

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL: UMA APLICAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO BARTOLOMEU, DF

Edilson de Souza BIAS ¹, Luciana PIVELLO ²,
Samuel Café GUEDES ², Karina Carvalho ROCHA ²

(1) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília IG/UNB, Campus Darcy Ribeiro.
Ala Central do ICC. CEP 70910-900. Brasília, DF. Endereço eletrônico: edbias@unb.br

(2) Engenharia Ambiental, Universidade Católica de Brasília, UCB. Campus I - QS 07 Lote 01 EPCT – Águas Claras.
CEP 71966-700. Taguatinga, DF. Endereços eletrônicos: luciana.pivello@gmail.com; samuelcafe@gmail.com; karina.ucb@gmail.com

Introdução
Material e Métodos
 Delimitação da Área de Estudo
 Análise Morfométrica
 Declividade
 Pedologia
 Dados Pluviométricos
 Normalized Difference Vegetation Index – NDVI
 Susceptibilidade ao escoamento Superficial
Resultados e Discussão
 Análise Morfométrica
 Pedologia
 Declividade
 Pluviometria
 NDVI
 Susceptibilidade ao escoamento Superficial
Conclusões e Recomendações
Referências Bibliográficas

RESUMO – A ocupação desordenada causada pelo crescimento populacional, juntamente com a expansão agrícola, são alguns dos fatores responsáveis pelo desenvolvimento de processos erosivos, que levam à degradação do solo. O presente estudo busca analisar a eficiência da vegetação no controle do escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, importante para o abastecimento de água do Distrito Federal e entorno. Tais regiões se encontram em intenso processo de crescimento, com a consequente retirada da cobertura vegetal e a intensificação de processos erosivos. Para um melhor entendimento da situação foi realizada uma análise multitemporal, por meio de ferramentas de geoprocessamento, para os anos de 2000 e 2007, correlacionando parâmetros morfométricos, de declividade, de pedologia, de pluviometria e de NDVI. Após a geração dos mapas de cada característica, relativos a cada um dos anos citados, foram efetuadas as integrações entre os temas por meio de uma matriz de ponderação de pesos. O resultado foi um mapa que indica susceptibilidade ao escoamento superficial da bacia para cada ano estudado. Com base no resultado obtido, pôde-se perceber que, devido à redução da cobertura vegetal pela expansão natural das cidades, a Bacia apresenta certa fragilidade ambiental a processos erosivos ligados ao escoamento superficial, apesar da diminuição das áreas muito susceptíveis ao escoamento, pela redução das chuvas no ano de 2007.

Palavras-chave: erosão, geoprocessamento, cobertura vegetal e escoamento superficial.

ABSTRACT – *E. de S. Bias, L. Pivello, S.C. Guedes, K.C. Rocha – Analysis of efficiency of vegetation in control of runoff: an application in watershed of São Bartolomeu river.* The disorganized occupation caused by population growth, coupled with agricultural expansion, are some of the factors responsible for the development of erosion processes, which lead to soil degradation. This study assesses the efficiency of vegetation cover to control runoff in the watershed of river São Bartolomeu, important water source for the Federal District and its surrounding areas. These regions are in an intense process of growth, with the consequent vegetation removal and the intensification of erosion processes. For a thorough understanding of the situation, multitemporal analysis was performed by means of GIS tools, for the years 2000 and 2007, correlating morphometric parameters, slope data, soil conditions, pluviometric data, and NDVI. After generating the thematic maps for each of the cited years, integrations among them were made using a weighted matrix. The resulting map indicated the runoff susceptibility for both years. It was noticed that, due to the reduced vegetation cover, by the natural expansion of cities, the watershed presented fragility to environmental erosion processes related to runoff, despite the shrinkage of the more susceptible area to it, as a consequence of the rainfall reduction in 2007.

Keywords: Erosion, Geoprocessing, crop cover and runoff.

INTRODUÇÃO

O Distrito Federal, sítio escolhido para a implantação da capital do Brasil, conta com uma população de 2.455.903 (IBGE, 2007). A escolha se deu somente após a realização de vários estudos, neles incluindo

análise da drenagem, classificação de solos e abastecimento de água. Já na época, verificou-se que a capacidade hídrica da região era bastante limitada.

Uma das Bacias Hidrográficas de grande importância para o abastecimento hídrico da região é a do Rio São Bartolomeu, localizada no Distrito Federal e nos municípios goianos de Formosa, Planaltina, Cidade Ocidental, Valparaíso de Goiás, Luziânia e Cristalina. Em 7 de novembro de 1983 a Bacia foi instituída Área de Proteção Ambiental, devido ao seu volume hídrico e sua proximidade com núcleos urbanos, o que a torna fonte potencial de abastecimento de água (PDOT, 2007). Com uma área correspondente a 5.497,11 km² esta Bacia drena efetivamente 45,9% do total do território do DF (SEINFRA-DF, 2006) e atualmente, de acordo com o PDOT 2007, atende a uma demanda de 3,56 m³/s de água.

A fixação de loteamentos irregulares na área acaba reduzindo significativamente a vegetação, devido aos intensos processos relacionados ao adensamento da malha urbana e do crescimento da ocupação agrícola, fenômenos já verificados por Ramos (2002) segundo Ferreira (2006). Consequentemente, problemas como erosão e assoreamento resultantes de desmatamentos descontrolados em áreas de mata de galeria, veredas e nascentes são comuns nesses casos.

Essa realidade rompe o equilíbrio hidrológico da Bacia e causa impactos ambientais e socioeconômicos, fazendo com que tais locais incluam-se nas áreas que necessitam de estudos para um planejamento mais efetivo de uso adequado do solo para a manutenção da qualidade ambiental (Ferri, 2004).

A dinâmica das bacias hidrográficas consiste na interação de elementos naturais e antrópicos, como a cobertura vegetal, clima, pedologia, geomorfologia e uso e ocupação do solo. Estes elementos são fundamentais para a manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico delas. O ciclo hidrológico compreende desde a captação natural da água da precipitação até a convergência dos escoamentos em um único ponto de saída, o exutório.

A cobertura vegetal exerce papel fundamental na manutenção do ciclo da água, ao proteger o solo contra o impacto das gotas das chuvas. Além de aumentar a porosidade e a permeabilidade do solo, por meio da ação das raízes, ainda reduz o escoamento superficial e mantém sua umidade e fertilidade, pela presença de matéria orgânica (Beltrame, 1994).

A eficiência da interceptação vegetal está diretamente relacionada às características da precipitação, às condições climáticas, ao tipo de densidade de vegetação e ao período do ano (Tutti, 2000). A forma mais comum de precipitação é a chuva, que varia conforme sua intensidade, volume precipitado e a chuva antecedente. De acordo com Tutti (2000), em florestas

em que os volumes de precipitação são inferiores a 0,3 mm, a vegetação consegue interceptar toda a água, já para precipitações superiores a 1 mm, apenas uma quantia de 10% a 40% do seu volume pode ser interceptado.

Outro fator que influencia na quantidade de precipitação interceptada pela vegetação é a condição climática. Segundo Tutti (2000), em regiões de latitudes mais elevadas, a vegetação apresenta deciduidade foliar sazonal, fato que acaba por interferir na interceptação (as folhas, como se sabe, são as responsáveis pela maior interceptação das precipitações). Sendo assim, o tipo de vegetação caracteriza a quantidade de gotas de chuva que cada folha pode reter, e ainda, a densidade da mesma vai indicar o volume retido numa superfície de Bacia, excedendo a capacidade de armazenamento dos vegetais, ou, por ação dos ventos, a água não interceptada acaba por atingir o solo.

As características físicas do solo, como textura, porosidade e profundidade influenciam diretamente na capacidade de infiltração da água da chuva e na velocidade do escoamento superficial, afetando os processos erosivos (Beltrame, 1994). A textura de um solo compreende o tamanho das partículas que o compõem, ou seja, a facilidade ou não de alguns grãos serem removidos em relação a outros. Esta característica está associada à permeabilidade da água, à resistência à erosão e às condições ao desenvolvimento de raízes das plantas, assim como à porosidade – que é a proporção de espaços ocupados pelos fluídos em relação ao espaço ocupado pela massa do solo (Silva et al., 2007).

Outro fator de suma importância para o processo de infiltração de águas superficiais é a geomorfologia de uma bacia hidrográfica. A declividade do terreno relacionada com o comprimento de rampa pode aumentar ou diminuir o volume de água infiltrada no solo, pois, quanto maior for o declive e o comprimento da rampa, mais volumosas se tornam as águas e progressivamente maior será a velocidade de escoamento. Disso resulta em maior energia e se traduz em maior erosão.

Analisando a geomorfologia de uma bacia hidrográfica, verifica-se geralmente a variação do perfil longitudinal. Dividindo a bacia em três partes, teremos Alto, Médio e Baixo curso d'água. Ao associarmos ao baixo curso uma baixa declividade, ao médio curso uma declividade moderada e ao alto curso uma declividade acentuada, teremos, por exemplo, um perfil côncavo. Se os valores de declividade dos trechos analisados forem similares entre si, tem-se um perfil longitudinal, próximo ao retilíneo. E se o baixo curso estiver associado a declividade acentuada, o médio curso à declividade moderada e o alto curso à declividade quase nula,

teremos um perfil longitudinal convexo, sendo esta uma das razões pelas quais o escoamento superficial inicia o processo erosivo no local (Silva et al., 2007).

Desta forma, são as características do terreno que determinarão se há ou não o transporte de partículas para a parte de baixa do curso da bacia hidrográfica, em função da enxurrada. Com relação às formas geométricas de encostas, relacionadas acima, a geometria côncava nos sentidos vertical e horizontal são áreas com maiores índices de ocorrências de processos erosivos, em função da convergência de canais e dos fluxos d'água (Silva et al., 2007). Sendo assim, a relação entre forma erosiva e geometria das encostas nos permite a detecção de áreas mais propícias aos processos de erosão.

Apesar de modificarem a paisagem constantemente nas bacias hidrográficas, os processos erosivos são naturais. Contudo, o que se constata é que estes processos vêm sendo, de forma avassaladora, agravados e acelerados pela ação antrópica. As atividades antrópicas desestabilizam as encostas e promovem ravinas, voçorocas e movimentos de massas, que poderão promover a alteração na dinâmica fluvial. Por exemplo, o desmatamento ou o crescimento da área urbana em encostas reduz a capacidade de infiltração da água da chuva e aumenta o escoamento superficial, promove a erosão hídrica nas encostas e fornece maior

volume de sedimentos para a calha fluvial. O resultado disso é o assoreamento do leito e enchentes na planície de inundação (Guerra & Cunha, 1966).

Com base na relação apresentada entre a dinâmica das bacias hidrográficas e o escoamento superficial, e tendo em conta que a cobertura vegetal é o agente principal na conservação de solos, o presente estudo oferece uma análise da eficiência da vegetação no controle do escoamento superficial, correlacionada a estudos morfométricos e caracterização física para a Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu.

A região foi escolhida porque se encontra em processo de expansão agrícola e de ocupação desordenada do solo, atividades estas que transformam zonas rurais em urbanas com intensa retirada da cobertura vegetal e posterior impermeabilização do solo, tornando-se pontos de grande potencial para o desenvolvimento da cadeia de processos erosivos, foco deste estudo (SEINFRA-DF, 2006).

A presente pesquisa tem, pois, como objetivos realizar quantificações morfométricas e a caracterização física da Bacia em estudo (Figura 1). Do cruzamento dos dados obtêm-se as áreas mais susceptíveis ao escoamento superficial. Uma análise multitemporal também é feita para que se possa visualizar a perda de vegetação entre os anos de 2000 e 2007, assim como sua influência direta no escoamento superficial.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o presente trabalho os dados de delimitação da bacia hidrográfica, pedologia, e drenagem foram extraídos do Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás – SIEG, escala 1:250.000, Sistema de Coordenadas Geográficas Lat/Long, Datum horizontal SAD69 - Brasil. Pedologia e Drenagem correspondentes às folhas SD.22-Z-D, SD.23-Y-C e SE.23-V-A, disponível para download no site <http://www.sieg.go.gov.br>.

Os dados pluviométricos para a Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu foram extraídos da Agência Nacional de Águas – ANA, do Sistema de Informações Hidrológicas – Hidroweb, Sistema de Coordenadas Geográficas Lat/Long, Datum horizontal SAD69 – Brasil, disponível para download no site <http://hidroweb.ana.gov.br/>.

Para o *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI, foram utilizadas imagens de Satélite LANDSAT 5 – TM, de ponto e órbita 221/71 e 221/72, composição RGB 3,4 e 5, referentes a 06/05/2000 e 11/06/2007, Sistema de Coordenadas Geográficas Lat/Long, Datum horizontal SAD69 - Brasil. Disponível para download no site <http://www.inpe.br>.

Para a Declividade foram utilizadas as imagens SRTM, referentes às cartas SD-22-Z, SD-23-Y, SE-22-X e SE-23-V, na escala 1:250.000, Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator, Datum Horizontal WGS 84 – Zona 23. Disponível para download no site <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>.

DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A identificação da Bacia Hidrográfica do rio São Bartolomeu foi feita por meio da classificação de (Pfastetter, 1989), conhecida como “OttoBacias”. No Brasil, são utilizados vários métodos de atribuição de códigos de identificação únicos para bacias hidrográficas. A adoção do método de OttoBacias parece ser o mais apropriado, sendo este método utilizado também pelos órgãos responsáveis pela formulação e execução das políticas de recursos hídricos.

O sistema de codificação de bacias, desenvolvido por (Pfastetter, 1989), associa um número de identificação único para cada bacia, que é organizada em uma estrutura hierárquica, definida pelo método Strahler.

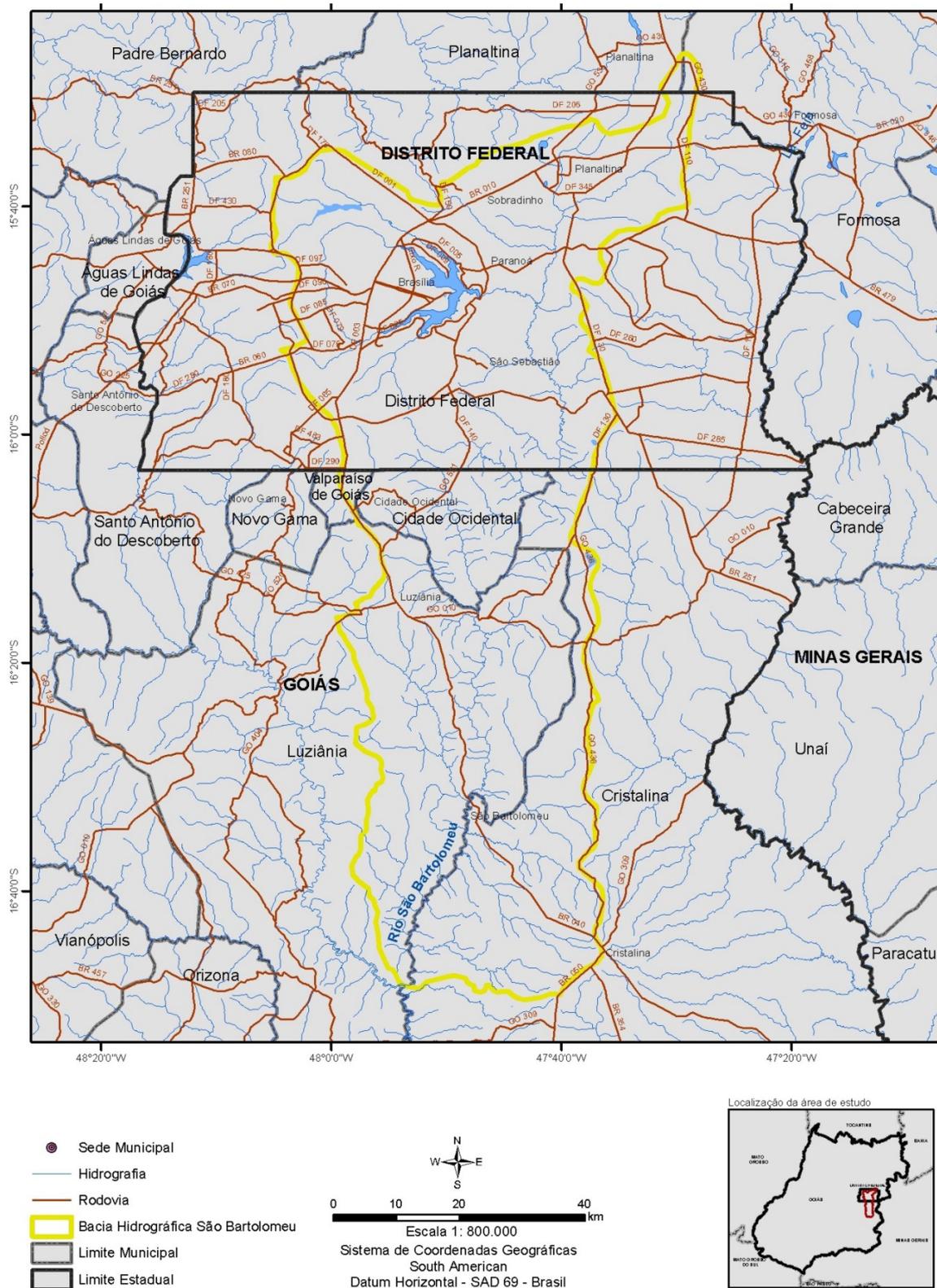


FIGURA 1. Localização da bacia hidrográfica do Rio São Bartolomeu, DF, Brasil.

ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Para a análise morfométrica, aplicou-se a metodologia sugerida por Christofolletti (1980), com a determinação das variáveis morfométricas, Densidade de Drenagem e Índice de Circularidade para a área da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, utilizando as seguintes fórmulas:

- Índice de Circularidade (I_c): Relação entre a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro.

$$I_c = A/A_c \quad (1)$$

- Densidade de Drenagem (D_d): A densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da Bacia Hidrográfica.

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (2)$$

DECLIVIDADE

A declividade foi determinada pelas imagens SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* utilizando como ferramenta o *software* ArcGis 9.2. Tais imagens foram geradas a partir de um sistema de radar especialmente modificado, que voava a bordo de uma nave espacial americana, que dispõe de uma medida altimétrica precisa para cada área de 90 m por 90 m para a América do Sul e África.

PEDOLOGIA

A Pedologia da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu foi obtida no SIEG sendo recortada para a área de estudo utilizando-se o *software* ArcGis 9.2, por meio da ferramenta “*Clip*”. Em seguida foi calculada a porcentagem de cada classe de solos para a Bacia sob estudo.

DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados pluviométricos obtidos da ANA – Agência Nacional de Águas (HIDROWEB) foram agrupados primeiramente pelos anos de estudo - 2000 e 2007 - para a Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, em seguida por estação pluviométrica e por fim pelo período de estudo de janeiro a junho de cada ano, correspondente às datas de obtenção das imagens da área de estudo. Obteve-se, assim, como resultado final, a quantidade de chuva total em mm para cada estação pluviométrica utilizada. Com a finalidade de se fazer a espacialização dos dados, foi efetuada a interpolação dos mesmos, por meio do

software ArcGis 9.2, utilizando-se as ferramentas “*Spatial analyst – Interpolate to Raster – Inverse Distance Weighted*”, obtendo-se assim a distribuição pluviométrica para a região de estudo.

NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX – NDVI

Na primeira etapa, fez-se um mosaico das cenas LANDSAT TM 5 (bandas 3, 4 e 5) para os anos de 2000 e 2007, posteriormente aplicou-se a máscara para a delimitação da área da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu.

Tendo as imagens georreferenciadas e recortadas, aplicou-se o NDVI por meio da ferramenta “*Transform – NDVI*” do *software* ENVI 4.3. Em seguida, foram feitos cinco cortes no NDVI de cada ano, a partir da ferramenta “*Roi Tool*”. Com isso foi possível identificar as áreas de baixo, médio e alto índice de biomassa vegetal, áreas sem vegetação e áreas hídricas.

A ferramenta “*ROI Tool > Options > Report Area for ROIs*” definiu a área de cada classe fatiada. Para a escolha das classes, o procedimento metodológico foi pela tentativa e erro, até que se chegasse a valores próximos à realidade de vegetação da área.

Após o fatiamento das classes pelo NDVI, o mesmo foi convertido para *shapefile* para que fosse utilizado no ArcGIS 9.2.

SUSCEPTIBILIDADE AO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Para a elaboração do mapa de susceptibilidade ao escoamento foram usados os resultados obtidos na caracterização física realizados no *software* ArcGis 9.2. Seguindo a metodologia sugerida por Bias (1998), que sugere uma matriz de pesos em que se determinam maiores valores às classes mais susceptíveis a perda de solo, conforme o uso e ocupação do mesmo, atribuíram-se pesos às classes das respectivas características: Pedologia, Declividade, Pluviometria e NDVI. Posteriormente cruzaram-se os mapas com os respectivos pesos, no *software* ArcGis 9.2, por meio da ferramenta “*Union*”. Foram somados os pesos obtendo-se, assim, um mapa final no qual se determinou três classes de susceptibilidade ao escoamento superficial para cada ano de estudo (Figuras 2 e 3).

O Quadro 1 apresenta os atributos e seus respectivos pesos, conforme a sua relação com o escoamento superficial, ou seja, quanto maior o peso, maior será o volume d’água escoado.

Para a determinação dos pesos relacionados ao NDVI, foram consideradas áreas sem cobertura vegetal, solo exposto por mineração, em processo agrícola ou por desmatamento, área urbana, estradas e rodovias e corpos d’água, como sendo áreas com ausência de reflectância da atividade fotossintética, atribuindo a esse parâmetro peso quatro (4). Como peso três (3)

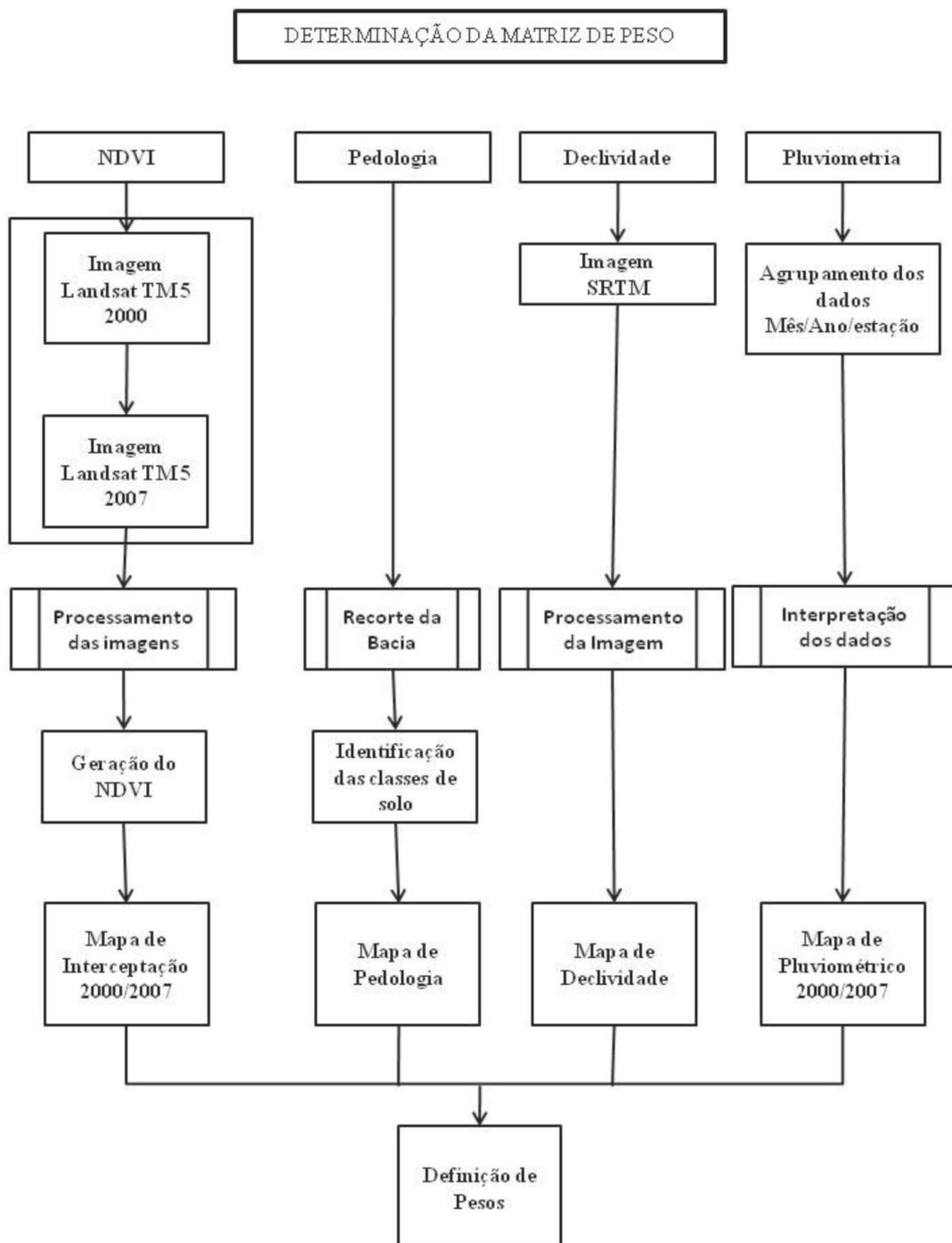


FIGURA 2. Fluxo para determinação da matriz de pesos.



FIGURA 3. Fluxo para mensuração da susceptibilidade ao escoamento superficial.

QUADRO 1. Matriz de peso de suscetibilidade ao escoamento superficial.

NDVI		Pedologia		Declividade (%)		Pluviometria (mm)			
Atributo	Peso	Atributo	Peso	Atributo	Peso	2000		2007	
Atributo	Peso	Atributo	Peso	Atributo	Peso	Atributo	Peso	Atributo	Peso
Água	0	Gleissolos	1	<3	1	<94	1	<86	1
Vegetação Alta	1	Plintossolos	2	3-8	2	94-111	2	86-97	2
Vegetação Média	2	Cambissolos	3	8-20	3	111-128	3	97-107	3
Vegetação Baixa	3	Latossolos	4	>20	4	128-145	4	107-118	4
Sem Vegetação	4	Litossolo	5	-	-	>145	5	>118	5

considerou-se áreas agrícolas e de pastagem, uma vez que há, mesmo que pequena, uma interceptação da precipitação por parte destas vegetações. O peso dois (2) foi atribuído a áreas com vegetação de média densidade, como Cerrado, e por fim o peso um (1) foi atribuído à vegetação densa, como matas de galeria, reflorestamento e buritizais.

Em relação à Declividade, os valores dos pesos crescem de maneira diretamente proporcional às classes, pois quanto maior a classe, maior será o escoamento superficial, o que propicia uma diminuição da possibilidade de infiltração das águas. O critério utilizado

para a determinação dos pesos para a Declividade foi estabelecido pela EMBRAPA (1999), por meio do qual se determina como sendo área plana declives entre 0-3% (peso 1), relevo suave ondulado entre 3-8% (peso 2), relevo ondulado entre 8-20% (peso 3), relevo com forte ondulação >20% (peso 4).

Assim como a Declividade, os atributos para pluviometria foram distribuídos de forma diretamente proporcional: quanto maior o índice pluviométrico, maior o escoamento superficial e, portanto, maior o peso.

Para a distribuição de pesos aos atributos de Pedologia, foram utilizados os conceitos da EMBRAPA

(1999), que classificam os solos de acordo com a drenagem, desde muito mal drenados a excessivamente drenados e também de acordo com a textura dos mesmos. Dessa forma, atribuiu-se peso um (1) ao Gleissolo, por ser um solo muito argiloso com característica hidromórficas, o que favorece o acúmulo de água e não seu escoamento. O peso dois (2) atribuiu-se ao Plintossolo, por ser um solo arenoso, ainda que esteja

em desenvolvimento. Ao Cambissolo atribuiu-se o peso três (3), devido a sua característica arenosa. Já o Latossolo ficou com o peso quatro (4), por sua composição em geral ser argilosa. E, por fim, ao Litossolo atribuiu-se o peso cinco (5), por ser um solo raso, de composição rochosa e textura média, o que dificulta bastante a infiltração da água, propiciando, portanto, um maior escoamento superficial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados e discutidos os resultados obtidos com o processamento dos dados da análise morfométrica, pedologia, declividade, pluviometria, NDVI e suscetibilidade à interceptação da precipitação relacionada à cobertura vegetal, que indicam a fragilidade ambiental a processos erosivos na Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, no período compreendido entre os anos 2000 e 2007.

ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Seguindo o procedimento de análise morfométrica, a Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu apresentou Índice de Circularidade 0,33, o que indica que a Bacia possui uma forma alongada. Em bacias com esta característica o escoamento será mais bem distribuído ao longo do tempo, mostrando-se pouco suscetível a enchentes, em condições normais de precipitação, ou seja, quando se exclui os eventos de intensidades anormais (que, naturalmente, podem alterar esta característica).

O valor numérico de $0,44 \text{ km}^{-1}$ indica baixa Densidade de Drenagem, com componentes fluviais apresentando formas alongadas, uma vez que, à medida que se aumenta o valor numérico da densidade de drenagem, há uma diminuição quase proporcional do tamanho dos canais da bacia de drenagem, conforme descrito por Christofolletti (1980). Bacias Hidrográficas com esta característica normalmente são constituídas por relevo plano e suave, cuja condição favorece a alta permeabilidade, permitindo rapidez de infiltração da água e conseqüentemente a formação de lençóis aquíferos e diminuição do escoamento.

Realizando a hierarquização da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, segundo Strahler, que, de acordo com a classificação da “Ottobacias”, possui número 84, verifica-se que o Rio São Bartolomeu é de ordem 5, tendo 324 canais de 1ª ordem, 72 canais de 2ª ordem, 15 canais de 3ª ordem e 3 canais de 4ª ordem, conforme a tabela da Figura 4.

PEDOLOGIA

De acordo com a Figura 5 e o Quadro 2, a maior parte da área da bacia é formada por Latossolos e

Cambissolos. Metade da área, ou seja, 50% é constituída por Latossolos, em geral de características de permeabilidade fortemente drenados, salvo exceções quando sua textura é predominantemente argilosa e em áreas de relevo ondulado. Já em 39% da área da Bacia encontram-se os Cambissolos, que geralmente são mal drenados, sobretudo se encontrados em regiões com relevo ondulado. A presença de outros tipos de solos é pouco significativa.

Correlacionando as classes de Latossolo e Cambissolo à declividade local, apresentada na Figura 6, pode-se observar que a classe de Latossolo encontra-se, em sua maior porção, em áreas com relevo suave ondulado, o que indica uma redução no escoamento superficial e nos processos erosivos; todavia, é necessária uma correlação com a cobertura vegetal para uma melhor avaliação do escoamento superficial, pois esta age como elemento de interceptação da precipitação.

DECLIVIDADE

Na Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu constatou-se que 22,51% da área apresentaram declividade entre 0-3%, o que corresponde a 1.237 km^2 . Estas áreas são superfícies de topografia esbatidas ou horizontais, onde os desnivelamentos são muito pequenos; desta forma, o escoamento superficial é baixo. Este grau de declive não prejudica o uso de máquinas agrícolas.

A declividade entre 3-8% está presente em 49,61% da bacia, representando 2.726 km^2 da área, indicando regiões com relevo suave ondulado, com elevações de altitude variando entre 50 e 100m, com declive suave (Figura 7). Conseqüentemente, o escoamento superficial tende a aumentar nestes locais. Estes declives dificultam o uso de máquinas agrícolas e os solos são facilmente erodíveis; assim, ali a erosão hídrica pode causar problemas, sendo necessárias práticas de conservação, em alguns casos simples e em outros mais complexas de contenção de erosão. Normalmente, na ausência de vegetação nativa são áreas propícias para cultivos perenes, pastagem ou reflorestamento.

Já 25,44% da área de estudo apresentaram declividade entre 8-20%, equivalente a 1.398 km^2 , o

Bacia Hidrográfica São Bartolomeu - Drenagem

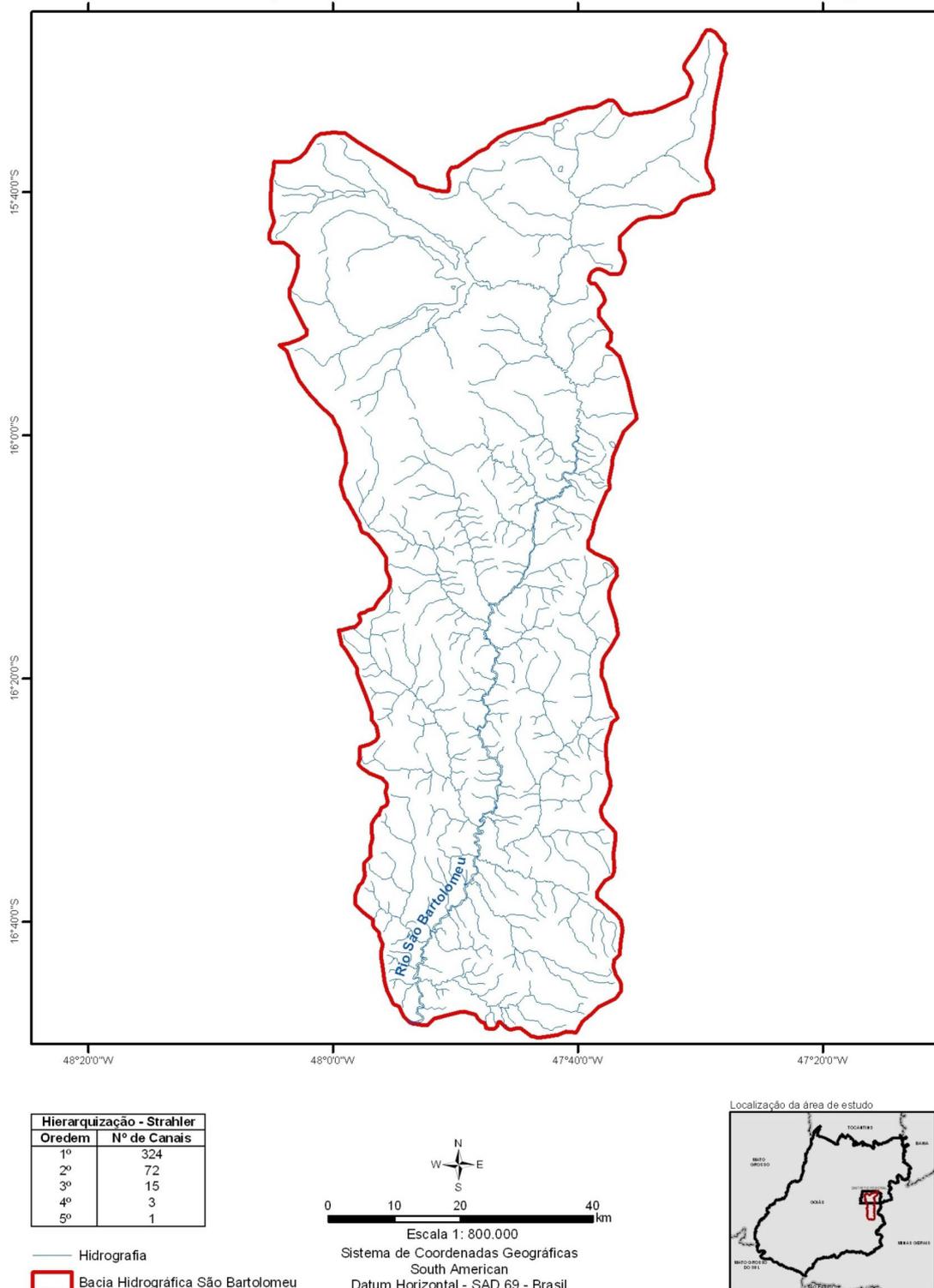


FIGURA 4. Rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, DF, Brasil.

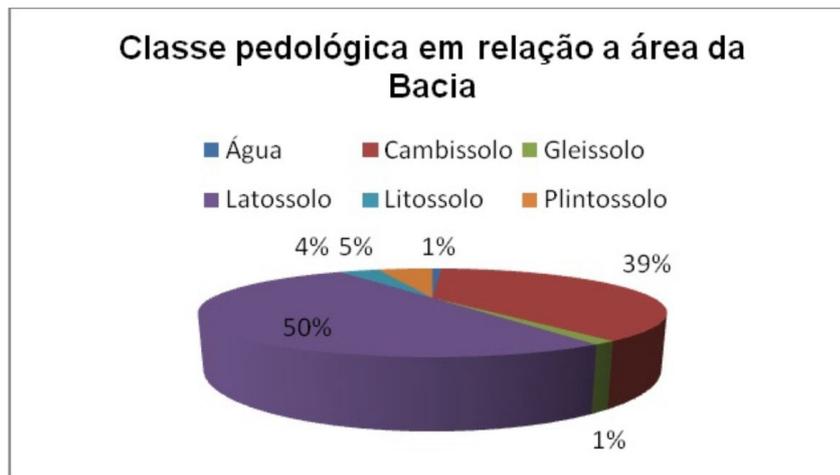


FIGURA 5. Porcentagem de classe de solos da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, DF, Brasil.

QUADRO 2. Área das classes pedológicas da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, DF, Brasil.

Classe de Solo	km ²
Gleissolo	68,78
Plintossolo	287,89
Cambissolo	2.125,60
Latossolo	2.719,47
Litossolo	205,65
Água	47,60

que caracteriza a área como ondulada, cujo escoamento superficial é rápido. Estas áreas não são apropriadas para agricultura nem para culturas perenes, devido à impossibilidade de uso de máquinas agrícolas, recomendando-se ali apenas a prática de pastagem e reflorestamento, em caso de desmatamento.

E para declividades >20%, a Bacia apresentou uma área de 134 km², correspondendo a 2,44% da área de estudo. Regiões com esta declividade apresentam superfície de topografia movimentada, formada normalmente por morros, com elevações variando entre altitudes relativas de 50 e 200 m. São áreas consideradas com declives fortes.

PLUVIOMETRIA

O Índice Pluviométrico foi analisado apenas para o 1º semestre de cada ano de estudo, em função da disponibilidade de dados. Os dados disponíveis, contudo, correspondem ao período em que as imagens de satélite utilizadas no presente trabalho foram geradas. Observando o Quadro 3 e as Figuras 8 e 9, pode-se verificar que a média semestral para o ano de 2000 é superior à média semestral de 2007, apesar de os meses de janeiro, fevereiro e maio de 2007 apresentarem maiores índices pluviométricos do que os referidos meses do ano de 2000.

Esta variação, de acordo com estudos do LABMET (2009) pode estar relacionada à ocorrência dos fenômenos *La Niña* e *El Niño* nos anos de 2000 e 2007, respectivamente. No Brasil, a *La Niña* causa menos danos que o *El Niño*, porém ambos são responsáveis por estiagens no Centro-Oeste. Como consequência do *La Niña*, as frentes frias que atingem o centro-sul do Brasil têm sua passagem mais rápida que o normal e vêm com mais força. Sendo assim, nesta região há estiagem com grande queda no índice pluviométrico, principalmente nos meses de setembro a fevereiro.

Porém, em 2000, este fenômeno, no Brasil, foi considerado moderado havendo apenas uma pequena queda no índice pluviométrico, em janeiro e fevereiro.

Já em 2007 o fenômeno *El Niño*, apesar de ter sido considerado fraco, causou uma queda maior no índice pluviométrico, no primeiro semestre daquele ano, do que no mesmo período em 2000, da ordem de 23,45%. Tais dados não podem, todavia, ser interpretados como sendo a realidade local da Bacia Hidrográfica, pois nos anos em estudo ocorreram os fenômenos meteorológicos descritos acima, que alteraram inclusive a distribuição da precipitação ao longo da Bacia em estudo.

Bacia Hidrográfica São Bartolomeu - Pedologia e Declividade

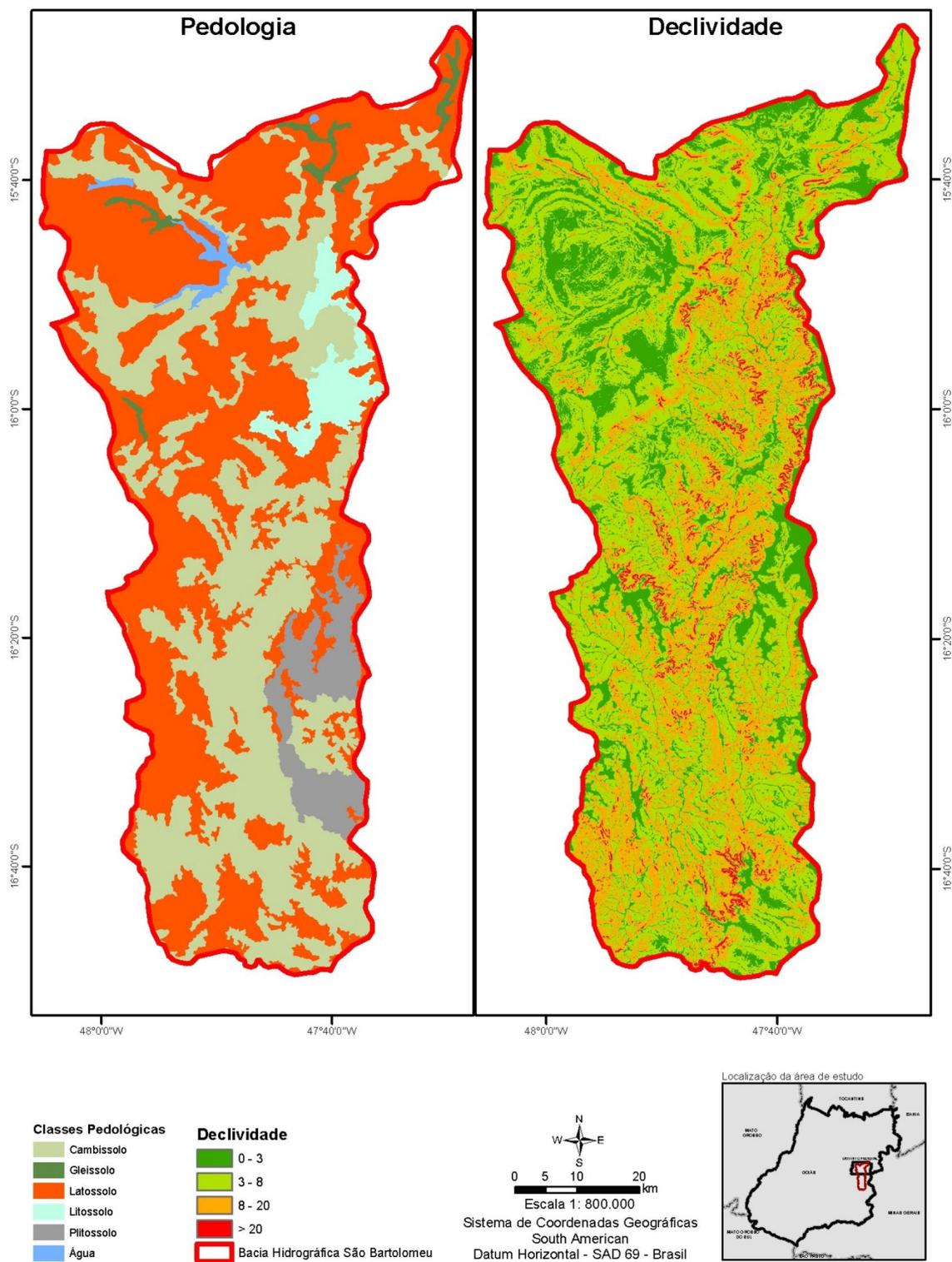


FIGURA 6. Pedologia e Declividade da Bacia Hidrográfica São Bartolomeu, DF, Brasil.



FIGURA 7. Percentual dos intervalos de declividade da Bacia Hidrográfica São Bartolomeu, DF, Brasil.

QUADRO 3. Índice Pluviométrico (1º semestre 2000 e 2007) Bacia do Rio São Bartolomeu, DF, Brasil.
 Fonte: Hidroweb – Agencia Nacional de Águas –<http://hidroweb.ana.gov.br>.

2000							
Média	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Média Semestral
	204	174,4	216	82,2	0	0	112,77
2007							
Média	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Média Semestral
	232,2	186,6	51,8	46	3,2	0	86,63

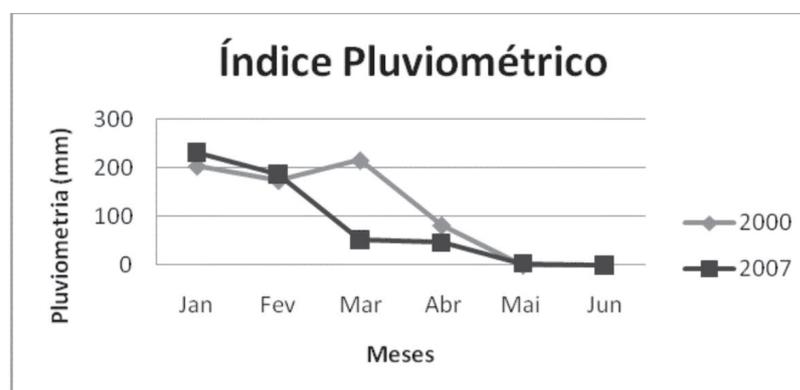


FIGURA 8. Índice Pluviométrico 2000/2007.

Bacia Hidrográfica São Bartolomeu - Pluviometria

Pluviometria - 1º Semestre de 2000

Pluviometria - 1º Semestre de 2007

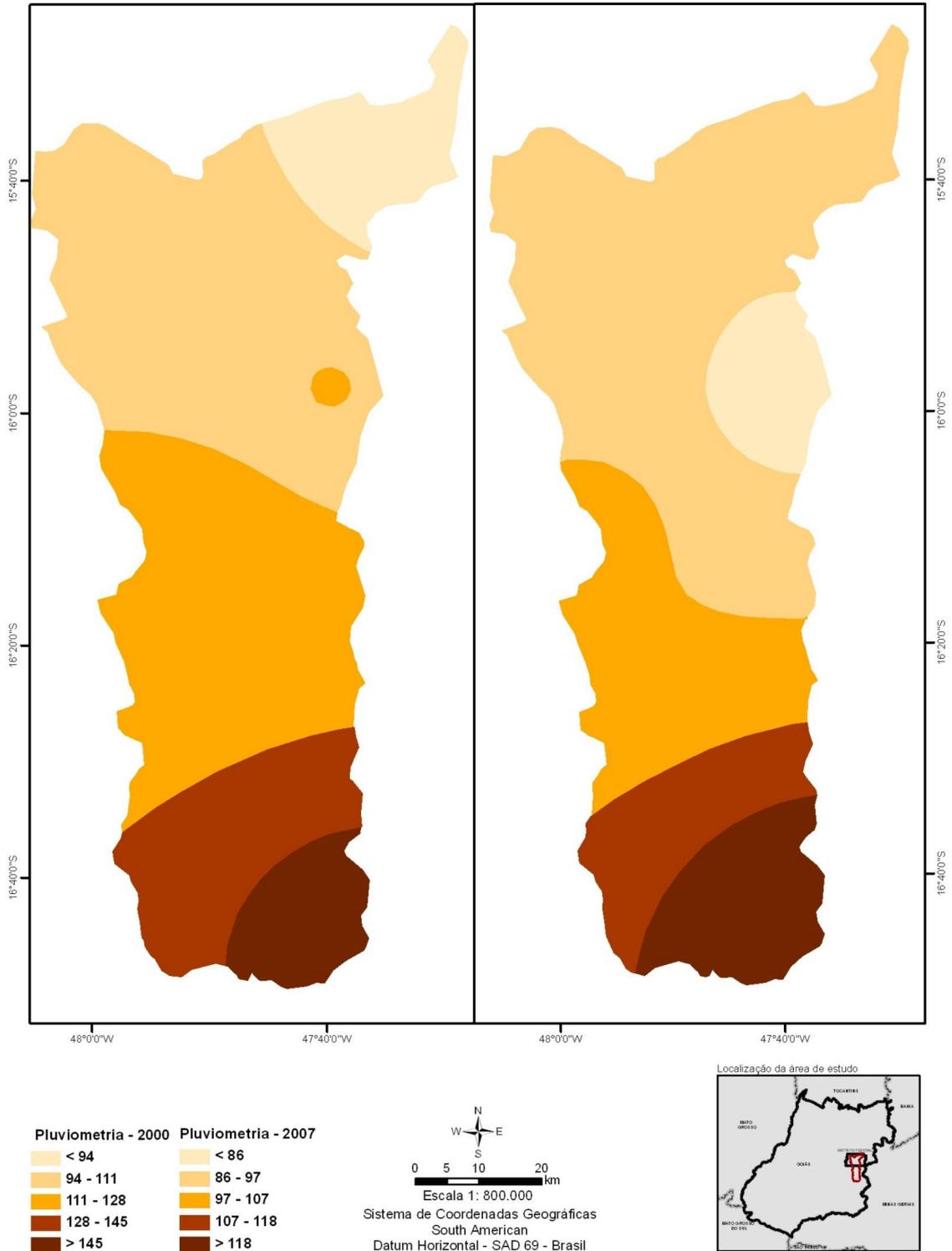


FIGURA9. Pluviometria da Bacia Hidrográfica São Bartolomeu, DF, Brasil – 2000/2007.

NDVI

De acordo com as Figuras 10, 11 e 12, a área com densidade nula de vegetação (área urbana, de mineração, agrícola em fase de preparação do solo para o plantio, solo compactado e áreas de desmatamento), aumentou 8% de 2000 para 2007. Isso significa um aumento de 475,82 km² de área sem cobertura vegetal.

Estes dados permitem observar que houve uma maior supressão de vegetação de alta e média densidade, justamente as que possuem maior capacidade de interceptação da precipitação; sua retirada acaba por aumentar o escoamento superficial da água no solo.

A supressão da vegetação na Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu pode ter ocorrido em função da expansão natural das cidades e do aumento do número de condomínios, principalmente na região do Distrito Federal, os quais em 2006, de acordo com Lasse (2006), já ocupavam uma área de 108,44 km².

SUSCEPTIBILIDADE AO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Para a análise da eficiência da Susceptibilidade ao Escoamento Superficial, sobrepuseram-se os mapas de NDVI, Pedologia, Declividade e Pluviometria (Figuras 2 e 3). Como resultado, geraram-se mapas referentes aos anos de estudo, a partir dos quais se pode analisar a fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, por meio da definição de três classes que quantificam as áreas de alta, média e baixa susceptibilidade ao escoamento superficial, conforme apresentado na Figura 13.

Observa-se na Figura 13, que a fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica a processos erosivos ligados ao escoamento superficial sofreu pequenas alterações durante o período sob estudo, considerando que é inversamente proporcional a relação entre escoamento superficial e potencial erosivo com a interceptação vegetal. Desta forma, quanto maior for a interceptação vegetal, menor será a quantidade de

água que atinge o solo e, portanto, menor o escoamento superficial e a possibilidade de erosão do solo.

De acordo com a Figura 14, a área com baixa susceptibilidade ao escoamento superficial, correspondente a classe de alta reflectância, teve uma pequena redução de 0,2%, representado uma área de 13,7 km² de 2000 para 2007. Tal redução pode ter ocorrido em função da supressão ou da conversão da vegetação com alta densidade, para média ou baixa densidade, devido a processos de agricultura e pastagem, uma vez que a área da vegetação de alta densidade passou de 144,5 km² para 66,64 km², o que corresponde a uma redução de mais de 50%. O que se constata, então, é que diminuíram as áreas mais susceptíveis à interceptação. As áreas de alta susceptibilidade ao escoamento superficial sofreram reduções de 8,4%, passando de 1.727,5 km² para 1.266,1 km². Tal redução pode ser entendida em função da diminuição das chuvas no ano de 2007.

A classe que se mostrou mais expressiva na região foi a de média susceptibilidade ao escoamento superficial, que representou 66% da área da bacia, no ano de 2000, e 75% no ano de 2007. Este aumento, de 9%, é resultante da união de dois fatores: a conversão da vegetação de alta densidade para baixa e média, conjugada com o índice pluviométrico, que sofreu uma variação para menos no ano de 2007, em relação ao ano de 2000. Assim, as áreas que no ano de 2000 somaram pesos suficientes para ser classificadas como áreas de alta susceptibilidade, no ano de 2007 podem ter obtido menos pesos, pela variação do atributo cobertura vegetal e da pluviometria, passando à classe de média susceptibilidade ao escoamento superficial.

Desta forma, a metodologia aplicada no presente trabalho indicou qual região tem maior potencial aos processos erosivos, uma vez que a chuva que precipita na Bacia, ao invés de infiltrar e recarregar os aquíferos, escoou pela superfície, causando a perda de solo.

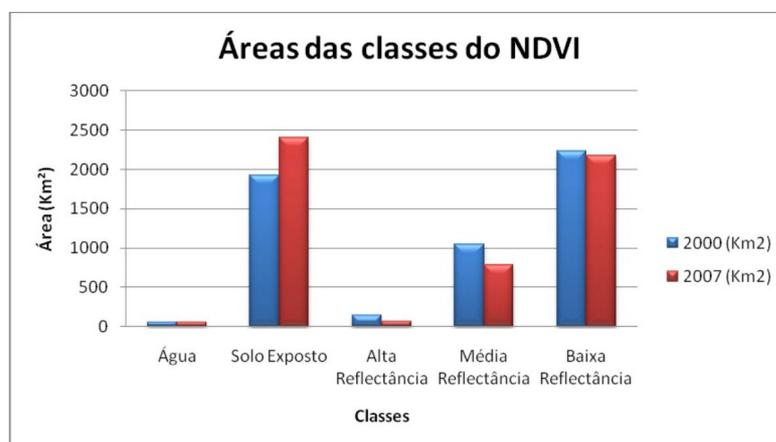


FIGURA 10. Variação das áreas das classes do NDVI.

Bacia Hidrográfica São Bartolomeu

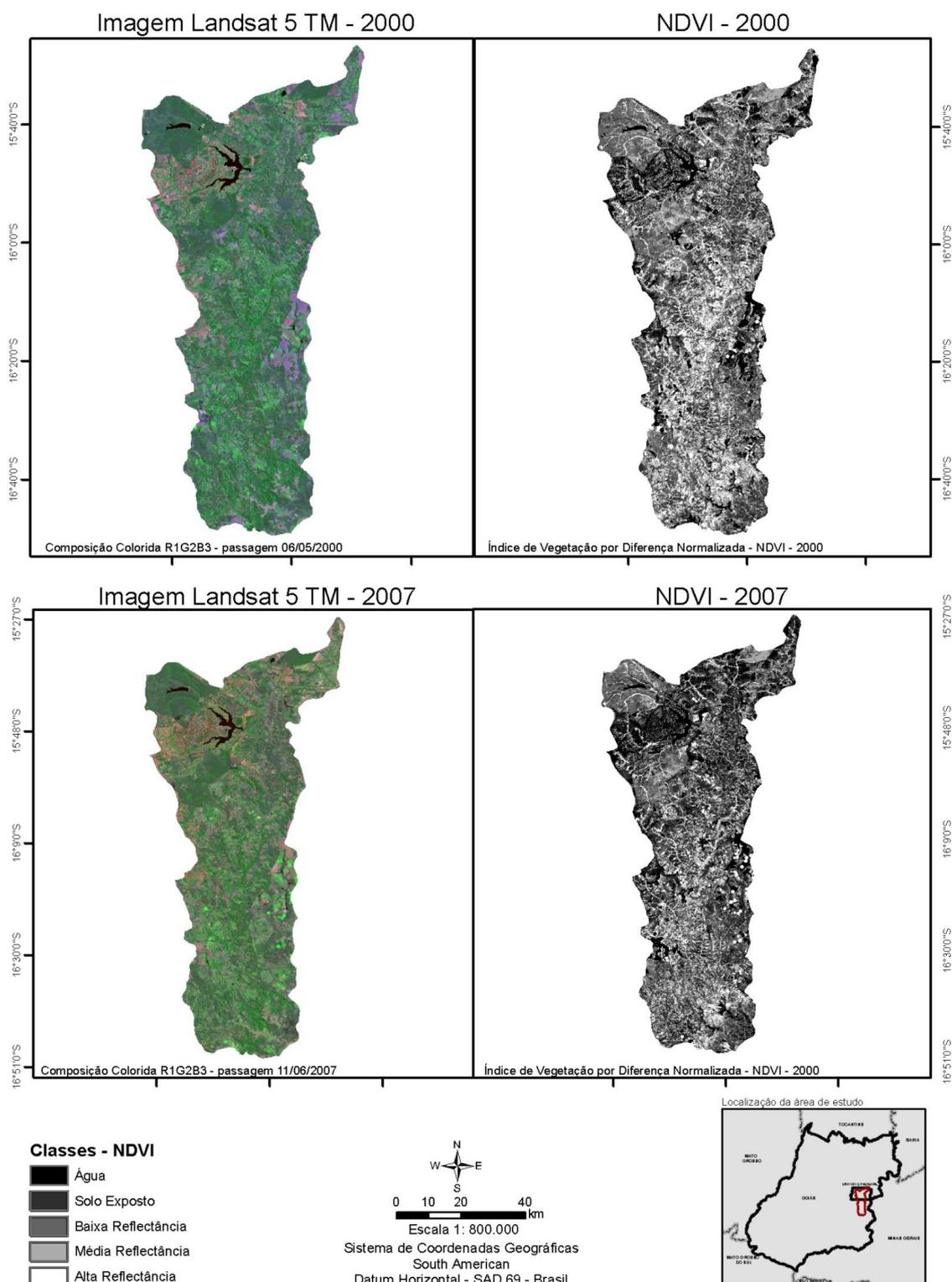


FIGURA 11. Bacia Hidrográfica São Bartolomeu, DF, Brasil – Imagem de Satélite LANDSAT 5 TM e NDVI 2000 e 2007.

Bacia Hidrográfica São Bartolomeu - Cobertura Vegetal

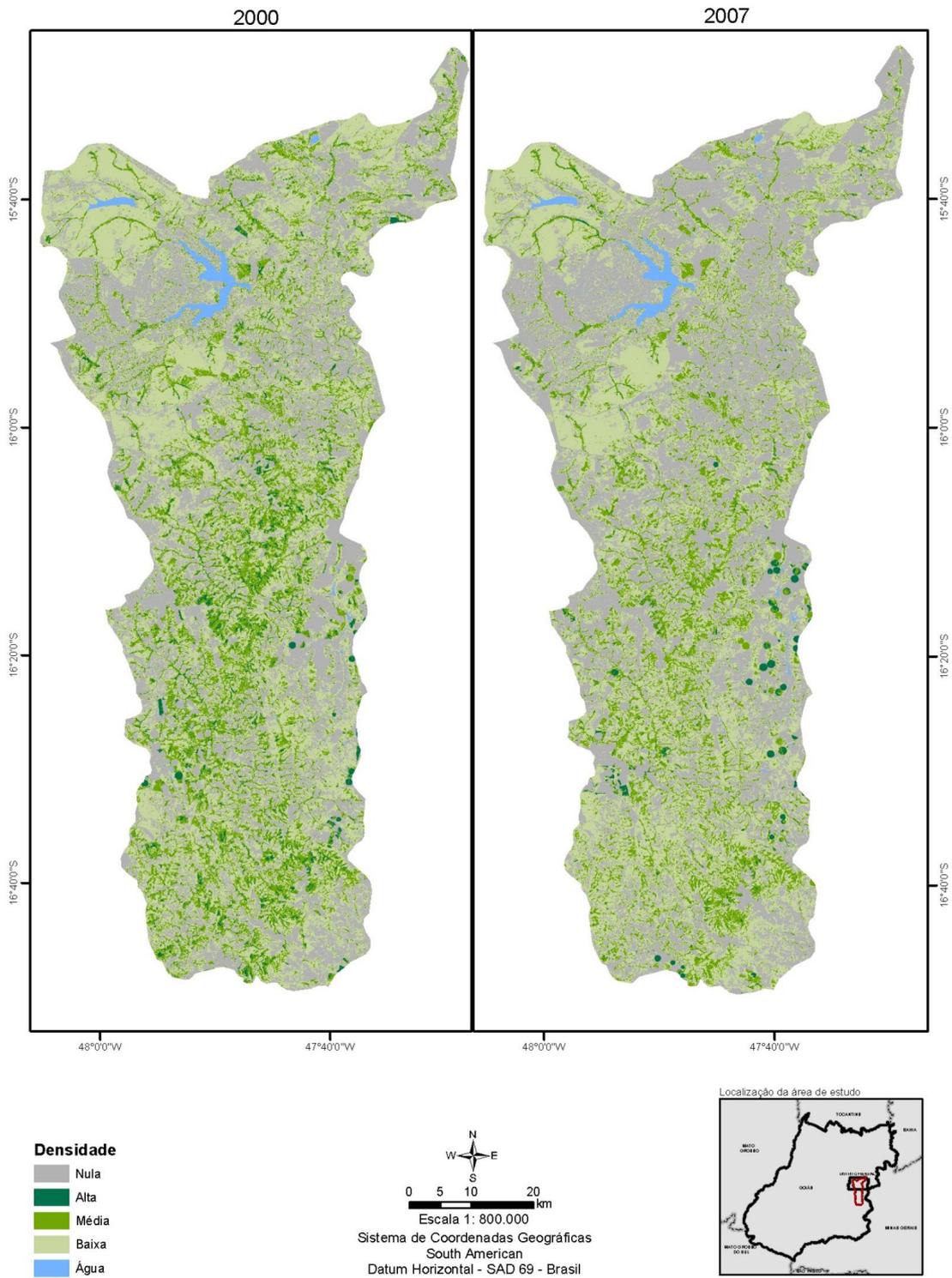


FIGURA 12. Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica São Bartolomeu, DF, Brasil – 2000/2007.

Bacia Hidrográfica São Bartolomeu Susceptibilidade ao Escamento Superficial

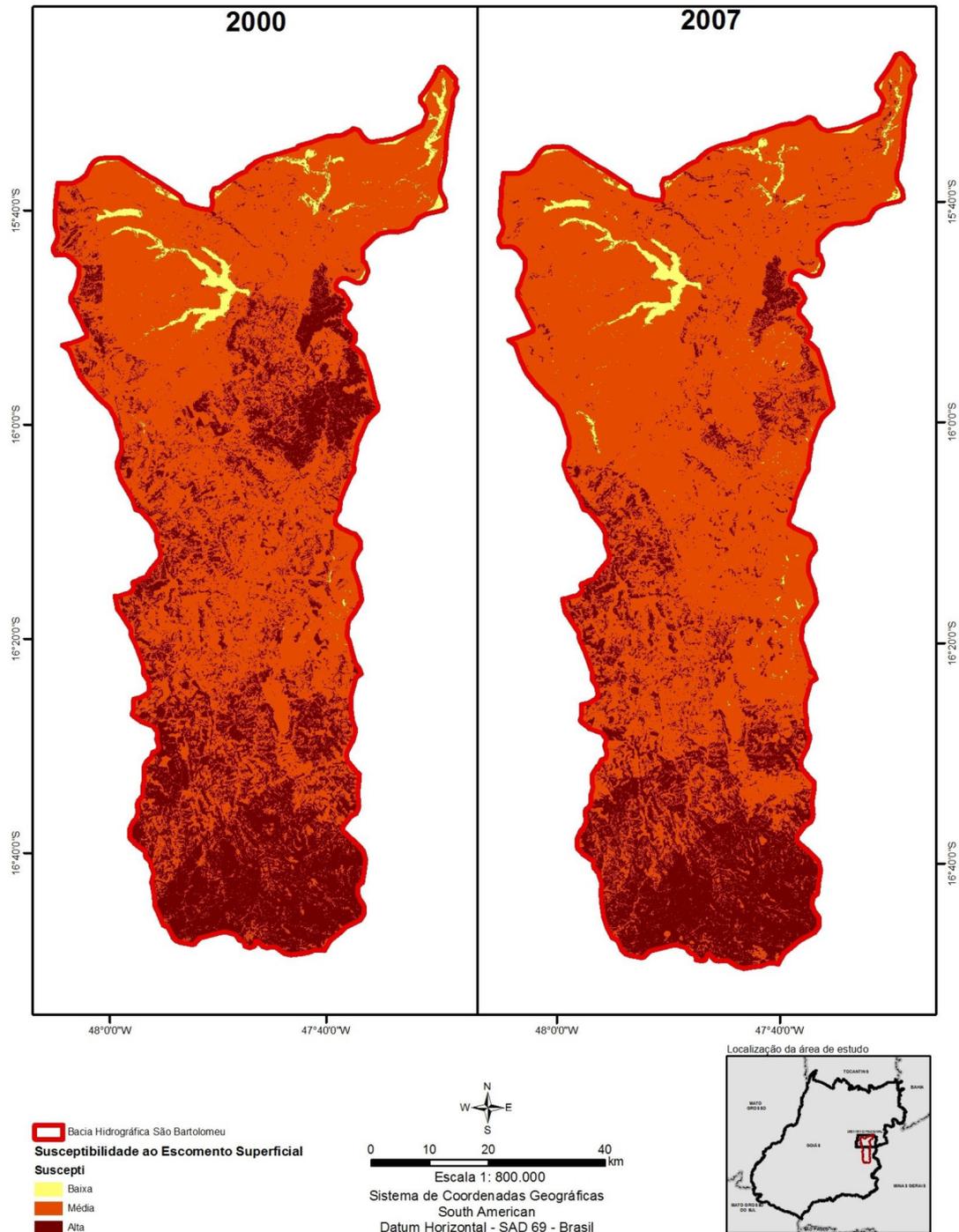


FIGURA 13. Susceptibilidade ao escoamento superficial Bacia Hidrográfica São Bartolomeu, DF, Brasil – 2000 e 2007.

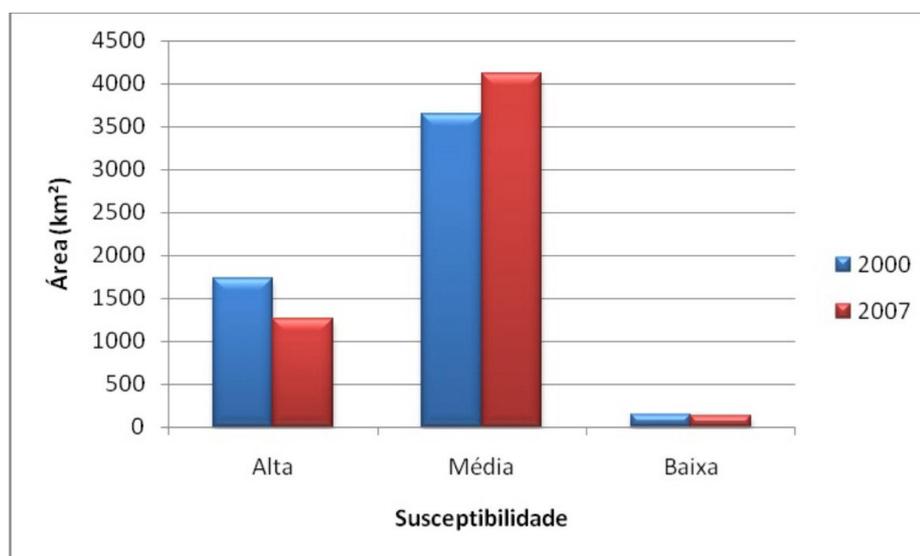


FIGURA 14. Avaliação multitemporal da Suscetibilidade ao Escoamento Superficial 2000/2007.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base na modelagem desenvolvida no presente estudo, por meio da qual se verificou a influência das características morfométricas, do tipo de solo, da declividade, da pluviometria e da cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica à suscetibilidade da mesma ao escoamento superficial, concluiu-se que a Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu apresenta em sua maioria áreas medianamente susceptíveis ao escoamento superficial.

Os mais de 50% da área da bacia susceptíveis ao escoamento superficial médio, em ambos os anos estudados, estão compatíveis com a análise individual das características, que em sua maioria já demonstravam a média suscetibilidade da Bacia ao escoamento. Comparando-se o mapa de suscetibilidade com o da cobertura vegetal, pode-se perceber que as áreas mais susceptíveis ao escoamento estão nos locais de mais abundante vegetação. Este fato contraria a literatura, cuja conclusão é de que quanto mais vegetação, menor é o escoamento superficial; isso mostra que há uma interdependência dos fatores pedologia, declividade, pluviometria e cobertura vegetal gerada por NDVI, de extrema importância, na determinação da eficiência da vegetação no controle do escoamento superficial, que não deve ser desconsiderada na caracterização de áreas com mais ou com menos suscetibilidade ao escoamento, pois isso acabaria por levar a um resultado incompatível com a realidade do local. Um bom exemplo da interdependência das características da bacia, na formação do fenômeno do escoamento superficial, pode ser observado na diminuição das áreas mais susceptíveis ao escoamento na porção sul da bacia hidrográfica do

Rio São Bartolomeu em 2007, uma vez que mesmo apresentando menos cobertura vegetal, algumas regiões passaram de alta para a classe de média suscetibilidade, pela interferência da redução das chuvas.

A análise da multitemporalidade foi de significativa importância, pois através dela verificou-se a intensidade de retirada da cobertura vegetal na bacia, o que aumenta diretamente a fragilidade ambiental da região a processos erosivos e resulta do processos de uso e ocupação desordenada do solo. Foi também através da multitemporalidade que se visualizou que a cobertura vegetal e o índice pluviométrico foram os fatores determinantes e responsáveis pela variação da suscetibilidade entre os anos sob estudo, uma vez que as características do solo e a declividade do terreno são fixas e não se alteram num período de sete anos.

A espacialização e qualificação da suscetibilidade ao escoamento superficial só foi possível pelo uso das geotecnologias, que se mostraram eficientes na visualização das características da área de estudo.

A partir deste estudo recomenda-se que sejam feitas quantificações, para os anos estudados, do escoamento superficial e da carga de sedimentos lixiviados na área, para que se complementem os resultados obtidos e se avalie a necessidade da aplicação de práticas que mantenham ou melhorem a qualidade da água e do solo da bacia.

Recomendam-se, ainda, ajustes ao modelo de forma a permitir uma melhor avaliação das respectivas potencialidades, para que sirva de subsídio para verificação das condições das fragilidades físicas de Bacia Hidrográfica e servir como base de referência para futuras pesquisas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BELTRAME, A. DA V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 112 p., 1994.
2. BIAS, E. DE S. **Técnicas de Geoprocessamento: Sua Aplicação como Suporte à Análise, Planejamento e Implantação de Redes Elétricas**. Rio Claro, 1998. 66 p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade do Estado de São Paulo.
3. BRASIL EM RELEVO. EMBRAPA – **Monitoramento por Satélite**. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acessado em: 12maio2009.
4. BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – **Dados de Satélite**. Disponível em: <http://www.inpe.br/>. Acessado em: 19mar2009.
5. CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgar Blucher, 2ª ed., 188 p., 1980.
6. EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, RJ. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, v. 26, 412 p., 1999.
7. FERREIRA, C.S. **Avaliação Temporal do Uso e Ocupação das Terras na Bacia do Rio São Bartolomeu, DF**. Brasília, 2006. 115 p. Dissertação (de Mestrado) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília.
8. FERRI, E. Planejamento urbano: embates entre as questões ambientais e sociais do Distrito Federal. **Revista Múltipla**, v. 9, n. 17, p. 131-141, 2004.
9. GUERRA, A. J.T. & CUNHA, S.B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 393 p., 1966.
10. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contagem da população 2007**. Rio de Janeiro: Ed. IBGE, 311 p., 2007.
11. INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas. Disponível em: <http://martem.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.01.26/doc/2511.pdf>. Acessado em: 20abr2009.
12. LABMET – LABORATÓRIO DE METEOROLOGIA. Disponível em: <http://www.nemrh.uema.br>. Acessado em: 28mai2009.
13. LASSE, E.S. DE L. **Avaliação da Ocupação dos Condomínios na Bacia do Rio São Bartolomeu**. Brasília, 2006. 66 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Católica de Brasília.
14. PFAFSTETTER, O. **Classificação de Bacias Hidrográficas: Metodologia de Codificação**. Rio de Janeiro: DNOS, 19 p., 1989.
15. PDOT – PLANO DIRETOR DE ORDENAMENTO TERRITORIAL DO DISTRITO FEDERAL. **Documento Técnico – Versão Final – Novembro / 2007**. Capítulo III, Dinâmicas territoriais. Disponível em: <http://www.semardf.gov.br/sites/300/379/00000480.pdf>. Acessado em: 12mar2009.
16. SEINFRA – SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA E OBRAS / DF. Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal – PGIRH/DF. **Relatório Temático Parcial 1**, Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas, v. 1, 115 p., 2006.
17. SILVA, A.M.; SCHULTZ, H.E.; CAMARGO, P.B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RIMa, 159 p., 2007.
18. SISTEMA ESTADUAL DE ESTATÍSTICA E DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS DE GOIÁS. **Download – Shapefiles (SIG)**. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acessado em: 12mar2009.
19. TUTTI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 2ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS: Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4, 943 p., 2000.

Manuscrito Recebido em: 12 de setembro de 2011

Revisado e Aceito em: 4 de abril de 2012