

IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS LINEARES NO DISTRITO FEDERAL ATRAVÉS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS E GEOPROCESSAMENTO

Bruno Eduardo Nóbrega de OLIVEIRA¹, Eraldo Aparecido Trondoli MATRICARDI¹
Henrique Marinho Leite CHAVES¹, Edilson de Souza BIAS²

(1) Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília. Campus Darcy Ribeiro. Brasília, DF – Brasil, 70910-000. Endereço eletrônico: ematricardi@gmail.com.

(2) Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. Campus Darcy Ribeiro. Brasília, DF – Brasil, 70910-000

Introdução

Metodologia

Caracterização da área de estudo

Base de dados

Métodos

Mapeamento das ravinas e voçorocas

Checagem de campo e avaliação de acurácia

Análise espacial

Resultados e discussão

Conclusões

Referências bibliográficas

RESUMO - Nos últimos anos, devido ao aumento da conversão de áreas naturais em áreas agrícolas e urbanas no Distrito Federal, os processos erosivos resultantes de ações antrópicas vêm se acelerando. Neste estudo, foram mapeadas as ravinas e voçorocas no Distrito Federal, com base em interpretação visual de fotografias aéreas, obtidas em 2009, e geoprocessamento. A acurácia do mapeamento, através de checagem a de campo, foi de 67 %. A análise do tamanho e forma das ravinas e voçorocas mapeadas indica que predominam as de menor área, com um padrão intermediário entre uma linha e um círculo (dimensão fractal entre 1,6 e 1,8). Tais características parecem estar relacionadas ao início de processos de erosivos na área de estudo, que tendem a se intensificar nos próximos anos se nada for feito para o seu controle e mitigação. Os resultados deste estudo mostraram também que as voçorocas têm 99% de probabilidade de ocorrerem de forma agrupada, indicando que existem fatores locais que influenciam a sua ocorrência, os quais precisam ser mais bem entendidos.

Palavras-chave: Sistema Geográfico de Informação (SIG), Fotografias aéreas, Voçorocas, Ravinas, Distrito Federal, Erosão de Solos.

ABSTRACT - The erosion processes has been increasing in the last years in the District Capital of Brazil, as a result of increasing deforestation for crop fields and urban lands, In. This study conducted an eye-examination to detect gullies and rills using aerial photographs acquired in 2009 and geoprocessing techniques within the District Capital of Brazil. By conduction the accuracy assessment based on field work data we estimated an overall accuracy of 67% for the Map of Gullies and Rills. The size and shape analysis of gullies and rills indicates that they are spatially clustered at 99% probability in the study area, predominantly characterized by smaller size classes and intermediate shape between a line and a circle (fractal dimension between 1.6 to 1.8). Based on these results, it seems that there is a beginning process of soil erosion in the study area that is likely to increase in the coming years if little or nothing is done to

control and mitigate it. This clustered pattern indicates that local factors might be affecting its spatial distribution that yet should be better understood.

Keywords: Geographic Information System (GIS); Aerial photographs; Gullies, Rills, District Capital of Brazil, Soil Erosion.

INTRODUÇÃO

Os processos erosivos lineares são processos naturais causados pela chuva e enxurrada, e gerando grandes impactos ao meio ambiente. As ações antrópicas são responsáveis pelo aumento potencial destes impactos, tendo como resultados desde pequenas fendas no solo até grandes voçorocas. Os efeitos destes processos erosivos são o assoreamento de rios, lagos e barragens, perda de solos, queda na fertilidade dos solos, desbarrancamento de estradas e moradias.

Ravinas e voçorocas podem ser consideradas como incisões que resultam da tendência de sistemas naturais a atingir um estado de equilíbrio entre energia disponível e eficiência do sistema em dissipar energia. Quando um sistema natural não é eficiente para dissipar a energia disponível, o sistema se adapta, de modo a atingir um novo estado de equilíbrio. (GUERRA, 2005).

As ravinas ocorrem a partir do momento em que a velocidade do fluxo concentrado excede os 30 m/s (ELLISON, 1947), quando este adquire um regime turbulento e origina-se uma incisão ao longo da linha de fluxo. O aumento do gradiente hidráulico pode ser devido ao aumento da intensidade da chuva, ao aumento do gradiente de encosta e ainda porque a capacidade de armazenamento foi excedida. O canal formado não é funcional e seu talvegue é intermitentemente aprofundado, atingindo inicialmente os horizontes inferiores do solo e, em seguida, a rocha mãe (FOURNIER, 1960).

Ravinas seriam incisões de até 50 centímetros de largura e profundidade. Acima desses valores, as incisões seriam chamadas de voçorocas. Segundo o Instituto Paulista de Tecnologia, ravinas seriam canais criados pelo escoamento superficial e voçorocas canais esculpidos pelo afloramento do lençol freático (GUERRA, 2005). No entanto não é objetivo

deste trabalho fazer uma diferenciação entre ravinas e voçorocas, apenas mapear estas feições. Segundo ROHLF & MEADOWS (1980), testes realizados em laboratório mostraram que um modelo puramente hidráulico subestimou a descarga de sedimentos e a área da seção transversal atingida pelos processos erosivos. Este fato pode indicar que processos diferentes da erosão hidráulica ocorrem nos sulcos, um destes processos é o desmoronamento das paredes laterais dos sulcos. GOVERS (1987), através da pesquisa em sulcos naturais na Bélgica, observou que um pouco menos da metade do sedimento total dentro dos sulcos e voçorocas era originário do movimento de massa.

CHAVES (1994) apresentou um método estocástico que incluiu os processos hidráulicos de degradação do canal de instabilidade dos taludes e um modelo probabilístico de capacidade/demanda. O método considera a variabilidade espacial e a correlação entre os parâmetros do solo, o que permite estimar a quantidade de solo removido pela erosão hidráulica e por desmoronamento de taludes durante um evento erosivo. Ainda de acordo com mesmo autor, as vantagens do método são a separação dos processos de erosão hidráulica e por movimento de massa, e o emprego de uma rotina probabilística para a estimativa da probabilidade de falha das paredes laterais do sulco.

O objetivo do presente trabalho foi mapear as principais ravinas e voçorocas do Distrito Federal, usando fotos aéreas e geoprocessamento. Os resultados podem subsidiar o planejamento e controle da erosão hídrica, bem como a prevenção de acidentes pelas instituições responsáveis de defesa civil que atuam no Distrito Federal.

METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

A área de estudo envolve todo o território do Distrito Federal, situado no planalto central, na região centro-oeste do Brasil, cobrindo uma área total de 5.814 km²,

localizado entre os rios Descoberto e Preto, limitados pelos meridianos 48°15' e 47°20' de Longitude Oeste e pelos paralelos 15°30' e 16°03' de Latitude Sul (CODEPLAN, 1971). Ver Figura 1.

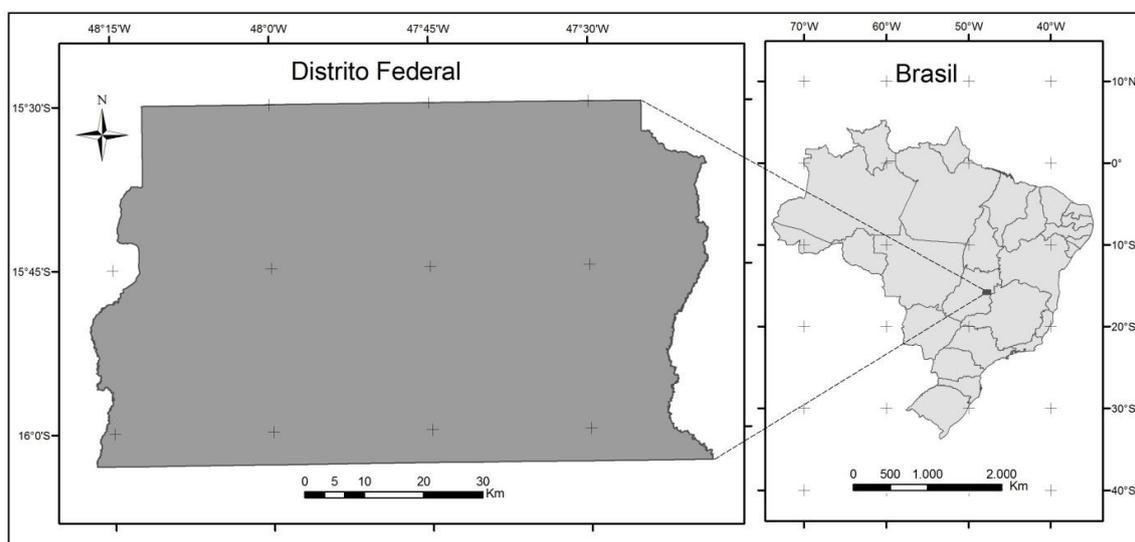


Figura 1. Localização da área de estudo

De acordo com as descrições e análises climatológicas realizadas por MARTINS & BAPTISTA, (1998), o Centro-Oeste sofre influência tanto de sistemas tropicais das latitudes baixas, como de climas do tipo temperado das latitudes médias. Possui uma estação seca bem definida no inverno e estação chuvosa no verão (chuvas convectivas). Com base na classificação de Köppen, o tipo

climático predominante na região é o tropical úmido – AW – que abrange a maior parte do estado e é caracterizado por uma estação chuvosa no verão e uma estação seca no inverno, com média de precipitação maior que 1100 mm de chuva por ano. (CODEPLAN, 1984). A Tabela 1 mostra as médias de precipitações mensais medidas entre 1961 e 1990.

Tabela 1 – Média mensal de Precipitação Pluviométrica da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em milímetros, entre os anos de 1961 a 1990.

Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Total	241	215	189	124	39	9	12	13	52	172	238	249

A área de estudo está localizada integralmente no domínio do bioma Cerrado. Destaca-se que no Distrito Federal ocorrem todas as fitofisionomias descritas por RIBEIRO et al.(2008), todavia as formações rupestres (campo e cerrado), a mata seca, o parque de cerrado e as veredas podem ser consideradas mais raras e apresentam ocorrências pontuais dentro do território.

O Distrito Federal está situado na região central da Faixa de Dobramentos e

Cavaleamentos Brasília, e na sua transição entre as porções externa e interna, sua região apresenta uma complexa estratigrafia, em virtude da estruturação geral e de sua posição dentro da Faixa Brasília, que inclui importantes falhas de empurrão, sucessivos cavaleamentos, interferência de fases ortogonais de dobramentos e variações de espessuras de conjuntos litológicos, que dificultam o estabelecimento do empilhamento original. No âmbito do Distrito Federal, são reconhecidos

quatro conjuntos litológicos no contexto regional da Faixa Brasília, incluindo parte dos grupos Canastra, Paranoá, Araxá e Bambuí. Nesse sentido, a geologia do Distrito Federal é composta por rochas atribuídas aos grupos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí, respectivamente contribuindo com cerca de 65%; 15%; 5% e 15% de sua área total, respectivamente (ZEE-DF, 2011).

A área estudada está localizada no Planalto Central do Brasil, onde se localizam as cabeceiras dos três maiores rios brasileiros: Maranhão, afluente do Rio Tocantins; o Rio Preto, afluente do Rio São Francisco; os rios São Bartolomeu e Descoberto, tributários do Rio Paraná. De acordo com AB'SABER (1977), no contexto regional, o Distrito Federal está inserido no domínio morfoclimático do Cerrado cujas características geomorfológicas teriam resultado de uma prolongada interação de regimes climáticos tropical semiúmido com fatores litológicos, edáficos e bióticos. MARTINS & BAPTISTA (1998) demonstrou que os processos de geração e degradação das couraças presentes nos rebordos das chapadas do Distrito Federal, são processos ativos ainda hoje, e estão associados com uma intensa latossolização da região, e cuja morfogênese resulta na denudação lenta e constante dos planaltos, provocando o rebaixamento progressivo de toda a região. Dessa forma, caracterizou a região do Distrito Federal como um planalto dissecado. NOVAES PINTO (1994) reconheceu no Distrito Federal três macrounidades (domínios geomorfológicos) que englobam 13 unidades. As macrounidades foram denominadas de A = Região de Chapadas, B = Área de Dissecção Intermediária e C = Região Dissecada de Vale.

Com base no mapeamento de solos executado pelo Serviço Nacional de Levantamento de Solo (EMBRAPA, 1978), na escala 1:100.000, o Distrito Federal tem sua superfície territorial distinguida em dois núcleos em função dos tipos de coberturas. O primeiro é caracterizado pelo conjunto de tipos pedológicos mais abundantes, no qual a representatividade espacial se expressa em torno de 85% e é constituído pelas seguintes classes de solos: Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo háplico. Já o segundo grupo, o qual abrange

aproximadamente 15% do território, refere-se aos demais tipos de solos identificados dentro dos limites do DF como classes de Nitossolo, Chernossolo, Gleissolo, Organossolo, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Flúvico e Neossolo Litólico, além de Plintossolo.

Base de dados

Como base cartográfica para a interpretação visual do mosaico de imagens de satélite, obtidas em agosto de 2009, elaborado pela empresa TOPOCART. O imageamento de todo o território do Distrito Federal foi realizado com câmera digital de grande formato, composta por 2.276 imagens, com resolução espacial de 25 centímetros, compostas por 4 bandas: 3 bandas do intervalo espectral da região do visível (RGB) e 1 banda do infra-vermelho próximo para geração das imagens finais, com recobrimento longitudinal de 60% e lateral de 30%, e 36 faixas de vôo no sentido norte-sul. A câmara utilizada foi a Ultracam XP, GSD de 25cm (TERRACAP, 2011).

A câmera possui um quadro de aquisição de imagem de 17.310 X 11.310 pixels, um total de 196 megapixels em 13 CCD's, possibilitando a captação de imagens métricas com resolução real de até 2 cm. Ela conta com duas unidades de armazenamento capazes de arquivar 6.6 mil imagens e seus sensores fazem captação multiespectral em canais independentes (PAN, RGB e NIR), permitindo o processamento das fotos em P&B, cor e infra vermelho. Ela opera acoplada a GPS de dupla frequência e IMU (Inertial Measurement Unit) (TOPOCART, 2011).

O vôo foi apoiado composto por 40 pontos pré-sinalizados - GCP's (Ground Check Point), ocupados por receptores GNSS geodésicos de dupla frequência L1/L2, diminuindo o total de apoio de campo, pontos de aerotriangulação e aumentando a precisão e qualidade dos produtos. Foram utilizados 80 marcos de apoio básico com o sistema de Referência SIRGAS-2000,4. A imagem final utilizada passou pelo processamento digital *pan sharpening*, onde as imagens captadas com os sensores na faixa do visível (vermelho, verde e azul) e a imagem captada pelo sensor no infravermelho foram fundidas com a imagem PAN, gerando uma imagem única. Para

facilitar a manipulação da imagem em ambiente de SIG, a resolução espacial da imagem foi reamostrada, no presente estudo, para um metro quadrado por pixel..

Adicionalmente, foram utilizados mapas em formato vetorial (*shapefile*), produzidos durante o trabalho do Zoneamento Econômico-Ecológico do Distrito Federal (ZEE-DF), onde foram identificados, visualmente, 435 pontos de prováveis ravinas e voçorocas. Estes pontos foram utilizados como referência e ponto de partida para o mapeamento das áreas com processos erosivos.

Métodos

Mapeamento das ravinas e voçorocas

Para facilitar a análise e o mapeamento visual das feições erosivas, o Distrito Federal foi subdividido em 1496 quadrantes, onde 1325 destes apresentaram dimensões de 2,62 km por 1,55 km de, com área de 407,7 hectares. Outros 171 quadrantes apresentaram área inferior a 407 hectares, pois estavam localizados nas proximidades dos limites do Distrito Federal com outros estados. Deste modo, os quadrantes foram numerados de 1 a 1496.

A subdivisão da área de estudo em quadrantes foi importante para evitar erros na detecção de feições que representasse ravinas ou voçorocas, considerando a extensa dimensão territorial e da grande quantidade de informações contidas nas aerofotografias da área de estudo.

No mosaico de fotografias aéreas, as áreas de potenciais de ravinas e voçorocas, previamente identificadas na imagem de

satélite, tiveram seus contornos identificados visualmente.

O processo de digitalização dos polígonos foi feito manualmente em tela de alta resolução, utilizando o software *ArcGIS 9.3*®. Inicialmente, foi criado um arquivo vetorial, tipo polígono e com sistema de projeção SICAD, Datum CHUÁ,. Em seguida, foram adicionados a esta vista o mosaico de aerofotos e os arquivo vetorial, contendo os quadrantes para apoio a interpretação visual.

Por fim, o mapeamento das feições de voçorocas e ravinas foi realizado a partir de varreduras no sentido da esquerda para a direita e de baixo para cima, iniciando pelo quadrante 1, localizado no canto inferior esquerdo da área de estudo. O mapa foi produzido em escala de trabalho média de 1:6.000, chegando em muitos casos a 1:1.000, de forma a possibilitar melhor inspeção visual das menores feições no terreno.

Em cada feição representando uma ravina ou voçoroca encontrada, utilizou-se o editor de polígonos do sistema *ArcGIS*®. Assim, cada polígono foi gerado de forma individual, vinculado a uma tabela de atributos não espacial. Em alguns casos, foram utilizadas como apoio complementar imagens adicionais de alta resolução espacial, disponíveis na plataforma eletrônica Google Earth, de forma a eliminar potenciais dúvidas da interpretação visual das feições erosivas.

A Figura 2 mostra um exemplo de feição de uma voçoroca identificada no mosaico de ortofotos, na escala de 1:1.000, enquanto que a Figura 3 mostra uma fotografia da mesma voçoroca no campo.



Figura 2. Voçoroca vista na ortofoto



Figura 3. Fotografia da voçoroca da figura 2 no campo

As propriedades analisadas na interpretação visual das ortofotos, para identificação das ravinas e voçorocas, envolveram as formas, tonalidades, texturas, sombras e localização das feições de interesse na área de estudo. Em geral, estes fenômenos apresentam-se em forma linearizada a serpenteada e, em algumas feições maiores, são observados formatos circulares, com pelo menos uma das faces sombreada.

O sombreamento produz um efeito visual de profundidade (3D) nas áreas de voçoroca na imagem (ver Figura 2), que varia de acordo com a posição do sol no momento da aquisição da ortofoto. Além disso, as feições de estudo também apresentavam uma grande diferenciação de cor e textura em relação aos pixels vizinhos, com padrões típicos de solo exposto, de cor mais clara, apresentando alto brilho dos alvos, exceto os casos em que haviam formas de vegetação na parte mais profunda e em certas encostas de ravinas ou voçorocas.

Checagem de campo e avaliação de acurácia

Uma amostragem aleatória com 30 pontos foi feita em todo o território do Distrito Federal. As amostras aleatórias foram geradas através da ferramenta automática *create*

random points, do Arcgis 9.3®. Todos os 30 pontos selecionados foram checados a campo. Estes pontos foram utilizados para a estimativa da acurácia do mapeamento realizado.

O modelo estatístico utilizado para estimativa da acurácia da classificação foi a acurácia total, que considera o total de acertos da classificação em relação ao total de pontos amostrados em campo, o que indica a exatidão do classificador para fins de mapeamento de ravinas e voçorocas na área de estudo, a partir de imagens de alta resolução.

Análise espacial

A análise da forma, do tamanho e da dispersão dos polígonos de voçorocas e ravinas é necessária para se tentar encontrar padrões que possam auxiliar na explicação da ocorrência destes fenômenos erosivos no espaço.

Quanto ao tamanho, os polígonos foram divididos nas seguintes classes: < 100m²; de 100 a 200m²; de 200 a 300m²; de 300 a 400m²; de 400 a 500m²; de 500 a 600m²; de 600 a 700m²; de 700 a 800m²; de 800 a 900m²; de 900 a 1000m², de 1000 a 2000m², e >2000m².

Para a análise da forma dos polígonos, foi utilizada a dimensão fractal, conforme proposta por TURNER et al. (2002):

$$Df = \frac{\ln(A)}{\ln(P)} + \ln(K) \quad [1]$$

Onde: Df = dimensão fractal da feição; K = 0,25 (constante); A = Área (m²); P = Perímetro (m) da feição.

O cálculo da dimensão fractal foi realizado utilizando a ferramenta *Map Algebra*

disponível no software ArcGIS 9.3®. De acordo com TURNER et al. (2002), os valores de Df próximos de 1 se aproximam da forma linear, enquanto que os próximos a 2 se aproximam da forma circular. A Figura 4 ilustra as das formas.

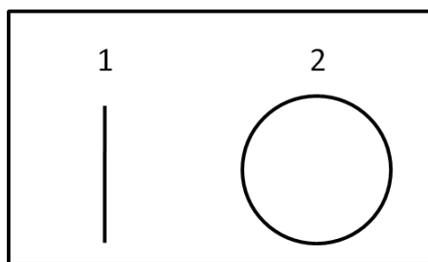


Figura 4. Formas de acordo com a dimensão fractal de TURNER et al. (2002),

Para a análise da dispersão dos polígonos de ravinas e voçorocas, utilizou-se o a ferramenta *average nearest neighbor*, do Arcgis 9.3®, selecionando-se o método da distância euclidiana.

Essa ferramenta mede a distância entre o centroide de cada feição e o centroide do vizinho mais próximo. Se a distância média é menor que a média por uma distribuição aleatória hipotética, a distribuição das feições

que estão sendo analisadas serão consideradas agrupadas (*clustered*). Por outro lado, se a distância média é maior que a distribuição aleatória hipotética, as feições são consideradas dispersas.

De acordo com Ebdon (1985), a taxa da média do vizinho mais próximo (*average nearest neighbor*) pode ser estimada com as seguintes equações:

$$ANN = \frac{\bar{D}_o}{\bar{D}_e} \quad [2]$$

Onde \bar{D}_o (m) é a média da distância entre cada feição observada e o seu vizinho mais próximo:

$$\bar{D}_o = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad [3]$$

E \bar{D}_e é a distância média esperada para as feições dado um padrão aleatório:

$$\bar{D}_e = \frac{0.5}{\sqrt{\frac{n}{A}}} \quad [4]$$

Nas equações anteriores, d_i é igual a distância entre a feição i e a feição mais próxima, n corresponde ao número total de feições e A é a área de estudo total. A figura abaixo ilustra a diferença entre dados dispersos e agrupados.

De acordo com a equação de BROOKS (1958), o número mínimo de amostras necessárias para representar um determinado processo, em bases probabilísticas, é dado pela seguinte equação:

$$n = \frac{\log(1 - S)}{\log(1 - a)} \quad [5]$$

Onde: n = o número de amostras para determinada probabilidade;
 S = probabilidade amostral;
 a = proporção do espaço total amostrado;

No presente estudo, foram usados valores de $S = 0,09$ e $a = 0,075$, resultando em um número de 30 amostras aleatórias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um total de 1094 ravinas e voçorocas foi mapeado no Distrito Federal em 2009. Estas feições ocupavam uma área total de 64,88 hectares, correspondentes a 0,01% da superfície da área estudada (ver Figura 5). Apesar de ser

uma fração relativamente pequena, as feições mapeadas correspondem a áreas altamente impactadas e de difícil recuperação (FERREIRA et. al, 2009; GUERRA, 2005; PRUSKI, 2009).

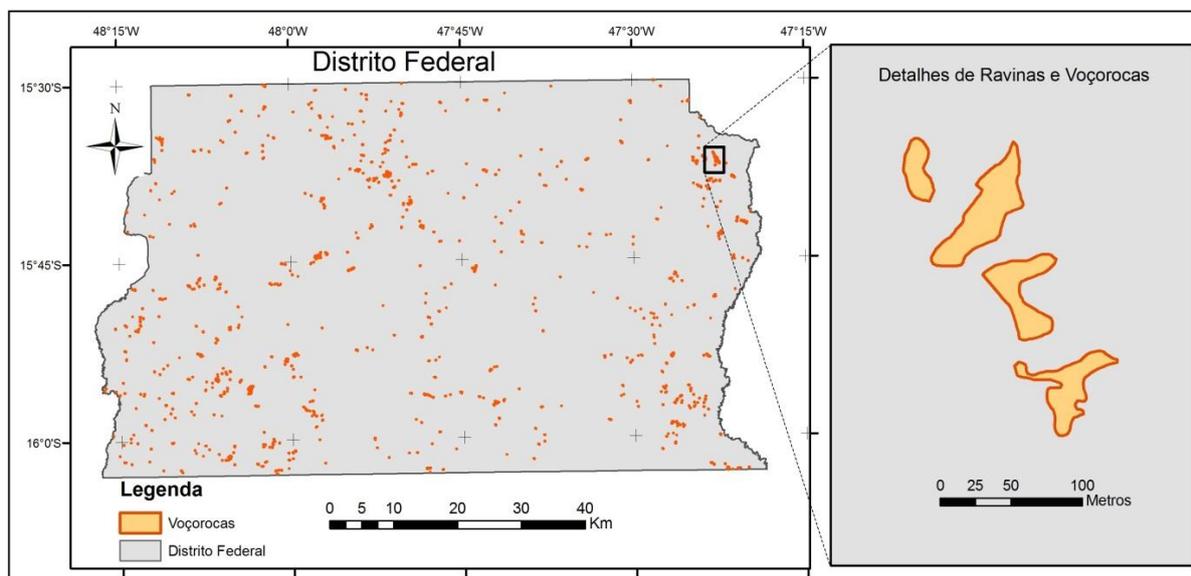


Figura 5. Distribuição espacial das ravinas e voçorocas mapeadas no Distrito Federal em 2009.

Dentro da área classificada como ravinas ou voçorocas neste estudo, 30 pontos foram checados em campo, sendo que 20 foram confirmados como feições de voçorocas e ravinas e 10 representavam outras feições de

solo exposto, porém sem evidências deste tipo de erosão (Figura 6). O tamanho da amostra em campo utilizada para validação do mapeamento representa cerca de 2,7% da população total e a acurácia foi de 67%.

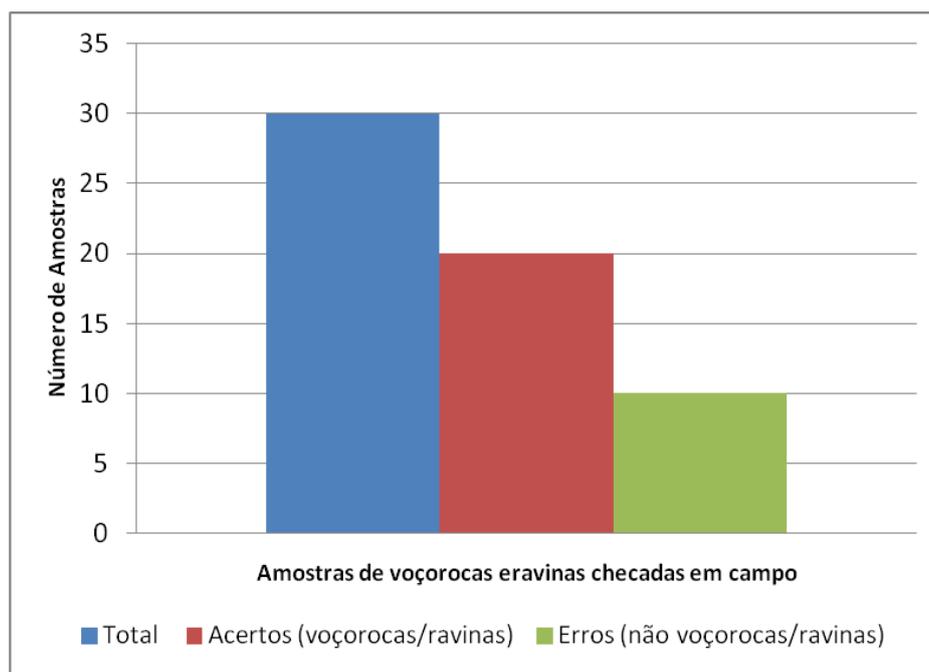


Figura 6. Acurácia da classificação de voçorocas ou ravinas a partir de checagem de campo

Os fatores que mais contribuíram com os erros de classificação foram as sombras das diferentes formas de relevos e tipos de uso e cobertura da terra na área de estudo. Os relevos mais acidentados e com maior quantidade de sombras presentes nas imagens de satélites utilizadas levaram a identificação errônea de voçorocas e ravinas. Além disso, muitos casos de áreas degradadas com solo exposto e trilhas ou estradas foram confundidos com feições de erosão em forma de voçorocas ou ravinas.

A Tabela 2 mostra a descrição de campo de cada um dos pontos checados, e a Figura 7 exemplifica uma feição que foi considerada uma voçoroca na checagem de campo, com

mais de 4 metros de altura e vários metros de comprimento, e que teve um aumento dos seus processos erosivos devido a descarga de uma manilha de águas pluviais no seu interior.

A Figura 8, por sua vez, mostra uma feição de uma estrada antiga com um talude de corte e solo exposto com presença de cascalho classificada como *não voçoroca*. Outros pontos da checagem de campo que também foram classificados como *não voçorocas*, foram áreas com solo exposto ocupadas por estradas abandonadas, taludes de corte e áreas de caixa de empréstimo de material para construção de estradas.

Tabela 2. Descrição dos pontos de campo

Ponto	Descrição	Voçoroca
1	Voçoroca de grandes proporções e extensão, mais de 4 metros de altura, Noroeste.	Sim
2	Voçoroca perto de curso d'água, profundidade de 4 metros, solo exposto.	Sim
3	Voçoroca de extensão considerável media de 1 metro de profundidade com locais mais fundos, presença de água e torrões de solo em trechos.	Sim
4	Área degradada, solo exposto, presença de voçoroca de profundidade considerável, não foi possível chegar mais próximo ao ponto.	Sim
5	Voçoroca com cerca de 1 metro de profundidade, sofre influencia da estrada, solo exposto.	Sim
6	Voçoroca com cerca de 1 metro de profundidade, sofre influencia da estrada, solo exposto.	Sim
7	Voçoroca com cerca de 1 metro de profundidade, presença de água no fundo.	Sim
8	Voçoroca próxima a pista, mais de 4 metros de profundidade e grande extensão, corrimento de água em alguns locais.	Sim
9	Voçoroca localizada no início de uma grotta seca, área com alta declividade, desce em direção à rede de drenagem.	Sim
10	Voçoroca em estágio inicial, beira da estrada, causada pelo acúmulo de água da chuva, chega até lagoa para gado.	Sim
11	Voçoroca na beira da estrada, paralela a via, comprometeu a cerca, 2 a 3 metros de profundidade.	Sim
12	Voçoroca aterrada por entulho, cerca de 1m de profundidade,	Sim

vegetação em regeneração.

13	Voçoroca com boca arredondada, presença de entulhos e vegetação em regeneração, mamona.	Sim
14	Barranco, não apresenta as características clássicas de uma voçoroca.	Não
15	Região de voçorocas, área degradada, voçoroca pequena a média, declividade de média a alta.	Sim
16	Não possui as características clássicas de um voçoroca, área de solo exposto / empréstimo para a rodovia, área em erosão.	Não
17	Área degradada, afloramentos, rocha exposta, mas não possui as características clássicas de voçoroca,	Não
18	Área degradada, afloramentos, rocha exposta, exploração mineral, mas não possui as características clássicas de voçoroca.	Não
19	Barranco, talude de corte, solo exposto, estrada abandonada, mas não possui as características clássicas de voçoroca.	Não
20	Barranco, talude de corte, solo exposto, estrada abandonada, mas não possui as características clássicas de voçoroca.	Não
21	Voçorocas e ravinas em estágio inicial, lagoa para gado, erosão das encostas, pastagens e solo exposto.	Sim
22	Área degradada, solo exposto, material pedregoso exposto, processo inicial de formação de ravinas e voçorocas	Sim
23	Área degradada, solo exposto, desbarrancamento, pastagem ao redor, mas não possui as características clássicas de voçoroca.	Não
24	Talude de corte da estrada, vegetação gramínea predomina sobre a feição, pastagem não possui as características clássicas de voçoroca.	Não
25	Voçoroca mais de 2 metros de profundidade, solo exposto, pastagem ao redor.	Sim
26	Voçoroca mais de 2 metros de profundidade, solo exposto, pastagem ao redor	Sim
27	Voçoroca pequena em torno de 1m de profundidade, solo exposto, pastagem ao redor.	Sim
28	Área degradada, solo exposto, afloramentos, formação de lagoas, barranco, não possui as características clássicas de voçoroca.	Não
29	Área degradada, afloramentos, rocha exposta, exploração mineral, mas não possui as características clássicas de voçoroca.	Não
30	Região de voçorocas, área degradada, voçoroca pequena a média, declividade de média a alta.	Sim



Figura 7. Exemplo de voçoroca real.



Figura 8. Exemplo de não voçoroca: estrada antiga e um talude de corte de estrada.

Em relação ao tamanho dos polígonos de voçorocas e ravinas, observou-se que a maior proporção das amostras apresentou uma

área entre 100 e 200 m². A distribuição das áreas das voçorocas e ravinas apresentou uma distribuição bimodal (Figura 9).

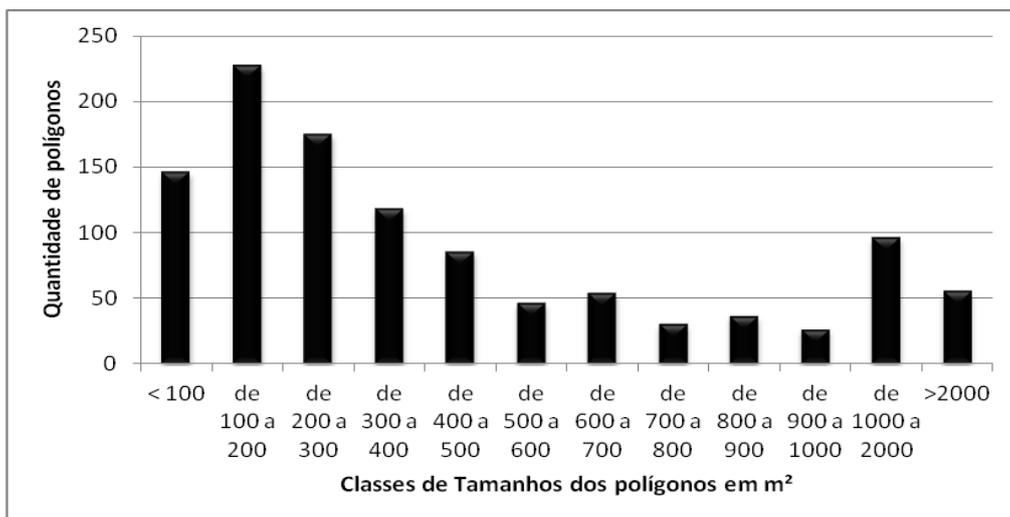


Figura 9. Gráfico de distribuição das classes de tamanho dos polígonos de ravinas e voçorocas

Quanto à forma dos polígonos identificados, observou-se que a maior frequência apresentava dimensão fractal entre 1,6 e 1,8. Isto indica que grande parte deles apresenta uma forma intermediária entre uma linha e um círculo, aproximando-se mais deste último.

Tais características devem estar relacionadas com a etapa inicial do processo

erosivo linear, que tende a aumentar nos próximos anos se medidas de controle de erosão não foram adotadas. De forma geral, a distribuição da quantidade de polígonos em relação às suas respectivas classes de forma, definida pela dimensão fractal, apresentou uma distribuição normal (Figura 10).

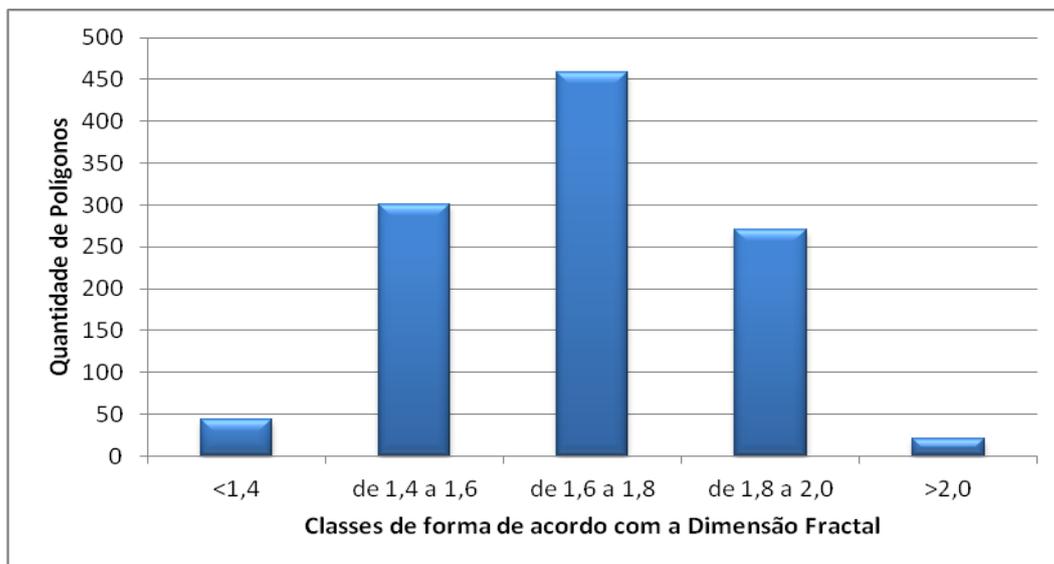


Figura 10. Gráfico da distribuição das classes da dimensão fractal

No tocante à análise de agrupamento das feições, observou-se que as áreas de ravinas e voçorocas no Distrito Federal estão significativamente (com 99% de probabilidade) agrupadas. Ou seja, existe menos de 1% de chance que a ocorrência destes fenômenos erosivos esteja distribuída de forma aleatória.

Este tipo de distribuição espacial indica que fatores locais, como geologia, geomorfologia e pedologia, estão influenciando sua ocorrência. A relação entre a ocorrência das voçorocas e ravinas e os fatores locais deve ser objeto de futuras investigações.

CONCLUSÕES

O mapeamento das feições erosivas do Distrito Federal é importante para a geração de uma base de dados georreferenciados e atualizados de onde as ravinas e voçorocas estão ocorrendo, para que se possam tomar medidas para conter e recuperação as áreas afetadas por estes fenômenos.

Checagens de campo em pontos aleatórios da área estudada indicaram que a acurácia de classificação foi de 67%, e que a maior parte das ocorrências de ravinas e voçorocas ainda é de pequeno porte (entre 100 m² e 200 m²).

Outra constatação foi que as áreas de ravinas e voçorocas apresentaram dimensões fractais intermediárias, entre 1,6 a 1,8, se aproximando de formas mais circulares. Isto pode ser explicado pelo pequeno tamanho predominante destas áreas atingidas por processos erosivos, indicando um estágio inicial da formação das ravinas e voçorocas.

Embora esta conclusão seja preliminar, foi possível observar que são necessárias medidas urgentes por parte do poder público e da sociedade para conter a expansão destes processos erosivos no Distrito Federal.

Em relação ao agrupamento dos polígonos mapeados, os resultados mostraram que as ravinas e voçorocas estão significativamente agrupadas, indicando a existência de fatores locais afetando as suas

ocorrências. Embora seja muito provável que tais fatores estejam relacionados a causas antropogênicas, ainda são necessárias investigações científicas adicionais para o melhor entendimento destes fenômenos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AB'SABER, A.N. (1977). **Os domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação**. Geomorfologia, v.53 p.1-23.
2. BROOKS, S.H. 1958. **A Discussion of random methods for seeking maxima**. Operations research 6(2):244-251.
3. CHAVES, H. M. L. (1994). **Método estocástico para a estimativa da erosão em sulcos e voçorocas**. Revista Brasileira de ciências do solo, Campinas, 18:285-294.
4. CODEPLAN - Companhia De Desenvolvimento Do Planalto Central. (1971). **Diagnóstico do Espaço Natural do Distrito Federal**. Brasília: Edição CODEPLAN, 388 p.
5. CODEPLAN - Companhia De Desenvolvimento Do Planalto Central. (1984). Atlas do Distrito Federal. Brasília: GDF, 78p.
6. CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1998. 137 p.
7. EBDON, D. (1985). **Statistics in Geography**. B. Blackwell. 232 p.
8. ELLISON, W.D. (1947). **Soil erosion studies part agricultural engineering**. [s. n.]: v. 28, n.4, p.145-146.
9. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1978). **Mapa de solos do Distrito Federal (1:100.000)**. Brasília: EMBRAPA-EPI. - Serviço de Produção de Informação.
10. FERREIRA, R. R. M.; FERREIRA, V. M.; TAVARES FILHO, J. ; RALISCH, R. (2007). **Origem e evolução de voçorocas em Cambissolos na bacia do alto Rio Grande, Minas Gerais**. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Gramado-RS. Anais.
11. FOURNIER, F. (1960). **Climat et erosion**. Paris: Press Universitaires de France, 1960 apud NISHYAMA, L. **Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento**. Seminários Gerais em Geotecnia(833). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 1995. 95 p.
12. GOVERS, G. (1987). **Spatial and temporal variability in rill development process at Huldenberg Experimental site**. In: BRYAN, R. B., ed. Rill erosion: processes and significance. Cremlingen, p.14-34. (Catena Suplem., 8.)
13. GUERRA, A. J. T. (2005). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 340p.
14. IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em Setembro de 2011.
15. INMET (Brasil). Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: set. de 2008.
16. MARTINS, E.S.; BAPTISTA, G.M.M. (1998). **Compartimentação geomorfológica e sistemas morfodinâmicos do Distrito Federal**. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. IEMA/SEMATEC/UnB: Brasília, Vol. 1, Parte II. 53p.
17. NOVAES PINTO, M. (1994). **Caracterização geomorfológica do Distrito Federal**. In: Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. 2. ed. Brasília: Editora UnB, p. 285-320.
18. RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T.; CARVALHO, A. M. (2008). **O conceito de savana e de seu componente Cerrado**. In: Cerrado: ecologia e flora. Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 19-45.
19. PRUSKI, F. F. (2009). **Conservação do solo e água : práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica** . 2ª ed. Atual. Viçosa: Editora UFV, 279p.
20. ROHLF, R. A. & MEADOWS, M. E. **Dynamic mathematical modeling of rill**

erosion. Proc. Symp. Waters. Manag., ASCE, 1:13-26, 1980.

21. SENADO FEDERAL. (2011). **Brasília 50 anos.**

Disponível em:<<http://www.senado.gov.br/noticias/especial/brasil50anos/not01.asp>>. Acesso em setembro de 2011.

22. TERRACAP – Companhia Imobiliária de Brasília. (2011). Cartografia e geodésia, novo mapeamento do DF. Disponível em:<<http://www.terracap.df.gov.br/internet/index.php?sccid=355&sccant=344>>. Acesso em setembro de 2011.

23. TOPOCART - Topografia Engenharia e Aerolevantamentos s/s LTDA. (2011). Disponível em:<<http://www.topocart.com.br/topocartnew/>

ac=noticia&id=13>. Acesso em setembro de 2011.

24. TURNER, M. G.; GARDNER, R. H.; O'NEIL, V. (2002). **Landscape ecology in theory and practice:** Patterns and process. New York: [s. n.].

25. ZEE-DF - **Zoneamento ecológico e econômico do Distrito Federal.** (2011). Execução técnica - Greentec Consultoria e Planejamento Ltda, vencedora do processo licitatório - Solicitação de Proposta nº 004/2008, por meio do contrato de serviço nº 21/2009 (UGP/SEDUMA).

Manuscrito recebido em: 20 de junho de 2012

Revisado e Aceito em: 09 de outubro de 2012