

Inventário das feições erosivas lineares e monitoramento de sua evolução em imagens CBERS e LANDSAT

Tiago Tadeu de Moraes
Osni José Pejon

Escola de Engenharia de São Carlos/USP
Av. Trabalhador São Carlense, 400 – 13566-590 – São Carlos - SP, Brasil
tiago.tadeu.moraes@usp.br
pejon@sc.usp.br

Abstract: This study aimed to analyze the potential of low resolution satellite imagery in the identification of linear erosion features. LANDSAT (5 and 7) and CBERS 2B images (from 2000 to 2008) have been chosen to perform the analysis in an area of 550 km², located between the São Pedro and Santa Maria da Serra cities in the state of São Paulo-Brasil. Due to the low spatial resolutions of these satellite images, only the larger erosions present in the area were identified. Both, automatic supervised classification and visual interpretation of the images were performed, using ENVI program. The results, compared with erosion inventory carried out by Ferreira (2008) showed that only about 10 % of erosions were identified. Therefore more accurate images are necessary to rightly mapping and monitoring erosion.

Key-Words: remote sensing, GIS, erosions, CBERS images, LANDSAT images, automatic supervised classification.

1. Introdução

A erosão é um processo natural, porém quando acelerada pela ação antrópica, configura-se como um grande problema urbano e rural a ser estudado, sendo que as implicações desse impacto vão desde questões ambientais até o próprio planejamento urbano. O desenvolvimento de técnicas de controle e prevenção e a conscientização da gravidade do problema são temas que devem ser exaustivamente abordados no campo da gestão territorial. A intensidade da erosão é medida pela avaliação da relação entre remoção e depósito na superfície terrestre (Zachar, 1982). O município de São Pedro – SP, objeto de estudo do presente trabalho, de acordo com Ferreira (2008), está inserido em uma área vulnerável à ocorrência de impactos ambientais decorrentes de erosões. Isso ocorre uma vez que a área está localizada em uma região formada por solo predominantemente arenoso, de clima tropical úmido e de topografia que favorece o desenvolvimento dos processos erosivos. Assim, por ser evidentemente uma região frágil, o uso e ocupação do território deve ser feito de maneira extremamente cautelosa, dada tanto pelo atual estado de degradação que a região apresenta quanto pelo seu caráter naturalmente frágil e suscetível à alterações no meio físico.

O sensoriamento remoto permite a visualização de diferentes elementos da superfície terrestre com o uso de diversos sensores. Os satélites LANDSAT e CBERS, utilizados para esse trabalho possuem diferentes sensores que possibilitam a identificação de feições geológicas, como os processos erosivos, sendo os sensores diferenciados o TM (*Thematic Mapper*) e o CCD (*Charged Couple Device*), respectivamente, para esse estudo. Diversos trabalhos já foram realizados na área, com a finalidade de identificar, analisar, quantificar e descrever erosões com alto grau de desenvolvimento – podendo ser citados os realizados pelos autores Silva (2003) e Ferreira (2008).

O objetivo principal deste trabalho é verificar o quanto se pode obter de informações sobre as erosões lineares a partir das imagens LANDSAT e CBERS. Para tanto, foi realizada a interpretação das imagens de satélite para levantamento das feições erosivas nos anos de 2003 a 2008, georreferenciamento e análise da evolução das erosões, usando para tal os

recursos disponíveis nos programas ENVI e ArcGIS. Estes resultados foram comparados com o inventário das erosões realizado na área por Ferreira (2008).

2. Materiais e Métodos

A primeira fase do projeto consistiu, primordialmente, no levantamento de dados cartográficos da área a ser estudada, além de uma revisão bibliográfica sistemática pertinente ao estudo. É importante observar que a escolha da área de estudo foi feita em uma fase anterior ao início deste projeto, levando-se em consideração, para tal, a quantidade de material cartográfico disponível, a quantidade de pesquisas já realizadas no local e a suscetibilidade à ocorrência de erosões lineares, parâmetro este usado na análise das imagens de satélites em estudo. A relação completa de todas as imagens utilizadas para a realização deste trabalho encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1: Lista das imagens de satélite adquiridas e seus correspondentes anos.

Satélite	Ano	Data de captura (mês/dia)	Bandas Espectrais	Pancromática
CBERS 2B	2003	11.04	5	SIM
CBERS 2B	2004	08.16	5	SIM
CBERS 2B	2005	04.07	5	SIM
CBERS 2B	2006	07.19	5	SIM
CBERS 2B	2007	03.10	5	SIM
CBERS 2B	2008	06.30	5	SIM
LANDSAT 5	2000	06.16	7	NÃO
LANDSAT 7	2001	03.23	8	SIM
LANDSAT 7	2002	05.13	8	SIM
LANDSAT 7	2003	04.30	8	SIM
LANDSAT 5	2004	08.14	7	NÃO
LANDSAT 5	2005	08.17	7	NÃO
LANDSAT 5	2006	07.19	7	NÃO
LANDSAT 5	2007	06.20	7	NÃO
LANDSAT 5	2008	07.08	7	NÃO
LANDSAT 5	2009	05.24	7	NÃO
LANDSAT 5	2010	11.19	7	NÃO

A segunda etapa do projeto consistiu no processo de georreferenciamento das imagens de satélites adquiridas. O georreferenciamento foi realizado tendo como base as coordenadas UTM obtidas de cartas de escala 1:50000 do IBGE referentes aos municípios de Santa Maria da Serra e São Pedro, que foram escaneadas e impressas. A partir das cartas impressas, selecionaram-se os pontos mais adequados para fazer a escolha dos pontos base para o georreferenciamento. Após o processo de georreferenciamento foi realizada a delimitação das bacias de interesse ao estudo. No caso deste trabalho, a delimitação da área foi feita tendo como base o limite das bacias hidrográficas dos rios e córregos da região. Como resultado, obtiveram-se imagens "recortadas", cujo molde de corte seria os limites das bacias.

A etapa intermediária consistiu no pós-tratamento das imagens. Para facilitar a identificação de feições erosivas lineares nas imagens, foram feitas análises qualitativas de todas as imagens coletadas, através da observação destas com o auxílio do software ENVI. O processo de classificação das imagens pelo método de máxima verossimilhança (MAXXVER) foi feito a partir de duas etapas básicas.

1. Delimitação das áreas que apresentavam erosões visíveis e aparentemente ativas. Esta delimitação foi feita a partir da ferramenta “Region of Interest” ou “Região de Interesse” (ROI) do software ENVI. O resultado deste procedimento foi a geração de um arquivo *.roi*, que quando carregado, mostraria sobre a imagem todas as feições erosivas observadas. É importante observar que este passo foi feito para cada uma das imagens de satélites em estudo.
2. Com o arquivo ROI foi possível dar início ao processo de classificação automática. O software considera que todos os pixels dentro dos polígonos selecionados dentro do arquivo ROI como o parâmetro de comparação. Graças a modelos matemáticos, o ENVI analisa o restante da imagem e, considerando cada pixel presente, realiza uma comparação com os pixels selecionados dentro do arquivo ROI. Caso algum pixel apresentasse tonalidades dentro daquelas apresentadas pelos pixels da amostra, o programa classificaria este novo pixel.

Buscou-se com tais etapas selecionar com a ferramenta “Região de Interesse” as feições erosivas mais visíveis dentro das imagens de satélites em estudo e, a partir do arquivo gerado com esta seleção, extrapolar a seleção usando o método da máxima verossimilhança para o restante da área. O produto deste processo resultaria, em teoria, numa imagem com todas as erosões presentes na área.

Para aumentar a eficiência deste processo, estes mesmos procedimentos foram feitos usando imagens pancromáticas fusionadas, imagens estas fornecidas pelo satélite LANDSAT 7.

A etapa final do trabalho consistiu na tentativa de refinar os resultados obtidos a partir do processo de classificação automática através da utilização da base de dados das erosões presentes na área levantadas por pesquisas anteriores. Para tal utilizou-se de alguns arquivos com todas as feições erosivas já levantadas nas áreas, fruto de trabalhos anteriores, como o de Ferreira (2008), cujo trabalho se restringiu à mesma área de estudo deste trabalho. Este arquivo marcava sobre as imagens de satélite em estudo todas as feições erosivas já levantadas por estudos prévios na área, fruto de levantamentos de campo e de análises com imagens de resolução espaciais superiores. Com esta ferramenta em mãos, realizou-se novamente o processo de seleção das feições erosivas da área em um arquivo *.roi* e em seguida realizou-se novamente o processo de classificação automática das imagens pelo método da máxima verossimilhança.

Por fim, nesta etapa concentrou-se na compilação de todas as imagens geradas durante todo o trabalho, bem como na elaboração da análise dos resultados obtidos.

3. Características da área

A área de estudo localiza-se na porção central do Estado de São Paulo e inclui parte dos municípios de São Pedro e Santa Maria da Serra. Está localizada dentro da Bacia do Rio Piracicaba entre as coordenadas UTM 782 a 808 Km E e 7490 a 7513 Km N, na zona UTM 22S e UTM 192 a 203 Km E e 7490 a 7510 Km N, na zona 23S, tendo no total uma área de aproximadamente 550 Km². A Figura 1 abaixo mostra o mapa de localização da bacia estudada.

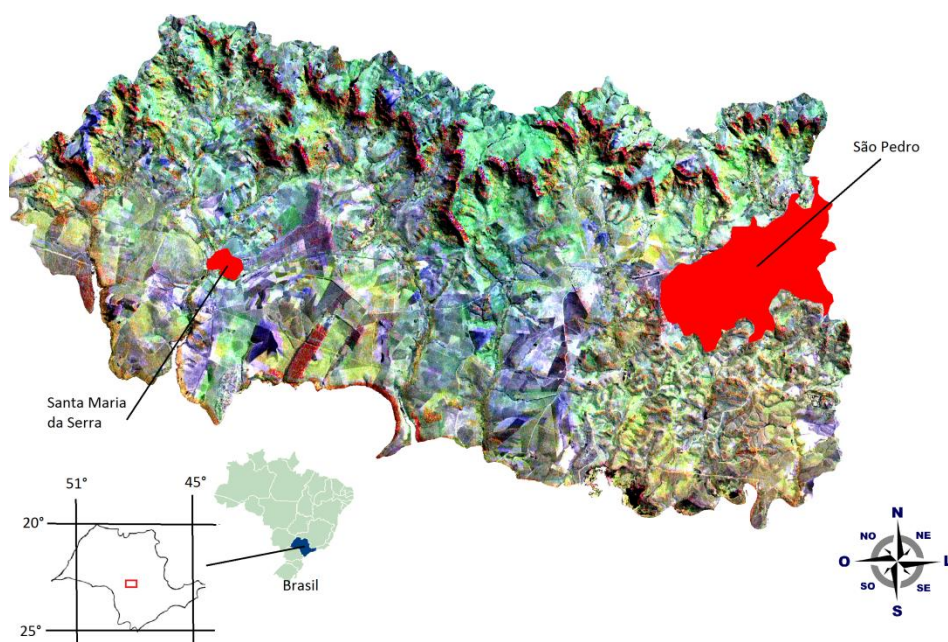


Figura 1 - Localização da área de estudo no estado de São Paulo.

De acordo com o mapa geomorfológico do estado de São Paulo, a geomorfologia da área é definida por três unidades: Planalto Ocidental, Cuestas Basálticas e Depressão Periférica (Ferreira, 2008). Segundo o Mapa Geológico do estado de São Paulo escala 1:500.000 publicado pelo IPT (1981), a região de estudo é representada por litologias de 5 unidades geológicas: Sedimentos Aluvionares, Formação Itaqueri, Formação Serra Geral, Formação Botucatu e Formação Pirambóia. De acordo com Ferreira (2008), os tipos de solos encontrados na região são: latossolos vermelho-amarelados, solos litólicos, latossolos roxos, podzólicos vermelho-amarelo e areias quartzosas.

A vegetação remanescente é composta segundo Coelho (1999) por Mata Latifoliada nas escarpas da Serra, em tornos dos rios por Mata Galeria de largura variável, em solo totalmente encharcado por Vegetação Hidrófila, e em solos arenosos menos férteis por formação campestre e arbustiva do tipo cerrado (SANCHES, 1971).

4. Resultados e Discussão

O levantamento das erosões presentes na região foi realizado utilizando imagens de dois satélites diferentes. As imagens fornecidas pelo satélite LANDSAT apresentam, por definição, uma resolução espacial relativamente baixa, com pixels de tamanho 30m x 30m. Por outro lado, imagens do satélite CBERS apresentam resoluções espaciais da ordem de 20mx 20m cada pixel, configurando assim um ganho representativo de definição de imagem em comparação às imagens LANDSAT.

Trabalhando com as imagens não fusionadas, as resoluções oferecidas por ambos os satélites não foram suficientes para uma identificação mais completa e minuciosa das erosões presentes na área. De fato, apesar de a área possuir em torno de 90 erosões diferentes catalogadas, com o processo de identificação qualitativa de erosões na região, foi possível encontrar em torno de 9 erosões lineares diferentes, o que representa 10% do total presente na área. Isso mostra que as resoluções oferecidas pelas imagens de ambos os satélites não foi suficiente para capturar feições erosivas menores.

Dado os resultados pouco expressivos obtidos através das análises realizadas até então, optou-se pelo processo de fusionamento de imagens com bandas pancromáticas. O resultado do processo de fusionamento das imagens LANDSAT 7, conforme pode ser observado na

Figura 2, teve como resultado principal um aumento significativo na definição da imagem originalmente fornecida pelo satélite. Apesar do efetivo ganho de definição nas imagens LANDSAT 7 trabalhadas, para a área objeto deste estudo, o catálogo do INPE dispõe apenas de imagens passíveis de serem fusionadas referentes aos anos de 2001, 2002 e 2003. Para os demais anos, somente foi possível de se encontrar as imagens da área em estudo fornecidas pelo modelo LANDSAT 5, modelo este que não fornece bandas pancromáticas para as suas imagens.

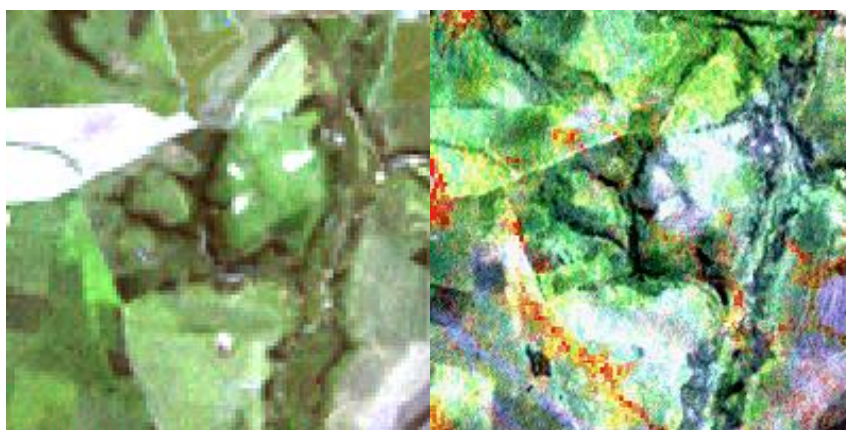


Figura 2 - Comparação entre imagens LANDSAT 7 antes do fusinamento (à esquerda) e após o fusinamento (à direita), para o ano de 2001.

Deve-se observar também que, as imagens CBERS possuem alguns sensores de captura distintos. No caso das imagens trabalhas neste estudo, foram adquiridas imagens apenas dos satélites com sensores CCD. As imagens deste satélite possuem, por padrão, uma resolução espacial de 20m por pixel, incluindo a banda pancromática. No entanto, no catálogo oferecido dentro do sítio eletrônico do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), o usuário tem a opção de escolher outro sensor para a obtenção das imagens disponibilizadas pelo satélite CBERS 2B. Este outro sensor, chamado de HCR, possui uma única banda espectral, que opera no espectro do visível e infravermelho próximo. Encontra-se a bordo do satélite CBERS 2B e destaca-se pela alta resolução espacial que oferece (com 2,7 metros), o que possibilita um maior detalhamento da superfície. Trabalhar, portanto, especificamente com imagens CBERS 2B, provenientes do sensor HCR poderá servir de base para trabalhos futuros na área.

Com os arquivos de “região de interesse” (.roi) gerados após a identificação e delimitação das feições erosivas lineares mais relevantes dentro das imagens, realizou-se dentro do software ENVI o processo de classificação automática. O objetivo principal deste processo, e, por conseguinte desta pesquisa, foi o de se obter, como resultado destes processos, uma imagem com a delimitação, mais aproximada possível, de todas as demais erosões presentes na região. A checagem do sucesso do procedimento seria feita com a aplicação sobre a imagem gerada, após a classificação, do arquivo com as feições erosivas já levantadas em campo. Quanto maior a correspondência da imagem gerada com o arquivo com as erosões levantadas em campo, maior seria o sucesso do modelo de classificação automática. Os resultados obtidos para imagens CBERS e LANDSAT estão ilustrados, respectivamente, nas Figuras 3 e 4.

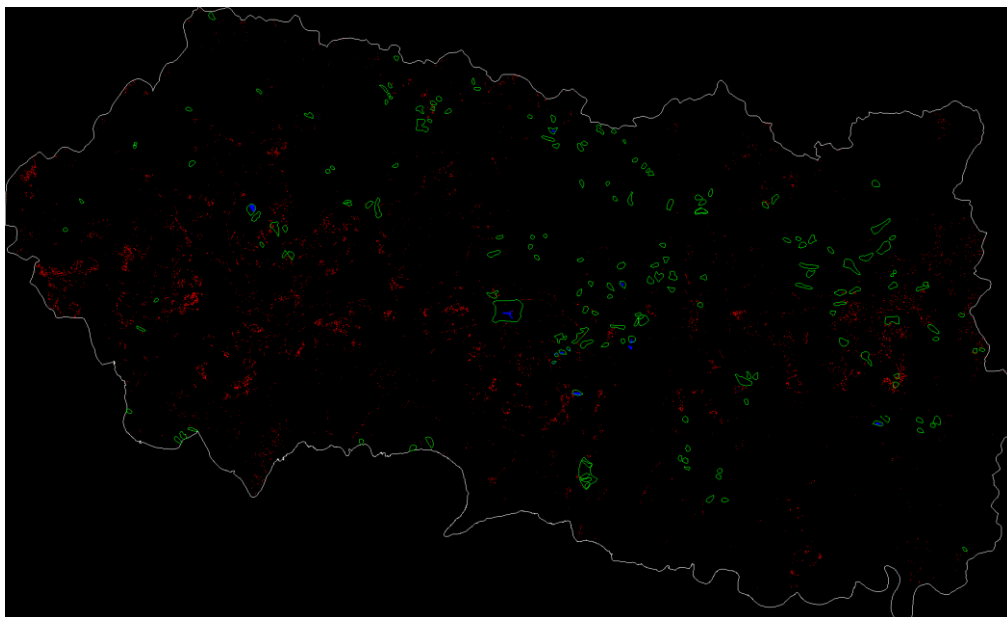


Figura 3 - Imagem resultante do processo de classificação automática, pelo método de Máxima Verossimilhança, realizado em imagem CBERS 2003. Na imagem, os pontos em azul representam as erosões encontradas através da análise da imagem, as feições em verde representam as erosões da região levantadas em estudos prévios e os pontos em vermelho representam o resultado da classificação feita pelo ENVI.

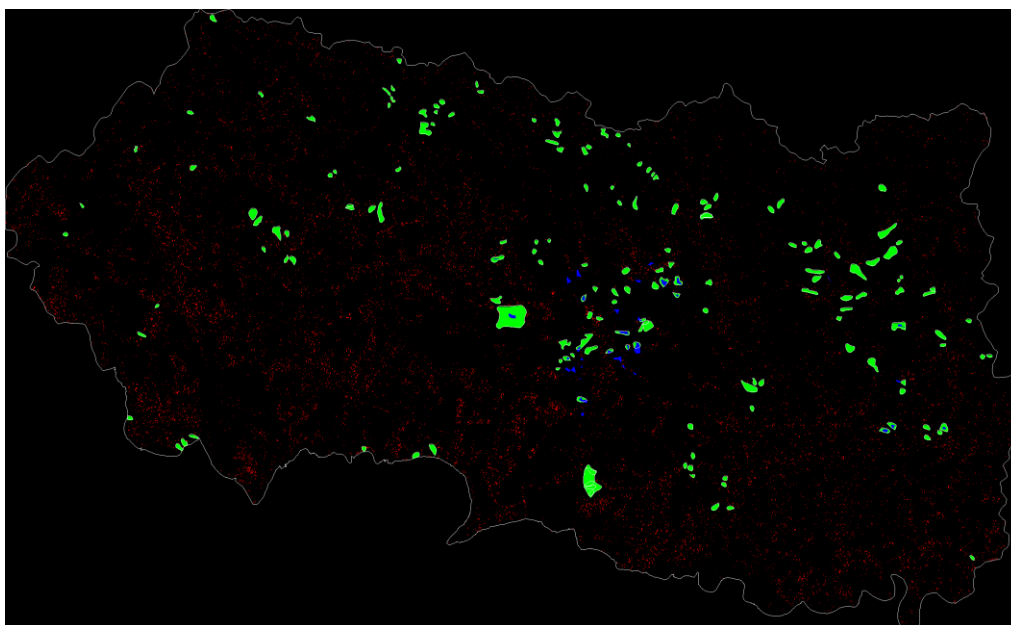


Figura 4 - Imagem resultante do processo de classificação automática, pelo método de Máxima Verossimilhança, realizado em imagem LANDSAT 2002, fusionada. Na imagem, os pontos em azul representam as erosões encontradas através da análise da imagem, as feições em verde representam as erosões da região levantadas em estudos prévios e os pontos em vermelho representam o resultado da classificação feita pelo ENVI.

Como mostrado nas Figuras 3 e 4, o processo de classificação automática das erosões não obteve resultados expressivos para as imagens CBERS e LANDSAT. Dada à resolução espacial deste tipo de imagem, o processo de identificação das feições erosivas lineares mais aparentes, marcados na imagem em azul, foi muito trabalhosa. Tomando por base as marcações em verde na imagem, representando as erosões lineares já catalogadas por estudos prévios, percebe-se que poucas erosões de menor tamanho puderam ser identificadas, sendo que as únicas que foram mais facilmente encontradas foram àquelas presentes na porção central da imagem, na bacia do meio, bacia esta onde se encontra a maior boçoroca da região.

Devido à esta dificuldade de selecionar erosões, os resultados obtidos no processo de classificação, marcados na imagem em vermelho, também foram pouco efetivos.

5. Conclusões

As imagens dos satélites LANDSAT e CBERS possuem grande potencial para uso no campo da gestão ambiental e territorial. No entanto, devido às baixas resoluções oferecidas por estas imagens, o uso destas imagens fica restrito à identificação de objetos de grande extensão. Apesar deste ponto negativo, em função das numerosas funções que os softwares modernos de geoprocessamento oferecem, tais imagens acabam por ter suas possibilidades de uso estendida, graças às técnicas de pós-processamento oferecidas por tais softwares, como, por exemplo, o fusionalamento de imagens com suas respectivas bandas pancromáticas. O processo de fusionalamento é de grande valia quando o foco do estudo exigir uma maior definição das imagens trabalhadas. Muitas das feições do terreno que antes do fusionalamento não podiam ser facilmente identificadas, acabaram se tornando relativamente visíveis e definidas nas imagens pós-tratadas.

Apesar de todos os esforços realizados através das técnicas de pós-processamento das imagens estudadas, a classificação automática das feições erosivas, presentes na região, infelizmente não obteve resultados expressivos. Tal fato se deu, entre outros fatores, pelas baixas resoluções apresentadas pelas imagens de ambos os satélites, mesmo após realizar o pós-processamento através do fusionalamento.

Por fim, fica a recomendação desta pesquisa para a realização de um trabalho científico cujo enfoque seja a demonstração do potencial que as imagens CBERS 2B com sensor HCR possuem, imagens estas oferecidas gratuitamente na internet, que podem vir a ter no campo dos estudos da gestão territorial através do sensoriamento remoto grande potencial de uso.

Agradecimentos: Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica

Referências Bibliográficas

- Barretto, A. G. O. (2007) - *História e geografia da pesquisa brasileira em erosão do solo*. Tese de mestrado. ESALQ/USP
- Bastos, G. (2005) - *Estruturação de banco de dados a partir do mapeamento geotécnico aplicado à região de Ribeirão Preto (SP)*. Tese de doutorado. EESC/USP.
- Ferreira, M. D. (2008) - *Proposta de índice para processos erosivos acelerados a partir de levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. EESC/USP. Vol. 1.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo. 1981. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000*. São Paulo, 125 pg.
- Moraes, E. C. *Fundamentos de Sensoriamento Remoto*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos. (2002).
- Moreira, M. A. (2001) - *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 250 p.
- Novo, E. M. L. M. *Sensoriamento remoto - Princípios e Aplicações*. Editora Blucher. 3ª edição. 2008. 363 p.
- Rosa, R. *Introdução ao sensoriamento remoto*. 7ª ed. 2009. EDUFU. 264 p.
- Silva, A. B. (1999) - *Sistemas de Informações Geo-referenciadas*. Campinas. Editora da Unicamp. 236 p.

Silva, A. F. (2003) - *Mapeamento geotécnico e análise dos processos erosivos na bacia do córrego Tuncum, São Pedro-SP, Escala 1:10.000*. Tese de mestrado. EESC/USP.

Silva, A. F. (2004) - *Análise da evolução dos processos erosivos acelerados em áreas urbanas e das técnicas de controle e recuperação - Córrego do Tucum (São Pedro/SP)*. Tese de mestrado. EESC/USP.

Zachar, D. (1982) - *Soil erosion*. Editora Elsevier. 548 p.

Zuquette, L. V. (1987) - *Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para as Condições Brasileiras*. Tese de Doutorado: EESC/USP. São Carlos (SP).