as direções e sentidos da distribuição dos parâmetros das 26 depressões cársticas com espelho d'água em 2014.

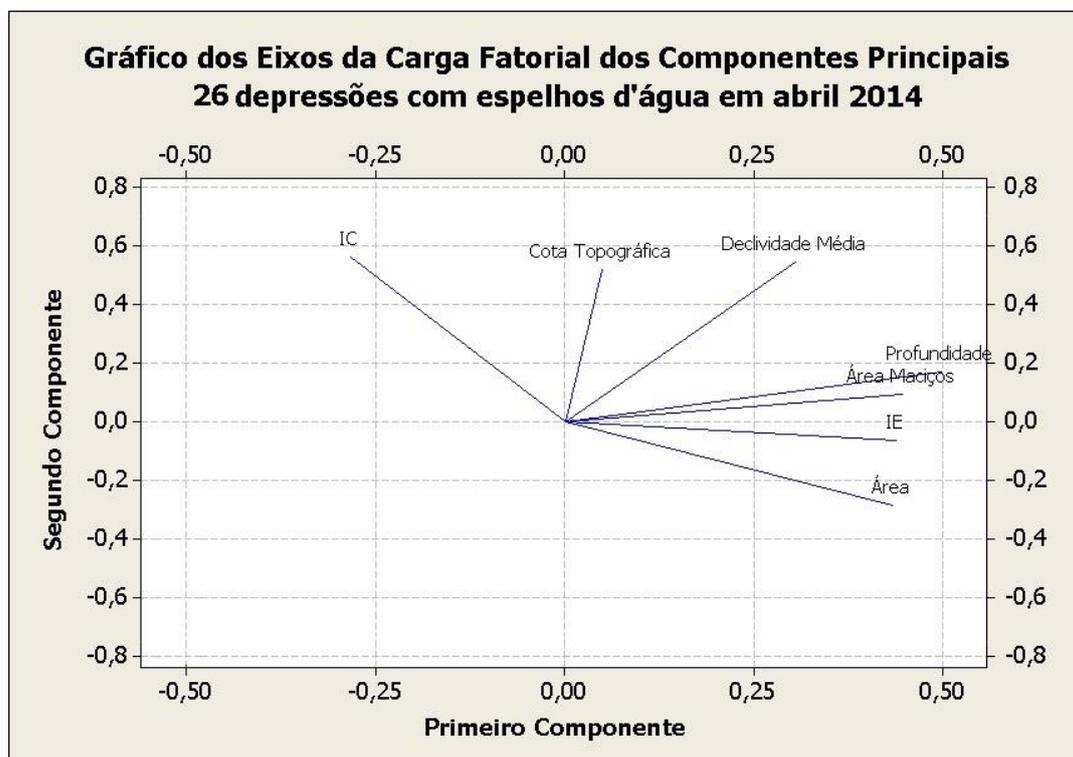


Figura 8.34 - Gráfico de Eixos da Carga Fatorial dos parâmetros das 26 depressões cársticas com espelhos d'água em abril de 2014 na Análise de Componentes Principais

Ao se classificar a distribuição dos dados de acordo com o Tipo Hídrico 2014 (Figura 8.35), entende-se que a distribuição se separa substancialmente em função do PC1, isto é, as depressões com lagoas intermitentes (Retração Total), se concentram à esquerda sendo representadas por depressões menores, menos profundas, com menor presença de eixos de alongamento (IE) e menores áreas de maciços em seus interiores.

O padrão observado nas análises anteriores (nas 393 depressões cársticas e nas 46 com espelhos d'água em abril 2010) é mantido, no qual as depressões maiores, mais profundas, com alta frequência de eixos de alongamento e grandes áreas de maciços, são aquelas que tendem a possuir lagoas perenes não secando totalmente em qualquer dos anos (normal ou de severa crise hídrica).

O PC2 apresentou influência na distribuição dos dados, em que dentre as depressões cársticas pequenas, rasas, com pouco ou nenhum controle estrutural e área de maciços (situadas na parte esquerda do PC1) e as situadas em altas cotas topográficas e com alto IC (2º quadrante) tendem a possuir lagoas perenes – Retração Parcial. Notou-se também que estas depressões situadas na parte esquerda do Primeiro Fator, mas com baixo IC (pouco arredondadas) e situadas em baixas cotas topográficas (3º quadrante) tendem se secarem completamente – lagoas intermitentes.

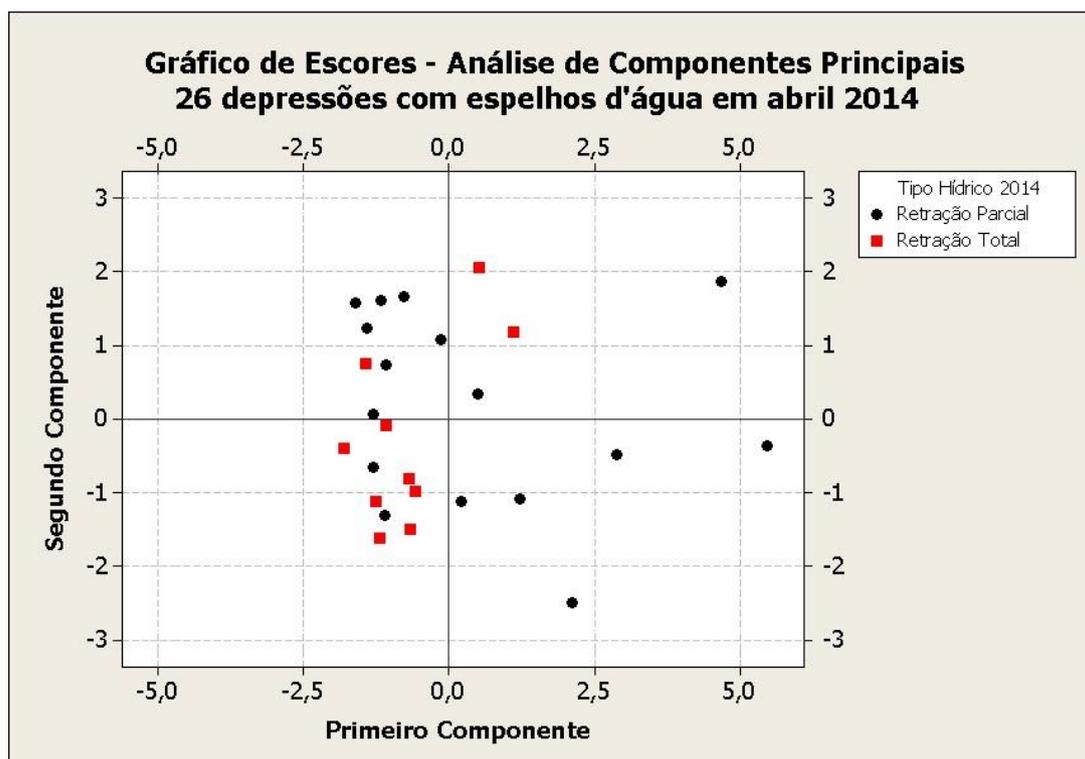


Figura 8.35 - Gráfico de Escores das 26 depressões cársticas com espelhos d'água em abril 2014 classificadas conforme o Tipo Hídrico em 2014 na Análise de Componentes Principais

Apesar das adversidades provocadas pela escassez hídrica no ano de 2014, as depressões cársticas apresentaram comportamento hídrico semelhante ao se comparar com o ano de 2010, ou seja, ainda que algumas lagoas perenes (observadas em 2010) se secaram no ano de 2014, as que mantiveram espelhos d'água foram aquelas situadas dentro de depressões cársticas de grandes extensões, profundas, elevado número de eixos de alongamento (IE) e grandes áreas de maciços rochosos em seus interiores.

## 9 CONCLUSÃO

Em cenário cárstico, as imagens do radar ALOS/PALSAR foram consideradas acertadas para a identificação e detecção semi-automática de feições dissolutivas na

superfície terrestre. Apesar da existência de ruídos causados pelos elementos naturais da cobertura terrestre, a aferição da detecção via Sensoriamento Remoto auxiliou na remoção das interferências aumentando assim a assertividade da análise exploratória. Não obstante, a etapa de campo possibilitou a confirmação da metodologia utilizada e a confiabilidade no rigor científico do trabalho.

A utilização de imagens multiespectrais Landsat além de permitir o acesso às informações ambientais de períodos hidrológicos específicos de anos pregressos, viabilizou também um maior contraste entre os materiais presentes na superfície terrestre por meio da coloração via composição de bandas. O processamento das imagens Landsat foi indispensável para o início da pesquisa hídrica por meio da classificação supervisionada.

A metodologia empregada na classificação supervisionada tornou a detecção dos espelhos d'água nas cenas Landsat menos subjetiva e mais segura. A análise da qualidade das classificações supervisionadas a partir da acurácia global e índice de Kappa presentes em matrizes de confusão e matrizes de erros demonstrou que as operações realizadas foram excelentes. Dessa forma os espelhos d'água detectados permitiram a análise do comportamento hídrico das depressões e conseqüentemente o desenvolvimento da pesquisa.

A utilização das análises estatísticas multivariadas permitiu a observação dos fenômenos hídricos das depressões cársticas frente aos parâmetros, indicando os que mais condicionam de fato. Essa observação foi muito importante para o conhecimento geral e específico da distribuição dos dados e das variáveis medidas.

A visualização obtida pelas matrizes de correlação e análises de agrupamentos hierárquicos ofereceram investigações relevantes acerca do comportamento e similaridades entre as variáveis morfométricas das depressões cársticas. Já as análises fatoriais e análises de componentes principais permitiram uma visão mais crítica a respeito do desempenho hídrico nas diferentes cenas classificadas.

Os parâmetros que representam o controle estrutural no desenvolvimento e alargamento das depressões cársticas (morfogênese) se apresentaram coincidentes com as direções das deformações geradas nos eventos geotectônicos formadores da bacia e feições rúpteis medidas nas litologias apresentados em estudos anteriores.

Em relação à recarga hídrica das depressões cársticas em ano com índice pluviométrico normal, conclui-se que, dentre as 393 depressões detectadas na área de estudo, 46 depressões acumulam e reservam água gerando lagoas no período chuvoso.

Estas lagoas podem realizar a recarga lenta e difusa para o aquífero, no qual aproximadamente 70% se apresentam como lagoas perenes durante todo o ano possuindo valorosa importância para o cenário ecológico, manutenção da fauna e flora local. As demais 347 depressões cársticas que não acumulam água e conseqüentemente não formam espelhos d'água, desempenham um importante papel na recarga do tipo localizada e ou difusa para o aquífero.

As análises do comportamento hídrico das depressões cársticas em diferentes períodos hidrológicos em anos com distintos cenários pluviométricos, 2010 (normal) e 2014 (seca excepcional), apresentou semelhante desempenho por meio dos parâmetros examinados, no qual a presença de lagoas perenes está intimamente ligada às depressões com extensas áreas, mais profundas, com significativa frequência de eixos de alongamentos e presença de grandes maciços rochosos e seus interiores. Resumindo, as depressões mais desenvolvidas, com maior controle estrutural e presença de maciços calcários tendem a possuir e manter as lagoas perenes principalmente em ano de severa crise hídrica.

## **10 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

A caracterização das depressões cársticas em campo, tais como: poljés, uvalas, dolinas ou vale cegos permitiria uma melhor interpretação fundamentalmente nas análises estatísticas multivariadas, sendo possível visualizar as similaridades em relação às feições caracterizadas e quais os parâmetros apresentariam maior influência por tipologia.

Monitoramentos periódicos em campo do nível d'água das lagoas juntamente com o monitoramento hidrológico e pluviométrico poderiam subsidiar avaliações, validações e interpretações ainda mais ricas sobre o comportamento hídrico das depressões cársticas em função da recarga e descarga hídrica.

Tendo em vista os resultados obtidos, sugere-se a continuidade dos estudos acerca das depressões cársticas principalmente a partir de mapeamentos geológicos em detalhe. Para que na análise multivariada o parâmetro litologia apresente uma maior quantidade de tipologias litológicas dentro de uma mesma litoestratigrafia e se destaque dentro dos parâmetros morfogenéticos.

## 11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <[www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes\\_historicas\\_abas.jsf](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf)> Acesso em: 31 out. 2017.

ALENCAR, B. J. de. A. 2009. Análise Multivariada no Tratamento da Informação Espacial Uma Abordagem Matemático-Computacional em Análise de Agrupamentos e Análise de Componentes Principais. (Tese de Doutorado em Tratamento da Informação Espacial) Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Minas Gerais.

ALKMIM, F. F.; MARTINS-NETO, M. A. 2001. A bacia intracratônica do São Francisco: Arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: PINTO, C. P. & MARTINS-NETO, M. A. Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais. SBG, Belo Horizonte. pp. 9-30.

ALKMIM, F. F. 2004. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as Revelações Almeidianas ao Delimitá-lo, p. 17-35. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R. & BRITO-NEVES, B. B. (ORG.). Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, 647p. Editora Beca, São Paulo.

ANDRADE, A. C.; FRANCISCO, C. N.; ALMEIDA, C. M. 2014. Desempenho de Classificadores Paramétrico e Não Paramétrico na Classificação da Fisionomia Vegetal. RBC. Revista Brasileira de Cartografia (Online), v. 66.

AULER, A. 1994. Hydrogeological and Hydrochemical Characterization of The Matozinhos - Pedro Leopoldo Karst, Brazil. Bowling Green: Faculty of the Department of Geography and Geology / Western Kentucky. 110p. (Thesis, Master of Science).

BACELLAR, L. de A. 1989. Geologia estrutural do Supergrupo São Francisco ao longo da seção regional Coromandel - Três Marias • Conselheiro Mata, MG. Dissertação (Mestrado em Geologia) Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 128f.

BERBERT-BORN, M. L. 1994. Inventário de Cavidades Naturais. Região de Matozinhos-Mocambeiro. Informações Básicas para a Gestão Territorial. Região de Sete Lagoas - Lagoa Santa, Minas Gerais. CPRM – Cia. de Pesquisas de Recursos Minerais, 121p. 41 ilustr. (Projeto VIDA, Espeleologia, v.1).

BERBERT-BORN, M. L. 2002. Carste de Lagoa Santa, MG - Berço da paleontologia e da espeleologia brasileira. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. L. C. (Eds.), Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. 1. ed. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), v. 01. 415-430.

BÖGLI, A. 1980. Karst Hydrology and Physical Speleology. Berlin: Springer Verlag, 284p.

BONDESAN, A., MENEGHEL, M., SAURO, U. 1992: Morphometric Analysis of Dolines. *International Journal of Speleology*, 21 (1-4), 1-55.

BRAGA, L. T. P. 2014. Recarga do tipo Localizada em Ambiente Semiárido: Estudo de Caso em Dolinas da Bacia do rio Verde Grande, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado (Geologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 206 p.

BRAGA, L. T. P.; VELÁSQUEZ, L. N. M.; FLEMING, P. M.; RODRIGUES, P. C. H. 2016. Recarga do tipo localizada em região semiárida: estudo de caso em Dolinas da Bacia do Rio Verde Grande, Minas Gerais. *Águas Subterrâneas (São Paulo)*, v. 30, p. 153-171.

BRITES, R. S.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S. 1996. Verificação da Exatidão Em Classificações de uma Imagem Orbital Mediante A Utilização de Três Índices. *Revista Árvore (Impresso) Viçosa - MG*, v. 20, n.3.

BURMEISTER, H. 1980 (edição). Viagem ao Brasil através das províncias do Rio de Janeiro e Minas Gerais. São Paulo: Edusp. 372p.

CABRAL, J. A. L. Projeto VIDA – Viabilidade Industrial e Defesa Ambiental. Região de Sete Lagoas – Lagoa Santa: Informações Básicas para a Gestão Territorial. (Série Ordenamento territorial v.3). Cartografia geotécnica de planejamento. Belo Horizonte: CPRM/CETEC, 1994.

ĆALIĆ, J. 2009. Uvala — contribution to the study of karst depressions (with selected examples from Dinarides and Carpatho–Balkanides). PhD Thesis, University of Nova Gorica, Slovenia, 213 pp.

ĆALIĆ, J. 2011. Karstic uvala revisited: Toward a redefinition of the term. *Geomorphology*, 134 p. 32–42.

CAMBIER, P. H. M. M. G. 2011. Simulação computacional tridimensional da formação e evolução de plataformas carbonáticas. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

CATTANI, C. E. V.; MERCANTE, E.; SOUZA, C. H.; WRUBLACK, S. C. 2013. Desempenho de Algoritmos de Classificação Supervisionada para Imagens dos Satélites RapidEye. In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Foz do Iguaçu.

CETEC – CENTRO TECNOLÓGICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. 1983. Diagnóstico Ambiental do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Série de Publicações Técnicas (10).

CHAGAS, C. S.; VIEIRA, C. A. O.; FERNANDES FILHO, E. I.; JÚNIOR, W. C. 2009. Utilização de Redes Neurais Artificiais na Classificação de Níveis de Degradação em Pastagens. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.13, n.3, p.319–327.

COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS - COMIG. 2003. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais. Companhia Mineradora de Minas Gerais – Comig e colaboradores. Escala 1:1.000.000.

CORRÊA-NETO, A. V.; ANÍSIO, L. C. C. & BRANDÃO, C. P. 1993. Um endocarste quartzítico na serra do Ibitipoca, SE de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, VII, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte: SBG/MG. p.83-86.

CVIJIĆ, J. 1893. Das Karstphänomen. Versuch einer morphologischen Monographie. In: Penck, A. (Ed.), Geographische Abhandlungen, Bd. V. Heft. 3, pp. 1–114. Wien.

CVIJIĆ, J. 1960, La Géographie des Terrains Calcaires: Monographs of the Serbian Academy of Sciences and Arts, v. 341, no. 26, 212 p.

DARDENNE, M. A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Anais do..., Recife, v.2, p.597-610.

DAVIS, W. M. 1930. Origin of limestone caverns: Bulletin of the Geological Society of America, v. 41, p. 475–625.

DE CARVALHO, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R.; GILLESPIE, A. R.; TRANCOSO R. A. T. G.; MARTINS, E. S.; SILVA, N. C. 2014. Karst Depression Detection Using ASTER, ALOS/PRISM and SRTM-Derived Digital Elevation Models in the Bambuí Group, Brazil. Remote Sensing, v. 6. p. 330-351.

DE PAULA, R. S. 2012. Modelagem Numérica de Fluxo do Aquífero Cárstico-Fissural do Grupo Bambuí, Bacia do Riacho Boi Morto no Município de São Francisco,

Norte de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências, 140 p.

EMBRAPA 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 412p.

ESRI. 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

FERRARI, J. A.; HIRUMA, S. T.; KARMANN, I. 1998. Caracterização morfométrica de uma superfície cárstica do Vale do Ribeira, São Paulo (Núcleo Caboclos - Petar). Revista do Instituto Geológico, v. 19, n.1.

FERREIRA, C. W. S.; LIMA, C. DE S.; CAVALCANTI, L. C. DE S.; SANTOS, A. H. DE O. 2010 Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Açude Cachoeira II, no Município de Serra Talhada-PE, Brasil. *In: VI Seminário Latino-Americano e II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física, 2010, Coimbra. Sustentabilidade da 'Gaia'; Ambiente, Ordenamento e Desenvolvimento. Coimbra, p. 26.*

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Visão Além do Alcance: uma Introdução à Análise Fatorial. Opinião Pública (UNICAMP. Impresso), v. 16, p. 160-185, 2010

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. 2007. Estudo do Comportamento dos Índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, Comumente Usados para Avaliar a Classificação de Imagens do Sensoriamento Remoto. In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil. INPE.

FOLK, R. L. 1959. Practical petrographic classification of limestones. American Association Petroleum Geology Bulletin, v. 43, p.1– 38.

FORD, D. C. & WILLIAMS, P. W. 2007. Karst Geomorphology and Hydrology. 2. ed. John Wiley & Sons, Chichester, Reino Unido. 562p.

GALVÃO, P. H. F. 2015. Modelo hidrogeológico conceitual de Sete Lagoas (MG) e implicações associadas ao desenvolvimento urbano em regiões cársticas. Tese de Doutorado (Recursos Minerais e Hidrogeologia), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 124p.

GAMS, I. 1978. The polje: The problem of definition. Zeits. Geomorph. n.22, p. 170-181.

GEOMINAS – Programa Integrado de Uso da Tecnologia de Geoprocessamento pelos Órgãos do Estado de Minas Gerais. Dados sobre Minas. Disponível em: <[www.geominas.mg.gov.br](http://www.geominas.mg.gov.br)>. Acesso em 31 out. 2016.

GIRAO, E. G.; ANDRADE, E. M.; ROSA, M. de F.; ARAUJO, L. F. P.; MEIRELES, A. C. M. 2007. Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibaras pelo emprego da análise da componente principal. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38.

GOOGLE. Programa Google Earth Pro. Imagem das imediações da APA Carste Lagoa Santa – MG. Acesso em: 15 mai. 2017.

GRUND, A., 1903, Die Karsthydrographie. Studien aus Westbosnien: Penck's Geographische Abhandlungen, v. 9, p. 1–200.

GRUND, A. 1914. The geographical cycle in the Karst. *Zeitschr. Ges. Erdkunde*. 52: 621-640. *In*: SWEETING, M. M. (Ed). 1983. Karst Geomorphology. Hutchinson Ross Publishing Company. Benchmark Papers in Geology / 59. 429 p.

HAIR Jr., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. 2005. Análise Multivariada de Dados. 6.ed. Porto Alegre, Bookman.

HARDT, R. 2004. Aspectos da morfologia cárstica da Serra do Calcário – Cocalinho – MT. Dissertação (Mestrado em Organização do Espaço) Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 98 f.

HERRMANN, G.; KOHLER, H. C.; DUARTE, J. C.; CARVALHO, P. G. S. (Org.) 1998. APA Carste de Lagoa Santa – Gestão Ambiental. IBAMA/CPRM, Belo Horizonte, 57p.

JONES, W. K.; HOBBS, H. H. III; WICKS, C. M.; CURRIE, R. R.; HOSE, L. D.; KERBO, R. C.; GOODBAR, J. R. TROUT, J. 2003. Recommendations and guidelines for managing caves on protected lands. Charles Town: Karst Waters Institute. Special Publication 8.

JAXA – Japan Aerospace Exploration Agency. 2016. ALOS. Disponível em: <[Http://www.jaxa.jp/projects/sat/alos/index\\_e.html](http://www.jaxa.jp/projects/sat/alos/index_e.html)>. Acesso em: 15 nov. 2016.

JENNINGS, J. N. 1975. Doline morphometry as a morphogenetic tool: New Zealand examples. *New Zealand Geographer*, 31p.

JENSEN, J. R. 2007. Remote sensing of the environment an earth resource perspective. 2 Ed. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall, 592 p.

KARMANN, I. 1994. Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do Alto vale do Rio Ribeira de Iguape, sudeste do Estado de São Paulo. (Tese de Doutorado em

Geoquímica e Geotectônica). Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 228p.

KATZER, F., 1909, Karst und Karsthydrographie. Zur Kunde der Balkanhalbinsel: Kajon, Sarajevo, 94 p.

KOHLER, H. C; COUTARD, J. P. & DE QUEIROZ NETO, J. P. 1978. Excursão a Região Kárstica ao Norte de Belo Horizonte. In: Colóquio Interdisciplinar Franco-Brasileiro: Estudo e Cartografiação de Formações Superficiais e Suas Aplicações em Regiões Tropicais, São Paulo, USP, v II. p. 20-43. (Guia de excursões).

KOHLER, H. C. 1989. Geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. 113p.

KOPPEN, W. 1931. Climatologia. Fundo de Cultura Econômica, Buenos Aires.

LAMELAS, M. T.; MARINONI, O.; HOPPE, A.; DE LA RIVA, J. 2008. Doline probability map using logistic regression and GIS technology in the central Ebro Basin (Spain). *Environmental Geology* 54: 963-977.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1).

LEHMANN, H. 1936. Morphologische Studien auf Java. Series 3, No. 9, *Geographische. Abhandlungen*, Stuttgart, 114 pp.

LEPSCH, I. F., BELINAZZI JR., R., BERTOLINI, D., ESPINDOLA, C. R. Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso. Campinas: SBCC, 1991.

LIMA, W. P. 1986. Princípios de Hidrologia Florestal para o manejo de bacias hidrográficas. São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 242p.

LINO, C. 2001. Cavernas – O fascinante Brasil Subterrâneo. São Paulo: Gaia.

LUND, P. W. 1950 (edição). Memórias sobre a paleontologia brasileira. Traduzidas, revistas e comentadas por Carlos de Paula Couto. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro. 589p.

MARTEL, E. A., 1910. La théorie de “Grundwasser” et les eaux souterraines du karst: *Géographie*, v. 21, p. 126–130.

MARTINS, E. S. P. R.; MENESCAL, R. de A.; SCHEREN-WARREN, M.; CARVALHO, M. S. B. de S.; MELO, M. S.; PERINI, D.S; OLIVEIRA, F. de A. J. 2007. Utilização de Imagens CBERS para Mapeamento dos Espelhos D'água do Brasil. In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE. Florianópolis, Brasil.

MENESES, I. C. R. R. C. 2003. Análise Geossistêmica na Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa, MG. (Dissertação de Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 187 f.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. 2012. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Universidade de Brasília: Brasília. P.121-160.

MILLER, V. C. 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area. Dept. Geology, Columbia University (Technical Report, 3).

MINITAB 2006. Inc. Statistical Software Data Analysis Software. Versão 16.

MOITA NETO, J. M. 2004. Estatística Multivariada - Uma visão didática-metodológica. Crítica. Revista de Filosofia e Ensino, v. 1, n.1, p. 1-1.

NASCIMENTO, R. F. F.; ALCANTARA, E. H.; KAMPEL, M.; STECH, J. L. NOVO, E. M. L. M.; FONSECA, L. M. G. 2009. O Algoritmo Support Vector Machines (SVM): Avaliação da Separação Ótima de Classes em Imagens CCD-CBERS-2. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE. Natal, Brasil. p. 2079-2086.

NASCIMENTO, E. R. 2009. Caracterização de feições cársticas a partir de parâmetros morfométricos do relevo: região metropolitana de Curitiba (RMC). (Dissertação de Mestrado) Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 117 p.

NAKAMURA, L. R.; CARVALHO FILHO, A. A.; OLIVEIRA, E.C. ; FIRETTI, R. 2010. Utilização da Análise Fatorial para Orientar a Criação de Políticas Públicas na Área do Trabalho, nas Regiões Administrativas de Araçatuba, Presidente Prudente e Marília. In: 19º Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística, 2010, São Pedro - SP. Anais do 19º SINAPE.

PARDO-IGUZQUIZA, E.; DURÁN, J. J.; LUQUE-ESPINAR, J. A.; MARTOS-ROSILLO, S. 2014. Análisis del relieve kárstico mediante el modelo digital de elevaciones. Aplicación a la Sierra de las Nieves (provincia de Málaga). Boletín Geológico y Minero, 125 (3): 381-389.

PARIZZI, M. G. 1993. A gênese e a dinâmica da Lagoa Santa com base em estudos palinológicos, geomorfológicos e geológicos de sua bacia. (Dissertação de Mestrado) Belo Horizonte: Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. 60 p.

PESSOA, P. F. P. 1996. Caracterização hidrogeológica da região cárstica de Sete Lagoas – MG: potencialidades e risco. Dissertação de Mestrado (Recursos Minerais e Hidrogeologia), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 101p.

PESSOA, P. F. P. 2005. Hidrogeologia dos Aquíferos Cársticos Cobertos da Região de Lagoa Santa, MG. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/DESA, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 335p.

PRADO, B. R. 2009. Análise dos Dados Alos/Palsar (Modo de Imageamento Fbd) para Identificação dos Tipos de Cobertura da Terra na Região Norte do Estado do Mato Grosso. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, São Paulo, 175p.

PILÓ, L. B. 1998. Morfologia cárstica e materiais constituintes: Dinâmica e Evolução da Depressão Poligonal Macacos-Baú - Carste de Lagoa Santa, MG. (Tese de Doutorado), Universidade de São Paulo, 268p.

QUEIROZ, G. L.; SALAMUNI, E.; NASCIMENTO, E. R. 2014. AzimuthFinder: ferramenta para a extração de dados e apoio na análise estrutural. Geologia USP. Série Científica. V 13.

RENÓ, V. F. 2011. Utilização de Imagens ALOS/PALSAR para o Mapeamento das Áreas Periodicamente Inundadas do Baixo Amazonas e sua Relação com o Grau de Antropização das Várzeas. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, INPE. Curitiba, PR, p.5426.

RIBEIRO, J. H.; TULLER, M. P.; FILHO, A. D.; PADILHA, A. V.; CÓRDOBA, C. V. 2003. Projeto VIDA: mapeamento geológico, região de Sete Lagoas, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Lagoa Santa, Vespasiano, Capim Branco, Prudente de Morais, Confins e Funilândia, Minas Gerais – relatório final, escala 1:50.000, 2ª ed.; Belo Horizonte: CPRM, 54p., Mapas e anexos (Série Programa Informações Básicas para Gestão Territorial – GATE, versão digital e convenção).

RIBEIRO, C. G.; MEIRELES, C. G.; LOPES, N. H. B.; ARCOS, R. E. C. 2016. Levantamento geológico estrutural aplicado aos fluxos dos aquíferos cárstico-fissurais da região da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais. Trabalho de Graduação (Geologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 157p.

RIBEIRO, C. G.; VELÁSQUEZ, L. N. M.; DE PAULA, R. S.; MEIRELES, C. G.; LOPES, N. H. B.; ARCOS, R. E. C.; AMARAL, D. G. P. 2019. Análise dos fluxos nos aquíferos cárstico-fissurais da região da APA Carste de Lagoa Santa, MG. Revista Águas Subterrâneas (São Paulo), v. 33, n.1 p. 12-21.

RODRIGUES, P. C. H. 2011. Detecção semiautomática de depressões altimétricas por geoprocessamento a partir de Sensoriamento Remoto (dados SRTM) - Potencialidades para detecção de dolinas (cársticas ou não). Publicação interna CDTN - 910. - Belo Horizonte: CNEN/ CDTN.

ROLLER, K., TREPMANN, C. A. 2003. Stereo32 1.0.3. Institut für Geologie – Ruhr University Bochum: Bochum, DE.

ROSA, L.; ALVES, M. de C.; SANCHES, L. 2011. Uso de composições de bandas do satélite Landsat 5 TM para caracterizar a dinâmica da variação de áreas alagadas no Pantanal mato-grossense. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE.

SAMPAIO, J. L. D. 2010. Inventário digital da APA (Área de Proteção Ambiental) Carste Lagoa Santa e algumas implicações. (Tese Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Tratamento da Informação Espacial. Belo Horizonte.

SHIMAKURA, S. E. 2006. CE003 – Estatística II - Correlação: Interpretação do Coeficiente de Correlação. Departamento de Estatística - UFPR. LaTeX2HTML Notas de Aula. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/notes.html>>. Acesso em: 02 abr. 2018.

SHINZATO, E. 1998. O Carste da Área de Proteção Ambiental de Lagoa Santa (MG) e sua influência na formação dos solos. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campo dos Goytacazes. 117 p.

SHUSTER, E. T.; WHITE, W. B. 1971. Seasonal Fluctuations in the Chemistry of Limestone Springs: a Possible Means for Characterizing Carbonate Aquifers. Journal of Hydrogeology, v14.

SILVA, A. B. DA, MOREIRA, C. V. R. & AULER, A. S. 1987. Estudo da Dinâmica dos recursos hídricos da região cárstica dos municípios de Lagoa Santa, Pedro Leopoldo e Matozinhos. CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Belo Horizonte. 32p.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. 2005. Balanço de Radiação em Áreas Irrigadas Utilizando Imagens Landsat 5 – TM. Revista Brasileira de Meteorologia, v.20, n.2.

SILVA, F. F.; SANTOS, J. R. 2011. Imagens Alos/Palsar na Classificação da Cobertura Vegetal da Região Semi-Árida Brasileira. Revista Brasileira de Cartografia N. 63 - Edição Especial 40 Anos, 9 p.

SOARES, L. C.; VELÁSQUEZ, L. N. M. 2013. Estimativa de Recarga Aquífera na Bacia do Rio Riachão, Norte de Minas Gerais.

ŠUŠTERŠIČ, F. 1985. Metoda morfometrije in računalniške obdelave vrtač. Acta Carsologica XIII. Ljubljana, 79–98.

STATSOFT, Inc. (2004). STATISTICA (Data Analysis Software System), versão 10. <[www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)>.

SWEETING, M. M. 1972. Karst Landforms. London: Macmillan, 250p.

TAYER, T. C. 2016. Avaliação da vulnerabilidade intrínseca do aquífero cárstico da APA de Lagoa Santa, MG, utilizando o método COP. Dissertação de Mestrado (Geologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 146p.

TONELLO, K. C. 2005. Análise Hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. (Dissertação de Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa. 69p.

TULLER, M. P., RIBEIRO, J. H. & DANDERFER FILHO, A. 1992. Mapeamento geológico da área do Projeto VIDA. CPRM, Belo Horizonte.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Landsat data continuity mission. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. 2012–3066. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

VALERIANO, M. M. 2008. Topodata: Guia para Utilização de Dados Geomorfológicos Locais. São José dos Campos, SP: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais. INPE (Boletim).

VIANA, H. S.; KOHLER, H. C.; TAVARES, V. P. Síntese da Geologia, Recursos Minerais e Geomorfologia In: VIANA, H. S.; KOHLER, H. C.; TAVARES, V. P. (Org.) APA Carste de Lagoa Santa - meio físico. Volume I. Belo Horizonte IBAMA/CPRM, 1998.

VIEIRA, L. C. 2007. A Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí) e as variações paleoambientais no final do Proterozóico. Tese de Doutorado, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 190 pp.

VIEIRA, L. C. M. 2015. Características da Geologia e Geoquímica do Grupo Bambuí na APA Carste de Lagoa Santa, MG – Trabalho de Graduação (Geologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 99p.

VILLAROYA, A. G. 2015. Caracterització geològica, geofísica i hidrogeològica de zones morfològicament deprimides associades a estructures tectòniques de la depressió de l'Alt Empordà, entre Figueres i el riu Fluvià. Memòria del Treball Final de Grau. Dept. Ciències Ambientals. Universitat de Girona. Espanya.

WARMING, E. 1908. Contribuição para a geografia phytobiológica. Belo Horizonte, Imprensa Oficial do Estado de Minas Gerais (Tradução do dinamarquês por Alberto Loefgre). Reeditado pela EDUSP em 1973 e 1982. 386p.

WALTHAN, A. C.; FOOKES, P. G. (2003). Engineering classification of karst ground conditions. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*.

WHITE, W. B. 1988. *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. New York: Oxford University Press.

WHITE, W. B. 2007. Groundwater flow in karstic aquifers. *In*: J. W. Delleur., editor. *The Handbook of Groundwater Engineering*. Vol. 21. CRC Press, Taylor and Francis Group, 47p.

ZALÁN, P. V.; ROMEIRO-SILVA, P. C. 2007. Bacia do São Francisco. *Boletim de Geociências da Petrobrás*. V.15, p.561-571.

ZÖTL, J. G. 1961, Die hydrographie des nordostalpinen karsts: Steirisch Beitrage der Hydrogeologie, p. 53–183.

## ANEXO – TABELA DESCRITIVA DAS DEPRESSÕES CÁRSTICAS

Nome	UTME	UTMN	Área	Perímetro	IC	Profundidade	Cota Topográfica	Declividade Média	Azimute Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Azimute Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	%Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014	%Retração 2014
Dep001	598916	7841798	2546	197	0,8	3,5	749,5	6,6	120	74	61,0	4,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep002	598731	7833303	2587	194	0,9	3,4	785,7	5,9	123	70	60,5	0,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep003	594946	7850633	2741	254	0,5	3,2	728,8	5,6	188	105	56,1	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep004	593026	7851898	2763	199	0,9	3,2	773,8	5,6	200	75	65,8	19,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep005	599516	7853598	2887	198	0,9	3,4	719,7	6,7	115	69	63,9	44,5	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep006	594866	7841048	2887	200	0,9	3,4	782,7	6,2	248	73	66,2	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep007	606171	7832773	2969	202	0,9	3,2	755,9	5,4	72	60	54,9	44,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep008	603441	7850078	3028	209	0,9	3,1	680,9	5,5	71	78	68,0	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep009	595366	7845453	3052	215	0,8	3,3	818,8	5,3	306	83	68,9	3034,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep010	595011	7843923	3061	212	0,9	3,2	803,8	5,4	158	69	59,1	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep011	603681	7833568	3105	209	0,9	4,1	770,0	7,0	197	78	69,7	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep012	598426	7845448	3177	205	1,0	3,3	752,8	5,9	146	124	117,8	3177,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep013	598611	7837858	3179	225	0,8	3,2	779,8	5,6	174	82	64,7	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep014	597746	7852318	3183	209	0,9	3,3	701,9	5,8	233	72	65,9	133,7	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep015	592791	7852388	3189	215	0,9	3,1	785,9	5,4	132	69	59,8	175,9	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep016	601706	7847178	3254	217	0,9	3,4	749,8	5,8	225	79	68,6	24,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep017	599146	7853798	3783	234	0,9	4,2	691,9	6,9	160	79	68,6	65,6	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep018	604316	7835608	3824	256	0,7	4,3	793,8	7,6	170	105	77,0	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep019	601136	7844223	3940	232	0,9	4,5	730,7	6,5	94	73	67,2	3939,9	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep020	599456	7844548	3996	232	0,9	3,4	734,7	5,4	204	76	70,9	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep021	602331	7846988	4048	242	0,9	4,5	694,7	7,2	188	91	79,1	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep022	602866	7834693	3540	235	0,8	3,0	768,8	4,0	337	79	63,7	29,3	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep023	605406	7839243	4287	261	0,8	3,2	755,9	4,6	173	99	78,3	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep024	605826	7841848	4312	238	1,0	3,2	740,8	5,4	165	151	144,5	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Nome	UTM E	UTM N	Área	Perímetro	IC	Profundidade	Cota Topográfica	Declividade Média	Azimute Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Azimute Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	%Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014	%Retração 2014
Dep025	599516	7854208	4313	247	0,9	3,4	704,7	5,4	109	86	76,4	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep026	607416	7833683	4401	272	0,7	3,4	755,7	5,5	120	102	76,3	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep027	605676	7841383	4420	259	0,8	3,4	761,7	5,5	81	95	78,7	4420,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep028	607366	7841753	4469	262	0,8	3,3	698,7	5,2	185	102	83,5	227,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep029	594561	7845918	4562	263	0,8	5,1	760,0	7,6	266	98	81,2	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep030	600531	7851273	4595	261	0,8	3,5	704,6	5,0	207	98	83,1	20,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep031	611221	7825448	4618	254	0,9	4,4	718,7	7,0	263	90	81,0	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep032	606171	7832368	4739	252	0,9	12,3	771,0	18,3	177	94	88,2	4739,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep033	600686	7848658	4935	286	0,8	4,4	730,8	6,1	187	102	77,4	4935,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep034	610766	7842093	5025	265	0,9	9,2	725,9	12,8	258	95	85,4	0,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep035	603696	7845298	5062	281	0,8	3,5	665,7	5,2	192	165	133,0	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep036	593631	7851303	5097	260	0,9	5,4	774,8	7,6	136	83	78,7	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep037	598941	7833538	5101	281	0,8	3,2	779,9	4,3	130	99	80,4	0,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep038	607226	7838483	5224	282	0,8	4,3	745,7	6,7	108	103	85,1	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep039	595941	7848748	5299	276	0,9	4,5	721,7	6,4	173	95	83,1	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep040	599601	7847183	5327	267	0,9	4,4	733,7	6,6	162	94	88,3	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep041	607456	7838533	5032	278	0,8	3,3	737,7	4,8	254	95	77,8	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep042	605336	7844883	4900	327	0,6	3,3	650,9	4,4	152	116	66,8	3,2	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep043	604731	7844948	5422	341	0,6	3,5	656,5	5,3	288	149	87,3	112,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep044	594256	7850433	5552	285	0,9	4,4	772,6	6,7	95	102	87,6	5552,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep045	600146	7839623	5611	274	0,9	5,1	783,9	7,5	238	96	90,2	5610,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep046	599861	7841158	5641	280	0,9	4,4	775,7	6,6	172	102	92,3	5640,6	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep047	610131	7837828	5674	277	0,9	5,4	684,8	6,9	260	90	83,7	2706,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep048	608456	7851073	5839	309	0,8	3,4	638,7	4,3	140	111	85,3	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep049	601331	7851803	5879	289	0,9	7,2	667,9	10,4	274	101	89,4	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep050	609391	7845063	6040	294	0,9	4,4	640,7	6,6	245	111	97,5	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca		0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Nome	UTM E	UTM N	Área	Perímetro	IC	Profundidade	Cota Topográfica	Declividade Média	Azimute Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Azimute Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	%Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014	%Retração 2014
Dep051	607691	7838393	5317	298	0,8	4,4	724,8	5,5	225	132	99,3	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep052	609626	7845333	6363	344	0,7	3,2	626,8	3,9	172	131	88,5	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep053	603746	7834198	6086	285	0,9	8,6	768,6	11,5	125	99	93,2	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep054	611251	7837368	6112	294	0,9	5,1	686,0	6,4	97	95	84,4	4720,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep055	592691	7851873	6167	303	0,8	3,4	758,7	4,9	222	103	87,0	146,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep056	594711	7846048	6262	318	0,8	7,4	757,8	9,4	186	121	94,2	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep057	600866	7850673	6280	311	0,8	3,2	683,8	5,1	235	119	97,1	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep058	600891	7844043	6423	314	0,8	4,2	721,9	6,4	92	117	95,8	6423,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep059	606976	7838183	6486	302	0,9	3,3	752,7	5,0	139	107	95,6	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep060	603291	7847248	6532	331	0,7	4,2	685,8	6,3	274	122	91,4	6532,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep061	595431	7846488	6648	325	0,8	3,3	797,8	4,3	122	120	94,9	3,3	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep062	602376	7845208	7319	365	0,7	3,4	662,8	3,7	154	143	98,8	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep063	607016	7840213	6904	323	0,8	5,4	726,7	6,7	117	87	72,4	172,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep064	597386	7853498	7217	321	0,9	4,1	718,9	5,3	210	117	103,0	7216,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep065	607146	7838073	7267	338	0,8	4,4	763,7	5,7	173	114	91,2	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep066	608826	7844073	7272	338	0,8	3,3	674,8	4,8	204	107	85,6	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep067	599011	7845928	7418	337	0,8	6,2	765,0	7,3	229	169	138,8	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep068	600341	7853623	7451	404	0,6	5,2	723,8	6,8	186	168	96,4	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep069	602686	7842958	7717	429	0,5	3,4	677,8	3,7	245	101	53,2	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep070	598311	7852098	7473	317	0,9	10,4	712,8	12,7	153	107	100,0	17,9	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep071	595726	7845978	7546	345	0,8	5,3	807,9	7,1	112	130	103,6	3,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep072	601311	7844548	7660	366	0,7	7,4	730,6	8,2	87	156	112,1	7660,2	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep073	600006	7854023	7818	353	0,8	3,4	719,8	4,0	269	115	90,7	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep074	607421	7849893	8462	442	0,5	3,4	674,7	3,9	197	166	90,4	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep075	601791	7844348	7908	348	0,8	4,5	763,6	6,3	61	122	100,1	7907,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep076	603591	7848698	8059	354	0,8	4,5	661,6	4,9	220	128	103,5	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Nome	UTM E	UTM N	Área	Perímetro	IC	Profundidade	Cota Topográfica	Declividade Média	Azimute Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Azimute Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	%Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014	%Retração 2014
Dep077	609356	7841933	8074	449	0,5	3,5	740,6	5,3	178	187	94,1	47,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep078	600066	7845948	8082	331	0,9	7,3	742,7	9,5	123	107	99,2	0,0	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep079	605356	7851558	8187	363	0,8	4,4	628,7	5,8	239	115	89,8	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep080	601431	7836918	8218	389	0,7	3,2	725,8	4,1	354	132	90,1	0,0	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep081	604891	7840733	8346	354	0,8	7,5	691,6	8,6	264	133	111,3	2247,7	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep082	603731	7845058	8502	375	0,8	3,3	653,8	4,2	221	136	103,4	0,0	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep083	609231	7843283	8529	381	0,7	5,4	717,6	6,0	50	128	94,5	0,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep084	603981	7842298	8858	402	0,7	3,3	665,8	4,4	124	145	99,9	0,0	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep085	598291	7850098	8864	419	0,6	5,3	711,7	6,1	147	150	95,2	0,0	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep086	601891	7849188	8913	419	0,6	4,2	676,8	4,9	65	152	97,0	8912,7	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep087	604881	7836513	8935	370	0,8	5,4	756,8	6,2	168	143	117,3	8934,6	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep088	603431	7834258	9043	344	1,0	9,6	782,6	11,1	124	110	105,7	5052,1	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep089	606096	7842083	9186	372	0,8	6,5	746,6	8,2	278	139	116,0	45,1	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep090	603956	7844073	8739	357	0,9	5,5	648,7	6,0	230	124	106,9	25,7	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep091	600686	7839578	9250	366	0,9	10,1	749,0	10,6	232	132	114,6	35,3	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep092	605176	7835188	9288	380	0,8	12,2	752,9	12,7	261	143	115,6	30,1	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep093	600646	7847913	9323	371	0,9	7,1	760,9	8,2	186	130	110,7	0,0	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep094	593626	7851663	9403	373	0,8	8,3	825,8	8,6	138	130	110,4	9402,6	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep095	607581	7833513	9605	387	0,8	6,3	758,7	7,0	128	148	119,3	0,0	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep096	604526	7851378	9789	463	0,6	3,1	641,9	4,1	118	185	106,2	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep097	597171	7836848	9785	382	0,8	4,3	769,7	5,0	130	134	112,9	0,0	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep098	593396	7846373	10199	388	0,9	6,4	737,8	7,4	82	128	109,0	0,0	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep099	602266	7836598	10402	448	0,7	3,4	725,7	3,5	192	171	111,4	0,0	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep100	601546	7844608	10267	403	0,8	4,2	733,8	5,1	45	136	108,1	81,0	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep101	610036	7845348	10509	504	0,5	4,4	631,8	5,2	191	183	95,2	0,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep102	604671	7850433	10346	487	0,5	4,4	637,6	5,5	330	186	102,0	0,0	NPbpls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Nome	UTM E	UTM N	Área	Perímetro	IC	Profundidade	Cota Topográfica	Declividade Média	Azimute Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Azimute Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	%Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014	%Retração 2014
Dep103	608731	7845508	10511	403	0,8	4,3	631,7	5,1	151	141	114,7	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep104	602441	7836608	10755	411	0,8	6,5	725,6	7,0	214	149	119,2	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep105	605471	7842533	11492	469	0,7	5,4	687,8	5,7	272	139	91,3	29,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep106	599091	7844698	11310	399	0,9	7,5	751,6	7,5	139	147	131,3	390,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep107	604306	7837263	11461	408	0,9	10,4	760,8	11,6	102	151	130,7	7077,6	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep108	594866	7840818	11500	425	0,8	5,3	774,7	6,2	96	264	211,3	14,9	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep109	602356	7847538	11523	447	0,7	8,4	705,7	9,0	186	237	171,8	11522,6	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep110	600426	7849883	11605	411	0,9	9,5	710,8	9,2	163	152	131,3	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep111	604581	7837253	11955	404	0,9	12,5	764,6	12,4	213	147	135,3	6755,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep112	609176	7837473	12160	425	0,8	10,3	688,8	10,7	69	138	116,8	12160,4	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep113	601066	7846518	12210	478	0,7	5,4	717,8	5,5	85	297	199,5	12170,9	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep114	595671	7845548	12278	477	0,7	8,5	795,7	10,4	145	194	131,6	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep115	605666	7839453	12466	424	0,9	7,3	745,8	8,1	221	145	126,4	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep116	596821	7849883	12508	421	0,9	7,3	697,8	7,1	187	157	139,3	12508,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep117	606231	7832918	13037	425	0,9	13,4	736,8	12,8	118	138	125,2	13,4	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep118	595891	7847988	13062	437	0,9	5,4	750,8	5,5	61	156	134,1	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep119	600871	7851908	13585	581	0,5	6,2	683,9	6,1	38	233	117,9	13585,2	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep120	604126	7845998	13231	489	0,7	5,3	684,8	6,0	13	162	112,7	1137,3	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep121	603676	7846138	13341	505	0,7	4,3	676,8	5,2	216	175	115,1	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep122	608881	7852408	14284	613	0,5	4,5	661,6	3,7	128	189	90,3	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep123	594356	7841048	13441	577	0,5	6,4	800,7	7,2	308	303	153,8	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep124	609881	7844493	15176	669	0,4	3,6	635,5	3,2	25	371	158,1	0,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep125	594191	7851323	13897	430	0,9	9,5	776,7	9,3	198	151	142,7	39,9	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep126	605291	7840488	14194	476	0,8	5,4	705,8	5,7	5	177	139,4	493,3	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep127	594646	7841028	14433	700	0,4	4,9	797,1	3,9	189	345	127,7	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep128	604441	7846123	14586	519	0,7	7,4	676,6	7,1	100	196	133,4	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Nome	UTM E	UTM N	Área	Perímetro	IC	Profundidade	Cota Topográfica	Declividade Média	Azimute Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Azimute Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	%Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014	%Retração 2014
Dep129	610281	7831833	14619	587	0,5	4,4	703,7	4,6	215	165	88,0	0,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep130	597746	7842703	14875	472	0,8	8,0	766,0	8,2	125	186	156,1	1814,3	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep131	598281	7842813	14968	518	0,7	6,5	743,7	7,6	147	209	146,5	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep132	598416	7839483	15056	599	0,5	10,7	781,5	10,9	183	233	122,9	15055,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep133	606816	7839623	15378	545	0,7	4,3	763,7	4,3	220	177	115,2	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep134	597876	7847198	15435	635	0,5	9,4	767,8	7,4	148	221	106,3	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep135	598906	7838593	15545	498	0,8	7,3	766,8	7,7	188	183	144,2	643,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep136	603911	7843033	15782	576	0,6	6,2	653,9	6,2	214	229	136,9	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep137	604846	7848773	16460	573	0,6	6,1	681,0	5,6	155	182	114,7	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep138	605566	7849958	15816	688	0,4	4,4	679,7	4,2	217	195	81,9	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep139	606566	7842848	16287	524	0,7	4,4	721,7	4,5	127	190	141,7	4925,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep140	604631	7833578	16814	471	1,0	17,4	759,8	14,6	102	153	145,8	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep141	598561	7842258	16840	533	0,7	5,3	753,8	4,9	79	188	140,1	75,2	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep142	604751	7837508	16916	478	0,9	16,3	763,8	15,4	120	165	153,6	16916,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep143	605956	7832848	17006	516	0,8	10,5	751,6	9,6	243	309	248,1	2532,4	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep144	605481	7852678	17058	525	0,8	4,2	649,8	4,1	203	162	126,0	0,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep145	600891	7849223	17350	558	0,7	8,6	684,5	7,5	257	224	156,9	7,2	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep146	594121	7850648	17391	511	0,8	7,3	778,8	6,8	238	330	276,3	7,4	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep147	598496	7850323	17797	502	0,9	8,5	711,7	7,8	231	175	155,4	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep148	606716	7843303	18109	602	0,6	10,2	697,9	8,0	63	162	101,8	6306,9	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep149	609426	7830953	18146	604	0,6	7,1	725,1	6,6	153	184	115,0	62,8	NPbpl	Retração Parcial	Retração Parcial	156,720	5730,97	1903,63	3827,34	67%	3389,62	3310,58	79,04	2%
Dep150	595691	7847223	17909	547	0,8	6,4	770,7	5,5	56	175	131,7	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep151	605371	7848698	18299	647	0,5	3,4	668,7	3,0	87	193	106,1	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep152	607681	7839073	18451	540	0,8	14,4	699,6	11,3	53	186	147,9	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep153	607741	7833998	18461	573	0,7	8,5	777,7	7,3	175	191	135,0	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep154	593391	7845573	18605	517	0,9	9,5	767,5	7,8	147	165	144,4	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Nome	UTM E	UTM N	Área	Perímetro	IC	Profundidade	Cota Topográfica	Declividade Média	Azimute Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Azimute Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	%Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014	%Retração 2014
Dep155	603781	7832733	18697	520	0,9	19,5	769,6	16,7	122	184	159,9	4871,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep156	601041	7841283	18990	769	0,4	5,5	666,6	4,3	223	199	80,3	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep157	600851	7848928	18801	567	0,7	11,2	697,1	10,4	107	191	140,4	19,6	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep158	610236	7841758	18950	536	0,8	12,6	743,7	10,2	127	192	159,2	0,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep159	608781	7825593	19198	575	0,7	6,2	698,8	5,8	138	179	130,6	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep160	601241	7847308	19323	557	0,8	7,4	730,7	7,0	180	185	144,8	18591,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep161	603711	7834378	19417	505	1,0	24,3	756,0	18,4	140	175	167,5	5148,9	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep162	606186	7853803	19541	600	0,7	5,1	622,0	4,3	119	195	133,0	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep163	597716	7846158	19665	667	0,6	10,6	739,8	8,6	320	283	157,2	8,7	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep164	601906	7842423	19138	675	0,5	5,4	666,8	4,3	113	181	95,6	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep165	594926	7846073	20141	558	0,8	12,3	752,8	10,0	109	308	250,4	3,2	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep166	599201	7854048	20531	793	0,4	6,2	695,8	5,1	206	254	104,2	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep167	597201	7836383	20680	567	0,8	6,3	755,8	6,0	244	196	158,5	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep168	603406	7848423	21482	880	0,3	6,5	680,6	6,1	179,74	433	151,0	206,9	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep169	602131	7852638	21431	555	0,9	5,3	684,7	4,7	161	195	170,5	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep170	598551	7845598	21723	570	0,8	13,7	736,5	10,5	137	204	171,4	16,4	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep171	604316	7844073	21989	781	0,5	5,6	648,5	6,1	142	307	139,1	0,0	NPbls	Retração Total	Sempre Seca	135,000	896,26	0,00	896,26	100%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep172	612181	7836458	21953	623	0,7	10,4	676,7	7,7	150	226	160,7	30,4	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep173	607026	7837183	22348	605	0,8	10,3	745,8	8,6	110	206	158,1	4205,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep174	594956	7841523	22862	676	0,6	9,6	806,5	8,2	120	207	130,2	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep175	600721	7844648	23107	648	0,7	12,3	716,9	10,2	38	267	184,7	146,4	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep176	599901	7840083	23189	733	0,5	11,5	726,7	11,0	261	288	156,2	23,7	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep177	607536	7834588	23315	684	0,6	10,1	731,0	7,9	229	224	140,3	3,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep178	596491	7850093	23413	625	0,8	8,4	705,6	7,3	7	379	285,5	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep179	601896	7846928	23776	568	0,9	14,0	727,0	10,8	97	199	184,3	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep180	600506	7843223	24260	687	0,6	13,5	688,7	10,1	143	274	177,0	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Nome	UTM E	UTM N	Área	Perímetro	IC	Profundidade	Cota Topográfica	Declividade Média	Azimute Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Azimute Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	%Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014	%Retração 2014
Dep181	597656	7851708	25054	776	0,5	5,3	735,8	3,6	160	229	119,8	19,6	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep182	599786	7839313	25161	857	0,4	15,1	795,0	10,0	307	251	108,1	16928,2	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep183	596846	7848148	25391	692	0,7	16,6	751,5	10,2	113	231	154,0	0,0	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep184	606556	7840573	25617	734	0,6	7,3	772,8	5,6	162	293	175,1	0,0	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep185	601546	7849198	26191	727	0,6	8,3	672,8	6,4	134	455	283,4	48,7	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep186	604546	7845338	26441	714	0,7	9,6	662,6	7,7	140	247	161,0	32,6	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep187	598816	7842598	26576	811	0,5	9,5	725,7	8,7	109	331	168,1	8,6	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep188	597321	7837088	26647	629	0,8	8,2	765,9	6,5	205	420	355,6	0,0	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep189	607301	7835993	26854	656	0,8	16,2	728,0	11,5	213	258	202,4	26853,6	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep190	605446	7853013	27367	704	0,7	4,3	652,7	3,3	215	228	158,3	0,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep191	598456	7837713	27334	710	0,7	8,5	765,6	8,5	170	292	199,0	0,0	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep192	614756	7829698	27411	770	0,6	8,7	729,6	8,2	187	325	188,9	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep193	601731	7846378	27612	745	0,6	11,3	693,8	8,3	299	263	164,5	0,0	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep194	604101	7843798	27432	894	0,4	6,3	650,8	5,6	231	249	107,4	0,0	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep195	599641	7845203	27828	678	0,8	9,3	770,8	7,5	165,04	397	302,1	5096,9	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep196	603266	7834453	27844	776	0,6	7,3	778,8	6,7	223	423	245,9	27834,0	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep197	599151	7839538	27977	628	0,9	35,2	789,9	18,5	242	215	191,7	27977,1	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep198	604206	7835253	28349	749	0,6	18,2	779,9	11,7	104	336	213,4	13805,4	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep199	594336	7851603	28640	646	0,9	23,2	742,0	15,2	138	236	203,6	28639,8	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep200	600016	7846958	29220	707	0,7	11,4	735,8	8,1	122	280	205,7	29219,6	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep201	608341	7825408	29865	773	0,6	13,5	688,7	7,4	17	295	185,3	0,0	NPbIs	Retração Parcial	Retração Parcial	17,750	4561,35	3452,74	1108,61	24%	2980,97	2081,17	899,80	30%
Dep202	606556	7833143	30168	760	0,7	8,5	735,7	6,4	174	241	158,2	3290,9	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep203	603926	7848833	30306	688	0,8	8,4	663,7	6,4	188	207	166,6	0,0	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep204	603356	7837823	31671	873	0,5	19,7	727,4	11,5	280	313	163,5	10262,3	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep205	594591	7850873	30856	754	0,7	7,4	730,7	6,0	172	272	185,6	7,8	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep206	599851	7840978	31641	719	0,8	22,3	758,0	13,7	263	278	213,9	31531,1	NPbIs	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Nome	UTM E	UTM N	Área	Perímetro	IC	Profundidade	Cota Topográfica	Declividade Média	Azimute Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Azimute Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	%Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014	%Retração 2014
Dep207	605996	7826858	31730	857	0,5	6,3	770,7	4,9	262	270	146,6	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep208	598116	7842683	32171	702	0,8	15,5	737,7	10,7	216	270	221,6	5860,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep209	611506	7838393	32579	765	0,7	51,2	678,7	14,5	205	426	298,1	31579,1	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep210	607056	7838343	32782	702	0,8	22,2	737,7	12,2	161	175	146,3	16546,4	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep211	596366	7847498	33001	914	0,5	7,5	775,6	5,8	127	303	150,5	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep212	601191	7849408	33069	748	0,7	5,4	678,8	4,1	152	452	335,8	79,2	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep213	599191	7851178	33168	970	0,4	7,5	712,7	6,3	150	468	207,4	789,9	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep214	607006	7845448	34301	982	0,4	6,5	680,6	4,3	144	495	221,3	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep215	601836	7843598	33516	805	0,7	10,3	733,9	8,1	179,91	304	197,6	9483,2	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep216	611241	7836933	33260	951	0,5	6,4	677,7	4,7	39	362	167,3	0,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep217	606386	7839073	33859	712	0,8	25,3	739,9	15,6	190	255	214,1	8297,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep218	605006	7844033	34422	829	0,6	6,4	650,7	4,4	119	446	280,8	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep219	599616	7847608	35736	914	0,5	11,5	711,7	7,7	8	296	159,2	12,3	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep220	604356	7836218	35906	694	0,9	24,5	770,7	15,1	313	449	420,8	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep221	607551	7841948	35942	1027	0,4	5,3	693,8	4,2	349	525	224,9	0,0	NPbls	Retração Total	Sempre Seca	169,000	2348,32	0,00	2348,32	100%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep222	604426	7835433	35999	711	0,9	32,7	762,5	19,4	110	200	179,0	33675,2	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep223	598476	7842783	36390	752	0,8	18,4	731,8	11,8	306	472	381,8	731,3	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep224	601766	7850723	36570	956	0,5	11,6	642,6	7,3	169	355	178,6	1475,5	NPbls	Retração Parcial	Retração Parcial	154,520	12481,20	9584,66	2896,54	23%	11254,21	8678,89	2575,32	23%
Dep225	602741	7851463	36684	1127	0,4	5,4	684,8	4,6	233	615	223,3	6,1	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep226	604916	7832763	38779	1178	0,4	7,4	766,8	6,3	186	592	208,0	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep227	601736	7848733	38300	848	0,7	11,3	684,8	6,8	90	318	212,9	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep228	603701	7850708	38877	1204	0,3	3,4	668,8	2,6	114	357	120,3	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep229	610241	7840823	39194	883	0,6	5,3	702,7	4,3	95	297	187,7	0,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep230	597776	7852913	39803	1183	0,4	14,3	711,8	8,5	213	479	171,2	69,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep231	608436	7825763	40545	1089	0,4	10,1	701,9	5,7	262	464	199,4	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep232	603566	7834628	40846	804	0,8	26,4	762,8	13,8	131	539	428,1	20386,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Nome	UTM E	UTM N	Área	Perímetro	IC	Profundidade	Cota Topográfica	Declividade Média	Azimute Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Azimute Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	%Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014	%Retração 2014
Dep233	611056	7838198	42651	794	0,9	15,5	665,8	8,7	205	283	240,7	7070,9	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep234	601041	7841633	42615	856	0,7	6,6	665,5	4,3	147	491	358,9	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep235	600366	7839563	42794	765	0,9	18,3	755,9	11,4	156	264	242,7	2166,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep236	604026	7853273	43308	993	0,6	11,3	663,8	6,1	230	487	268,9	0,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep237	608706	7833453	43928	908	0,7	11,3	762,8	6,4	30	547	366,3	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep238	601131	7850708	44093	892	0,7	16,4	664,8	9,5	44	530	369,2	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep239	600621	7842723	44354	956	0,6	9,2	671,8	6,1	109	331	201,9	0,0	NPbls	Retração Total	Sempre Seca	116,570	1789,07	0,00	1789,07	100%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep240	609851	7835563	47371	1020	0,6	7,3	676,9	4,6	160	592	338,8	50,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep241	601146	7843748	47767	1010	0,6	11,5	726,7	8,3	278	699	411,4	255,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep242	599661	7840063	48248	856	0,8	41,9	736,0	18,5	168	496	410,5	48248,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep243	595006	7846678	48935	986	0,6	16,7	754,6	8,7	99	537	339,8	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep244	593991	7843888	49067	1166	0,5	4,4	829,7	3,4	155	577	261,8	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep245	599481	7842488	49598	882	0,8	33,3	701,9	16,9	145	284	227,6	8222,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep246	606961	7838723	49646	985	0,6	18,5	728,8	13,2	223	575	369,8	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep247	597431	7841103	49876	902	0,8	20,5	771,8	10,0	356	282	217,3	12315,9	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep248	604021	7846298	50025	1155	0,5	11,4	675,8	6,4	223	371	174,9	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep249	596421	7846408	50374	883	0,8	12,4	794,8	6,3	249	308	250,1	8,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep250	599206	7842448	50699	972	0,7	15,4	719,7	8,1	135	510	344,0	7717,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep251	609316	7834308	51570	1243	0,4	7,4	727,7	4,9	104	608	255,1	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep252	606641	7838268	52002	975	0,7	17,5	726,6	9,7	255	330	226,9	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep253	593456	7846593	51731	960	0,7	14,7	729,5	8,9	35	349	246,2	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep254	599206	7845148	52459	981	0,7	22,8	751,3	12,5	124	325	222,7	18039,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep255	598331	7839923	53162	889	0,8	40,8	703,6	21,5	166	332	280,7	53161,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep256	601466	7850368	53635	1025	0,6	23,2	654,9	11,1	115	346	222,0	10851,3	NPbls	Retração Parcial	Retração Parcial	135,000	5400,00	1800,00	3600,00	67%	1800,00	900,00	900,00	50%
Dep257	605581	7832703	54317	939	0,8	25,4	754,7	12,3	230	310	240,1	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep258	611841	7834173	54001	1307	0,4	4,5	676,7	3,8	45	467	185,6	0,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Nome	UTM E	UTM N	Área	Perímetro	IC	Profundidade	Cota Topográfica	Declividade Média	Azimute Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Azimute Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	%Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014	%Retração 2014
Dep259	602141	7845803	57028	1010	0,7	14,3	663,8	6,7	114	348	244,5	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep260	602756	7838263	58137	1068	0,6	10,5	679,7	5,7	2	547	350,5	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep261	605931	7830993	58130	1015	0,7	21,4	770,7	10,9	91	557	395,1	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep262	604146	7832668	59195	1005	0,7	15,2	768,0	7,5	223	531	391,2	7201,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep263	606931	7832923	59278	1085	0,6	18,4	761,8	10,3	133	677	428,5	19046,9	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep264	601666	7841248	59385	1302	0,4	7,4	661,8	4,6	113	479	210,9	0,0	NPbls	Retração Total	Sempre Seca	113,200	8872,60	0,00	8872,60	100%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep265	612381	7832398	61652	1166	0,6	6,7	674,6	4,0	239	398	226,9	0,0	NPbpl	Retração Total	Sempre Seca	67,920	900,00	0,00	900,00	100%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep266	598086	7849328	62052	1266	0,5	10,1	704,0	5,9	164	511	248,7	9,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep267	610396	7837698	63500	1460	0,4	14,5	690,8	8,5	242	825	308,9	3461,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep268	607156	7835163	63703	1569	0,3	7,6	679,6	4,7	209	887	288,5	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep269	601256	7837173	65328	1397	0,4	6,5	719,6	4,4	179	507	213,3	0,0	NPbls	Retração Parcial	Sempre Seca	175,460	4173,79	505,77	3668,02	88%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep270	595471	7847833	65411	1252	0,5	7,4	727,7	5,1	290	427	224,0	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep271	594356	7846823	66012	1139	0,6	27,5	719,8	13,1	152	426	272,5	4943,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep272	603436	7838268	66179	1066	0,7	18,0	717,0	9,2	116	670	490,5	19442,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep273	602456	7838733	66609	1283	0,5	13,6	664,6	6,7	232	631	321,0	1522,2	NPbls	Retração Parcial	Sempre Seca	141,910	24727,20	2778,29	21948,90	89%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep274	601386	7843893	67335	1131	0,7	22,2	722,0	10,3	153	438	289,8	2090,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep275	613356	7825013	68428	1237	0,6	16,3	727,8	7,3	118	434	244,0	0,0	NPbsh	Retração Parcial	Retrai Parcial	303,680	7141,57	900,00	6241,57	87%	900,00	900,00	0,00	0%
Dep276	592621	7848513	69212	1096	0,7	23,4	732,8	11,2	108	390	282,5	13,3	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep277	600726	7840038	69594	1375	0,5	16,3	724,8	10,8	78	726	335,9	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep278	609141	7842918	69786	1246	0,6	54,8	739,8	13,4	160	513	289,9	0,0	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep279	593216	7848903	70144	997	0,9	41,2	712,7	10,2	206	372	330,0	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep280	594036	7846618	71705	1228	0,6	16,1	737,0	8,3	207	716	428,0	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep281	605501	7835103	74009	1074	0,8	56,2	712,0	20,7	135	311	250,8	73958,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep282	603641	7832523	74455	1160	0,7	24,1	789,7	7,1	135	724	503,6	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep283	594681	7851398	74951	1154	0,7	22,4	703,7	9,9	211	426	301,4	27,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep284	600601	7849373	75534	1141	0,7	25,4	673,7	9,9	255	710	517,8	12974,3	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Nome	UTM E	UTM N	Área	Perímetro	IC	Profundidade	Cota Topográfica	Declividade Média	Azimute Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Azimute Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	%Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014	%Retração 2014
Dep285	606796	7837418	76226	1117	0,8	26,1	727,1	12,4	249	419	321,8	19723,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep286	600866	7842023	77073	1599	0,4	8,3	666,8	4,3	176	794	300,9	0,0	NPbls	Retração Parcial	Sempre Seca	129,450	22486,70	8100,00	14386,70	64%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep287	596931	7846558	77523	1137	0,8	20,5	780,6	9,2	76	739	557,0	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep288	603631	7839568	78573	1454	0,5	10,3	667,8	4,7	195	812	379,3	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep289	592931	7849173	79551	1016	1,0	25,8	720,8	5,6	40	604	585,1	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep290	600026	7838708	84059	1195	0,7	37,5	754,7	13,7	172	320	236,8	22585,4	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep291	601481	7847073	84206	1464	0,5	18,5	707,7	7,5	173	862	425,7	16093,2	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep292	603716	7851708	84636	1379	0,6	10,3	673,8	5,2	201	378	211,5	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep293	596716	7853308	85069	1476	0,5	12,6	695,6	6,6	123	705	346,0	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep294	599711	7839628	85056	1141	0,8	51,7	747,0	20,6	46	743	610,2	85056,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep295	604636	7842468	85662	1380	0,6	9,2	660,1	4,6	124	428	242,0	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep296	605466	7833928	87854	1155	0,8	47,3	747,9	10,6	265	412	341,1	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep297	598791	7845198	90939	1387	0,6	22,5	742,8	10,1	142	512	304,2	15686,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep298	594091	7847163	91436	1769	0,4	22,4	712,8	10,5	107	1116	409,9	12179,9	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep299	607091	7839083	91994	1341	0,6	30,4	713,7	13,6	254	520	334,4	17391,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep300	599766	7841738	92786	1286	0,7	19,4	712,8	9,1	147	448	315,9	16784,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep301	595241	7847333	93140	1482	0,5	24,4	755,7	8,3	136	889	473,9	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep302	594276	7845998	91341	1507	0,5	7,5	742,7	4,1	150	748	378,2	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep303	595066	7851423	95655	1906	0,3	5,7	722,6	3,2	197	781	258,5	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep304	591856	7850308	96585	1780	0,4	9,4	738,8	4,5	301	640	245,2	0,0	NPbsh	Retração Total	Sempre Seca	135,000	3600,00	0,00	3600,00	100%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep305	601041	7846773	99828	1385	0,7	15,5	707,7	6,6	62	1005	657,4	99752,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep306	607691	7841498	101798	1857	0,4	11,5	695,7	5,3	188	983	364,8	138,6	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep307	595141	7850803	103979	1579	0,5	20,3	708,9	6,8	254	902	472,9	158,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep308	609781	7830268	104224	1753	0,4	7,4	748,8	4,4	169	596	254,1	0,0	NPbsh	Retração Total	Retração Total	168,690	21186,80	0,00	21186,80	100%	5400,00	0,00	5400,00	100%
Dep309	608591	7846923	105600	1491	0,6	12,5	636,6	5,3	223	803	479,5	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep310	593406	7845948	106512	1435	0,7	40,4	745,7	9,9	128	627	407,7	10640,6	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Nome	UTM E	UTM N	Área	Perímetro	IC	Profundidade	Cota Topográfica	Declividade Média	Azimute Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Azimute Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	%Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014	%Retração 2014
Dep311	608321	7841198	106579	1773	0,4	9,7	671,7	4,5	164,7	901	384,0	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep312	601641	7851208	107887	1848	0,4	8,4	645,8	5,6	133	722	286,7	9358,5	NPbls	Retração Parcial	Retração Parcial	124,700	33897,20	10745,72	23151,48	68%	14771,48	900,00	13871,48	94%
Dep313	604506	7834643	110088	1234	0,9	38,4	732,9	14,6	109	434	394,4	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep314	609386	7836823	113485	1438	0,7	40,6	679,7	15,1	108	1262	870,6	15570,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep315	594556	7852263	114618	1397	0,7	13,3	733,7	6,1	121	466	344,0	25,2	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep316	604631	7845763	115648	1850	0,4	14,4	657,7	6,9	110	962	408,6	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep317	601161	7841798	119351	2743	0,2	10,5	661,7	4,5	9	1035	206,4	0,0	NPbls	Retração Parcial	Retração Parcial	181,520	23661,90	18119,01	5542,89	23%	2920,98	898,19	2022,79	69%
Dep318	604851	7834108	119577	1735	0,5	17,5	765,7	7,2	215	614	306,6	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep319	609506	7825523	121986	1803	0,5	16,5	700,7	8,4	253	989	466,5	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep320	606616	7834383	123356	2024	0,4	9,3	680,8	5,0	225	559	211,6	0,0	NPbls	Retração Parcial	Sempre Seca	231,340	17138,60	900,00	16238,60	95%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep321	601906	7839233	125931	1732	0,5	6,6	668,7	3,4	112	663	349,9	0,0	NPbls	Retração Parcial	Retração Total	118,840	19800,00	1800,00	18000,00	91%	19800,00	0,00	19800,00	100%
Dep322	611731	7837768	128968	1841	0,5	19,5	658,8	8,3	203	778	372,1	19669,6	NPbpl	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep323	602591	7839168	130228	1719	0,6	8,6	665,7	4,0	257	856	474,2	0,0	NPbls	Retração Parcial	Sempre Seca	81,310	64321,90	28800,00	35521,90	55%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep324	599766	7834933	131929	2392	0,3	8,4	774,8	4,3	179,8	1436	416,2	0,0	NPbls	Retração Parcial	Sempre Seca	175,240	60166,30	26422,84	33743,47	56%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep325	608226	7834158	134794	1455	0,8	25,6	778,7	11,3	101	862	689,9	77625,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep326	595456	7852723	136852	1860	0,5	12,4	704,7	5,6	138	785	390,3	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep327	607571	7825293	137004	1808	0,5	15,6	696,7	6,3	96	1157	609,5	0,0	NPbls	Retração Parcial	Retração Parcial	95,440	30149,90	29700,00	449,90	1%	24300,00	14400,00	9900,00	41%
Dep328	598681	7839123	137092	2204	0,4	29,5	741,8	11,5	68	1194	423,6	137092,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep329	604096	7850483	148371	1873	0,5	24,2	660,8	5,0	162	1533	815,0	836,2	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep330	598786	7838253	155222	2083	0,4	34,1	743,0	12,7	217	1132	509,0	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep331	598181	7845493	162783	2816	0,3	15,5	731,7	6,9	144	1625	419,3	9688,7	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep332	601366	7845623	164520	1893	0,6	39,6	671,6	12,4	63	1368	789,5	49926,9	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep333	600466	7850998	175282	2761	0,3	11,6	687,6	5,0	119	1922	555,5	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep334	602281	7851958	176183	2462	0,4	11,7	681,6	4,2	187	1226	447,9	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep335	609956	7836168	179635	2138	0,5	9,7	686,8	3,6	77	1177	581,4	0,0	NPbls	Retração Parcial	Sempre Seca	194,260	92236,90	7200,00	85036,90	92%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep336	614311	7827148	187898	2296	0,4	28,4	723,7	7,4	213	1041	466,4	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca		0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Nome	UTM E	UTM N	Área	Perímetro	IC	Profundidade	Cota Topográfica	Declividade Média	Azimute Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Azimute Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	%Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014	%Retração 2014
Dep337	601736	7853213	201084	2182	0,5	20,1	647,9	5,9	207	1241	658,8	0,0	NPbsh	Retração Parcial	Retração Total	115,540	36609,20	2700,00	33909,20	93%	24021,82	0,00	24021,82	100%
Dep338	607801	7836453	199970	1771	0,8	25,4	722,8	6,1	319	654	524,1	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep339	612481	7829273	207560	2725	0,4	8,5	709,7	3,8	167	1251	439,5	0,0	NPbsh	Retração Total	Sempre Seca	165,510	13431,70	0,00	13431,70	100%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep340	606921	7825098	211677	2447	0,4	20,5	699,9	8,3	239	1279	568,3	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca		0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep341	597431	7848598	213178	2644	0,4	93,2	718,9	11,1	158	1096	420,1	0,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep342	609676	7833408	214351	2661	0,4	20,3	726,8	6,9	142	1181	449,4	0,0	NPbsh	Sempre Seca	Sempre Seca		0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep343	603031	7846938	216100	2019	0,7	22,5	661,7	7,0	166	717	477,8	6316,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep344	610656	7834793	221311	4089	0,2	8,5	670,8	3,2	114	1653	275,0	43,7	NPbls	Retração Parcial	Retração Total	102,880	104113,00	34816,66	69296,34	67%	10915,55	0,00	10915,55	100%
Dep345	604321	7834968	227110	2721	0,4	33,2	747,0	13,2	109	997	384,4	16931,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep346	605881	7843708	252721	2330	0,6	16,6	652,6	5,0	220	1241	726,2	619,2	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep347	600141	7840643	263214	2047	0,8	36,5	686,7	9,5	50	1050	829,1	16001,8	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep348	604946	7840313	266917	2530	0,5	39,5	671,7	10,7	291	1319	691,4	31831,9	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep349	605701	7834673	268746	3645	0,3	23,4	702,8	6,9	57	2177	553,5	53,5	NPbls	Retração Total	Sempre Seca	240,550	3600,00	0,00	3600,00	100%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep350	607576	7851158	295095	3014	0,4	12,2	644,8	3,7	87	1714	699,9	0,0	NPbsh	Retração Total	Retração Total	83,530	107901,00	0,00	107901,00	100%	1800,00	0,00	1800,00	100%
Dep351	612641	7841358	325791	4839	0,2	13,6	623,8	3,7	203	2069	361,8	0,0	QPa1	Retração Total	Sempre Seca	83,960	12600,00	0,00	12600,00	100%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep352	599756	7833208	341241	3025	0,5	19,4	751,7	6,2	41	1494	700,3	0,0	NPbls	Retração Total	Sempre Seca	93,030	18000,00	0,00	18000,00	100%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep353	600876	7845903	358360	3553	0,4	37,5	683,0	12,3	329	2025	722,6	10881,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep354	603301	7841353	360282	5116	0,2	15,2	652,1	4,9	4	3191	552,1	8021,8	NPbls	Retração Parcial	Retração Total	128,660	16581,90	7996,22	8585,68	52%	850,36	0,00	850,36	100%
Dep355	593296	7847758	374156	2799	0,6	26,5	700,7	6,4	227	1634	980,9	16417,4	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep356	597681	7841783	384091	2639	0,7	47,2	749,8	10,2	66	1501	1040,6	77789,4	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep357	593031	7851298	384735	4550	0,2	26,9	717,6	8,3	116	2887	674,4	1052,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep358	602866	7845573	399490	3381	0,4	18,4	650,8	4,8	141	1841	808,7	0,0	NPbls	Retração Total	Sempre Seca	135,000	900,00	0,00	900,00	100%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep359	604966	7835963	405946	4570	0,2	36,5	711,8	11,7	185	2700	659,7	135265,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep360	604491	7841343	408738	3891	0,3	20,7	660,7	6,3	212	2681	909,8	14471,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep361	607421	7846973	435177	3874	0,4	22,4	652,7	5,5	180	2523	919,6	69,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep362	604086	7838003	459221	2818	0,7	68,4	688,0	14,2	139	991	720,4	175253,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Nome	UTM E	UTM N	Área	Perímetro	IC	Profundidade	Cota Topográfica	Declividade Média	Azimute Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Azimute Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	%Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014	%Retração 2014
Dep363	603246	7832173	486436	3586	0,5	33,7	746,7	8,6	131	1498	712,3	25977,3	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep364	601566	7847888	491495	3485	0,5	61,7	688,7	11,2	288	2266	1152,7	212675,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep365	599681	7838908	491915	3786	0,4	55,9	736,4	10,1	186	3201	1380,9	25362,6	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep366	598481	7846408	539628	4179	0,4	57,6	721,6	11,7	306	3015	1171,0	32685,2	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep367	598476	7844548	571311	6682	0,2	36,4	711,6	10,9	280	3720	598,3	91528,2	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep368	606556	7836548	589853	5207	0,3	52,0	698,7	11,4	35	3044	832,4	37254,9	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep369	606411	7825413	677430	3945	0,5	32,1	709,1	6,9	278	2577	1410,0	13483,9	NPbls	Retração Parcial	Retração Parcial	104,590	201053,00	171899,88	29153,12	15%	177299,88	166988,12	10311,76	6%
Dep370	602626	7833808	700754	3931	0,6	47,7	726,7	9,2	189	2631	1499,7	17798,5	NPbls	Retração Parcial	Retração Total	122,030	21976,00	11877,65	10098,35	46%	18000,00	0,00	18000,00	100%
Dep371	597366	7849988	747234	4852	0,4	42,4	665,8	7,9	133	3216	1283,1	87284,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep372	603816	7836453	758419	5367	0,3	52,5	709,9	9,4	174	3539	1171,3	101,6	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep373	595916	7849588	914693	5634	0,4	40,5	689,7	7,1	180	4428	1603,9	84031,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep374	597856	7837623	949174	6236	0,3	47,5	723,7	9,1	142	4032	1237,1	8759,2	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep375	604491	7833028	1037475	7607	0,2	42,3	731,9	10,1	303	4866	1096,6	113528,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep376	606581	7848073	1107576	5726	0,4	20,7	648,6	4,3	128	2866	1217,0	0,0	NPbls	Retração Parcial	Retração Total	144,940	99900,00	16200,00	83700,00	84%	7200,00	0,00	7200,00	100%
Dep377	605086	7830953	1104147	6306	0,3	55,5	710,0	9,7	158	3441	1201,0	46832,8	NPbls	Retração Parcial	Retração Total	138,950	10602,60	3764,99	6837,61	64%	2652,55	0,00	2652,55	100%
Dep378	602491	7835133	1224267	7400	0,3	34,7	725,5	6,6	125	4628	1300,6	30252,2	NPbls	Retração Parcial	Retração Parcial	116,710	327909,00	277138,50	50770,50	15%	286889,84	204402,20	82487,63	29%
Dep379	605966	7832113	1279430	7772	0,3	60,6	712,7	10,2	73	5719	1522,7	37873,2	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep380	607061	7850108	1332341	6339	0,4	23,5	658,8	4,5	253	1757	732,3	0,0	NPbsh	Retração Parcial	Retração Total	244,060	431100,00	218700,00	212400,00	49%	16200,00	0,00	16200,00	100%
Dep381	599476	7841078	1543433	7204	0,4	120,0	684,0	12,1	212	7589	2837,0	381026,0	NPbls	Retração Parcial	Retrai Parcial	189,610	3600,00	900,00	2700,00	75%	900,00	900,00	0,00	0%
Dep382	599221	7843023	1670897	11083	0,2	58,6	682,7	8,6	65	8138	1391,5	270530,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep383	604236	7847703	1728600	7931	0,3	39,2	650,0	5,4	157	3170	1095,0	93132,9	NPbls	Retração Parcial	Sempre Seca	160,230	20700,00	900,00	19800,00	96%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep384	603111	7840233	1988021	16973	0,1	25,5	646,7	4,3	189	10840	940,3	0,0	NPbls	Retração Parcial	Sempre Seca	8,620	675806,00	456123,12	219682,88	33%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep385	600036	7852138	2041447	10118	0,3	43,5	643,9	7,6	118	6395	1603,0	79216,1	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep386	607056	7843598	2146461	8683	0,4	21,6	668,6	4,3	145	5141	1839,8	15880,7	NPbls	Retração Parcial	Retração Parcial	149,530	94500,00	14400,00	80100,00	85%	11700,00	3600,00	8100,00	69%
Dep387	605606	7837723	2328660	12958	0,2	67,1	682,8	10,0	230	9481	1652,8	251486,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep388	599341	7849818	2463070	9823	0,3	53,6	660,7	6,2	354	6588	2113,9	23664,5	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Nome	UTME	UTM N	Área	Perímetro	IC	Profundidade	Cota Topográfica	Declividade Média	Azimute Eixo Principal	Comprimento Eixos Alongamento	IE	Área Maciços	Litologia	Tipo Hídrico 2010	Tipo Hídrico 2014	Azimute Esp d'Água Abr 10	Esp d'Água Abr 2010	Esp d'Água Set 2010	Retração 2010	%Retração 2010	Esp d'Água Abr 2014	Esp d'Água Set 2014	Retração 2014	%Retração 2014
Dep389	596416	7851783	2693550	11364	0,3	46,6	662,6	6,1	210	7739	2029,0	204,1	NPbls	Retração Parcial	Retração Parcial	191,050	120600,00	84600,00	36000,00	30%	84600,00	68400,00	16200,00	19%
Dep390	593691	7849948	2892799	13567	0,2	43,6	685,7	5,4	127	8656	1710,0	286861,0	NPbls	Sempre Seca	Sempre Seca	0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
Dep391	607091	7828473	4921842	15915	0,2	55,4	718,6	6,7	149	12693	3100,4	59991,3	NPbls	Retração Parcial	Retração Parcial	139,090	344700,00	235800,00	108900,00	32%	208800,00	38700,00	170100,00	81%
Dep392	610856	7838873	5366194	23162	0,1	43,1	632,3	5,8	300	15345	1929,4	55594,4	NPbls	Retração Parcial	Retração Parcial	102,250	1052760,00	364576,82	688183,18	65%	3600,00	0,00	3600,00	100%
Dep393	597626	7838248	6089556	33719	0,1	92,5	684,8	10,0	162	24778	1668,2	520605,0	NPbls	Retração Parcial	Retrai Parcial	354,810	150007,00	94500,00	55507,00	37%	71100,00	71100,00	0,00	0%