

DELIMITAÇÃO DE VOÇOROCAS POR MEIO DE GEOBIA (Geographic Object Based Image Analysis) E MINERAÇÃO DE DADOS

GULLY EROSION DELIMITATION THROUGH GEOBIA (Geographic Object Based Image Analysis) AND DATA MINING

JOÃO EDSON COSTA FERREIRA DA SILVA

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Campus Prof. José Rodrigues Seabra, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Av. B P S, 1303 - Pinheirinho, Itajubá – MG. Email: prof.joaedson@gmail.com

Resumo - Existe atenção por parte dos órgãos públicos, no que tange ao mapeamento, monitoramento de áreas, para um controle ambiental fidedigno. Uma justificativa sobre essa afirmação é criação de programas ambientais, por parte do governo federal, como: Cadastro Ambiental Rural (CAR), Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). Ambos os programas abrangem em suas estruturas o mapeamento de áreas. Está realidade faz com que seja de suma importância discutir melhores maneiras de obter informações cartográficas sobre as áreas degradadas. As degradações do solo, do tipo voçorocas, apresentam diversos prejuízos à natureza, pois possuem estado irreversível, sendo possível somente sua recuperação parcial. O monitoramento destas áreas, bem como informações sobre as mesmas, é de suma importância para que se possa garantir o controle e definir métodos de conservação. Sob esta problemática este trabalho visa avaliar a eficiência de um procedimento de classificação, orientada, semiautomática (GEOBIA) em produtos cartográficos produzidos por Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) para a delimitação de voçorocas. A utilização dos produtos cartográficos oriundos de ARP (Modelo Digital de Elevação e Ortoimagem Digital) se justifica devido ao baixo custo da ferramenta, bem como a potencialidade planialtimétrica. Os procedimentos foram realizados em duas áreas de estudo, situadas no município de Itajubá, MG. Nestas áreas foram definidos alguns pontos de controle e checagem para a classificação dos produtos cartográficos em relação ao Padrão de Exatidão Cartográfica Digital (PEC-PCD). Os produtos apresentaram classe A, para a escala 1/2.000. Foram determinados alguns parâmetros de segmentação para que se formassem segmentos fidedignos para cada área de estudo em específico, em seguida determinaram-se os atributos mais relevantes para a classificação e confecção da árvore de decisão de cada área. Na confecção da árvore de decisão utilizou-se o algoritmo C4.5. Os resultados foram satisfatórios a níveis de precisão (índice Kappa entre 0,92 e 0,89 e Exatidão Global de 93,99% e 91,18%, para as áreas 01 e 02 respectivamente), permitindo que as técnicas utilizadas em produtos cartográficos oriundos de ARP sejam uma ferramenta para delimitação de áreas degradadas do tipo voçoroca.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Áreas degradadas; Segmentação; Árvore de decisão; erosão

Abstract - It is possible to see a certain amount of attention on the part of public agencies, with regard to mapping, monitoring areas, for a reliable environmental control. One justification for this statement is the creation of environmental programs by the federal government, such as: Rural Environmental Registry (CAR), Plan for the Recovery of Degraded Areas (PRAD). Both programs cover the mapping of areas in their structures. This reality makes it of the utmost importance to discuss better ways to obtain cartographic information about degraded areas. Soil degradations, of gully type, present several damages to nature, as they have an irreversible state, being possible only their partial recovery. The monitoring of these areas, as well as information about them, is of paramount importance to ensure control and define conservation methods. Under this problem, this work aims to evaluate the efficiency of a classification procedure, oriented, semi-automatic (GEOBIA) in cartographic products produced by Remote Piloted Aircraft (ARP) for the delimitation of gullies. The use of cartographic products from ARP (Digital Elevation Model and Digital Orthography) is justified due to the low cost of the tool, as well as the planialtimetric potential. The procedures were carried out in two study areas, located in the city of Itajubá, MG. In these areas, some control and checking points were defined for the classification of cartographic products in relation to the Digital Cartographic Accuracy Standard (PEC-PCD). The products presented class A, for the scale 1 / 2,000. Some segmentation parameters were determined to form reliable segments for each specific study area, then the most relevant attributes were determined for the classification and construction of the decision tree for each area. In making the decision tree, the C4.5 algorithm was used. The results were satisfactory at levels of precision (Kappa index between 0.92 and 0.89 and Global Accuracy of 93.99% and 91.18%, for areas 01 and 02 respectively), allowing the techniques used in cartographic products from ARP to be a tool for delimiting degraded areas of the gully type.

Keywords: Remote sensing; Degraded areas; Segmentation; Decision tree; Gully erosion

Citação: SILVA, J. E. C. F.. 2021. Delimitação de voçorocas por meio de GEOBIA (geographic object based image analysis) e mineração de dados. Boletim Paranaense de Geociências, 79 : 82-100. URL: <http://bpqbrasil.com.br/>

1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural formado a partir de adições, perdas, transformações, transporte e remanejamento de partes rochosas da superfície terrestre (Oliveira et al. 2011). Quando levado em consideração os aspectos ambientais das áreas degradadas, é interessante destacar que as mesmas podem atingir estados irreversíveis em termos de recuperação do solo. Os fatores que levam à degradação do solo podem ser ligeiramente resumidos pela poluição do solo (aspectos físico-químico) ou pela erosão, sendo este, um grande causador das incisões denominadas voçorocas.

Em casos em que há a existência das ravinas associadas ao intenso desmatamento, falta de práticas conservacionistas do uso do solo, pisoteio de gado, entre outras atividades que se caracterizam como fonte de degradação do solo, há o alargamento das ravinas, levando ao surgimento das voçorocas (Tschiedel et al. 2018), como pode ser observado na Figura 1. De acordo com Sousa e Ferreira (2017), as voçorocas correspondem ao estágio mais avançado dos processos erosivos de origem hídrica.

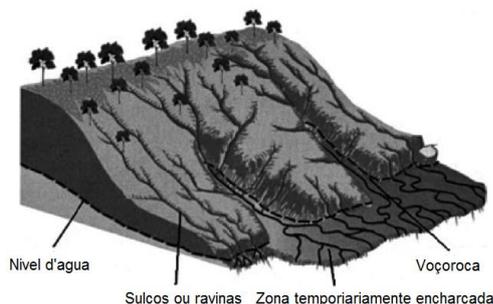


Figura 1. Evolução de sulcos e ravinas para voçorocas.

O levantamento de informações sobre voçorocas se faz necessário para o controle ambiental e, junto aos avanços tecnológicos utilizados para este fim, é esperada a realização de um levantamento de forma remota e precisa.

O uso dos produtos cartográficos derivados de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP),

combinados ao Sensoriamento Remoto, tem se mostrado como uma alternativa para sanar as necessidades do levantamento de informações sobre as voçorocas. As técnicas de mapeamento podem ser realizadas a partir de levantamentos topográficos utilizando estação total, acompanhados ou não de receptores GNSS (Global Navigation Satellite System) como mencionado por Tedesco (2015) ou até mesmo pelo uso de ARP que, por meio de técnicas de aerofotogrametria, pode contribuir com a obtenção de dados topográficos a partir de imagens aéreas, permitindo a verificação de pontos onde há ocorrência de voçoroca e sua evolução ao longo do tempo (Tschiedel et al. 2018). A automatização dos processos de aquisição de informações pode ser dada nas esferas da coleta de informações em campo e do processamento dos dados. A caracterização e delimitação das voçorocas utilizando ARP são geradas de formas semiautomática utilizando o procedimento denominado Geographic Object Based Image Analysis (GEOBIA). Junto desse processo, destaca-se a segmentação de imagens e a mineração de dados, como etapas fundamentais do procedimento. O uso dessas ferramentas combinadas é visto em alguns estudos como Doleire-oltmannset al. (2012), Tedesco (2015), Shruthi et al. (2015), Bertalan e TúrieSzabó (2016).

Diante da eficiência da tecnologia ARP para diversos fins e a necessidade de um maior conhecimento sobre a degradação do solo, este estudo foi realizado com a finalidade de apresentar um panorama sobre o uso dos produtos cartográficos oriundos de ARP para a delimitação de voçorocas, por meio de um procedimento semiautomático com o uso da GEOBIA e mineração de dados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em duas áreas situadas no município de Itajubá, MG, sendo a Área 1 localizada em 22°25'23.03" Sul e 45°29'52.81" Oeste (Figura 2) e a Área 2 localizada em 22°25'23.03" Sul e 45°29'52.81" Oeste (Figura 3).

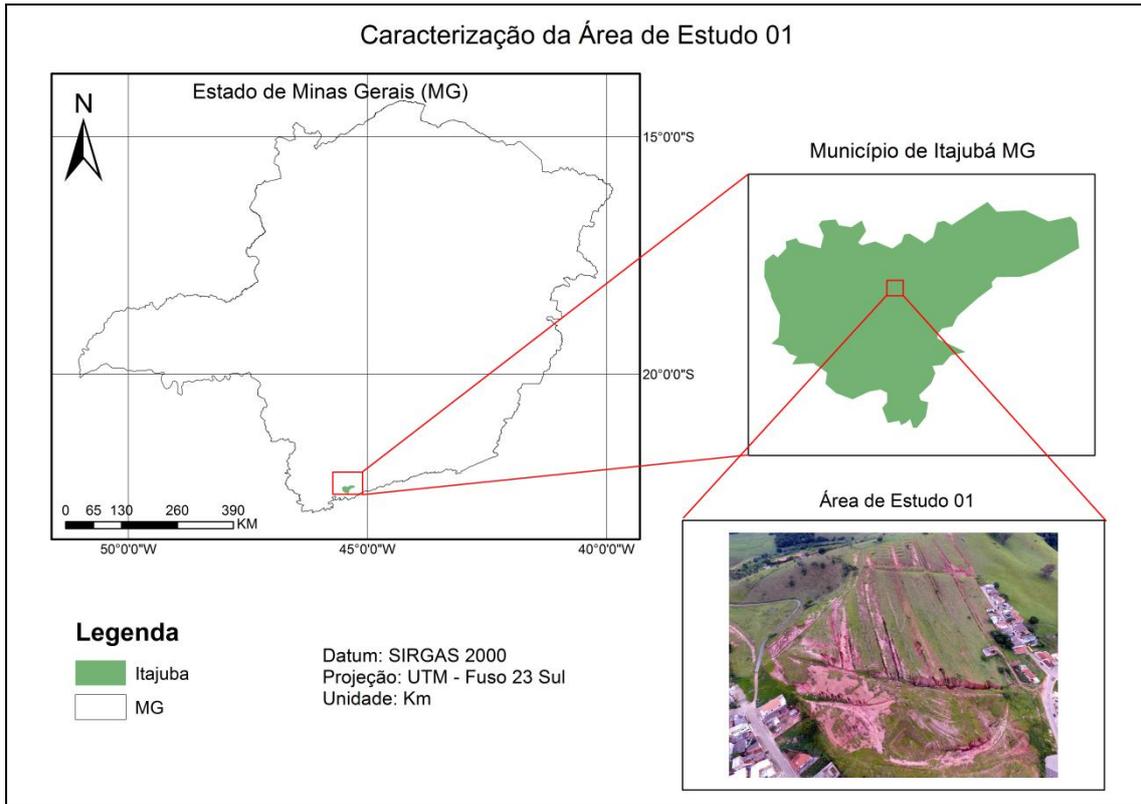


Figura 2. Mapa de localização da Área de estudo 1.

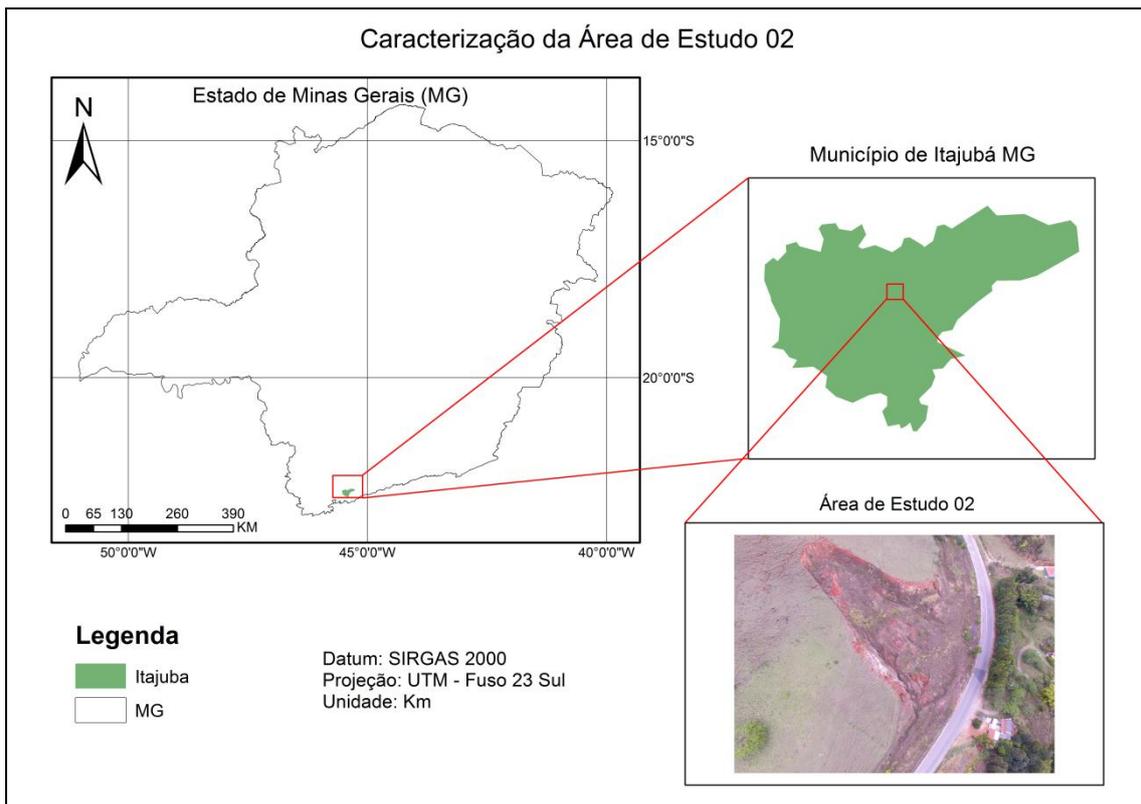


Figura 3. Mapa de localização da área de estudo 2.

A voçoroca presente na área de estudo 1 (Figura 4a) encontra-se em uma área de solo exposto, em alta para baixa vertente, com atividade de uso para loteamento; próximo à área urbana, com aproximadamente 180.000 m² (18,00 hectares).

Já a voçoroca presente na área de estudo 2 (Figura 4b), tem a área de vegetação predominante de pastagem, com atividade de pecuária intensa, alta para baixa vertente em área rural, com aproximadamente 20.000 m² (2,00 hectares).



Figura 4.a) Voçoroca na área de estudo 01 e b) Voçoroca na área de estudo 02.

O levantamento dos dados da Tabela 1 (imagens, bem como das imagens que compõem as Figuras 4a e 4b) foi realizado com a ARP Phantom4, regulamentada pelos órgãos responsáveis (Cadastro ANAC - PP-250819931), tendo a bordo uma câmera Sony EXMOR de 12 megapixels. A configuração da aeronave (Gimbal e GNSS) bem como os parâmetros FOV (Field of View – Campo de Visada) e luminosidade foram realizados no software DJI Go 4, em celular na plataforma Android. Nesta etapa é importante ressaltar que as configurações foram estabelecidas

empiricamente, porém, tendo um mesmo padrão para o levantamento das duas áreas de estudo. Cada imagem possui uma coordenada inicial, coletada a partir do GNSS contido na aeronave. No entanto vale destacar que a precisão deste receptor não permite alcançar boa fidedignidade, se comparada ao uso de pontos de controle em levantamentos. Embora essas coordenadas estão associadas a um sistema de referência (WGS84), essas não são utilizadas no processamento das imagens.

Tabela 1. Parâmetros de voo estabelecidos para a Área de estudo 1 e 2.

Parâmetro	Área de estudo 1	Área de estudo 2
Velocidade de Vôo	15 metros/segundo	15 metros/segundo
Altura de Vôo	100 metros	100 metros
<i>Over Lap</i> (Recobrimento Longitudinal)	70%	70%
<i>SideLap</i> (Recobrimento Lateral)	60%	60%
Abertura da Câmera	f/2	f/2

A sigla f/2 esta associada ao f-stop, que por sua vez é definido como a relação entre a distância focal(f), e a abertura da passagem de luz na câmera(número escalar), ou seja, quanto maior o denominador, menor será à entrada de luz na câmera. Nesse estudo manteve-se o f-stop, igual, para as duas áreas de estudo.Os voos foram realizados conforme as normas previstas para os levantamentos aéreos, entre os meses de dezembro de 2018 (Área de Estudo 1) e março de 2019 (Área de Estudo 2), próximo às 12 horas, já que neste horário minimiza-se, os locais de sombra.

Os pontos de controle ou GroundControl Points (GCPs) (naturais ou artificiais) são utilizados para que seja possível associar o espaço imagem(imagem) ao espaço objeto (superfície terrestre), afim de que a

ortoimagem tenha potencial métrico. Especificamente, foram utilizadas placas de isopor de tamanho (0,5 metro por 1,0 metro), coloridas na cor azul na forma de mosaico, assim como ilustrado na Fig. 5. Totalizando cinco pontos de controle em ambas as áreas de estudo, os quais foram distribuídos de maneira homogênea. Por meio de receptores GNSS (Global Navigation Satellite System), modelo CHC X900 L1/L2 (ondas portadoras de sinal), Precisão Horizontal: 5mm+ 1 ppm, Vertical: 8mm+1ppm todos os pontos de controle tiveram suas respectivas coordenadas mensuradas. Para tal procedimento, foi adotada a técnica de levantamento relativo cinemático em tempo real ou técnica RTK (Real Time Kinect).



Figura 5. Elementos artificiais utilizados como pontos de controle.

Na Tabela 2 são apresentadas as coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) dos pontos de controle adotados na Área de Estudo 1 e Área de Estudo 2.

O processamento das imagens se deu pelas etapas de alinhamento das imagens, densificação dos pontos chaves (homólogos), inserção dos pontos de controle, construção de nuvens de pontos, construção do modelo em faces de triangulação e texturização de modelo. Utilizou-se o software AgisoftPhotoScan versão 1.4.3 para a confecção dos produtos cartográficos principais: Ortoimagem Digital e MDE; no entanto, existe a possibilidade de classificar alguns objetos sobre a nuvem de pontos geradas com o programa. Este foi o processo utilizado para a confecção do Modelo Digital de Altura (MDA) e Modelo Digital de Terreno (MDT). Sobre a construção dos produtos

nestas etapas, foi inserida a orientação (coordenadas) dos pontos de controle coletados in loco.

O uso de tais produtos exige uma garantia de acuidade e precisão, a fim de que se possam minimizar os erros referentes à cartografia de cada um. Para a aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC) e Padrão Cartográfico Digital (PCD) utilizou-se o Software GeoPEC versão 3.5.1. Foram inseridos, no software, os alvos de verificação (pontos de checagem/pontos de referência), e suas respectivas coordenadas geradas pelo produto cartográfico (pontos teste), a fim de obter a classificação em relação à PEC/PCD. Ao todo foram inseridos 21 pontos para verificação Planimétrica e Altimétrica. (Ortoimagem e MDE, respectivamente).

Após a avaliação dos produtos foram realizadas as etapas referentes à segmentação. Nessa etapa utilizou-se o Software eCognition. Na Área de Estudo 1 e 2 foram utilizadas as 3 bandas (Red, Green, Blue) provenientes da câmera Sony EXMOR, acoplada na ARP. Utilizou-se o algoritmo Multiresolution com um parâmetro de escala fixo, pois a delimitação dos elementos (objetos) se mostrou suficiente para o nível de escala utilizado (Parâmetro de Escala = 10) com os valores de Forma = 0,5 e Compacidade = 0,5. Os valores correspondentes, supracitados (Parâmetro de escala, Forma e Compacidade) forma o que chamamos de Parâmetros de Segmentação.

Tabela 2. Coordenadas coletadas dos pontos de controle das áreas de estudo.

Pontos de controle	Área de estudo 1		Área de estudo2	
	(Este/Norte - metros)		(Este/Norte - metros)	
P1	448775,061	7520334,050	456651,623	7522829,906
P2	448646,255	7520345,895	456599,600	7522923,452
P3	448635,934	7520150,216	456621,380	7522976,555
P4	448716,650	7520115,999	456689,165	7522961,383
P5	448959,835	7520183,947	456779,413	7522992,186

Anjos (2016) afirma que o parâmetro de escala é definido para controlar o tamanho médio dos segmentos. O autor ainda afirma que os valores de forma determinam o grau de segmentação em relação a cor; Ver mais em Definiens (2007). A compacidade, segundo Ribeiro e Centeno (2005), é a razão do comprimento da borda de um segmento pelo número total de pixels deste.

Em seguida, utilizou-se a segmentação pelo algoritmo Spectral Difference com Limiar de diferença igual a 1.

Após a definição dos Parâmetros de Segmentação e aplicação do algoritmo Spectral Difference, foi efetuada a Extração de Atributos (Feature Extraction) sobre estas imagens.

Atributos são variáveis que apresentam características de um determinado segmento. Tais variáveis podem apresentar diferentes aspectos, destacam-se: aspecto espectral, textura, brilho, média entre as bandas utilizadas, ou ainda do aspecto espacial, como

orientação, área, ângulo, entre outros. Todos estes atributos estão vinculados a uma equação matemática que os descreve como é visto em Definiens (2007).

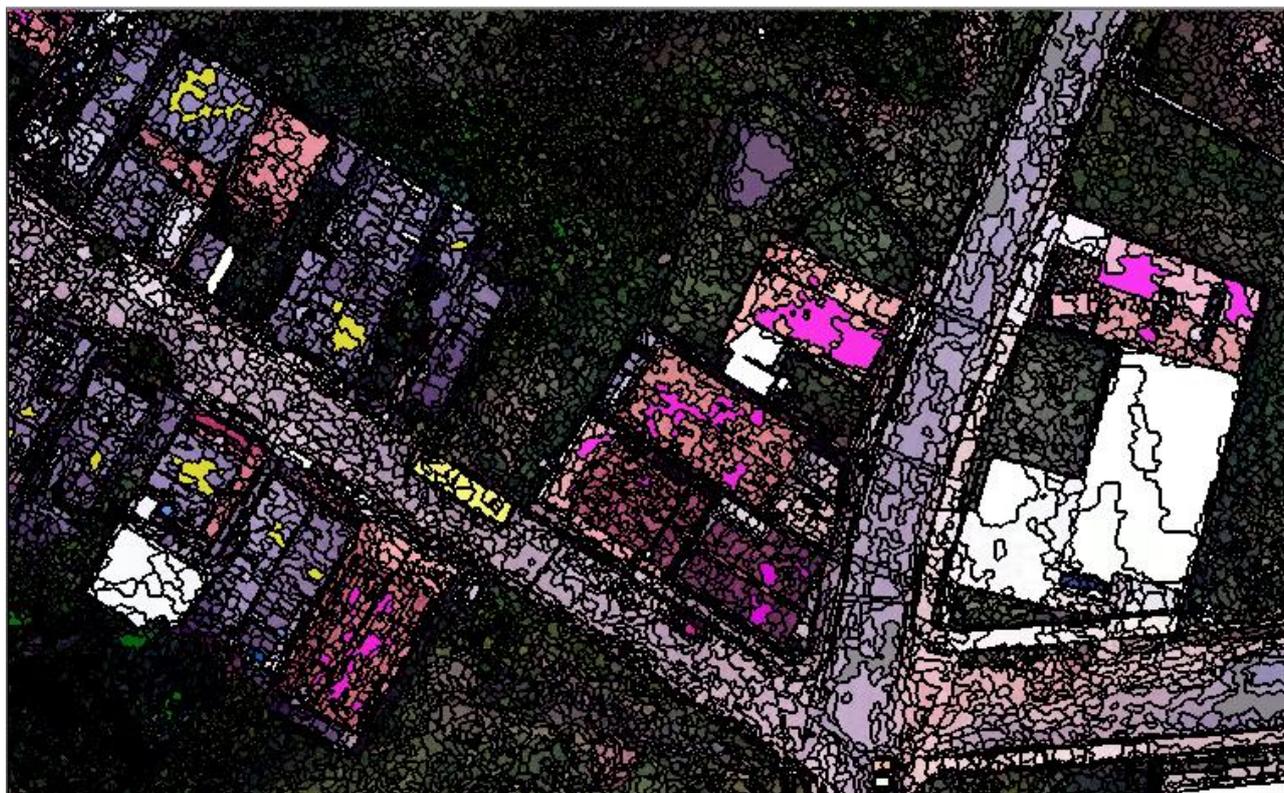
O conjunto de atributos selecionados para o treinamento da árvore de decisão normalmente são determinados posteriormente à determinação dos parâmetros da segmentação. Para a extração de atributos são determinadas algumas amostras referentes aos seguimentos já pré-estabelecidos pela segmentação. Essas amostras são previamente selecionadas e, em seguida, são exportadas, contendo os atributos pertinentes à escolha do usuário.

Neste estudo foram determinados 64 atributos, escolhidos mediante análise, baseados nos estudos de Tedesco (2015) e Anjos (2016), para as duas áreas de estudo, já que o elemento Voçoroca (objeto de estudo) se encontra nas duas áreas. Os atributos extraídos estão na tabela 3.

Tabela 3. Atributos submetidos à mineração de dados para as áreas 1 e 2.

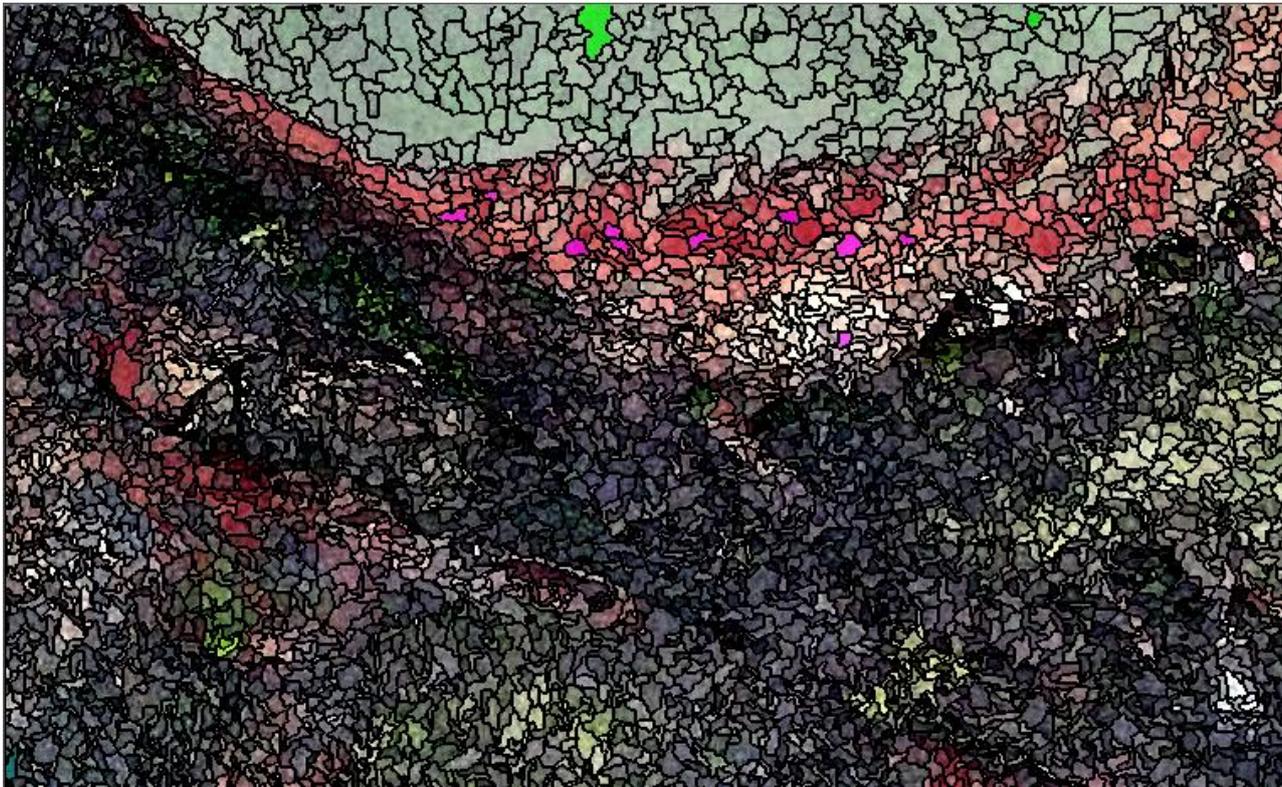
Nº	Atributos
1	Ratio R
2	Ratio MDT
3	Ratio MDE
4	Ratio MDA
5	Ratio G
6	Ratio B
7	Borderlength
8	BorderContrast R
9	BorderContrast MDT
10	BorderContrast MDE
11	BorderContrast MDA
12	BorderContrast G
13	BorderContrast B
14	Asymmetry
15	Min. Pixel value R
16	Min. Pixel valueMDT
17	Min. Pixel valueMDE
18	Min. Pixel valueMDA
19	Min. Pixel value G
20	Min. Pixel value B
21	GLCM Contrast (quick 8/11) (all dir.)
22	Max. Diff.
23	Mean of outer border R
24	Mean of outer border MDT
25	Mean of outer border MDE
26	Mean of outer border MDA
27	Mean of outer border G
28	Mean of outer border B
29	GLCM Homogeneity (quick 8/11) (all dir.)
30	GLCM Entropy (quick 8/11) (all dir.)
31	Length/Width
32	Mean of inner border R
33	Mean of inner border MDT
34	Mean of inner border MDE
35	Mean of inner border MDA
36	Mean of inner border G
37	Mean of inner border B
38	Standart deviation R
39	Standart deviation MDT
40	Standart deviation MDE
41	Standart deviation MDA
42	Standart deviation G
43	Standart deviation B
44	Mean R
45	Mean MDT
46	Mean MDE
47	Mean MDA
48	Mean G
49	Mean B
50	Max. Pixel value R
51	Max. Pixel value MDT
52	Max. Pixel value MDE
53	Max. Pixel value MDA
54	Max. Pixel value G
55	Max. Pixel value B
56	Class name (0 0)
57	Circular Mean R (R1 Length3 R2 Same (= R1) border)
58	Circular Mean MDT (R1 Length3 R2 Same (= R1) border)
59	Circular Mean MDE (R1 Length3 R2 Same (= R1) border)
60	Circular Mean MDA (R1 Length3 R2 Same (= R1) border)
61	Circular Mean G (R1 Length3 R2 Same (= R1) border)
62	Circular Mean B (R1 Length3 R2 Same (= R1) border)
63	Compactness
64	Brightness

As Figuras 6 e 7, apresentam as amostras coletadas nas Áreas de Estudo 1 e 2.



- Asfalto
- Solo Exposto
- Telhado Amianto
- Telhado Fibrocimento/Metalica
- Vegetacao Arborea
- Vegetacao Rasteira
- Vocoroca

Figura 61. Amostras coletadas - Área de Estudo 1.



- Rodovia
- Solo Exposto
- Vegetação Arbórea
- Vegetação Rasteira
- Vegetação presente na Vocoroca
- Vocoroca

Figura 72. Amostras coletadas - Área de Estudo 2.

Após a determinação dos atributos, os dados foram tabulados e organizados para a entrada no programa WEKA versão 3.8 (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*), afim de que se fizesse a seleção dos atributos.

A seleção de atributos visa selecionar as melhores variáveis do conjunto de dados de entrada que serão utilizados na classificação. Nesse sentido, as imagens de entrada são transformadas ou sujeitas a operações aritméticas, a fim de gerar novos atributos e, assim, poder separar as classes de interesse com mais eficiência (Anjos 2016).

Para o estudo utilizou-se três algoritmos (Tabela 4), a fim de analisar se haveria uma diferença significativa na qualidade da geração das árvores de decisão e

consequentemente na classificação da imagem.

Tabela 4. Algoritmos utilizados para a Seleção de Atributos - WEKA 3.8.

Algoritmos utilizados para a Seleção de Atributos - WEKA 3.8	<i>ClassifierAttribute Eval</i>
	<i>Principal Components</i>
	<i>Info Gain Attribute Eval</i>

Foram geradas para cada resultado de seleção de atributos uma árvore de decisão a fim de que se pudesse verificar a qualidade de cada uma delas em relação à árvore gerada sem a seleção de atributos. O algoritmo c 4.5 foi o classificador utilizado para gerar a árvore de decisão. Este algoritmo é utilizado em trabalhos que envolvem o uso da GEOBIA,

mineração de dados aplicados a produtos cartográficos e imagens multiespectrais como em Tedesco (2015) e Anjos (2016).

Foram geradas 4 árvores de decisão (mostradas no Apêndice 01) para cada área de estudo, utilizando o algoritmo C 4.5. As árvores foram geradas sob as seguintes condições:

- Árvore gerada a partir do conjunto total de atributos;
- Árvore gerada a partir da seleção de atributos com o algoritmo *Classifier Attribute Eval*;
- Árvore gerada a partir da seleção de atributos com o algoritmo *Principal Components* (95% de significância);
- Árvore gerada a partir da seleção de atributos com o algoritmo *Info Gain Attribute Eval* (Atributos > 1.0).

Após a determinação das árvores foi selecionada para a classificação, a árvore que apresentaram os melhores índices IK, respectivamente para cada área de estudo. Com base na árvore gerada, tal comparação permite verificar os valores de IK, conforme estudos de Congalton (1991), Foody (1992), Fonseca (2000), Bernardes (2006), Figueiredo e Vieira (2007).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os resultados da aplicação dos produtos cartográficos em relação ao PEC-PCD, para as Áreas de Estudo 1 e 2.

Os produtos a cartográficos foram classificados na classe A, na escala 1:2.000. Em relação ao PEC-PCD. Diante do exposto, é possível considerar que a produção de ortoimagens e MDE de áreas que sofreram com o processo erosivo, permite gerar informações sobre o estágio de degradação, e

implicações dos processos erosivos ao longo do tempo.

Foram geradas 4 árvores de decisão para cada área de estudo, utilizando o algoritmo C 4.5 e o respectivo algoritmo de seleção de atributos. Na Tabela 7 são apresentados os resultados do IK, obtidos com aplicação do algoritmo C 4.5, para cada algoritmo de seleção de atributos. Para as áreas de estudo 1 e 2.

É possível verificar na tabela, que a partir dos valores do IK para cada árvore de decisão. Foram escolhidas, para cada área de estudo, as árvores que apresentaram o melhor resultado, sendo estas submetidas à classificação temática.

As árvores que apresentaram melhores resultados foram às árvores que utilizaram os maiores números de atributos, ou sejam as árvores “sem algoritmo de seleção de atributos”

A seguir são apresentadas a classificação temática das Áreas de Estudo 1 e 2 (Figura 8 e 9) e as tabelas 8 e 9 que apresentam as matrizes confusão, referente à classificação temática das áreas de estudo 1 e 2.

Tabela 5. Classificação dos produtos cartográficos e estatísticas descritivas - Área de Estudo 1.

Classe	Produto Cartográfico (Escala 1:2.000)	Estatística Descritiva da Discrepância entre os Pontos		
		Média	Desvio Padrão	RMS
A	Altimetria (MDE)	0,038	0,165	0,165
A	Planimetria (Ortoimagem)	0,187	0,033	0,189

Tabela6. Classificação dos produtos cartográficos e estatísticas descritivas - Área de Estudo 2.

Classe	Produto Cartográfico (Escala 1:2.000)	Estatística Descritiva da Discrepância entre os Pontos		
		Média	Desvio Padrão	RMS
A	Altimetria (MDE)	0,041	0,162	0,163
A	Planimetria (Ortoimagem)	0,175	0,072	0,188

Tabela 71. Resultados das árvores de decisão das áreas de estudo.

Área de Estudo	Algoritmo da Árvore de Decisão	Algoritmo de Seleção de Atributos	Quantidade de Atributos	IK
1	C 4.5	Sem Algoritmo	64	0.92
1	C 4.5	Classifier Attribute Eval.	20	0.92
1	C 4.5	Principal Components	12	0.81
1	C 4.5	Info Gain Attribute Eval	10	0.84
2	C 4.5	Sem Algoritmo	64	0.89
2	C 4.5	Classifier Attribute Eval.	10	0.89
2	C 4.5	Principal Components	28	0.87
2	C 4.5	Info Gain Attribute Eval	23	0.88

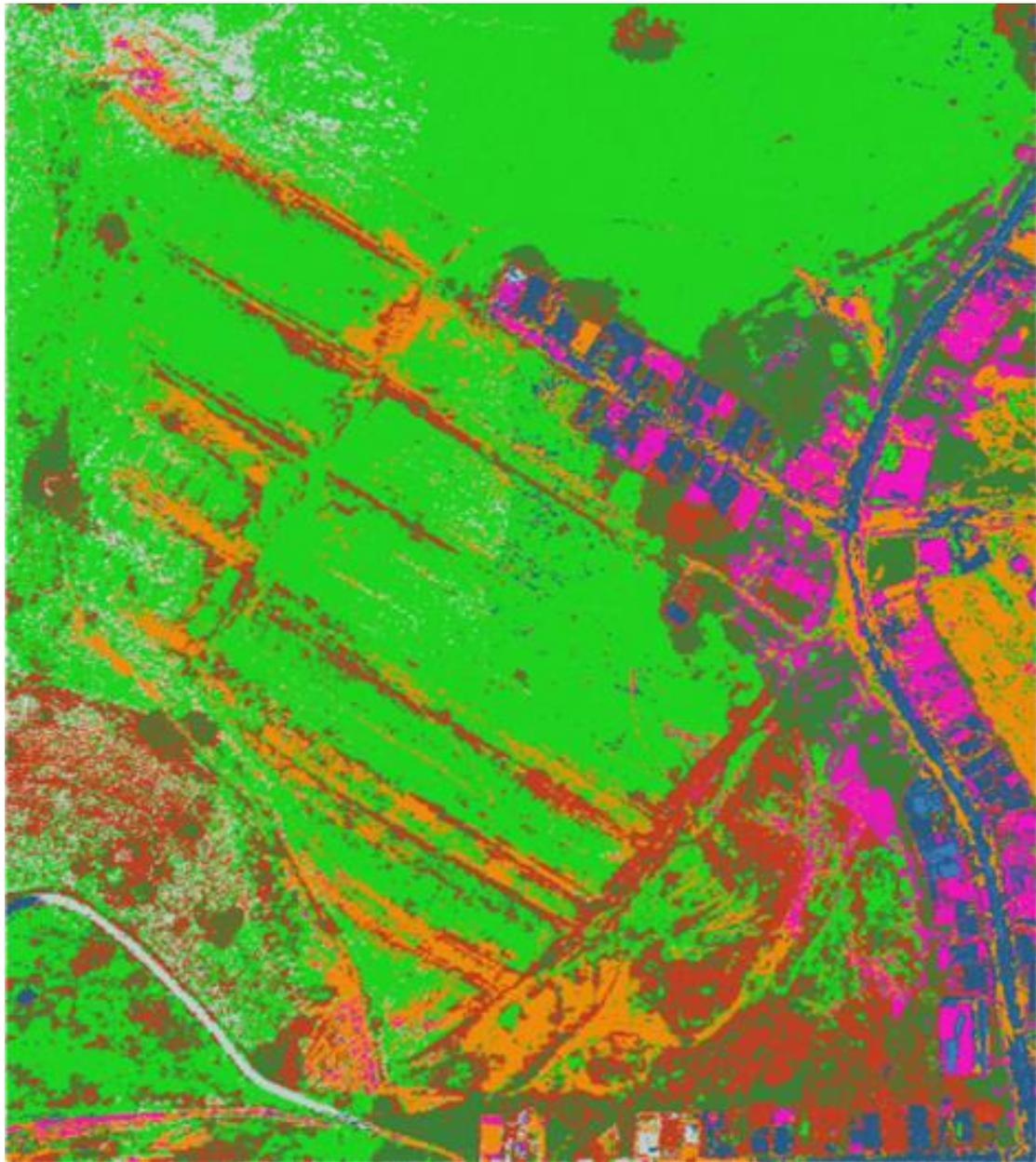
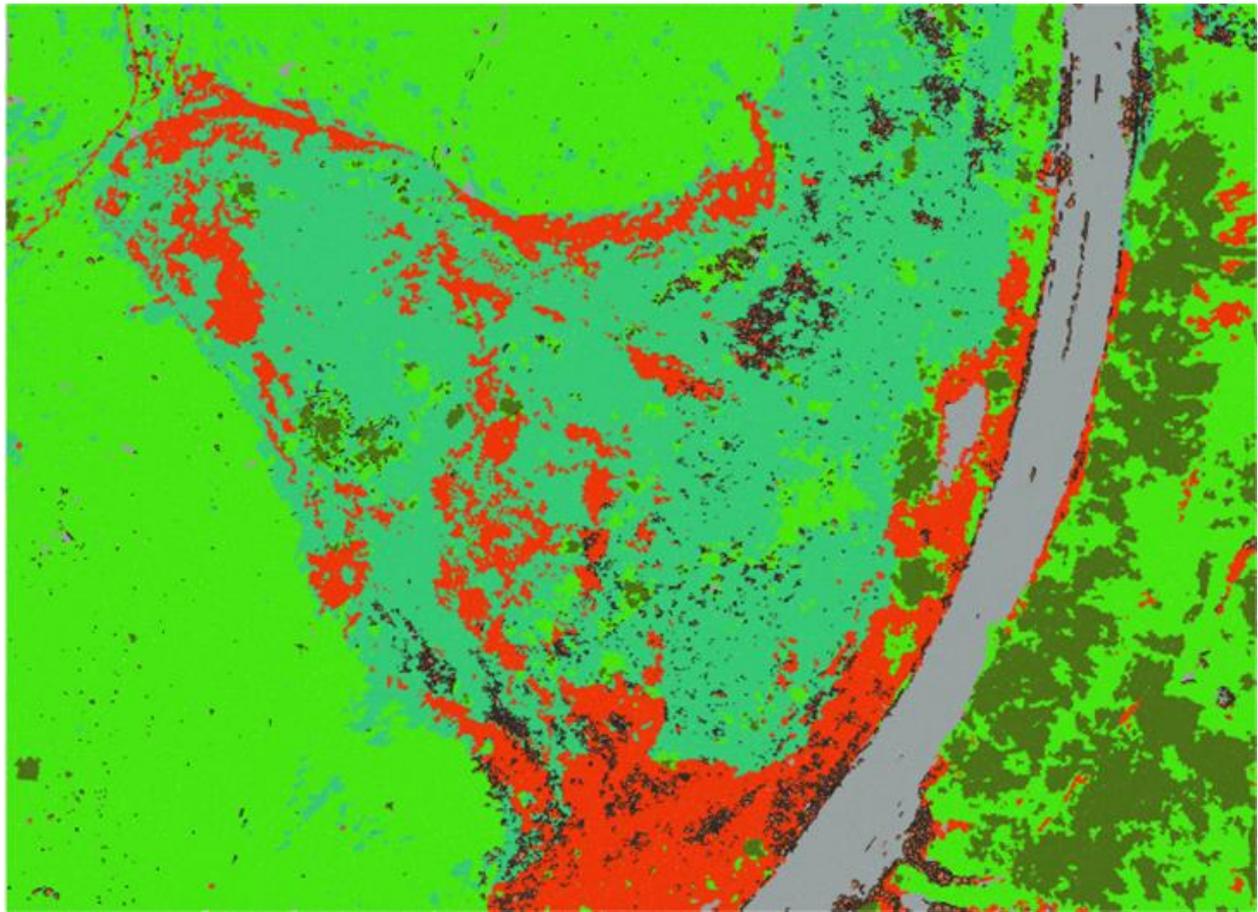


Figura8. Classificação temática Área de Estudo 01.



- Asfalto
- Solo Exposto
- Vegetação Arborea
- Vegetação presente na Vocoroca
- Vegetação Rasteira
- Vocoroca

Figura 9. Classificação temática da Área de Estudo 2.

Tabela 82. Matriz de confusão Área de Estudo 01.

Matriz Confusão - Área 01 - (Kappa=0,92)											
	a	b	c	d	e	f	g	Total	AU	EC	Classes
	72	1	1	0	0	0	0	74	97,30	2,70	a= Vegetação Rasteira
	0	398	0	1	3	2	6	410	97,07	2,93	b= Voçoroca
	0	0	57	3	1	0	0	61	93,44	6,56	c= Asfalto
	0	0	1	93	2	1	0	97	95,88	4,12	d= Telhado de Fibrocimento/Metálica
	1	2	4	2	74	9	0	92	80,43	19,57	e= Solo Exposto
	0	3	0	2	3	78	0	86	90,70	9,30	f= Telhado de amianto
	5	6	0	0	0	0	151	162	93,21	6,79	g= Vegetação Arbórea
Total	78	410	63	101	83	90	157	982	AU = Acurácia do Usuário ; AP = Acurácia do Produtor; EC = Erro de Comissão ; EO = Erro de Inclusão		
AP	92,31	97,07	90,48	92,08	89,16	86,67	96,18	EG = 93,99			
EO	7,69	2,93	9,52	7,92	10,84	13,33	3,82				

Tabela 93. Matriz de confusão Área de Estudo 02.

Matriz Confusão - Área 02 - (Kappa=0,89)											
	a	b	c	d	e	f	Total	AU	EC	Classes	
	41	0	0	0	2	0	43	95,35	4,65	a= Vegetação Rasteira	
	0	34	0	0	0	2	36	94,44	5,56	b =Rodovia	
	1	0	41	0	0	0	42	97,62	2,38	c =Vegetação Arbórea	
	0	1	0	52	4	1	58	89,66	10,34	d = Voçoroca	
	3	0	0	2	46	1	52	88,46	11,54	e = Vegetação presente na Voçoroca	
	0	3	0	3	1	34	41	82,93	17,07	f =Solo Exposto	
Total	45	38	41	57	53	38	272	AU = Acurácia do Usuário ; AP = Acurácia do Produtor; EC = Erro de Comissão ; EO = Erro de Inclusão			
AP	91,11	89,47	100,00	91,23	86,79	89,47	EG = 91,18				
EO	8,89	10,53	0,00	8,77	13,21	10,53					

Na área 01, como podemos ver na Tabela 8, com os erros de comissão e omissão apresentados, destaca-se como maior erro de comissão a classe Solo Exposto (e) com 19,57%. As classes que foram mais incluídas erroneamente como Solo Exposto(e) foram Telhado de Amianto(f) e Asfalto(c), além das demais, mas com destaque para essas duas. Como é perceptível a cor da classe Telhado de Amianto(f) é muito parecido com a cor do solo, tal fato era de se esperar como fator de confusão entre as classes. A confusão com o asfalto fica por conta da proximidade entre

este e o solo exposto, podendo ser um fator de confusão.

No que tange ao erro de omissão destaca-se a Classe Telhado de Amianto(f) com valor de 13,33%, esta classe foi muito confundida com Solo Exposto(e) e Voçoroca(d). Vale ressaltar que a omissão está associada com a acurácia do produtor, e diz respeito à exclusão de uma classe à qual ela pertence de fato.

Na figura 8, referente a área 01, existe uma heterogeneidade maior dos seguimentos. Tal fato contribuir para que haja uma dispersão na confusão espectral, pois há seguimentos com características distintas, porém muito

próximas. Não se pode afirmar que este é o fator principal de confusão, mas é um dos que tornam a classificação mais complexa. Ainda, na figura 8, é possível ver que algumas confusões espectrais entre Asfalto(c) e Telhado de Fibrocimento/ Metálica(d) foram as mais comuns por ambos possuírem cores acinzentadas, porém na matriz confusão isso representa um número de amostras pequenas. Isso se dá devido aos segmentos do asfalto ser mais uniformes.

A pastagem se mostrou a mais homogênea das classificações. A voçoroca e solo exposto, apesar das características espectrais bem parecidas, foram bem discriminados, não havendo uma confusão significativa no objeto de estudo. Os resultados para esta área foi de uma IK de 0,92(92%) e Exatidão Global(EG) de 93,99%

Vale ressaltar que quando se aplica o algoritmo Spectral Difference, alguns segmentos, com maior nível de semelhança, se juntam formando um único segmento, maior. Este efeito faz com que, quando houver uma confusão entre classes, na matriz confusão, embora apareça um único segmento de confusão, este capaz de compreender uma grande área.

Pela Tabela 9, que apresenta a matriz confusão, com os respectivos erros de comissão e omissão, da área 02, podemos verificar que o maior erro de comissão esta na classe solo exposto(f), cujo apresenta um valor de 17,07%, sendo incluídos erroneamente nesta classe as classes de Voçoroca(d), Vegetação Presente na Voçoroca (e) e Rodovia(b). Já no que tange os erros de omissão, ou seja, erros referentes a acurácia do produtor, destaca-se a classe Vegetação Presente na Voçoroca(e) com valor de 13,21%, ou seja houve uma exclusão de uma área desta classe, à qual ela pertencia de fato, neste caso a omissão teve na sua maioria a confusão com a classe Voçoroca(d), como era de se esperar. Já que a classe

Vegetação presente na Voçoroca(e) se encontra dentro da mesma.

Na figura 9 (área 02) é possível observar uma classificação bem mais homogênea em relação à figura 8 (área 01). A construção dos segmentos foram realizados da mesma forma (com os mesmos parâmetros), porém é possível ver resultados distintos. Isso se dá pelas regiões de estudo e áreas do objeto de estudo possuir características diferentes, apesar de ser o mesmo elemento estudado (voçoroca). Ressalta-se aqui, a complexidade de um padrão para delimitar um tipo específico de objeto de estudo, como a voçoroca. Apesar de teoricamente as características serem bem definidas, na prática existe uma complexidade na interpretação computacional no que tange ao processamento digital de imagens. Nota-se que há uma pequena confusão entre asfalto e voçoroca. A maior confusão ficou dentro das classes de vegetação presente na voçoroca(e), porém, ambas as classes modelam o elemento voçoroca e isso faz com que não seja um problema significativo. A vegetação rasteira(a) e a vegetação arbórea(c) se mostraram bem definidas e sem significativas confusões entre si. O IK desta área foi de 0,89 (89%) e EG de 91,18%.

Embora as classificações apresentem algumas confusões é possível verificar bons resultados de índice Kappa e Exatidão Global para ambas as áreas., com um valor ($kappa > 0,8$), cujo é considerado ótimo visto nos estudos de Congalton (1991), Foody (1992), Fonseca (2000), Bernardes (2006), Figueiredo e Vieira (2007).

Nos estudos de Tedesco (2005) é possível ver resultados semelhantes no que tange a acurácia global (82%) e índice Kappa 0,75, para uma de suas áreas de estudo. No entanto vale ressaltar que as metodologias do estudo dá autora apresenta métodos diferentes. Não sendo objeto de comparação, mas sim de material complementar no que tange a delimitação de voçorocas por meio de

GEOBIA e mineração de dados. Os estudos de Anjos (2016) apresentam resultados com valores de índice Kappa entre de 0,6712 a 0,7857, e de Exatidão Global variando de 70,07% a 81,52% utilizando a GEOBIA e Mineração de dados em imagens hiperespectrais.

A mineração de dados tem duas etapas primordiais, sendo a primeira, a seleção dos atributos mais relevantes, mediante o ranqueamento proposto pelos algoritmos

4. CONCLUSÕES

Ao considerar que as áreas degradadas possuem características distintas, onde a área de estudo 01 apresenta uma voçoroca menos homogênea, em área urbana, derivada de ruas de loteamento abertas e abandonadas e a área de estudo 02 encontra-se em área rural, com o elemento voçoroca mais homogêneo e proveniente de atividades do sistema agrosilvopastoril, é possível afirmar que a metodologia proposta neste estudo foi efetiva para a determinação da existência da voçoroca.

Deve-se salientar que ambas as áreas foram bem delimitadas pelas imagens obtidas e, por consequência, os produtos cartográficos apresentaram uma boa classificação em relação aos padrões PEC-PCD. Sendo ambas as áreas classificadas na Classe A, em escala 1/2.000, tanto na planimetria quanto na altimetria.

Destaca-se a qualidade posicional dos produtos cartográficos gerados com Phantom4, o qual é um produto de baixo custo em relação a outras fontes de obtenção de informações, tendo grande capacidade de obter dados com precisão planialtimétrica e altimétricas.

É importante ainda salientar que a coleta de dados com receptores GNSS com as portadoras L1/L2 permitiu obter a precisão da coleta das coordenadas dos pontos de

existentes no software WEKA 3.8. A segunda etapa é a aplicação do algoritmo C 4.5 sobre esses atributos, a fim de que fosse gerada a árvore de decisão. Foi possível perceber que existe uma relação entre número de atributos e com a precisão obtida da árvore de decisão. Alguns estudos afirmam que esta relação no sentido de que, quanto mais atributos existem em uma árvore, maior será a sua precisão, chegando a um nível de estagnação, denominado efeito Hughes (Hughes 1968).

controle da ordem centimétrica, vide a precisão do equipamento (Seção 2). Isso contribuiu com a validação dos produtos cartográficos em relação ao PCD, bem como na construção dos próprios produtos cartográficos. Essas etapas são primordiais para garantir que o objetivo do trabalho seja alcançado.

Os parâmetros de segmentação de imagens apresentados se mostraram suficientes para a discriminação das classes propostas no planejamento da classificação. A combinação dos algoritmos Multiresolution e Spectral Difference permitiu obter um resultado significativo em termos de homogeneização dos segmentos, facilitando a aquisição de amostras para a classificação e mineração dos dados.

A extração de atributos é uma abordagem essencial dentro do trabalho proposto, visto que existe uma grande gama de atributos no software utilizado, havendo infinitas possibilidades de obter informações sobre um determinado objeto.

A delimitação de voçorocas por meio de GEOBIA e mineração de dados, utilizando os produtos cartográficos de ARP, são satisfatórias a um determinado nível de classificação. A resolução espacial e espectral (RGB) dos produtos cartográficos de ARP tem um bom papel na segmentação de objetos, permitindo que, conseqüentemente, sejam extraídos atributos com mais fidedignidade. A

abordagem GEOBIA demonstrou-se adequada para aplicações com os produtos derivados de ARP.

As técnicas de mineração de dados (seleção de atributos e árvores de decisão), por sua vez, são ferramentas que oferecem uma classificação a partir de regras de decisão. Implica que com o uso de mais parâmetros é possível determinar modelos de classificação para voçorocas. Sendo a voçoroca um elemento de natureza complexa, tanto pela sua definição quanto por suas características físicas, resultados desta natureza seriam de grande valia para os órgãos ambientais do país.

Por fim, pode-se considerar que esta pesquisa colabora com a literatura, podendo, ser continuada com a realização de estudos mais complexos sobre esta temática, os quais futuramente permitirão obter resultados mais robustos no que tange a delimitação de áreas degradadas do tipo voçoroca, utilizando imagens oriundas de ARP. É possível delimitar voçorocas por meio de GEOBIA e mineração de dados, utilizando produtos cartográficos oriundos de ARP.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a FAPEMIG e a UNIFEI pelo apoio fundamental para a minha pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANJOS, C. S. dos. Classificação de áreas urbanas com imagens multiespectrais e hiperespectrais utilizando métodos não-paramétricos. 2016. 382 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, 2016.

BERNARDES, T. Caracterização do ambiente agrícola do Complexo Serra Negra por meio de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, UFLA, Minas Gerais, 2006, 119p.

BERTALAN, L.; TÚRI, Z.; SZABÓ, G. UAS photogrammetry and object-based image analysis (GEOBIA): erosion monitoring at the Kazár Badland, Hungary. *Landscape & Environment*, Debrecen, v. 10, n. 0, p.169-178, 2016.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, v. 49 n. 12, p. 1671-1678, 1991.

D'OLEIRE-OLTMANN, S., EISANK, C., DRĂGUȚ, L.; SCHROTT, L.; MARZOLFF, I.; BLASCHKE, T. Object-based landform mapping at multiple scales from digital elevation models (DEMs) and aerial photographs. *Proceedings of the 4th GEOBIA*, Rio de Janeiro, v.7.n.9, p.496-500, 2012.

DEFINIENS. *Definiens Developer 7: reference book*. Munique: Definiens AG, 2007. 195 p. Disponível em: . Acesso em: 09 Out. 2020

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 13, 2007, Florianópolis. *Anais Eletrônicos...* Florianópolis: INPE, 2007. p. 5755-62.

FONSECA, L. M. G. *Processamento digital de imagens*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2000. 105p.

FOODY, G. M. On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 58, n. 10, p. 1459-1460, 1992.

HUGHES, G. F. 1968. On the mean accuracy of statistical pattern recognizers. *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-14, 55-63 p.

OLIVEIRA, J. B. *Pedologia Aplicada*. 4ª ed. Piracicaba: FEALQ, 2011. 592 p.

RIBEIRO, S. R. A.; CENTENO, J. A. S. Integração de imagens digitais, dados gamaespectrométricos e complementares a fim de separar unidades geológicas 49 utilizando redes neurais artificiais e uma

abordagem baseada na análise de regiões. In: Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 12., 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3571-3578. Disponível em: . Acesso em: 09 Out. 2020

SHRUTHI, R.B.V. et al. Quantifying temporal changes in gully erosion areas with object oriented analysis. *Catena*, p.262-277, jan. 2015.

SOUSA, A.T.; FERREIRA, I.M. Diagnóstico de voçorocas em área de pastagem no município de Morrinhos (GO). *Espaço em revista*, São Paulo, v. 19, n. 2. , p.68-85, 2017.

TEDESCO, A. Delimitação de voçoroca com imagens de alta resolução e ALS por meio de árvore de decisão e GEOBIA. 188 f. Dissertação (Mestrado em Geomática), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

TSCHIEDEL, A.F. et al. Construção de um modelo digital de superfície de uma voçoroca a partir do uso de Drone. In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Anais... Vitória: ENES, 2018. p.1-8.

Submetido em 11/04/2021

Aceito em 09/07/2021