

GEOMÁTICA APLICADA NA CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DOS SOLOS DA CIDADE DE FRANCISCO BELTRÃO (PR)

Tayoná Cristina Gomes¹
Júlio Caetano Tomazoni²
Elisete Guimarães³
Juliane Mônica Ruthes⁴

Resumo: O trabalho apresenta os resultados da aplicação de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, como ferramentas para avaliar o potencial e a vulnerabilidade do uso do solo do perímetro urbano da cidade de Francisco Beltrão - PR. Os resultados foram obtidos através do processamento de dados no programa SPRING 5.2, juntamente com análises geológicas e pedológicas de laboratório e campo, obtendo-se mapas temáticos de declividade, tipo de solo, uso do solo e vulnerabilidade. Estes mapas são ferramentas essenciais para a análise e identificação dos problemas ambientais da área estudada, principalmente dos problemas com a erosão do solo, baseando-se principalmente em variáveis como textura, tipo e uso do solo e declividade.

Palavras-chave: uso do solo urbano; problemas ambientais; declividade; erosão.

GEOMATICS APPLIED TO THE CHARACTERIZATION OF ENVIRONMENTAL SOIL VULNERABILITY IN FRANCISCO BELTRÃO (PR)

Abstract: This paper presents the results of geoprocessing techniques and remote sensing as tools to assess the capacity and vulnerability of land use in the urban perimeter of the city of Francisco Beltrão (Paraná, Brazil). The results were obtained by data processing in SPRING 5.2 software, along with geological and soil analyses in laboratory and on field that produced thematic maps of declivity, soil type, land use, and vulnerability. These maps are essential tools for the analysis and identification of environmental problems in the studied area, especially involving soil erosion problems related to texture, soil type, land use, and declivity variables.

Keywords: urban land use; environmental issues; declivity; erosion.

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). tayonagomes@hotmail.com

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). caetano@utfpr.edu.br

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). guimaraes@utfpr.edu.br

⁴ Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). julianeruthes@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A partir da década de 1960, a população brasileira passou a ser predominantemente urbana. Tal fato promoveu a intensificação da urbanização provocou o crescimento acelerado das cidades. A falta de planejamento e controle do crescimento da mancha urbana tem resultado cada vez mais na ocupação de áreas impróprias a urbanização e, portanto, tornando-as susceptíveis a desastres ambientais.

A eficiência da gestão ambiental de um território depende, em grande parte, de levantamentos e estudos sistemáticos prévios sobre os principais elementos e condicionantes do meio físico. A ocupação inadequada do espaço e a utilização indevida dos recursos naturais podem acarretar sérios problemas ambientais (SANTOS et al 2007, p. 812).

No município de Francisco Beltrão, em 1980, a população urbana era de 28.289 habitantes e a população rural era de 20.473 habitantes, ou seja, 58,01% da população era urbana e 41,99% da população era rural, totalizando 48.762 habitantes (IBGE, 1980). No ano de 2010, a população urbana residente aumentou para 67.449 habitantes (85,44%), e 11.494 habitantes (14,56%) residiam na área rural, totalizando 78.943 habitantes (IBGE, 2010). Isto significa que em 30 anos houve um aumento expressivo da população urbana, intensificando os processos de ocupação e impermeabilização do solo nesta área.

O rápido processo de urbanização ocorrido nas últimas décadas tem sido a causa de diversos problemas ambientais urbanos, ocasionados pelo uso indiscriminado do solo, afetando a qualidade de vida das populações dessas áreas. Dentre outros, os impactos hidrológicos são os mais comumente observados, enquadrando-se nestes a poluição dos cursos d'água, processos erosivos e inundações, causados, dentre outros, pela supressão da cobertura vegetal e sua substituição por superfícies impermeáveis (KUCK; ALVES, 2011, p. 1).

Os processos erosivos que ocorrem naturalmente dentro do ambiente urbano são intensificados pelas ações antrópicas, por isso é necessário identificar as áreas susceptíveis a esses eventos, para tomar medidas visando seu controle e assim garantir a segurança da população residente.

As diversas formas de pensar a sustentabilidade urbana convergem para a necessidade de se buscar o uso mais eficiente dos recursos naturais, ampliando o acesso aos benefícios da vida urbana às parcelas excluídas, controlando o crescimento e a densidade urbana de modo a conciliar o desenvolvimento urbano com a preservação do ambiente que lhe dá suporte (LIMA, 2002, p. 88).

Enfatiza-se, assim, que a maior parte dos desastres decorrentes de fenômenos naturais pode ser reduzida, minimizada ou até mesmo evitada, se forem adotadas medidas de prevenção e de disciplinamento do uso e ocupação do solo (TOMINAGA *et al*, 2009, p.160).

Análises no ambiente são realizadas para buscar as melhores formas de se utilizar o solo de forma sustentável, para isso podem-se aplicar ferramentas de geoprocessamento que permitam localizar dados espacialmente, levantando, organizando e editando-os, para que seja possível caracterizar o problema e posteriormente aplicar as devidas correções ou soluções.

O objetivo principal do geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais, para que os diferentes analistas determinem as evoluções espacial

e temporal de um fenômeno geográfico e as inter-relações entre diferentes fenômenos. Tomemos um exemplo: ao analisar uma região geográfica para fins de zoneamento agrícola, é necessário escolher as variáveis explicativas (p.ex., o solo, a vegetação e a geomorfologia) e determinar qual a contribuição de cada uma delas para a obtenção de um mapa resultante (CÂMARA; MEDEIROS, 1998, p. 9).

Atualmente há um crescente número de trabalhos, que desenvolveram técnicas para oferecer novas soluções metodológicas, em relação ao planejamento e gestão ambiental no sentido de compreender e mitigar as influências antrópicas sobre os meios naturais. Estas novas metodologias, em sua maioria, utilizam o geoprocessamento, cuja aplicação é um valioso recurso de apoio possibilitando avaliar o potencial dos recursos naturais no contexto físico e biótico da paisagem mediante análise integrada de seus componentes. Estas técnicas viabilizam a gestão e simulações de cenários futuros, dentre inúmeras outras aplicabilidades (SANTOS, *et al.*, 2007, p 812).

Uma das principais ferramentas do geoprocessamento é o Sistema de Informação Geográfica - SIG, que permite localizar, manipular e editar os dados segundo a sua aplicabilidade, como o Spring 5.2 (INPE, 2012), utilizado neste trabalho.

O SIG é utilizado como ferramenta para produção de mapas, para análise espacial e para o armazenamento de informações espaciais. Através de sua multiplicidade, tem como características principais o de integralizar várias informações espaciais (cadastro urbano e rural, dados cartográficos, imagens de satélite, curvas de níveis, hidrografia, entre outros), numa mesma base de dados e de oferecer mecanismos de visualização e de consulta das várias informações armazenadas (LACERDA, 2010, p.1).

No espaço urbano a impermeabilização do solo é mais intensa quando comparada ao meio rural, fazendo com que a carga sobre o solo seja maior, favorecendo processos erosivos, já que o mesmo possui cobertura vegetal mínima para amortecer o impacto da água da chuva com a superfície. Daí vem a importância das informações e do conhecimento da capacidade do solo dentro do perímetro urbanizado para que seja possível estabelecer medidas de prevenção e de controle dos processos que causam prejuízos à sociedade e ao meio ambiente.

Quase sempre a intenção de organizar e controlar a distribuição espacial da população e das suas atividades visa facilitar a administração da cidade, otimizar os resultados dos investimentos públicos, dimensionar adequadamente as redes de infraestrutura, o transporte público, a circulação de veículos, etc., contemplando em alguns casos a preservação de fundos de vale, de paisagens e monumentos naturais ou construídos (LIMA, 2002, p.91).

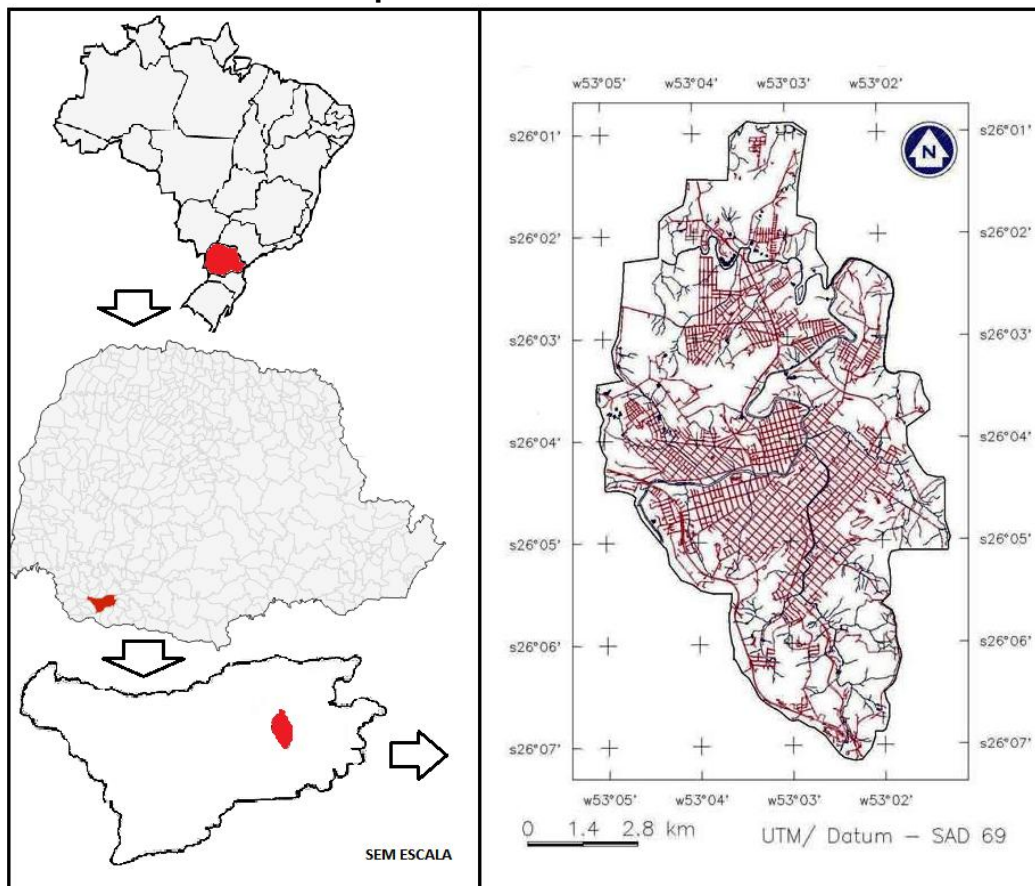
Existe uma carência muito grande de informações sobre os solos existentes sob as cidades, sendo essas necessárias para um melhor planejamento de uso desse recurso natural. O mapeamento e classificação dos solos, quando consideradas as suas características e propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, permite determinar seu potencial de uso. Estas informações, juntamente com o diagnóstico do avanço urbano e o mapeamento das áreas de risco, são úteis ao planejamento do uso racional desses espaços (PEDRON *et al.*, 2007, p. 147).

O presente estudo possibilitou determinar às áreas suscetíveis a processos erosivos e que apresentam algum tipo de risco à população residente na cidade de

Francisco Beltrão, podendo assim, prevenir os habitantes locais e informar as autoridades sobre esses riscos.

A área de estudo está localizada no município de Francisco Beltrão, que se encontra sobre um derrame basáltico antigo, no Terceiro Planalto do Paraná, ou Planalto de Guarapuava. O perímetro urbano de Francisco Beltrão, localiza-se entre as coordenadas geográficas de latitude sul $26^{\circ} 07' 14,14''$ e $26^{\circ} 00' 46,88''$ e longitude oeste $53^{\circ} 05' 20,25''$ e $53^{\circ} 01' 2,62''$ (figura 01). A composição do solo basicamente é de Latossolos, Nitossolos, Cambissolos e Neossolos. O Perímetro urbano de Francisco Beltrão possui área total de: 4.256,87 ha e perímetro de 34,02 km.

Figura 01- Localização da área urbana da cidade de Francisco Beltrão, no município e no Estado do Paraná.



Fonte: dos autores.

PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

Para estudar a suscetibilidade dos solos a erosão efetuou-se levantamento das características físicas, através da análise granulométrica. Para isso foram coletadas 10 amostras de solo, duas em cada ponto, sendo uma do horizonte superficial e outra do subsuperficial. Os pontos de coleta tiveram suas coordenadas UTM identificadas, com um GPS MAP 76 de navegação, da marca GARMIN. Os dados dos pontos de coleta constam na tabela 01 e identificados em amarelo na

figura 02. As informações referentes a tipo de solo observado em campo, profundidade de coleta e horizonte são apresentadas na tabela 01.

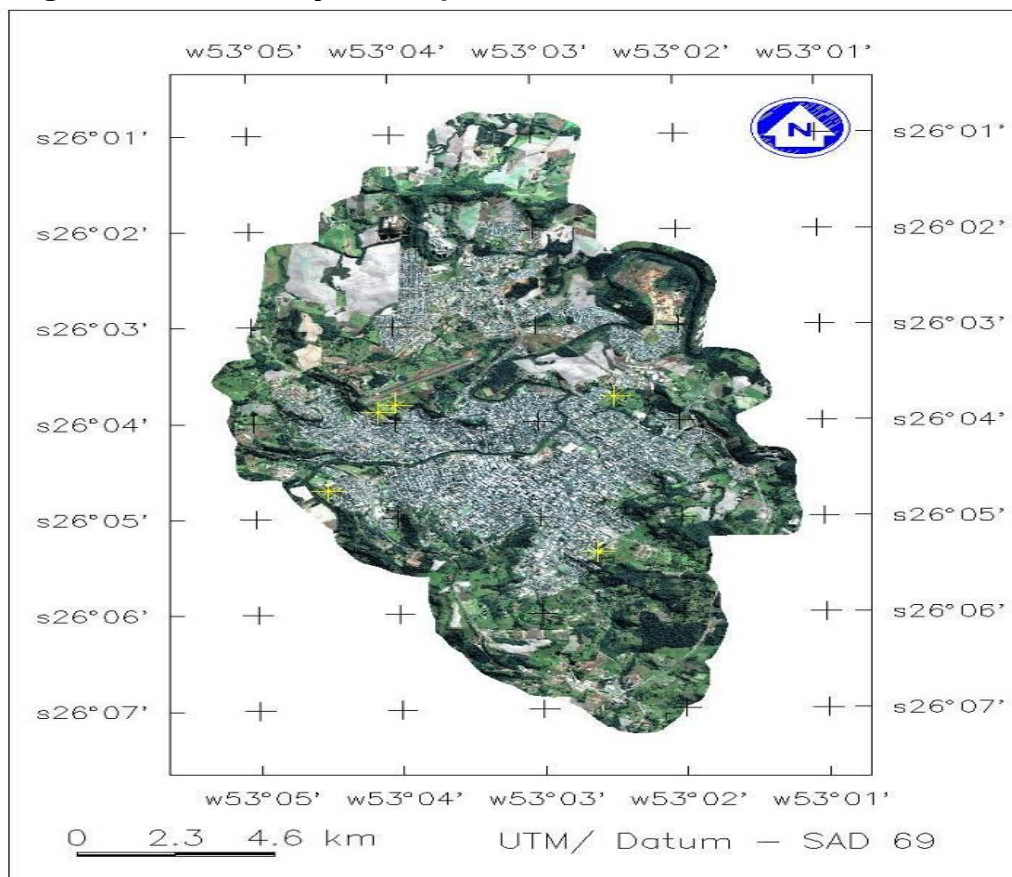
Para caracterização granulométrica das amostras de solo foi utilizada a metodologia da EMBRAPA (CLAESSEN, 1997, p. 27).

Tabela 01 - Informações de tipo de solo, horizonte e profundidade das amostras de solo coletadas.

Ponto Coleta	Coordenadas		Amostra	Solo	Horizonte	Profundidade (cm)
	X	Y				
1	293050	7115480	1	Cambissolo	A	0 - 40
			2		C	40 - 100
2	293262	7115618	3	Latossolo	A	0 - 50
			4		B	50 - 120
3	295827	7115811	5	Nitossolo	A	0 - 40
			6		B	40 - 100
4	295639	7112807	7	Neossolo	A	0 - 30
			8		C	30 - 60
5	292477	7113956	9	Latossolo	A	0 - 40
			10		B	40 - 120

Fonte: dos autores.

Figura 02 - Localização dos pontos de coleta de amostras de solo.



Fonte: dos autores.

GERAÇÃO DE MAPAS

Para geração dos mapas temáticos foram utilizados dados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Francisco Beltrão, na escala 1:2000, dentre estes, curvas de nível com equidistância de 1m, rodovias, rios, entre outros dados, gerados a partir de restituições de fotos aéreas de 1995 e uma imagem do satélite ALOS, com resolução espacial de 2,5 m.

Em ambiente Spring 5.2, foram criadas grades retangulares e triangulares para geração dos dados altimétricos e de declividade, dados estes de grande importância para o estudo.

O mapa de declividade foi gerado a partir das classes propostas por Ross (1994, p.66) e seus respectivos pesos, descritos na tabela 02.

Tabela 02 - Hierarquia da vulnerabilidade pela classificação da declividade.

Hierarquia da Vulnerabilidade	Declividade	Peso Utilizado
Muito Fraca	Até 6%	1
Fraca	De 6 a 12%	2
Média	De 12 a 20%	3
Forte	De 20 a 30%	4
Muito Forte	Acima de 30%	5

Fonte: SANTOS et al (2007).

Para identificação dos tipos de solo presentes na área estudada foi utilizada a Carta de Solos do Estado do Paraná (EMBRAPA, 2006) folha SG 22-Y-A, escala 1:250000 na forma de imagem. Vetorizou-se os tipos de solo, que ocorrem no perímetro urbano do município, os quais foram identificados como: LVdf - Latossolo Vermelho distroférico, NVdf – NITOSSOLO VERMELHO distroférico e RRe - NEOSSOLO REGOLÍTICO eutrófico.

O mapa de solos da Embrapa está em uma escala muito pequena, sendo necessária uma maior riqueza de detalhes dos mesmos. Assim, utilizando a técnica da álgebra de mapas (SILVA *et al.*, 2011) relacionando os tipos de solos e a declividade, é possível obter um maior nível de detalhes das classes de solos da região. Isto só foi possível, pois toda a área estudada encontra-se sobre o mesmo material de origem, o basalto.

Com isso, pode-se considerar as classes de RRe- NEOSSOLO REGOLÍTICO eutrófico, CXbef - CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Eutroféricos, NVef - NITOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos, LVef - LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos, RRd - NEOSSOLOS REGOLÍTICOS distróficos, CXbd - CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos, NVdf - NITOSSOLOS VERMELHOS Distroféricos e LVdf - LATOSSOLOS VERMELHOS Distroféricos.

Para estes também foram atribuídos pesos segundo Ross (1994, p. 68) conforme a tabela 03.

Tabela 03 - Hierarquia da vulnerabilidade pela classificação do tipo de solo.

Solo	Fragilidade	Vulnerabilidade
Latossolos Vermelhos - LV	Muito Baixa	1
Nitossolos Vermelhos - NV	Média	2
Cambissolos Hápicos - CX	Forte	3
Neossolos Regolíticos - RR	Muito Forte	4

Fonte: SANTOS et al (2007).

Na geração do mapa de uso da terra, utilizou-se a imagem do satélite Alos com resolução espacial de 2,5 m. Empregando a técnica de segmentação de imagem e após vários testes e combinações de similaridade e área de pixel, foram utilizados como parâmetros de segmentação similaridade de 30 e áreas de pixel 30, classificador Bhattacharya, pois os mesmos foram considerados satisfatórios para que se pudesse identificar claramente o contorno do divisor dos diferentes tipos de uso solo. Feito isso, foram coletadas aproximadamente 50 amostras e efetuada classificação manual utilizando-se da interpretação visual da imagem para coleta de cada amostra respectiva a determinada classe. Com a definição das amostras foi possível gerar o mapa de uso do solo urbano, onde as classes criadas foram: hidrografia (H), solo impermeabilizado (SI), solo exposto (SE), vegetação arbórea (VA) e vegetação rasteira (VR).

A metodologia utilizada para geração do mapa de vulnerabilidade foi proposta por Ross (1994), que permite atribuir pesos a cada fator de influência. Após atribuir pesos para as variáveis é preciso criar uma matriz de tabulação relacionando-as, como mostra a tabela 04. Nesta, o primeiro algarismo representa o nível de vulnerabilidade segundo a declividade do terreno e a vulnerabilidade em função do tipo de solo, valores estes já apresentados nas tabelas 02 e 03.

Tabela 04 - Tabulação cruzada dos tipos de solo e declividade.

Tipo de Solo/ Declividade	Latossolo	Nitossolo	Cambissolo	Neossolo
<6%	11	12	13	14
6-12%	21	22	23	24
12-20%	31	32	33	34
20-30%	41	42	43	44
>30%	51	52	53	54

Vulnerabilidade I – 11, 21. Vulnerabilidade II – 12, 22, 32, 31. Vulnerabilidade III – 13, 23, 33, 43, 41, 42. Vulnerabilidade IV – 14, 24, 34, 44, 54, 53, 52, 51.

Fonte: Fonte: SANTOS et al (2007).

O agrupamento das vulnerabilidades em seus respectivos níveis foi baseado em estudo de Tomazoni *et al* (2009, p. 2), que caracteriza a capacidade de uso do solo urbano segundo o tipo de solo e declividade determinando aptidões, possíveis problemas com ocupação e critérios para uso urbano. Assim, latossolos com declividade até 10%, possuem aptidão para uso urbano de até 90% de suas áreas; nitossolos com declividade até 20% possuem aptidão para uso urbano de até 50%; cambissolos com declividade de até 30% possuem aptidão para uso urbano de até

30% de suas áreas e requerem práticas de médias a complexas para proteção da erosão e são áreas que necessitam de medidas preventivas para evitar a erosão; já os neossolos com declividade igual ou maior que 30% são áreas com grandes restrições para uso urbano, sugerindo ocupação urbana de até 10% apenas. Desse modo, gerou-se o mapa de vulnerabilidade.

Como parte final do processo de análise foi vetorizada as áreas de preservação permanente, segundo a lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os dados resultantes da análise de metodologia seguida pela EMBRAPA são apresentados nas tabelas 05 e 06.

Observa-se nos valores (tabela 05) que apenas a amostra 2 contém certo teor de calhaus, o que já era esperado por trata-se de uma amostra de cambissolo retirada do horizonte C e essa mesma amostra, apresentou maior teor de cascalho (14,88 %). A amostra 8 que corresponde a um neossolo retirado do horizonte C, observa-se que há um alto teor de cascalho, 11,82% e não apresenta teor de calhaus. As amostras 3, 4, 9 e 10 são amostras de latossolo e, portanto apresentam os menores valores de cascalho, pois se tratam de solos bem desenvolvidos e conseqüentemente partículas menores.

Tabela 05 - Teores de Terra fina, Cascalho e Calhaus.

Amostras	Solo	Horizonte	Terra fina (%)	Cascalho (%)	Calhaus (%)
1	Cambissolo	A	97,07	2,93	0,00
2		C	76,18	14,88	8,95
3	Latossolo	A	99,36	0,64	0,00
4		B	99,45	0,55	0,00
5	Nitossolo	A	98,96	1,04	0,00
6		B	97,92	2,08	0,00
7	Neossolo	A	93,04	6,96	0,00
8		C	88,18	11,82	0,00
9	Latossolo	A	99,86	0,14	0,00
10		B	99,46	0,54	0,00

Fonte: dos autores.

Os resultados dos teores de areias, silte e argila são apresentados na tabela 06. As amostras 1 e 2 (cambissolo) e as amostras 7 e 8 (neossolo), apresentaram os menores teores de argila, enquanto que as amostras 3, 4, 9 e 10, por se tratarem de latossolo, apresentaram teores mais elevados.

Os solos foram classificados, segundo Brasil (2008) como solos do tipo 3 de textura argilosa, com teor de argila maior ou igual a 35%, como mostra a tabela 06 e por isso não é necessário diferenciá-los segundo a textura. É importante destacar que toda a área estudada encontra-se sobre o mesmo material de origem, o basalto.

Os teores de matéria orgânica são apresentados na tabela 06, as amostras 1 e 3 contém os maiores teores. A amostra 3 com 15,66%, apresenta esse elevado

teor de MO em razão de tratar-se de uma área de pastagem com criação de gado. A amostra 1, com 12,61% de matéria orgânica, também foi retirada de uma área de pastagem.

Tabela 06 - Resultado das análises de amostras segundo o tipo de solo e granulometria e teor de matéria orgânica.

Tipo solo	Horiz.	Arg. %	A. Fina %	A. Grossa %	Silte %	MO
Cambissolo Háplico eutroférico	A	55,18	9,48	14,07	21,27	12,61
	C	63,31	4,01	4,73	27,95	11,85
Latossolo Vermelho distroférico	A	72,21	5,21	11,36	11,23	15,66
Nitossolo Vermelho eutroférico	A	61,03	3,65	6,41	28,90	10,54
	B	66,45	5,21	9,37	18,97	9,73
Neossolo Regolítico distrófico	A	37,86	11,08	15,24	35,82	9,14
	C	35,62	12,42	28,92	23,05	10,72
Latossolo Vermelho distroférico	A	71,38	1,74	1,86	25,03	10,64
	B	75,90	1,52	1,39	21,19	10,21

Fontes: dos autores.

CARACTERIZAÇÃO DO RELEVO

O mapa de declividade (figura 03) e os dados da tabela 07 indicam que 13,91% da área apresenta declividade acima de 30%, ou seja, segundo a Lei Federal nº 6766 de 19 de dezembro de 1979 (BRASIL, 1979), que dispõe sobre o parcelamento do solo, 592,29 ha da área não podem ser parcelados, assim considerados com alta vulnerabilidade. Sendo assim, os outros 86,09% da área podem ser ocupados, porém tomando medidas de minimização e prevenção de impactos ambientais.

Tabela 07 - Classes de declividade no perímetro urbano de Francisco Beltrão (PR) e suas respectivas áreas e porcentagem.

Classes de Declividade	Área (ha)	Área (%)	Hierarquia da Vulnerabilidade
0-6%	1098,38	25,80	Muito Fraca
6-12%	1241,04	29,15	Fraca
12-20%	853,27	20,04	Média
20-30%	471,89	11,09	Forte
>30%	592,29	13,91	Muito Forte
Total	4.256,87	100,00	

Fontes: dos autores.

USO DA TERRA

No mapa de uso da terra, as classes que apresentam maior domínio são a de vegetação arbórea com 29,20% de cobertura e em seguida a classe de solo impermeabilizado com 26,49% de cobertura, valores mostrados na tabela 08. Assim,

ainda existe proteção na área, explicada pela alta porcentagem de vegetação arbórea, principal classe de proteção ao solo, porém também existe a preocupação com a concentração da área impermeabilizada, como mostra a figura 04.

Tabela 08 - Classes de uso do solo no perímetro urbano de Francisco Beltrão (PR) e respectivas porcentagens.

Classes de Uso do Solo	Área ha	Área (%)
Solo Exposto	832,64	19,56
Solo Impermeabilizado	1.127,64	26,49
Vegetação Arbórea	1.243,01	29,20
Vegetação Rasteira	1.003,77	23,59
Hidrografia	49,81	1,17
Total	4.256,87	100,00

Fontes: dos autores.

TIPOS DE SOLOS

Na tabela 09 e no mapa de solos (figura 05), verifica-se que aproximadamente 14% da área total são constituídas por Neossolo, que possui peso máximo de vulnerabilidade como já determinado na tabela 03.

Tabela 09 - Classes de solos do perímetro urbano de Francisco Beltrão PR, e suas respectivas áreas e porcentagem.

Classes de Solos	Área (ha)	Área (%)
LVdf	1791,97	42,10
LVef	174,44	4,10
NVdf	1065,78	25,04
NVef	159,84	3,75
RRd	518,53	12,18
RRe	73,58	1,73
CXbd	407,75	9,58
CXbef	64,98	1,53
Total	4.256,87	100,00

Fontes: dos autores.

CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS SOLOS A DESASTRES AMBIENTAIS

Na classificação de vulnerabilidade muito baixa, enquadra-se 46,20% da área, sendo que 28,79% enquadra-se na categoria de vulnerabilidade baixa, 11,11% com vulnerabilidade média e 13,91% com vulnerabilidade alta. Isso significa que os 13,91% classificados com vulnerabilidade alta, não são recomendados para uso urbano.

Utilizando a tabulação cruzada, (tabela 10) observa-se que dos 46,20% classificados com vulnerabilidade muito baixa, que são altamente recomendados para uso urbano, 16,37% foram classificados com uso do solo na classe de solo

impermeabilizado, ou seja, esta área já esta com algum tipo de ocupação e 10,68% classificado como solo exposto ainda pode ser ocupado e o restante é ocupado pelas demais formas de uso.

Na classe II, com 28,79% da área, que se enquadra na categoria de vulnerabilidade baixa, e que também é recomendada para uso urbano, 6,73% desta classe possuem solo impermeabilizado, ou solo já ocupado, e 6,98% de solo ainda exposto, o restante enquadra-se nas demais formas de uso. Na classe III, que abrange 11,11% da área, 2,01% foram classificados com solo impermeabilizado e 1,14% com solo exposto, sendo esta classe considerada apta, com restrições, para ocupação urbana, devem ser tomadas medidas de prevenção à erosão, para evitar impactos ambientais.

Tabela 10 - Tabulação cruzada das classes de vulnerabilidade e do uso do solo do perímetro urbano de Francisco Beltrão PR (áreas em %).

Classe	SE	SI	VA	VR	H	Total
I – Muito baixa	10,68	16,37	9,11	9,17	0,87	46,20
II - Baixa	6,98	6,73	7,32	7,61	0,15	28,79
III - Média	1,14	2,01	4,56	3,35	0,05	11,11
IV - Alta	0,75	1,45	8,16	3,45	0,10	13,91
Total	19,55	26,56	29,15	23,58	1,16	100,00

Legenda: solo exposto (SE), solo impermeabilizado (SI), vegetação arbórea (VA), vegetação rasteira (VR) e hidrografia (H).

Fontes: dos autores.

Por fim, na classe IV, dos 13,91% da área que se enquadram nesta classe, que é considerada de vulnerabilidade alta, onde não se recomenda a ocupação urbana, 1,45% possui solo impermeabilizado ou ocupado; 0,75% com solo exposto; 8,16% com vegetação arbórea, ou seja, com solo protegido; e 3,45% com vegetação rasteira, ou com alguma pequena proteção.

Com a delimitação das áreas de preservação permanente (APP) mostradas na figura 06 que constam na tabela 11 verifica-se que 72,27% estão com uso do solo considerado regular, pois estão cobertas por vegetação arbórea e rasteira e com hidrografia, indicando que estão preservadas. Destas 35,79% classificada com vegetação arbórea, 25,59% com vegetação rasteira e 10,89% com hidrografia.

Os 27,72% das APP restantes estão com uso irregular sendo que desta, 12,94% com solo exposto e 14,78% com solo impermeabilizado, ou seja, com algum tipo de ocupação.

Tabela 11 - Classes de uso de solos na área total e nas áreas de APP do perímetro urbano de Francisco Beltrão PR e suas respectivas áreas e porcentagem.

Forma de uso do Solo	Na área total		Na área de APP		
	Área (ha)	% da área	Área (ha)	% do total	% da APP
Solo Exposto	827,28	19,43	113,73	2,67	12,94
Solo Impermeabilizado	1130,62	26,56	129,85	3,05	14,78
Vegetação Arbórea	1121,81	26,35	314,50	7,39	35,79
Vegetação Rasteira	991,33	23,29	224,89	5,28	25,59
Hidrografia	95,73	2,25	95,73	2,25	10,89
Total	4256,87	100,00	878,70	20,64	100,00

Fontes: dos autores.

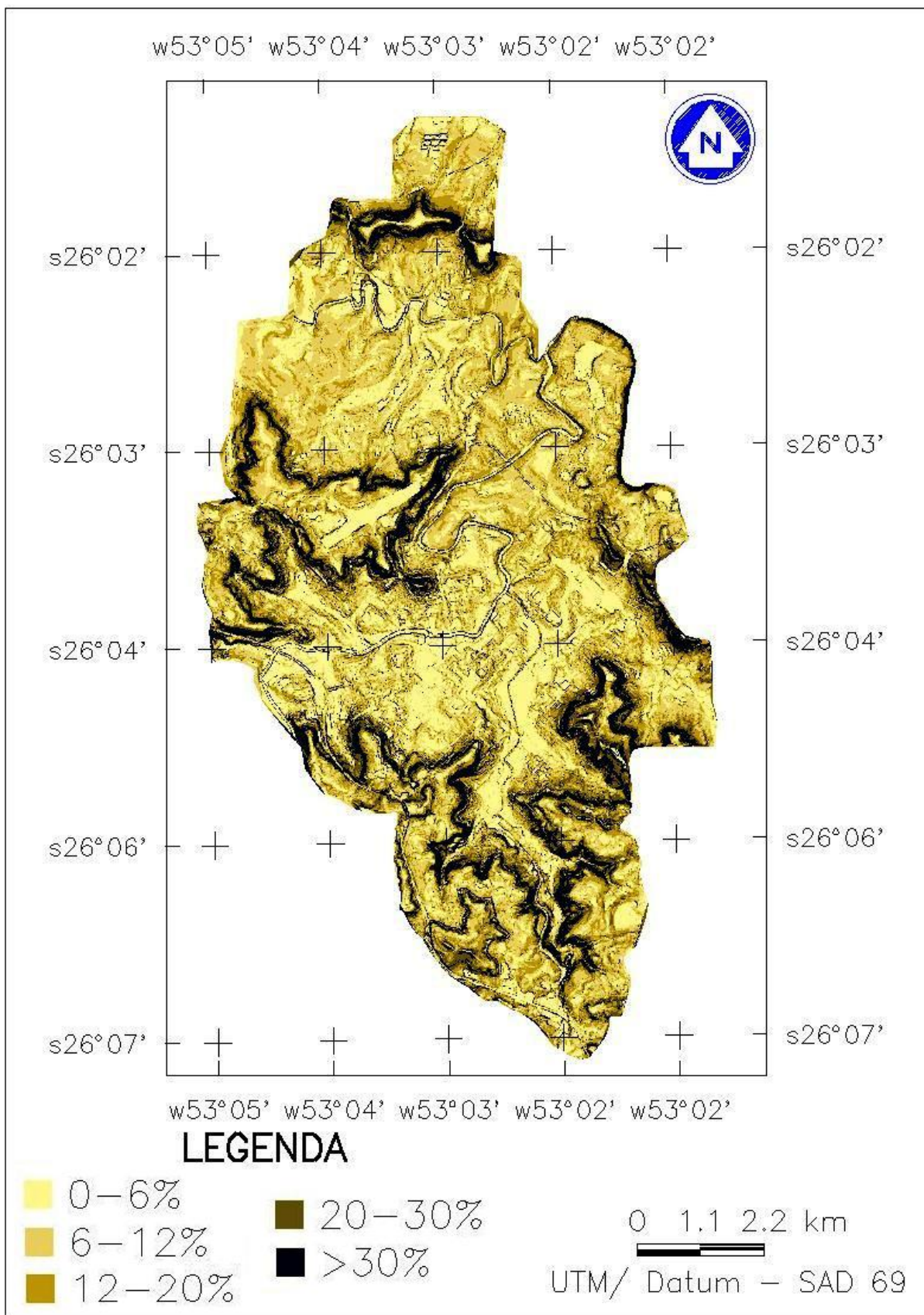
Verificando a vulnerabilidade nas APP (tabela 12), predomina a classe de vulnerabilidade muito baixa em 40,53% da área, que pela classificação, pode caracterizar sua maioria com solo desenvolvido e com baixa declividade. Este aspecto deve analisado separadamente e relacionado a problemas com enchentes, já que se trata de uma área bastante drenada e com baixa declividade. Foram considerados ainda 24,42% com vulnerabilidade baixa, 10,67% com vulnerabilidade média e 13,49% com vulnerabilidade alta. Porém é importante salientar que estas áreas pertencentes a ultima classe, segundo a legislação, não podem ser utilizadas.

Tabela 12 - Classes de vulnerabilidade do solo nas APP, suas respectivas áreas e porcentagem.

Classe de Vulnerabilidade	Área de APP (ha)	Área de APP (%)
I – Muito baixa	356,15	40,53
II - Baixa	214,62	24,42
III - Média	93,80	10,67
IV - Alta	118,41	13,49
Hidrografia	95,73	10,89
Total	878,70	100

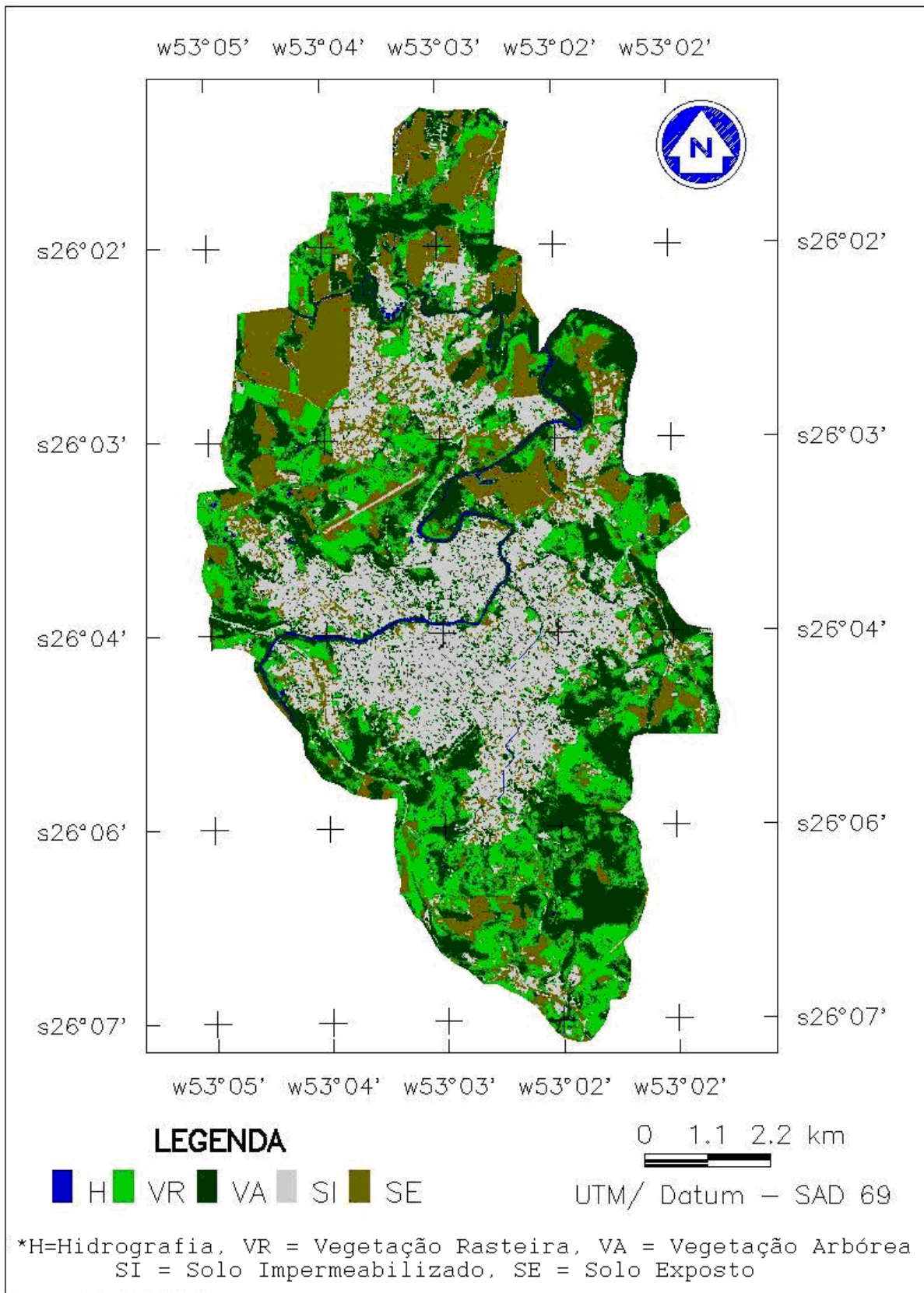
Fontes: dos autores.

Figura 03 - Mapa de declividade da cidade de Francisco Beltrão.



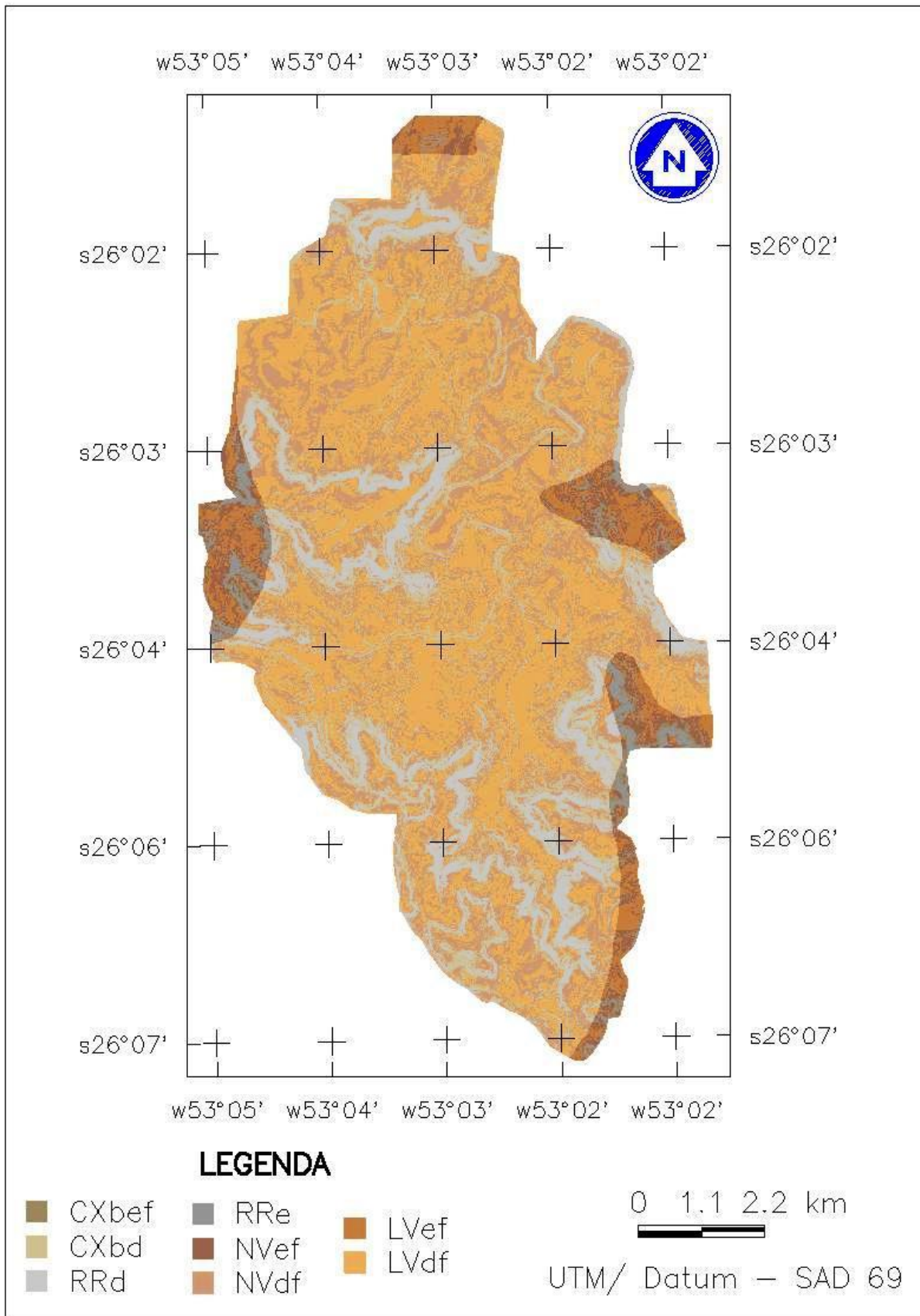
Fontes: dos autores.

Figura 04 - Mapa de Uso do solo da cidade de Francisco Beltrão.



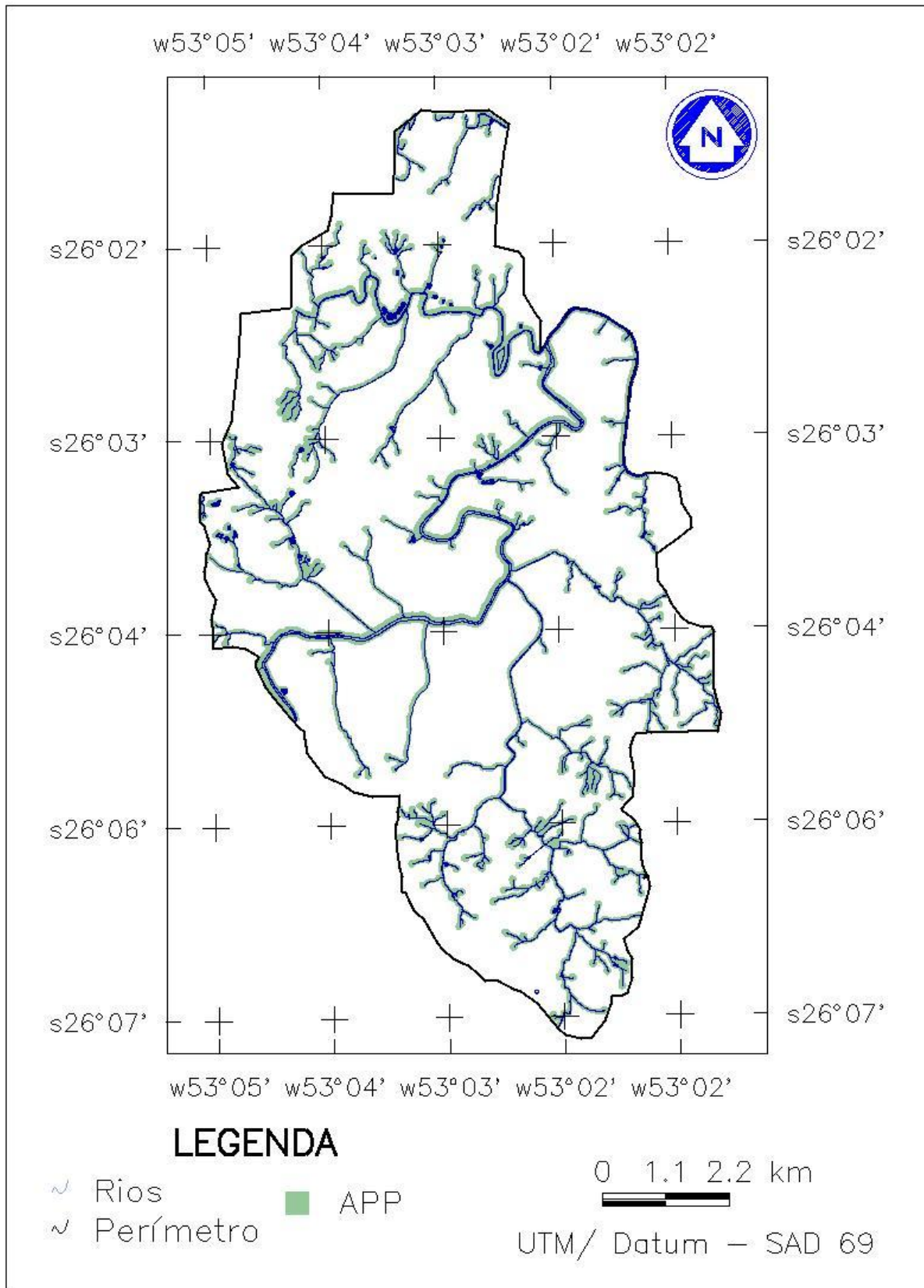
Fontes: dos autores.

Figura 05 - Mapa dos tipos de solo da cidade de Francisco Beltrão.



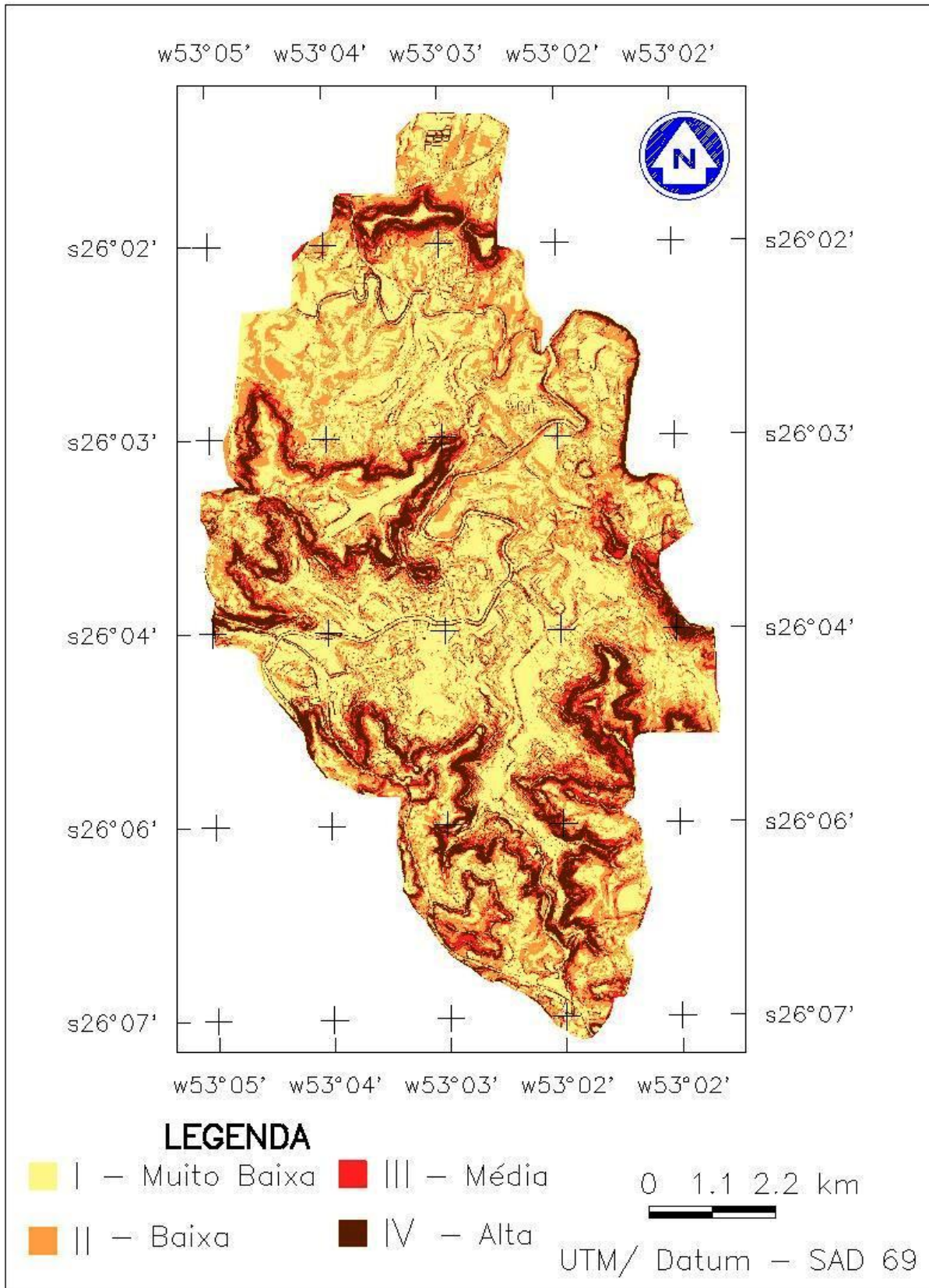
Fontes: dos autores.

Figura 06 - Mapa da hidrografia e APP da cidade de Francisco Beltrão.



Fontes: dos autores.

Figura 07 - Mapa de vulnerabilidade dos solos da cidade de Francisco Beltrão.



Fontes: dos autores.

CONCLUSÕES

A metodologia empregada permitiu classificar a vulnerabilidade do solo da cidade de Francisco Beltrão em quatro classes, sendo elas muito baixa, baixa, média e alta a partir dos dados de relevo, tipo, textura e uso do solo. As análises granulométricas foram importantes para caracterizar os tipos de solo segundo suas texturas.

O conhecimento das características geotécnicas de uma área urbana é necessário para orientar o uso do solo da mesma. Assim, podem ser identificadas áreas de risco (sujeitas a deslizamentos), terrenos suscetíveis à erosão e locais com lençol freático elevado, por exemplo, onde a ocupação deve ser feita com muito controle ou mesmo evitada (MOTA, 2003, p. 38).

Observando os mapas de uso do solo e vulnerabilidade nota-se que a área de maior densidade de ocupação, a área central do mapa da figura 07, contorna as áreas classificadas com alta vulnerabilidade ou alta declividade. Porém, segundo os dados apresentados ainda há áreas de alta vulnerabilidade e que também possuem algum tipo de ocupação, ou seja, 1,45% da área total se encontram nesta situação, valor considerado baixo, porém considerando as tendências de aumento da impermeabilização do solo é um fator que deve ser verificado e evitado pelas autoridades municipais.

Nas APP, conforme figura 06 verifica-se que ainda há ocupação nestas áreas, pois, 14,78% da área que deveria ser de total preservação, estão com ocupação urbana e são altamente vulneráveis, o que chama atenção para o caso de possíveis problemas ambientais como o de assoreamento e poluição do rio e possíveis enchentes. Também 12,94% das APP encontram-se sem nenhum tipo de proteção, intensificando assim, os processos erosivos nestas áreas.

Os mapas de vulnerabilidade e risco são importantes, devido à informação que podem ser utilizados como uma ferramenta para a tomada de decisão e para uma correta gestão do risco. Finalmente a importância desta análise está diretamente relacionada com o uso das novas tecnologias de informação (SIG) para juntar todas as componentes, atuando como uma ferramenta para o modelo conceptual e coerente, para análise da gestão multidisciplinar (ALVES; *et al*, 1999).

Espera-se que o presente estudo venha contribuir para as ações de planejamento urbano e ambiental, assim como, ofereça suporte para outros estudos realizados na área urbana do município.

REFERÊNCIAS

ALVES, Fátima; PINTO, Fátima T.; FERREIRA, José. **A análise da vulnerabilidade e do risco na zona costeira como contributo para a tomada de decisão**. In: Congresso de Geografia Portuguesa, 3, 1999, Lisboa: Edições Colibri e Associação Portuguesa de Geógrafos, p. 559-566.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispões sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm#art83>. Acesso em: 18 jun. 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. Instrução normativa n.º 2, de 9 de outubro de 2008. **Diário Oficial da União República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 198, 13 out. 2008. Seção 1, p. 5. Disponível em: <http://comunidades.mda.gov.br/portal/saf/arquivos/view/seaf/intru%C3%A7%C3%A3o_normativa_n_2.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2012

BRASIL. Lei nº 6766, de 19 de dezembro de 1979. Dispões sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm>. Acesso em: 18 jun. 2012.

CÂMARA, G; MEDEIROS, J. S. (INPE) Introdução ao Geoprocessamento. In: CÂMARA, G; MEDEIROS, J. S. (INPE). **Geoprocessamento em projetos ambientais**. 2ª Edição, São José dos Campos: SP, 1998.

CLAESSEN, Marie Elisabeth Christine EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed., rev. e atual. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. xii, 212 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed, Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006.

IBGE, 1980. **Censo Demográfico de 1980**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, dados referentes ao município de Francisco Beltrão, fornecidos em meio eletrônico.

IBGE, 2010. **Censo Demográfico de 2010**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, dados referentes ao município de Francisco Beltrão, fornecidos em meio eletrônico.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Spring**. Versão 5.2, 2012.

KUCK, T. N.; ALVES, D. S. Análise da impermeabilização da área urbana de Manaus (1987-2006) com o uso do modelo de mistura espectral MESMA. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Curitiba PR, v. XV, maio 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0449.pdf>>. Acesso: 20 abr. 2012.

LACERDA, Jarbas Moreira Freires de. Uso do geoprocessamento na expansão urbana: o caso das comunidades subnormais do município de Bayeux-PB. **Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife PE, 27-30, v. III, julho de 2010. Disponível em: <http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/CartografiaeSIG/SIG/A_27.pdf>. Acesso: 20 abr. 2012.

LIMA, P. R. **Uma análise dos parâmetros de uso e ocupação do solo na promoção da sustentabilidade urbana**. 2002. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2002.

MOTA, Suetônio. **Urbanização e meio ambiente**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 356 p.

PEDRON, F.A.; DALMONIL, R.S.D.; AZEVEDO, A.C.; BOTELHO, M.R.; MENEZES, F.P. **Levantamento e classificação de solos em áreas urbanas: importância, limitações e aplicações**. Revista Brasileira de Agrociência, Pelotas, v.13, n.2, p. 147-151, abr-jun 2007.

ROSS, J.L.S. 1994. **Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, 63-74.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALLI, N.E.; FIORI, A.P.; SILVEIRA, C.T.; SILVA, J.M.F. **Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná**. Revista Brasileira de Geociências, v. 37, nº 4, p. 812-820, dez. 2007.

SILVA, T. G.; TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. GOMES, T. C. Utilização de álgebra de mapas para caracterização dos solos da bacia hidrográfica do rio Catorze. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, n. 15, 2011, Curitiba PR, Anais, Curitiba: INPE, p.4840 - 4847.

TOMAZONI, J.C.; GUIMARÃES, E.; DALEFE, E.C. Método para determinação da capacidade de uso do solo urbano. **Synergismus scyentifica UTFPR**, Pato Branco, V.4, n.1, 2009.

TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosangela do (orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

Artigo submetido em: 08/10/2012

Aceito para publicação em: 23/06/2013

Publicado em: 28/09/2013