

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - EESC
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA - SGS
ENGENHARIA AMBIENTAL

TIAGO TADEU DE MORAES

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

ORIENTADOR: OSNI JOSÉ PEJON

São Carlos, SP
2013

Tiago Tadeu de Moraes

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

Trabalho apresentado à Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de graduado em Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Geotecnia Ambiental

Orientador: Dr. Osni José Pejon

São Carlos, SP

2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

D827i de Moraes, Tiago Tadeu
Inventário das feições erosivas lineares e
monitoramento de sua evolução em imagens CBERS e
LANDSAT / Tiago Tadeu de Moraes; orientador Osni José
Pejon. São Carlos, 2013.

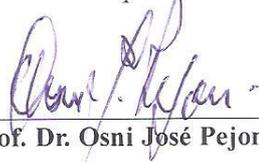
Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2013.

1. sensoriamento remoto. 2. SIG. 3. erosões. 4.
imagens CBERS. 5. imagens LANDSAT. 6. classificação
automática supervisionada. I. Título.

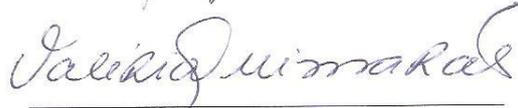
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato(a): **Tiago Tadeu de Moraes**

Monografia defendida e aprovada em: **04/03/2013** pela Comissão Julgadora:



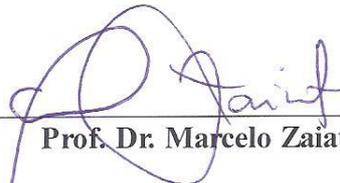
Prof. Dr. Osni José Pejon



Profa. Dra. Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues



Profa. Dra. Marcilene Dantas Ferreira



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

*It matters not how strait the gate,
How charged with punishments the scroll.
I am the master of my fate:
I am the captain of my soul.*

*“Invictus”, de William Ernest Henley,
versos 13 a 16.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de dedicar esse trabalho, primeiramente, à minha mãe Jussara, por todo o carinho e apoio incondicional dado ao longo de minha história.

Ao meu pai Dinorah, pelo companheirismo, carinho e pela ajuda imensa em toda minha graduação.

À minha irmã Letícia e à toda a minha família, por toda a ajuda e apoio dado ao longo desta longa jornada.

Aos meus fiéis amigos e eternos companheiros, Rodrigo, Victor, Jorge e Rafael por todos os ótimos momentos que vivemos ao longo dos maravilhosos anos de nossas infâncias.

Ao meu colega nefelibata Paulo Roberto, pelo espírito de companheirismo e de desbravamento ao longo dos nossos anos de ensino médio e de graduação.

Aos meus queridos colegas persoras, que me proporcionaram risos nos momentos de alegria e o suporte nas horas mais difíceis: Amora, Bahia, Barbie, Bianca, Dê, Du, Eraldo, Fê, Guto, Jubs, Juju, Má, Marco, Mirim, Paqui, Rapha e Risa.

Aos meus irmãos e irmãs rondonistas, Gabriela, Fernando, Chun, Eduardo, Julio, Stevan, Mayra, Pleps e Teca, que me ajudaram a ver o mundo com outros olhos.

An allen guten Freunden, die mittlerweile auf der anderen Seite der Welt leben, Benjamin, Wiebke, Paul, Vera, Luda, Christopher, Tade, Herr Werner, Lothar, Steffan, Tanja, Lisa und Niels, vielen Dank für alle wunderschönen Erlebnisse, die wir in Deutschland zusammen erlebt.

Ao professor Osni, pela orientação e paciência em todo meu período de iniciação científica.

Ao CNPq, pelo fomento dado para o desenvolvimento desta pesquisa.

À CAPES, pela bolsa de intercâmbio fornecida para estudar na Alemanha.

RESUMO

MORAES, T.T. Inventário das feições erosivas lineares e monitoramento de sua evolução em imagens de satélite CBERS e LANDSAT. Trabalho de Graduação, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. pp.97.

O uso de imagens de satélite vem ganhando cada vez mais destaque como ferramenta imprescindível para estudos de monitoramento do meio físico. O acesso aos bancos de imagens de satélite está cada vez mais facilitado, tendo o usuário à opção de escolha entre imagens disponibilizadas gratuitamente e aquelas que exigem pagamento pelo direito de uso, sendo estas últimas de qualidade superior quando comparada às primeiras. Este estudo teve como objetivo analisar o potencial das imagens de satélite de baixa resolução na identificação de características de erosão linear. Imagens dos satélites LANDSAT (5 e 7) e imagens CBERS 2B (de 2000 a 2008) foram utilizadas para realizar a análise em uma área de 550 km², situada entre São Pedro e Santa Maria da Serra cidades no estado de São Paulo. Devido às baixas resoluções espaciais dessas imagens, apenas as erosões maiores presentes na área foram identificados. A classificação automática supervisionada e interpretação visual das imagens foram ambas realizadas utilizando o programa ENVI. Os resultados, em comparação com o inventário de erosão realizada por Ferreira (2008) mostrou que apenas cerca de 10% de erosões foram identificadas. Imagens, portanto, mais precisas são necessárias justamente para o mapeamento e monitoramento da evolução da erosão.

Palavras-chaves: sensoriamento remoto, SIG, erosões, imagens CBERS, imagens LANDSAT, classificação automática supervisionada.

ABSTRACT

MORAES, T.T. Inventory of linear erosional features and their evolution tracking using LANDSAT and CBERS satellite images. Monograph (Undergraduate Work) - School of Engineering of Sao Carlos, Department of Geotechnique, University of São Paulo, 2013. pp. 97.

The use of satellite images has been gaining more and more prominence as an essential tool for environmental monitoring studies. Accesses to satellite imagery database are rapidly increasing, which helps the users to choose images available for free and those that have some kind of associated cost for the right to use it. 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.

SUMÁRIO

I.	INTRODUÇÃO	19
I.1	Objetivos.....	21
II.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
II.1	Erosão.....	23
II.1.1	Tipos de erosão	25
II.2	Sensoriamento Remoto	30
II.2.1	Satélite CBERS	31
II.2.2	Satélite LANDSAT	33
II.3	Sistema de Informações Geográficas (SIG)	35
II.3.1	ENVI.....	36
II.4	Geoprocessamento	36
II.4.1	Georeferenciamento.....	37
II.4.2	Fusionamento de imagens pancromáticas	38
II.4.3	Classificação de imagens.....	39
III.	MATERIAIS E MÉTODOS	43
III.1	Etapa Inicial	43
III.2	Etapa básica	44
III.3	Etapa Intermediária	47
III.4	Etapa Final	49
IV.	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA	51
IV.1	Localização	51
Figura 1:	Localização da área de estudo	52
IV.2	Geomorfologia.....	52
IV.3	Geologia.....	53
IV.4	Vegetação	53
IV.5	Dados Climáticos.....	54

IV.6 Solos.....	54
IV.7 Águas Superficiais e Subterrâneas.....	55
V. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
V.1 Levantamento das erosões.....	57
V.2 Análise comparativa entre as imagens LANDSAT e CBERS entre os anos de 2003 e 2008.....	63
Figura 14a: Fotografia do braço erosivo em estudo, datadas de Outubro de 2006.....	69
Figura 14b: Fotografia do braço erosivo em estudo, datadas de Outubro de 2006.....	69
Figura 14c: Fotografia do braço erosivo em estudo, datadas de Outubro de 2006.....	70
V.3 Análise das imagens fusionadas LANDSAT 2001, 2002 e 2003.....	70
V.3.1 Análise comparativa entre imagens LANDSAT 7 antes e após fuscionamento para os anos de 2001, 2002 e 2003.....	75
Figura 16: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2001, antes do processo de fuscionamento ...	75
Figura 17: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2001, após do fuscionamento	75
Figura 18: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2002, antes do processo de fuscionamento ...	76
Figura 19: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2002, após o fuscionamento.....	76
Figura 20: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2003, antes do processo de fuscionamento ...	77
Figura 21: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2003, após o fuscionamento.....	77
V.4 Análise das imagens após processo de aplicação de máscara das feições erosivas levantadas em campo	79
V.5 Análise dos resultados obtidos do processo de classificação automática das imagens	81
V.5.1 CBERS	82
V.5.2 LANDSAT	84
VI. CONCLUSÃO	89
VII. RECOMENDAÇÕES	93
VIII.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Modos de operação e características do CBERS (Rosa, 2009)	33
Tabela 2: Bandas espectrais do sensor TM (Rosa, 2009).....	34
Tabela 3: Bandas espectrais do sensor ETM+ (Rosa, 2009).....	35
Tabela 4: Lista das imagens de satélite adquiridas e seus correspondentes anos.	44
Tabela 5: Lista das cartas topográficas, em escala 1:10000 da região e suas respectivas identificações.....	45
Tabela 6: Tabela com dados e especificações presentes no satélite CBERS 2B com sensor CCD (INPE, 2007).....	72
Tabela 7: Tabela com dados e especificações presentes no satélite CBERS 2B com sensor HCR (INPE, 2007).....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo	52
Figura 2: Imagem LANDSAT 7, de 2001, montada com as bandas RGB 1 – 2 – 3 com as feições erosivas detectadas	58
Figura 3: Imagem LANDSAT 7, de 2001, montada com as bandas RGB 3 – 2 – 1 com as feições erosivas detectadas	58
Figura 4: Imagem LANDSAT 7, de 2001, montada com as bandas RGB 4 – 3 – 2 com as feições erosivas detectadas	59
Figura 5: Imagem LANDSAT 7, de 2001, montada com as bandas RGB 3 – 1 – 2 com as feições erosivas detectadas	59
Figura 6: Imagem CBERS, de 2003, montada com as bandas RGB 1 – 2 – 3 com as feições erosivas detectadas.....	60
Figura 7: Imagem CBERS, de 2003, montada com as bandas RGB 3 – 2 - 1 com as feições erosivas detectadas.....	61
Figura 8: Imagem CBERS, de 2003, montada com as bandas RGB 4 – 2 – 1 com as feições erosivas detectadas.....	61
Figura 9: Comparação entre imagens CBERS (A) e LANDSAT (B) para o ano de 2003 com as feições erosivas detectadas	65
Figura 10: Comparação entre imagens CBERS (A) e LANDSAT (B) para o ano de 2004 com as feições erosivas detectadas	65
Figura 11: Comparação entre imagens CBERS (A) e LANDSAT (B) para o ano de 2005 com as feições erosivas detectadas	66
Figura 12: Comparação entre imagens CBERS (A) e LANDSAT (B) para o ano de 2006 com as feições erosivas detectadas	66
Figura 13: Comparação entre imagens CBERS (A) e LANDSAT (B) para o ano de 2007 com as feições erosivas detectadas	66
Figura 14: Comparação entre imagens CBERS (A) e LANDSAT (B) para o ano de 2008 com as feições erosivas detectadas	67
Figura 15: Localização da erosão escolhida para o estudo comparativo de imagens fusionadas	74
Figura 16: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2001, antes do processo de fusionamento ...	75
Figura 17: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2001, após do fusionamento	75
Figura 18: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2002, antes do processo de fusionamento ...	76
Figura 19: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2002, após o fusionamento.....	76

Figura 20: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2003, antes do processo de fusonamento...	77
Figura 21: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2003, após o fusonamento	77
Figura 22: Identificação de pontos de interesse observados na imagem fusionada (A) que antes não eram possíveis de serem identificados (B).....	78
Figura 23: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2002, após a aplicação da máscara, onde as feições marcadas em preto representam as erosões levantadas em estudos prévios (inventário referente ao ano 2000).	80
Figura 24: Imagem resultante do processo de classificação automática, pelo método de Máxima Verossimilhança, realizado em imagem CBERS 2003 (em vermelho). Na imagem, os pontos em azul representam as erosões encontradas através da análise da imagem, as feições em verde representam as erosões catalogadas da região (referentes ao ano 2000)	83
Figura 25: Detalhamento dos resultados obtidos pelo fusonamento de imagem CBERS, do ano de 2003 (em vermelho: classificação automática, em azul identificação visual na imagem e em verde erosões catalogadas)	84
Figura 26: 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 referente a um inventário de erosões do ano 2000 e os pontos em vermelho representam o resultado da classificação feita pelo ENVI	86
Figura 27: Detalhamento dos resultados obtidos pelo fusonamento de imagem LANDSAT, do ano de 2002	87

I. INTRODUÇÃO

A dinâmica de ocupação que o ser humano desenvolve com o meio físico ao longo de sua história sempre se mostrou como sendo extremamente volátil e inconsequente. A forma de ocupação adotada sempre foi pautada exclusivamente na comodidade e na viabilidade técnica. A partir do início do século XX, começou-se a dar mais atenção para a forma com que a ocupação de determinado espaço físico deveria ser feita, iniciando-se assim uma nova vertente de pensamento de ocupação, onde a proteção do meio físico começou a ganhar mais espaço nas dinâmicas de ocupação. Tal visão foi ganhando espaço a partir da percepção das grandes perdas econômicas, sociais, e mais recentemente, ambientais, ocasionadas a partir dos efeitos dos processos impactantes do meio físico, como por exemplo, os processos erosivos lineares.

A erosão é um processo natural, porém 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 Engenharia Ambiental e outras áreas. O estudo da erosão varia de acordo com a natureza do fenômeno e o objetivo do estudo e tem crescido ao longo dos anos em vista dos prejuízos causados. A intensidade da erosão é medida pela avaliação da relação entre remoção e depósito na superfície terrestre, atenuado pela cobertura do solo, densidade e superfície da erosão ao longo do tempo (Zachar, 1982). A erosão associada às atividades

antrópicas é percebida desde a antiguidade e os primeiros registros datam de 6000 a.C. (Bennet, 1939 apud Barretto, 2007).

O município de São Pedro – SP, de acordo com Dantas-Ferreira (2005), está inserido em uma área vulnerável à ocorrência de impactos ambientais decorrentes de erosões uma vez que está localizado 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.

Desta forma, o presente trabalho visa desenvolver e aprofundar o estudo de áreas impactadas por processos erosivos ativos, utilizando ferramentas de geoprocessamento para análise de imagens de satélite. A disponibilidade e o fácil acesso às imagens de satélite, somada a crescente melhora na qualidade destas, vem colaborando com uma visível melhoria e aprofundamento dos diagnósticos de áreas impactadas por processos erosivos no meio físico. A utilização de imagens de satélite permite a análise de grandes ou longínquas áreas, mas deve ser aliado às pesquisas de campo para verificação de sua veracidade. Desta forma, ter posse do conhecimento referente às peculiaridades que cada tipo de imagem apresenta, é de fundamental importância para o correto estudo da dinâmica de erosões em determinada região. Com o desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e da computação, a análise das imagens tornou-se mais rápida e menos manual, convergindo para uma maior facilidade de qualquer tipo de estudo a ser realizado sobre a superfície terrestre.

O sensoriamento remoto permite a visualização de diferentes elementos da superfície terrestre, diferenciando seus sensores para cada destino final. 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 e o CCD, 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 Gomes (2002), da Silva (2003) e Ferreira (2004).

O presente trabalho de pesquisa que consistiu nas seguintes etapas: aprofundamento da revisão bibliográfica, elaboração de mapas base, 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 softwares de SIG.

I.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é verificar a eficácia de técnicas de geoprocessamento e interpretação digital de imagens de satélites Landsat e Cbers (disponibilizadas gratuitamente na internet) na identificação de erosões lineares de médio e grande porte. Busca-se desta forma estabelecer procedimentos que possam auxiliar no desenvolvimento de instrumentos de gestão ambiental e territorial, de maneira a minimizar os problemas decorrentes dos processos erosivos acelerados.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1 Erosão

Para Almeida Filho (2000) erosão é um grupo de processos sob os quais o material terroso ou rochoso e desagregado sofre, sendo decomposto e removido de alguma parte da superfície terrestre. A água é o agente que, considerado isoladamente, é o mais importante pelo poder desagregador e como transportador dos sedimentos.

A erosão que ocorre sob condições naturais é denominada erosão geológica ou normal. Sob interferências do homem, a intensidade da erosão é muito maior e por esta razão, é denominada erosão acelerada (Almeida Filho, 2000). Zachar (1982) define erosões naturais (ou geológica) e aceleradas (ou induzida) da seguinte forma:

- Erosão natural ou geológica: desgaste da superfície da terra como resultado de fatores atuantes naturais (água, gelo, etc.) em um ambiente natural em termos de clima e vegetação, e sem alterações por interferência antrópica.
- Erosão acelerada ou induzida: processo de desprendimento e/ou arraste de partículas causado pela água e/ou vento. Ocorre mais rapidamente que a natural em vista de interferências de animais e/ou do homem e é a principal causa do depauperamento (ou enfraquecimento) acelerado das terras

Os agentes externos responsáveis pelos processos de erosão são a água, neve, gelo, vento, organismos vivos, chuva e o homem. Estes fatores são

classificados como bióticos e abióticos (Lal, 1990). A ação antrópica constitui o fator principal no processo de erosão acelerada quando interrompe o equilíbrio natural do meio físico; já a erosão natural é própria da evolução da paisagem e cuja velocidade de desgaste do solo é similar à sua formação.

Lal (1988) afirma que a erosão do solo é produto de alterações no equilíbrio entre o terreno, a vegetação e o clima. Ainda segundo o autor, diversos fatores definem a magnitude e o efeito destas perturbações, sendo estes mais comumente definidos como condicionantes, predisponentes e deflagradores. Segundo o autor, os fatores definidos como condicionantes são frequentemente definidos como o transporte efetuado nas erosões.

A erosão dos solos manifesta-se das mais variadas formas, afetando tanto áreas agrícolas como áreas urbanas. Segundo Almeida Filho (2000), a erosão consiste em um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são desagregados, dissolvidos ou desgastados e transportados de um ponto a outro por escoamentos superficiais. Desses processos, a erosão apresenta grande destaque, cuja ação corresponde à movimentação de massas do terreno. Esse processo é desencadeado de diferentes formas e intensidades em função das condições geológicas, climáticas e bióticas

Conceitualmente, é importante distinguir os processos erosivos pelo escoamento laminar dos processos de erosão linear acelerada que envolve a movimentação de grandes massas de solo e sedimentos, conhecidos no Brasil como sulcos, ravinas e boçorocas.

II.1.1 Tipos de erosão

Segundo Zachar (1982), os tipos de erosão podem ser classificados de acordo com os seus agentes causadores principais, como erosão causada pela água da chuva, pelo gelo, neve, vento, gravidade, por organismos vivos e pelo ser humano. Pode-se verificar variações dos diferentes tipos de erosões de acordo com o seu fator causador ou ativador: Destaca-se a água como agente erosivo, cujo início se dá através do desprendimento das partículas do solo, pelo impacto das gotas de chuva na superfície e pelo escoamento superficial.

De acordo com Almeida Filho (2000), a evolução de áreas intensamente afetadas pela erosão apresenta normalmente, um primeiro estágio de erosão laminar intensa, que leva a formação de sulcos rasos e profundos. Não havendo medidas de combate, os sulcos podem crescer rapidamente formando ravinas de portes variados. Se as condições dos terrenos forem favoráveis, as ravinas podem se aprofundar até atingir o nível d'água subterrânea. Ainda segundo o autor, neste estágio passa a se desenvolver a boçoroca, que evolui de modo acelerado e complexo, em função da ação combinada das águas superficiais e subterrâneas.

Lal (1988) afirma que os fatores predisponentes referem-se aos parâmetros naturais ou artificiais que definem o efeito da perturbação, como topografia, clima, solo, vegetação e manuseio da terra. Silva et al (2003) afirmam que o aumento da erosão é resultado direto do aumento da declividade e o comprimento da rampa, provocando, assim, um acumulativo da rugosidade do terreno. Em áreas de maior declividade, o escoamento superficial é maior devido à maior velocidade da água, resultando em uma menor infiltração e, conseqüentemente em uma erosão mais acentuada (Carvalho, 2008).

A erosão hídrica é comumente classificada com Laminar ou Linear.

II.1.1.1 Erosão Laminar

De acordo com Zachar (1982), a erosão laminar caracteriza-se pela remoção da camada superficial do solo através do escoamento superficial e precipitação. O tipo de solo e as características do seu perfil interferem na ação erosiva pelo impacto das gotas d'água que é proporcional ao grau de coesão das partículas do solo.

O escoamento das águas da chuva pode formar apenas pequenos filetes generalizados em extensas áreas, o que provoca a erosão hídrica denominada, por diversos autores, como laminar. Este tipo de erosão resulta na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais de solo. Almeida Filho (2000) considera a erosão laminar como uma "erosão em pequenos filetes interligados que não deixam marcas perceptíveis na superfície do solo". Ainda segundo o autor, a erosão laminar é muitas vezes difícil de ser observada, mas que, dependendo da intensidade do fenômeno, o solo começa a apresentar as características listadas a seguir:

- o solo apresenta uma coloração mais clara;
- a produtividade vai diminuindo; e
- observa-se o abaixamento da cota do terreno.

Este processo causado pela ação da água de chuva inicia-se pela ação do impacto das gotas d'água na superfície do terreno, sobretudo quando desprotegido de vegetação, promovendo o desprendimento de partículas constituintes do solo

(Lal,1990). As partículas desagregadas tem seu tamanho original reduzido, tornando-se mais facilmente transportáveis pela enxurrada. As partículas em suspensão podem infiltrar-se no solo, diminuindo a sua permeabilidade e consequentemente aumentando o escoamento superficial. Lal (1990) ainda afirma que a ação do impacto constitui o início de um processo erosivo em cadeia, incluindo outras formas de erosão.

II.1.1.2 Erosão Linear

Nesse tipo de erosão, Almeida Filho (2000) afirma que a remoção e o transporte de partículas são feitos por uma enxurrada concentrada e em alta velocidade, condicionada pelo relevo e resulta na formação de canais de frequência e dimensões variáveis, conforme características da chuva, relevo e solo. A erosão linear constitui o deslizamento coletivo do solo e fragmentos das rochas de grandes partes do terreno, resultado da ação da gravidade e períodos de fortes chuvas. Este tipo de erosão ocorre devido a uma saturação extrema do solo, isto é, falta de coesão das partículas fazendo com que o escoamento deixe de ser laminar e uniforme, passando a se concentrar em filetes, ganhando velocidade e potencial erosivo (Silva *et al*, 2003).

A remoção do solo desses canais se configura desde 0,5 m até superior a 25,0 m de profundidade e a quantidade e tamanho dos sedimentos transportados é função da velocidade do escoamento superficial da água, que é influenciado pela declividade do terreno, rugosidade, comprimento da rampa e cobertura do solo (Almeida Filho, 2000).

A erosão linear é resultado do escoamento d'água superficial concentrado, e promove o desenvolvimento de erosões do tipo sulcos, ravinas e boçorocas, que são definidas da seguinte maneira:

- Sulcos

A erosão em sulcos é descrita como sendo o arrastamento de partículas do solo pela água, perpendiculares às curvas de nível, gerando pequenas incisões na terra em forma de filetes rasos, cujos tamanhos e profundidades não ultrapassam os 0,5m (Araujo, 2011). Segundo Ferreira (2008), as bordas dos sulcos contêm pequenos escorregamentos, devido à sua evolução natural. Geralmente, a erosão em sulco apresenta-se associada a trilhas de gado e em locais de solo exposto devido à movimentação de terra (Morgam, 1986).

- Ravinas

A ravina é um sulco profundo no solo provocado pela ação erosiva da água de escoamento superficial concentrado. Este tipo de erosão ocorre principalmente quando há acúmulo de água em pontos superficiais do terreno, formando canaletas bem definidas (Silva et al, 2003). As ravinas são normalmente de forma alongada, mais comprida que largas e com profundidades variáveis, normalmente inferiores a dez metros.

O processo de formação de uma ravina se inicia, normalmente, longe do topo das encostas, onde o escoamento superficial se concentra e canaliza, onde forma-se uma pequena incisão que evolui até o topo (Almeida filho, 2000). As ravinas apresentam profundidade maior que 50 cm e, diferentemente dos sulcos possuem forma retilínea, apresentado perfil transversal em "V" e normalmente encontram-se associadas a estradas e trilhas de gado.

- Voçorocas ou boçorocas

As voçorocas são formadas quando o processo do ravinamento atinge um limiar que é o nível freático. Nesta etapa, intervém processos ligados a circulação das águas sub-superficiais, fazendo com que o ravinamento atinja grandes dimensões e passe a ser denominada erosão em boçoroca (Almeida Filho, 2004). Voçorocas são grandes feições erosivas que não podem ser revertidas com simples preparo do solo. Um canal de voçoroca pode ter seu perfil transversal no formato "V" ou "U", dependendo da resistência do solo (Lal, 1990). A voçoroca pode ser formada através da passagem da erosão laminar para sulcos e ravinas, ou a partir de um ponto de elevada concentração de águas sem a possibilidade de dissipação de energia. Este tipo de erosão corresponde ao estágio mais avançado e complexo e de difícil contenção.

Segundo Morgam (1996), as voçorocas são cursos de água relativamente permanente, com paredes altas que conduzem pequenos fluxos durante as chuvas, comparados com cursos de drenagem de rios estáveis, que são relativamente planos e côncavos ao longo de todo seu perfil. As voçorocas se caracterizam por terem uma cabeceira e diferentes ressaltos ao longo de seu curso. Estas são consideradas como erosão acelerada, portanto, formas de paisagem instáveis. Corresponde à passagem gradual do processo de ravinamento, que ao atingir o lençol freático leva ao aparecimento de surgências d'água, que caracterizam as voçorocas.

Para Almeida Filho (2000), as boçorocas estão enquadradas em movimentos de massa que se caracterizam por movimentos e causas múltiplas pela ação de vários agentes simultâneos ou sucessivos. O autor afirma que são

ravinas profundas de erosão que se originam preferencialmente ao longo de linhas de drenagem, desenvolvendo-se tanto em solo coluvial/aluvial, como em solo residual, em encostas naturais.

Por ser uma feição de grande profundidade, chega a atingir o lençol freático, possibilitando o afloramento da água subterrânea. Como resultado, tem-se um fluxo d'água no fundo e paredes da voçoroca, formando vazios no interior do solo devido ao arraste de material em profundidade. Este fluxo pode dar origem a um processo descrito como erosão interna ou "piping"(DAEE/IPT, 1989).

II.2 Sensoriamento Remoto

Para Novo (2010) sensoriamento remoto seria “a utilização conjunta de sensores, equipamento para processamento de dados e equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações”.

Rosa (2009) destaca duas fases importantes na metodologia de sensoriamento remoto. A primeira estaria relacionada com a aquisição de dados, isto é, tudo o que envolve os processos de detecção e registro de informação. A segunda fase destacada pelo autor refere-se à utilização e análise dos dados, compreendendo o tratamento e a extração de informações dos dados obtidos.

O sensoriamento remoto utiliza a radiação eletromagnética como fonte de energia, que pode ser obtida de fontes naturais, como a luz do sol e o calor emitido pela Terra ou por fontes artificiais (Moraes, 2002). Segundo o autor, a energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres é a base de dados para todo o processo de sua identificação, pois ela permite quantificar a energia espectral refletida e/ou emitida por estes, e assim avaliar suas principais características.

Florenzano (2002) define a interpretação de imagens como a habilidade de identificar objetos representados e dar significados a eles. Quanto melhor a resolução da imagem, mais fácil e direto é esse processo.

II.2.1 Satélite CBERS

O programa CBERS surgiu como uma tentativa de interromper a dependência de tecnologia estrangeira. Países em desenvolvimento, como China e Brasil, resolveram desenvolver a sua própria tecnologia em parceria. O Programa CBERS (China Brazil Earth Resources Satellite) se iniciou com o objetivo do desenvolvimento de tecnologia para a construção de satélites de sensoriamento remoto para recursos terrestres. Os dois países assinaram um acordo de parceria envolvendo o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial) para o desenvolvimento de dois satélites avançados de sensoriamento remoto. O investimento para este projeto foi superior a US\$ 300 milhões e tinha como intuito a implantação de um sistema que tivesse nível internacional. Esta união sino-brasileira foi resultado de um esforço mútuo que romperia a fronteira tecnológica existente na época. Sem a

dependência de tecnologia de países desenvolvidos, a transferência de tecnologias e o intercâmbio entre pesquisadores foram possíveis.

O Programa CBERS trazia em seu projeto sensores específicos para o monitoramento de grandes áreas com potencial agrícola e ambiental, que ambos os países tinham em comum. O projeto constituía-se no desenvolvimento e construção de dois satélites de sensoriamento remoto que carregassem além das câmeras imageadoras, repetidor para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais.

Os satélites CBERS possuem diferentes câmeras imageadoras que, por sua vez, possuem diferentes resoluções espaciais e frequências de coletas de dados. Este fato permite uma maior abrangência de imagens captadas e uma maior facilidade para estudo posterior. As câmeras imageadoras a bordo dos satélites CBERS são: Imageador de Amplo Campo de Visada (WFI), Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD - High Resolution CCD Camera), Imageador por Varredura de Média Resolução (IRMSS - InfraredMultispectral Scanner) e Câmera Pancromática de Alta Resolução (HRC - High ResolutionCamera). Para cada tipo de equipamento têm-se aplicações e usos específicos dependendo de suas características e especificações, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Modos de operação e características do CBERS (Rosa, 2009)

CARACTERISTICAS	CCD(μm)	IR-MSS(μm)	WFI(μm)
PAN	0,51-0,73	-	-
Bandas (μm)	0,45-0,52	0,50 a 1,10	0,63 a 0,69
	0,52-0,59	1,55 a 1,75	0,76 a 0,90
	0,63-0,69	2,08 a 2,35	-
	0,77-0,89	10,40 a 12,50	-
Resolução Espacial (m)	20	80 (PAN e IV)160 (Termal)	260
Resolução Temporal (dias)	26 nadir e 3 fora do nadir	26	03 a 05
Largura da Visada (km)	113	120	890

II.2.2 Satélite LANDSAT

A série Landsat foi criada em 1966 e, originalmente, denominada Earth Resources Technology Satellite (ERTS) passando ao nome atual em 1975. A missão foi gerenciada pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e pela U.S. Geological Survey (USGS) e envolveu o lançamento de sete satélites, representados em uma linha do tempo. De acordo com a EMBRAPA, o primeiro satélite, Landsat-1, foi lançado em 1972 e carregava as Câmeras RBV (Return Beam Vidicon) e MSS (Multispectral Scanner System). Os satélites Landsat-2 e 3, lançados em 1975 e 1978 respectivamente, levavam as mesmas câmeras a bordo. Ambos estes satélites foram lançados com objetivos experimentais, e o Landsat-3 sofreu algumas mudanças em relação ao Landsat-2 e 1.

Nos Landsats 4 e 5 o sistema RVB foi substituído pelo sensor TM (*Thematic Mapper*), com sete bandas espectrais. Porém, manteve-se o sistema MSS com quatro bandas espectrais, semelhantes aos Landsat 1 e 2 (Rosa, 2009). A Tabela 2 indica as faixas espectrais que cada banda apresenta, além de suas respectivas resoluções espaciais.

Tabela 2: Bandas espectrais do sensor TM (Rosa, 2009).

BANDA	FAIXA ESPECTRAL (μm)	RESOLUÇÃO ESPACIAL (m)	ÁREA IMAGEADA (km)
1	0,45 a 0,52 (B)	30 x 30	185
2	0,52 a 0,60 (G)	30 x 30	
3	0,63 a 0,69 (R)	30 x 30	
4	0,76 a 0,90 (IR)	30 x 30	
5	1,55 a 1,75 (IR)	30 x 30	
6	10,40 a 12,50 (IR)	120 x 120	
7	2,08 a 2,35 (IR)	30 x 30	

O mais recente lançamento ao espaço de um satélite LANDSAT se deu em abril de 1999, quando foi colocado em órbita o Landsat 7. Este satélite possui como carga útil o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), com oito bandas espectrais. O ETM+ opera simultaneamente em oito bandas espectrais com um campo de visada instantâneo (IFOV) ou resolução espacial equivalente a um quadrado no terreno de 30x30 metros nas seis bandas do visível e do infravermelho refletido (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7), de 60x60 metros na banda 6 e 15x15 metros na banda pancromática (PAN) (Rosa, 2009). A Tabela 3 exemplifica alguns dos principais usos que cada banda espectral possui no campo da análise territorial.

Tabela 3: Bandas espectrais do sensor ETM+ (Rosa, 2009).

BANDAS	FAIXA ESPECTRAL (μm)	APLICAÇÃO
1	0,450 a 0,515 (B)	Mapeamento de águas costeiras
		Diferenciação entre solo e vegetação
		Estudos de sedimentos na água
2	0,525 a 0,600 (G)	Mapeamento da vegetação
		Reflectância da vegetação verde sadia
3	0,630 a 0,690 (R)	Absorção de clorofila
		Diferenciação de espécies vegetais
4	0,750 a 0,900 (IR)	Levantamento de biomassa
		Delineamento de corpos d'água
		Mapeamento geomorfológico
5	1,550 a 1,750 (IR)	Medidas de umidade na vegetação
		Diferenciação entre nuvens e neve
6	10,400 a 12,500 (IR)	Propriedades termais do solo
		Outros mapeamentos termais
7	2,090 a 2,350 (IR)	Identificação de minerais
PAN	0,520 a 0,900	-

II.3 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) podem ser definidos como uma técnica para obter informações sobre objetos através de dados coletados por instrumentos que não estejam em contato físico com os objetos investigados (Florenzano, 2002). Quando implementada, serve de ajuda para uma maior compreensão da ocupação e uso do espaço e faz parte do campo da geotecnologia com o Processamento Digital de Imagens (PDI) e a Geoestatística. A confiabilidade e eficiência dos SIGs depende do seu banco de dados.

II.3.1 ENVI

O ENVI (Environment for Visualizing Images) é um software para visualização, exploração, análise e apresentação de dados na área de sensoriamento remoto e SIG.

O software ENVI é repetidamente utilizado para classificação em trabalhos acadêmicos. O método mais aplicado para o tratamento de dados de satélite é o MAXVER (Máxima Verossimilhança) (Guia ENVI – Sulsoft, 2010). Esse tipo de classificação é realizado, por exemplo, nos trabalhos de Ferreira e Lacerda (2009) e Sousa, Ribeiro e Carneiro (2009) para a aplicação de geoprocessamento de imagens e o mapeamento de usos do solo. A classificação usando SVM (Support Vector Machines ou máquinas de vetores de suporte) na SVM-KM Toolbox obtém maior índice de pixels classificado corretamente do que a classificação realizada utilizando SVM no ENVI e que o método da máxima verossimilhança apresenta resultados inferiores aos resultados obtidos pelo método SVM. O método SVM consiste no aprendizado estatístico da máquina que resulta na capacidade de prever corretamente a classificação de dados após um aprendizado no mesmo domínio (Lorena e Carvalho, 2007).

II.4 Geoprocessamento

De acordo com Silva (2003), o termo geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. Moreira (2001) define o geoprocessamento como sendo o uso de técnicas matemáticas e

computacionais para o tratamento da informação sobre objetos ou fenômenos previamente imageados. O geoprocessamento pode ser aplicado em diversas áreas científicas, como cartografia, geografia, agricultura, geologia, etc e contribui para o planejamento urbano e rural, meio de transportes, comunicações, energia, etc (Moreira, 2001).

Silva (2003) afirma que o uso do geoprocessamento em processos erosivos é utilizado para determinar o contorno, criação de modelos das feições e sua evolução e apresenta métodos de identificação. A caracterização de uma bacia hidrográfica quanto à sua susceptibilidade a erosão também utiliza técnicas do geoprocessamento (Costa, Temóteo e Zimback, 2009), levando em conta o estudo da declividade da área, os tipos de solos presente na área e o uso e ocupação.

A aplicação do geoprocessamento e dos SIGs em estudos ambientais é de grande auxílio para os estudos de mapeamento técnico, diagnóstico ambiental, avaliação de impacto ambiental, ordenamento territorial e prognósticos ambientais. Existe uma grande dificuldade em se representar a natureza de maneira fiel e com o menor erro possível, por isso desenvolveu-se a necessidade de outros tipos de representação alternativa aos mapas: a representação feita pelos computadores. Não há como representar em um mapa as características particulares que diferenciam bem uma área de estudo de seu entorno (Câmara e Medeiros, 2004).

II.4.1 Georeferenciamento

Segundo Rosa (2009), imagens de sensoriamento remoto são captadas em geral à grande distância da superfície da Terra. Como consequência há um percurso atmosférico substancial que a radiação eletromagnética precisa

atravessar antes de chegar ao sensor. Dependendo do comprimento de onda e das condições atmosféricas, a radiação que atinge o sensor pode ser substancialmente modificada. Além do mais, ainda segundo Rosa (2009), durante o período em que a imagem está sendo adquirida, a plataforma (satélite) segue uma faixa que está sujeita a pequenas variações, ao mesmo tempo em que a Terra se move debaixo dela. Desta forma, a geometria da imagem está constantemente sofrendo modificações.

A retificação ou georreferenciamento de imagem é o processo com que uma imagem é transformada planimetricamente. A geometria de uma imagem original obtida por um sensor possui um sistema de coordenadas x y (linhas e colunas) que não é planimétrico. Para tornar a imagem planimétrica, converte-se o sistema de coordenadas x y da imagem para um sistema de coordenadas padrão nos maps, por exemplo, o sistema de coordenadas UTM (Rosa, 2009). Isto pode ser feito associando-se pontos de um mapa padrão (folha topográfica) aos mesmos pontos da imagem a ser retificada. No entanto, segundo Rosa (2009), isto não remove distorções causadas pela topografia e deslocamentos do relevo nas imagens.

II.4.2 Fusionamento de imagens pancromáticas

Pan-sharpening ou *merge* é o processo de fusão entre imagens pancromáticas de alta resolução com imagens coloridas de menor resolução especial (Lourenço et al, 2011).

As técnicas de fusão podem ser divididas em três grupos: as que utilizam um modelo de domínio espacial, as de domínio espectral e as que trabalham com operações algébricas. Os modelos de domínio espacial são aqueles que isolam a

informação espacial de alta frequência provenientes da imagem de alta resolução e a combinam com a imagem multiespectral (Lourenço et al, 2011). As fusões que utilizam transformadas Waveletse a técnica HPF (High-Pass Filter) integram esta categoria.

Lourenço et al (2011) afirmam que grupo de modelos de domínio espectral é formado pelos processos que realizam uma transformação na imagem multiespectral, resultando num novo conjunto de bandas onde uma delas é correlacionada com a imagem pancromática. Principais Componentes, IHS, GramSchmidt são representantes destes modelos.

II.4.3 Classificação de imagens

O processo de atribuir uma qualidade a um pixel através de suas atribuições numéricas é chamado de classificação e é feito através do uso de computadores como uma análise quantitativa (Novo, 2008). A classificação de imagens é a interpretação individual de cada pixel pertencente à imagem em estudo, utilizando-se para tal de um computador. O sucesso dessa classificação depende da presença de assinaturas digitais (números digitais) distintas para as categorias de interesse no conjunto de bandas utilizado e a habilidade para distinguir as assinaturas de outros padrões de resposta espectral presentes (Rosa, 2009).

Segundo Moreira (2001), o processo de classificação consiste em dois momentos: o treinamento e a classificação de fato. O treinamento é o reconhecimento da assinatura espectral (ou digital) das classes de uso de solo da área imageada que pode envolver a obtenção de parâmetros estatísticos de cada classe contida na área ou a observação do nível máximo e mínimo de cinza da

área. Dependendo de como o analista treina o sistema de classificação, ela pode ser classificada como supervisionada ou não supervisionada.

- Supervisionada

Na classificação supervisionada, o utilizador define em primeiro lugar as assinaturas espectrais das categorias utilizadas na classificação, tais como o urbano, floresta ou água. Em segundo lugar, com o recurso a um software para o processamento digital de imagem, associa-se a cada pixel a assinatura espectral mais similar. Para este tipo de classificação é necessário algum conhecimento sobre as classes da imagem, antes de se iniciar o processo. É ideal que algumas áreas dentro da área imageada sejam observadas no campo para serem usadas como base de comparação. A área identificada como representando uma das classes é denominada de área de treinamento e todos os pixels que formam essas áreas são denominados como conjunto de treinamento para aquela classe. Uma vez estabelecidas estas informações, o processo se dá pela comparação entre os números digitais dos pixels do conjunto e os a serem classificados. Existem vários métodos utilizados para a comparação dos pixels desconhecidos. Os mais comumente utilizados são o método do paralelepípedo, o método da máxima verossimilhança e o método da distância mínima (Crósta, 1992).

O método da máxima verossimilhança (MAXVER) é o mais comum e considera a ponderação das distâncias das médias e utiliza parâmetros estatísticos (Crósta, 1992). Ele classifica a imagem ponto a ponto usando o critério de máxima verossimilhança e se desenrola nas seguintes etapas: determinação do número de classes, escolha das amostras, extração de parâmetros média e variância e cálculo das funções densidade de probabilidade de ocorrência de cada

classe (Rosa, 2009). No caso das imagens de satélites, as características quantificáveis do objeto que os diferenciam das outras classes podem ser as medidas da luz refletida pelos alvos (Moreira, 2001).

- Não supervisionada

Na classificação não supervisionada os padrões de treino não se encontram classificados, pelo que, os algoritmos têm que encontrar uma estrutura nos dados que permita dividi-los em grupos. Uma vez que a informação disponível é menor, a classificação é menos precisa do que a obtida com os métodos supervisionados, contudo, esta é a única solução possível para problemas em que não se dispõe de informação acerca dos grupos que geraram os dados. Este tipo de classificação não necessita de conhecimento prévio sobre as classes de interesse. O processo ocorre no exame de dados e sua divisão nos agrupamentos espectrais predominantes na imagem (Rosa, 2009). O treinamento consiste na caracterização de cada pixel "...de forma que as distâncias entre os atributos dos pixels de uma classe sejam mínimas,...entre agrupamentos, as distâncias entre os atributos espectrais dos pixels sejam máximas..." (Moreira, 2001).

III. MATERIAIS E MÉTODOS

III.1 Etapa Inicial

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.

Durante a fase preliminar do projeto, foram feitos todos os levantamentos referentes à busca por imagens de satélite para a região estudada. Dada à finalidade da pesquisa, a busca por imagens restringiu-se apenas às imagens fornecidas gratuitamente pelos satélites CBERS e LANDSAT. Além de imagens de satélite, foram feitas também levantamentos de mapas e cartas da região a fim de auxiliar nos processos de pós-tratamento das imagens. As imagens adquiridas para o estudo referem-se aos anos de 2000 a 2008 para ambos os satélites, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Lista das imagens de satélite adquiridas e seus correspondentes anos.

Satélite	Ano	Data de captura (mês/dia)	BandasEspectrais	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

III.2 Etapa básica

A segunda etapa do projeto consistiu no processo de georreferenciamento das imagens de satélites adquiridas. Em posse das imagens, selecionou-se as melhores e comparou-se as visualizações das erosões e das estradas e rodovias nas diferentes combinações de bandas e selecionou-se a composição de bandas 3-2-1 (“cor verdadeira”) e o realce automático linear 2% do software ENVI para iniciar o georreferenciamento das mesmas.

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, selecionou-se os pontos mais adequados para fazer a escolha dos

pontos base para o processo de georreferenciamento. Dado a diferença temporal entre o ano de confecção das cartas (1969) e das imagens de satélite (2001 a 2009), tomou-se o cuidado de selecionar feições de interesse que fossem pontos válidos para estas faixas temporais, em especial escolheu-se os encontros de estradas vicinais, pois estas apresentam menor variabilidade temporal. Todas as imagens de satélite e suas respectivas bandas foram georreferenciadas usando os mesmos 12 pontos escolhidos a partir da análise das cartas do IBGE. Na Tabela 5, encontra-se a relação de cartas usadas para compor o mosaico completo da área de estudo.

Tabela 5: Lista das cartas topográficas, em escala 1:50000 da região e suas respectivas identificações.

Nome da Carta	Identificação
Fazenda Pinotti	SF-22-Z-B-III-4-SO-E
Santa Elisa	SF-22-Z-B-III-4-SO-F
Paraíso	SF-22-Z-B-III-4-SE-E
Água Branca	SF-22-Z-B-III-4-SE-F
Rio Jacaré Pipira Mirim	SF-23-Y-A-I-3-SO-E
Bairro de São João	SF-23-Y-A-I-3-SO-F
Resende	SF-22-Z-B-VI-2-NO-B
Córrego São José	SF-22-Z-B-VI-2-NE-A
Fazenda Santa Júlia	SF-22-Z-B-VI-2-NE-B
Fazenda São Bento	SF-23-Y-A-IV-1-NO-A
São Pedro I	SF-23-Y-A-IV-1-NO-B
Fazenda Rosário	SF-22-Z-B-VI-2-NE-D
São Pedro II	SF-23-Y-A-IV-1-NO-C
São Pedro III	SF-23-Y-A-IV-1-NO-D
Fazenda Monte Líbano	SF-22-Z-B-VI-2-NE-F
Ribeirão do Meio	SF-23-Y-A-IV-1-NO-E
Águas de São Pedro I	SF-23-Y-A-IV-1-NO-F
Ribeirão Vermelho	SF-23-Y-A-IV-1-SO-A
Ribeirão Samambaia	SF-23-Y-A-IV-1-SO-B

Com essas cartas, montou-se uma base de dados cartográfica com o auxílio do AutoCAD, onde os pontos foram selecionados com o auxílio da observação da imagem pancromática em si e as imagens do Google Earth para orientação. Assim, com o auxílio do AutoCAD MAP, foi possível georreferenciar as cartas através do processo de sobreposição de um *layer* com a imagem, em vista de verificar corretamente a correspondência entre os pontos da carta e os pontos da imagem. Com o auxílio destes softwares, além do próprio ENVI, foi possível encontrar os pontos pré-definidos para o georreferenciamento em todas as imagens de satélite trabalhadas, sendo que para todas as imagens foram utilizados todos os mesmos 12 pontos de controle. Além disso, considerou-se apenas que a imagem havia efetivamente sido bem georreferenciada quando o RMS obtido no processo estivesse abaixo de 0,6. Caso o número fosse maior, o processo de marcação dos pontos na imagem era repetido.

A maior dificuldade encontrada durante o processo de georreferenciamento foi devido à resolução espacial de 30 m x 30 m das imagens LANDSAT e de 20m x 20m das imagens CBERS, resoluções estas relativamente baixas, o que dificultou a identificação dos alvos nas imagens. Além disso, devido ao fato da área de estudo ser predominantemente rural, esta apresenta poucas estradas e rodovias cujos encontros possam ser utilizados como pontos de controle.

Após o processo de georreferenciamento foi realizada a delimitação das bacias de interesse ao estudo. As imagens de satélite fornecidas vêm, por padrão, em formatos retangulares o que, na maioria dos casos, não corresponde à área pretendida para o estudo que apresenta formas irregulares. Desta forma, a fim de se facilitar e agilizar o processo de análise das imagens de satélite, além de

diminuir o tamanho de cada arquivo e diminuir o tempo de processamento, foi realizada a delimitação das imagens coletadas. 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, foram obtidas imagens "recortadas", cujo molde de corte seria o limite das bacias.

III.3 Etapa Intermediária

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 em ambiente SIG. Em uma primeira etapa foram feitas as análises tanto para imagens CBERS quanto para LANDSAT, referente aos anos citados na Tabela 4. É importante ressaltar que tais imagens ainda não haviam passado por quaisquer etapas de pós-processamento e que havia, nesta etapa, sido apenas georreferenciadas e delimitadas de acordo com os limites das bacias hidrográficas. O processo de classificação das imagens pelo método de máxima verossimilhança 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 todos os pixels dentro dos polígonos selecionados no arquivo ROI como parâmetro de comparação. Graças a modelos matemáticos, o programa 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 classifica este novo pixel.

A ideia básica era, portanto, 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 (MAXVER) para o restante da área. O produto deste processo seria, na teoria, uma imagem com todas as erosões presentes na área.

Para aumentar a eficiência deste processo, estes mesmos procedimentos foram feitos usando também as imagens pancromáticas fusionadas, imagens estas fornecidas pelo satélite LANDSAT 7. As imagens foram fusionadas pelo método de transformação no espaço de cores RGB-IHS. O sistema de cor RGB é um modelo baseado na composição das cores primárias, Vermelho (R), Verde (G) e Azul (B). O sistema de cor IHS é representado por um espaço único em forma de cone, constituído por suas três componentes, o matiz (H), saturação (S) e a intensidade (I) (Gonzalez e Woods, 2002).

Neste método, inicialmente, a imagem multiespectral, composta por três bandas, é transformada do sistema de cores RGB para o sistema IHS. Então, a

imagem associada à intensidade é substituída pela banda pancromática e depois a transformação inversa é aplicada, retornando ao sistema RGB com uma imagem multiespectral, resultando em uma imagem de melhor resolução espacial.

As imagens LANDSAT apresentam, em sua forma padrão, uma resolução espacial de 30m. Após o processo de fusonamento, estas mesmas imagens passam a ter uma resolução espacial de 15m. Desta forma, nesta etapa foram refeitas também o processo de georreferenciamento das imagens LANDSAT passíveis de serem fusionadas. Em seguida, realizaram-se todos os procedimentos descritos acima para estas imagens. A classificação por Máxima Verossimilhança foi utilizada com limiar de aceitação de 90%.

III.4 Etapa Final

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 abrangeu a 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 espacial 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.

IV. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

IV.1 Localização

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 área está localizada ao sul de Brotas, Itirapina e Torrinha, a oeste de Charqueada, a leste de Dois Córregos e ao norte de Anhembi, Botucatu e Piracicaba. Estes municípios encontram-se à cerca de 120 km da cidade de São Carlos. Seu acesso pode ser feito através das rodovias Washington Luiz até o município de Rio Claro, seguindo-se através da rodovia SP-191, passando por Charqueada até São Pedro e Santa Maria da Serra. Outras vias de acesso importantes aos municípios de São Pedro e Santa Maria da Serra são a Rodovia Anhanguera (SP-330) e a Rodovia Castelo Branco (SP-280). A Figura 1 mostra a localização da área de estudo dentro do estado de São Paulo.

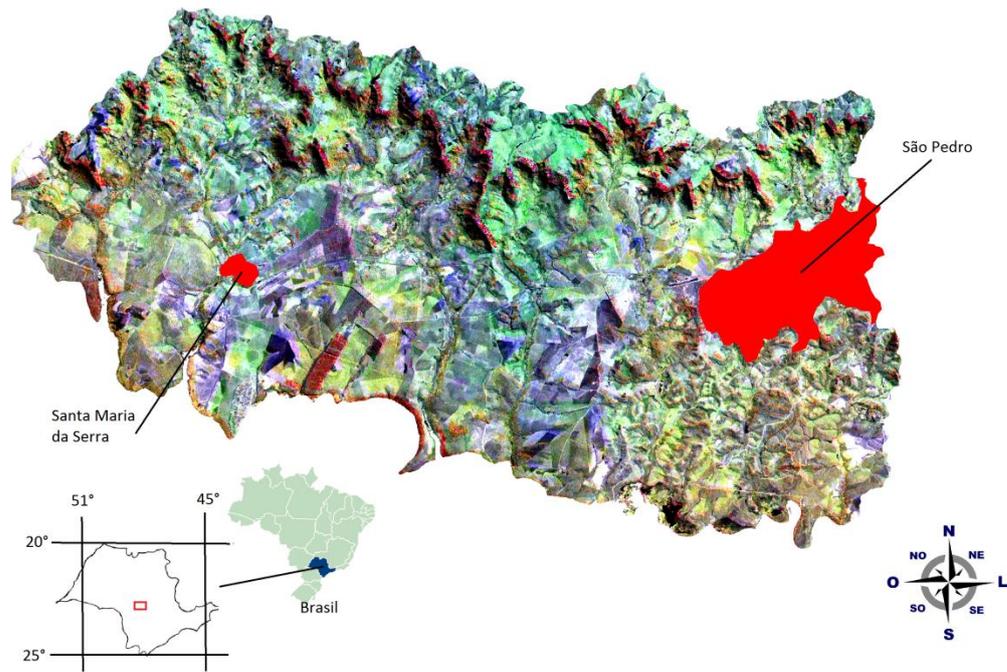


Figura 1: Localização da área de estudo

IV.2 Geomorfologia

De acordo com o mapa geomorfológico do estado de São Paulo, a geomorfologia da área é definida por três unidades (IPT, 2001). A primeira unidade, denominada de Planalto Ocidental, caracteriza-se por apresentar cotas topográficas mais elevadas e relevo mais plano. Outra unidade presente na área são as Cuestas Basálticas, ou também denominadas de escarpas, cuja característica predominante é a presença de elevadas declividades. Por fim, na região também é possível encontrar unidades geomorfológicas pertencentes a unidade conhecida como Depressão Periférica., onde encontra-se um relevo mais arrasado associado às formações geológicas mais antigas da Bacia Sedimentar do Paraná.

IV.3 Geologia

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, conforme apresentado a seguir:

- **Sedimentos Aluvionares** – Aluviões em geral, incluindo areais inconsolidados de granulação varável, argilas e cascalheiras fluviais subordinadamente, em depósitos de calha e/ou terraços.
- **Formação Itaqueri** – predominantemente arenitos de cimento argiloso com lentes alongadas de folhelhos e conglomerados polimíticos.
- **Formação Serra Geral** – Rochas vulcânicas toleíticas em derramees basálticos de coloração cinza a negra, textura afanítica, com intercalações de arenitos intertrapeanos, finosa médios, de estratificação cruzada tangencial e esparsos níveis vitrofíricos não individualizados.
- **Formação Botucatu** – Arenitos eólicos avermelhados de granulação fina a média com estratificações cruzadas de médio a grande porte
- **Formação Pirambóia** – Depósitos fluviais e de planícies de inundação incluindo arenitos finos a médios, avermelhados, siltico-argilosos, de estratificação cruzada ou plano-paralela.

IV.4 Vegetação

Segundo Ferreira (2008), a vegetação predominante na região das Cuestas Basálticas está representada pelos restos da vegetação original, que no restante da área foi retirada para utilização pela agricultura com culturas de cana de açúcar, pastagens e reflorestamentos. Diz, ainda, que se pode observar a ocorrência de vegetação nativa ao longo das margens dos principais cursos d'água.

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).

IV.5 Dados Climáticos

A cidade de São Pedro fica a 580 m de altitude com clima caracterizado como seco, com chuva média anual em torno de 1175 mm/ano. No município de São Pedro, as temperaturas variam entre 12°C e 32°C (Prefeitura de São Pedro, 2011). A cidade de Santa Maria da Serra está em uma altitude de 495 m e seu clima é caracterizado pelo clima Aw, pela classificação de Koeppen, sendo tropical chuvoso, inverno seco e mês seco com precipitação inferior a 60 mm e mês mais frio com temperatura média superior a 18°C. A temperatura média anual é de 22,3°C e precipitação média de 1467 mm/ano (Prefeitura de Santa Maria da Serra, 2011).

IV.6 Solos

De acordo com o IAC (1989) e Ferreira (2008), os tipos de solos encontrados na região são:

- No topo da serra encontram-se latossolos vermelho-amarelados, solos litólicos e latossolo roxos.
- As cuestas são compostas por unidades de solos litólicos.
- A depressão periférica é caracterizada pelas areias quartzosa, que ocupam aproximadamente 40% da área de estudo.

- O restante da área é composta por podzólicos vermelho-amarelo álico e nas margens da represa de Barra Bonita e dos principais canais ocorrem solos gleizados.

IV.7 Águas Superficiais e Subterrâneas

De acordo com Ferreira (2008), a área encontra-se na bacia do rio Piracicaba, tendo as sub-bacias dos ribeirões: Vermelho, Tabaranas, Bonito, Veado, Franco, Laranja Azeda e Serelepe e córregos da Barra, Maria Pires, Morro Chato, Ronca, Tambulato, Monte Verde, da Fazenda Boa Esperança, Inferninho, Mira, Moquéim e São José que drenam a área. Além disso, Ferreira (2008) ainda afirma que todas as bacias presentes na região, cujas extensões variam de 10.712 a 18.033m, possuem suas nascentes localizadas em altitudes médias de 1000m, nos terrenos do Planalto Ocidental.

Na área ocorrem predominantemente 2 aquíferos: Guarani e o Serra Geral.

- Aquífero Guarani:É constituído por arenitos das formações Botucatu e Pirambóia. As rochas arenosas saturadas de água estão entremeadas por rochas basálticas da Formação Serra Geral que resultaram de intrusões desse material. A espessura desse pacote de rocha arenosa oscila entre 200 e 800 m (Ribeiro, 2008).
- Aquífero Serra Geral:Este aquífero apresenta basaltos da Formação Serra Geral. De acordo com Souza (2004), a característica básica desse aquífero é o fato de ser constituído por rochas originalmente impermeáveis. Entretanto, sob a ação de eventos tectônicos e do próprio resfriamento dessas rochas ígneas, criou-se uma porosidade e uma permeabilidade

secundárias que permitem a circulação e o armazenamento de água nessas estruturas. Na área estudada, este aquífero está presente nas áreas de maior altitude, em terreno de alta declividade onde predomina escoamento superficial.

V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

V.1 Levantamento das erosões

O levantamento das erosões foi realizado utilizando a variação de diferentes bandas para cada uma das imagens de satélites e para os diferentes anos. A análise e identificação das feições erosivas foi feita de forma qualitativa, seja, utilizando o senso crítico e a experiência do observador e informações de trabalhos prévios. Os critérios utilizados neste processo foram os seguintes: Terreno exposto, sem cobertura vegetal, com formas alongadas.

- Linhas de solo exposto, seguindo linhas de drenagem,
- Diferenças bruscas de tonalidade dos pixels.

Para uma melhor aplicação dos critérios acima citados, foi feita uma variação na composição das bandas RGB. Para as imagens LANDSAT, a melhor configuração RGB encontrada para identificar, principalmente as regiões de solo exposto, foi a 1-2-3, ou seja, banda 1 = vermelha, banda 2 = verde, banda 3 = azul. Outras configurações com boa identificação de feições foi a 3-2-1 (banda 3 = vermelha, banda 2 = verde, banda 1 = azul), 4-3-2 (banda 4 = vermelha, banda 3 = verde, banda 2 = azul) e 3-1-2 (banda 3 = vermelha, banda 1 = verde, banda 2 = azul). As Figuras 2, 3, 4 e 5 mostram as diferenças obtidas a partir da variação da composição de bandas para uma mesma cena.



Figura 2: Imagem LANDSAT 7, de 2001, montada com as bandas RGB 1 – 2 – 3 com as feições erosivas detectadas



Figura 3: Imagem LANDSAT 7, de 2001, montada com as bandas RGB 3 – 2 – 1 com as feições erosivas detectadas

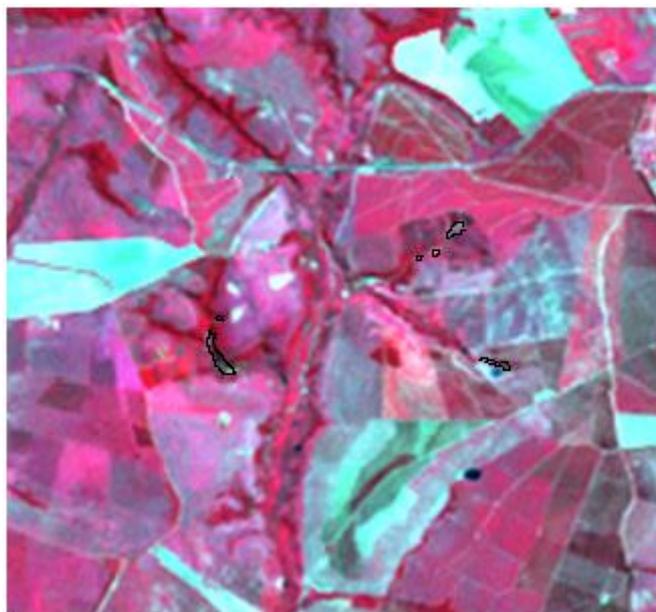


Figura 4: Imagem LANDSAT 7, de 2001, montada com as bandas RGB 4 – 3 – 2 com as feições erosivas detectadas



Figura 5: Imagem LANDSAT 7, de 2001, montada com as bandas RGB 3 – 1 – 2 com as feições erosivas detectadas

No caso das imagens CBERS, a variação de colocação das bandas RGB mais utilizada foi a 1-2-3, ou seja, banda 1 = vermelha, banda 2 = verde, banda 3

= azul. Outras configurações com boa identificação das feições foi a 3-2-1 (banda 3 = vermelha, banda 2 = verde, banda 1 = azul) e a 4-2-1 (banda 4 = vermelha, banda 2 = verde, banda 1 = azul), conforme pode ser observado nas Figuras 6, 7 e 8. Esta última, em especial, é de grande utilidade para distinguir feições naturais do terreno, como vegetação, cursos d'água e morros, de estradas e rodovias.

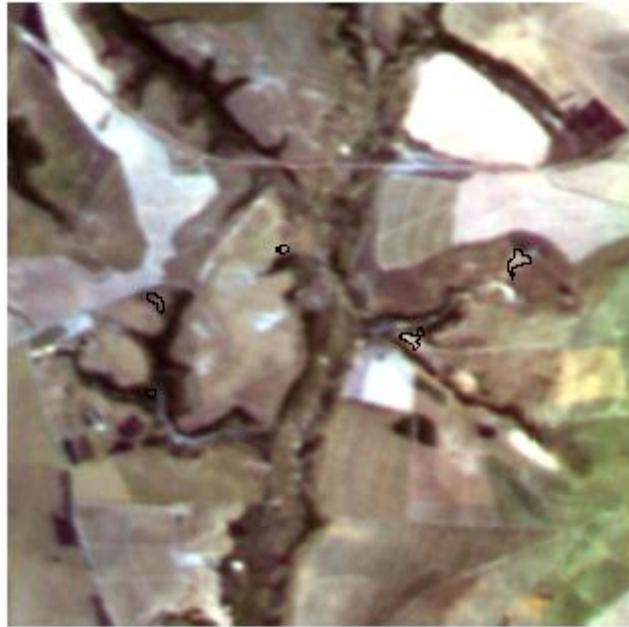


Figura 6: Imagem CBERS, de 2003, montada com as bandas RGB 1 – 2 – 3 com as feições erosivas detectadas

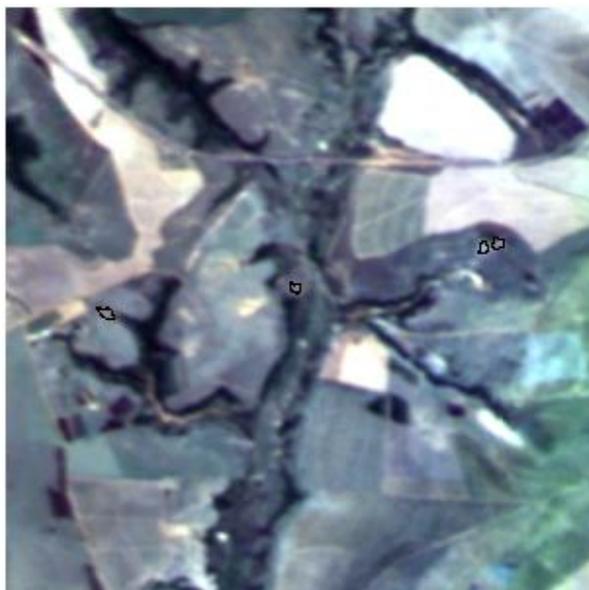


Figura 7: Imagem CBERS, de 2003, montada com as bandas RGB 3 – 2 – 1 com as feições erosivas detectadas

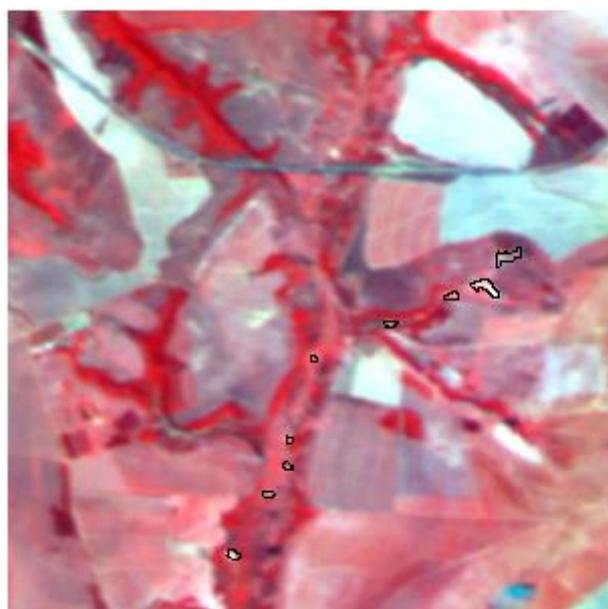


Figura 8: Imagem CBERS, de 2003, montada com as bandas RGB 4 – 2 – 1 com as feições erosivas detectadas

A partir da análise das diferentes composições, foi possível encontrar feições erosivas apenas na região central da área de estudo, mais precisamente na sub-bacia conhecida como “Bacia do Meio”. É nesta região aonde a maior vazão

chega das cotas mais elevadas, das escarpas localizadas a norte da bacia. Outro agravante da situação é o fato desta bacia funcionar como canal de deságue da vazão que passa pela rodovia que corta a região transversalmente.

Foram encontradas também algumas feições erosivas menores em pontos próximos à linha de drenagem da bacia, porém estas erosões menores não puderam ser classificadas de forma clara, dado o tamanho reduzido que estas apresentaram para identificação com as imagens LANDSAT e CBERS trabalhadas.

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 nos mostra que as resoluções oferecidas pelas imagens de ambos os satélites não foi suficiente para capturar feições erosivas menores, visto que o satélite LANDSAT possui pixels cujas áreas equivalentes na região são da ordem de 30m x 30m, enquanto que o satélite CBERS captura imagens com detalhamento limite mínimas da ordem de 20m x 20m. Uma vez que a grande maioria das erosões presentes não apresenta uma abertura transversal maior que 20m, muitas das feições erosivas presentes acabaram sendo mascaradas dentro dos pixels das imagens.

Outro ponto que impossibilitou um levantamento mais preciso na região foi a presença das malhas urbanas dos municípios de São Pedro e Santa Maria da

Serra. Segundo estudos realizados anteriormente na região, algumas das maiores boçorocas estão localizadas dentro do limite da área urbana do município de São Pedro. Infelizmente, apesar do conhecimento de antemão da existência destas feições de maior porte, mais uma vez as baixas resoluções oferecidas pelas imagens de ambos os satélites foram um empecilho para a identificação das erosões dentro da malha urbana, devido, principalmente, à disposição extremamente heterogênea de seus pixels.

Um terceiro fator que dificultou o processo de identificação foi o fato de que muitas das erosões mais conhecidas e de maior porte na região, já apresentavam algum tipo de indicador de estabilização, como, por exemplo, a revegetação de alguns braços de erosão antes ativos. Como o sensor dos satélites capturam as feições de vegetação com pixels com tonalidade semelhante à área de entorno aos braços das erosões, muitas vezes estes acabavam por mascarar e ocultar algumas feições erosivas de maior porte.

Apesar destas adversidades, foi possível, a partir da observação sistemática das imagens obtidas, o levantamento das feições erosivas lineares de maior porte presentes na área, principalmente aquelas presentes fora da mancha urbana ou que não apresentavam qualquer processo de estabilização de seus taludes.

V.2 Análise comparativa entre as imagens LANDSAT e CBERS entre os anos de 2003 e 2008

O levantamento das erosões presentes na região foi realizado utilizando-se 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 20m x 20m, configurando assim um ganho representativo de definição de imagem em comparação às imagens LANDSAT.

Em contrapartida, as imagens CBERS possuem uma resolução espectral inferior àquela oferecida pelas imagens LANDSAT. Deve-se prestar atenção ao modelo de satélite LANDSAT com o qual se está trabalhando. Por padrão, satélites LANDSAT possuem 5 ou 7 bandas espectrais diferentes para cada cena oferecida. Já no caso das imagens CBERS, este número é de apenas 4 bandas normais e uma pancromática. No caso específico do modelo LANDSAT 7, é possível se obter, além destas 7 bandas padrões, uma banda pancromática adicional. Graças a esta banda pancromática, é possível se trabalhar com uma resolução espacial maior para a mesma cena fornecida, quando a imagem passar pelo processo de fusionamento com a banda pancromática. O processo de fusionamento é de grande valia quando o foco do estudo exigir uma maior definição das imagens trabalhadas, uma vez que, no caso específico de imagens LANDSAT, a resolução espacial da imagem salta de 30m para 15m por pixel, superando, assim, até mesmo as resoluções oferecidas pelas imagens CBERS.

A partir de todas as análises e pós-tratamentos realizados durante todo o período de pesquisa, percebeu-se que as imagens LANDSAT e CBERS não são adequadas para a identificação de feições erosivas mais recentes, dada a incapacidade que estas imagens possuem de mostrar, com maior definição, erosões de menor porte. Desta forma, conclui-se que a utilização deste tipo de imagens para o monitoramento da evolução ou surgimento de novas erosões em uma determinada área, não é recomendada. Isto ocorre uma vez que as dinâmicas de alterações do meio físico são processos que na grande maioria dos casos,

ocorrem de maneira lenta, excetuando-se eventos resultantes de desastres naturais pontuais, como enchentes ou grandes deslocamentos de terra. Assim sendo, o monitoramento das dinâmicas do meio físico mais adequado para o uso de imagens provenientes dos satélites CBERS e LANDSAT, são aquelas referentes à análises à longo prazo, ou com grandes diferenças temporais entre si, uma vez que análises temporais de curto prazo muito provavelmente não obterão resultados satisfatórios usando tais imagens.

A comparação entre imagens LANDSAT e CBERS pode ser observada nas figuras 9 a 14, referente aos anos de 2003 a 2008.



Figura 9: Comparação entre imagens CBERS (esquerda) e LANDSAT (direita) para o ano de 2003 com as feições erosivas detectadas

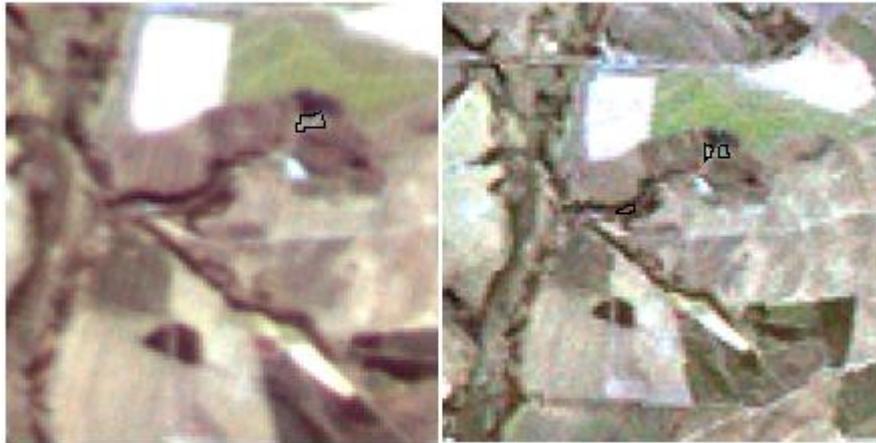


Figura 10: Comparação entre imagens CBERS (esquerda) e LANDSAT (direita) para o ano de 2004 com as feições erosivas detectadas



Figura 11: Comparação entre imagens CBERS (esquerda) e LANDSAT (direita) para o ano de 2005 com as feições erosivas detectadas

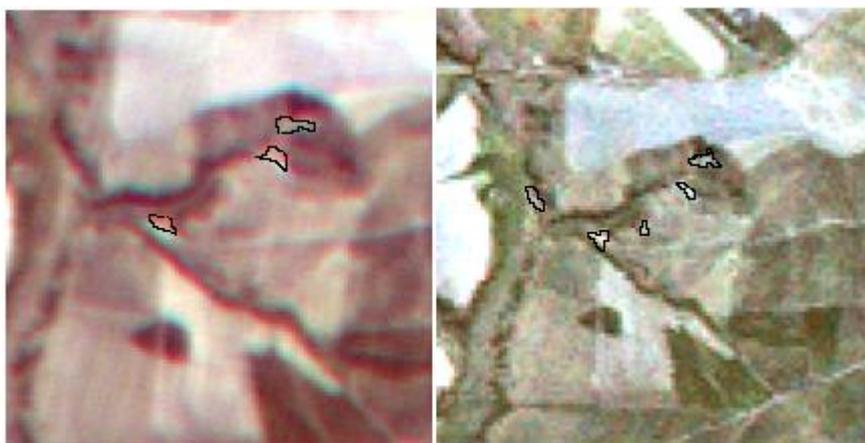


Figura 12: Comparação entre imagens CBERS (esquerda) e LANDSAT (direita) para o ano de 2006 com as feições erosivas detectadas



Figura 13: Comparação entre imagens CBERS (esquerda) e LANDSAT (direita) para o ano de 2007 com as feições erosivas detectadas



Figura 14: Comparação entre imagens CBERS (esquerda) e LANDSAT (direita) para o ano de 2008 com as feições erosivas detectadas

Como se pode perceber nas Figuras 11 e 14, as imagens CBERS (lado esquerdo) apresentaram-se marcadas por uma sequência de linhas inclinadas, causadas, possivelmente, por algum tipo de interferência externa. Além disso, como é possível observar pelas Figuras 12 e 13, as imagens CBERS apresentaram-se ligeiramente borradas. Em contrapartida, a sequência de imagens LANDSAT estudadas apresentaram variações na qualidade geral das imagens

pouco irrelevantes, mostrando que este satélite possui uma maior margem de segurança em relação ao CBERS no quesito qualidade do acervo de imagens.

Como pode ser observado, a partir das imagens comparativas acima, apesar da aparente melhor resolução espacial que as imagens CBERS podem oferecer em comparação às LANDSAT, ficou evidente, de fato, que as imagens do satélite LANDSAT possuem uma definição superior de imagem. O que se percebeu ao longo do trabalho é que as imagens CBERS, apesar de possuírem uma resolução espacial de 20m por pixel, não possuem uma boa definição de suas imagens, sendo que muitas das imagens adquiridas do satélite apresentaram-se com aspecto borrado ou esbranquiçado. Em contrapartida, as imagens LANDSAT, mesmo com resolução inferior, apresentaram uma melhor qualidade de imagem, com boa definição de cores e realce de alguns detalhes.

Como forma de verificar os dados obtidos através da análise das imagens de satélite, foram levantadas fotografias das feições erosivas em estudo. As figuras 14a, 14b e 14c abaixo mostram as erosões observadas pela pesquisadora Marcilene Dantas Ferreira para o referido braço de erosão. Como se pode observar, as erosões presentes na região são de grande porte, podendo ser facilmente identificadas em trabalho de campo.



Figura 14a: Fotografia do braço erosivo em estudo



Figura 14b: Fotografia do braço erosivo em estudo



Figura 14c: Fotografia do braço erosivo em estudo

O presente estudo teve como um de seus focos, o estudo da evolução das feições erosivas presentes na região. No entanto, no espaço amostral temporal de imagens escolhidos para o trabalho, que abrangeu imagens dos anos de 2000 a 2008, não foi possível se verificar uma variação significativa na dinâmica dos processos erosivos dentro da área estudada. Recomenda-se, desta forma, que, para uma análise temporal mais satisfatória utilizando-se imagens CBERS e LANDSAT, se trabalhe com uma diferença temporal superior à 10 anos.

V.3 Análise das imagens fusionadas LANDSAT 2001, 2002 e 2003

O resultado do processo de fusão das imagens LANDSAT 7 teve como resultado principal um aumento significativo na definição da imagem originalmente fornecida pelo satélite. Dada à finalidade deste trabalho, qualquer tipo de procedimento que aumente a resolução das imagens trabalhadas servirá

para melhorar a eficiência na identificação de feições erosivas dentro da região estudada.

Apesar do efetivo ganho de definição nas imagens LANDSAT 7 trabalhadas, para a área objeto deste estudo, o catálogo do INPE dispunha apenas de imagens 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. Desta forma, apenas foi possível se realizar o trabalho de identificação de erosões e do posterior processo de classificação automática em imagens fusionadas referentes aos anos 2001, 2002 e 2003. Devido ao fato de que estas imagens apenas estavam presentes no modelo LANDSAT 7, não foi possível realizar uma comparação com os resultados obtidos com as imagens CBERS.

Neste ponto cabe uma observação, as imagens CBERS fornecem, por padrão, 4 bandas normais e uma banda pancromática adicional, contra 7 bandas normais no caso de imagens LANDSAT 5 e 7 bandas normais e uma pancromática adicional, no caso do LANDSAT 7. O fato curioso das imagens CBERS é que a resolução espacial oferecida pela banda pancromática deste satélite é da ordem de 20m x 20m, ou seja, exatamente a mesma resolução que as demais bandas deste satélite oferecem. A Tabela 6 apresenta dados de resolução espacial e temporal que o satélite CBERS 2 B possui.

Tabela 6: Tabela com dados e especificações presentes no satélite CBERS 2B com sensor CCD (INPE, 2007)

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal
Câmara CCD	PAN	0,51 - 0,73 μ m	20 m	26 dias (visada vertical) e 3 dias (visada lateral)
	AZUL	0,45 - 0,52 μ m		
	VERDE	0,52 - 0,59 μ m		
	VERMELHO	0,63 - 0,69 μ m		
	INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0,77 - 0,89 μ m		

De fato, o processo de fusionamento para as imagens deste satélite não resultou em nenhuma melhora na qualidade e na definição da imagem trabalhada. Após alguma pesquisa, conclui-se que as imagens CBERS possuem alguns sensores de captura distintos. No caso das imagens trabalhadas 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 em relação aos dados captados pela câmera CCD. A Tabela 7 abaixo apresenta as especificações técnicas deste sensor.

Tabela 7: Tabela com dados e especificações presentes no satélite CBERS 2B com sensor HCR (INPE, 2007).

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Res. Radiométrica
HRC	PAN	0,50 - 0,80 μ m	2,7 m	130 dias	8 bits

É importante observar que, apesar da resolução espacial inegavelmente elevada oferecida por este sensor, trabalhar com suas imagens é um processo que demanda muito tempo. O maior empecilho se encontra no próprio sítio eletrônico do INPE, uma vez que as imagens estão disponibilizadas de maneira que dificulta o processo de coleta das mesmas. Além disso, as imagens são oferecidas em cenas muito reduzidas o que demanda, na grande maioria dos casos, a realização de um processo extensivo de mosaicamento das imagens, para a formação de uma cena que abranja toda a área desejada. Somando estes dois empecilhos, pode-se concluir que quanto maior for a região de estudo em um determinado trabalho, maior será a dificuldade e o tempo gasto para a coleta e preparação das imagens oferecidas por este sensor. Assim, tais imagens melhor se adéquam aos trabalhos cuja área desejada não seja demasiadamente extensa.

Trabalhar especificamente com imagens CBERS 2B, provenientes do sensor HCR poderá servir de base para trabalhos futuros na área. 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, imagens estas oferecidas gratuitamente na internet, podem vir a ter no campo dos estudos da gestão territorial através do sensoriamento remoto.

Apesar do aumento de resolução das imagens Landsat e CBERS fusionadas com as respectivas bandas pancromáticas, muitas das erosões catalogadas em estudos prévios ainda assim não puderam ser encontradas nestas imagens. No entanto, o processo de identificação das mesmas foi claramente facilitado. Nas Figuras 15 a 20, é possível realizar uma comparação mais detalhada da qualidade das imagens LANDSAT estudadas, antes e após o processo de fusionamento.

A Figura 15 mostra a localização da feição erosiva escolhida para a análise da qualidade das imagens obtidas após o processo de fusionamento.

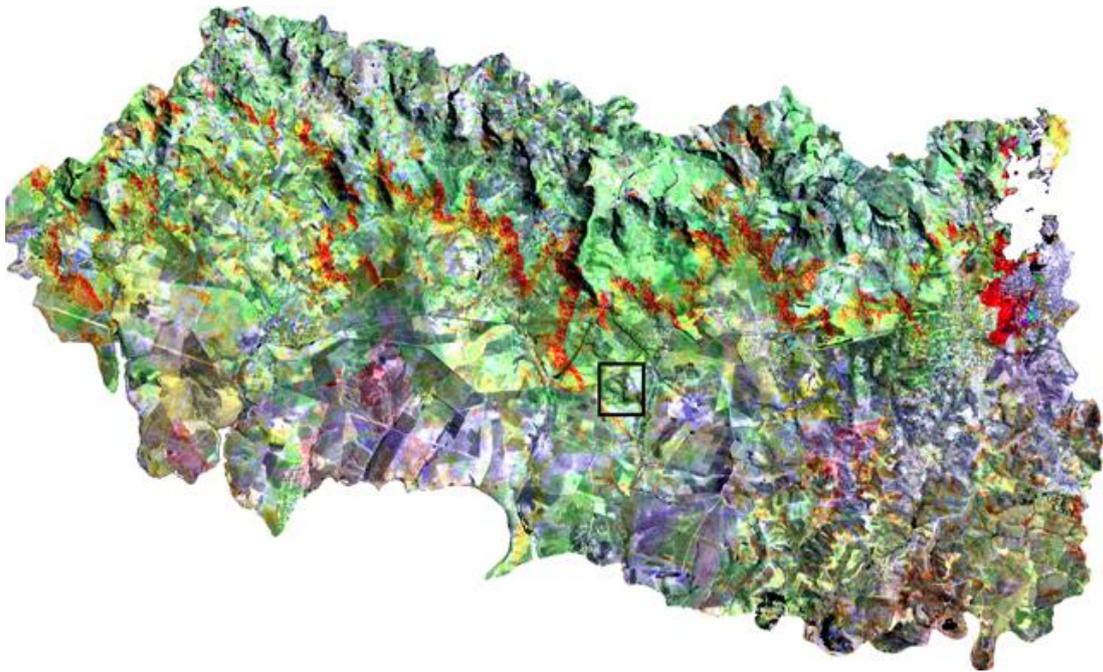


Figura 15: Localização da erosão escolhida para o estudo comparativo de imagens fusionadas

V.3.1 Análise comparativa entre imagens LANDSAT 7 antes e após fusionalamento para o ano de 2001



Figura 16: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2001, antes do processo de fusionalamento

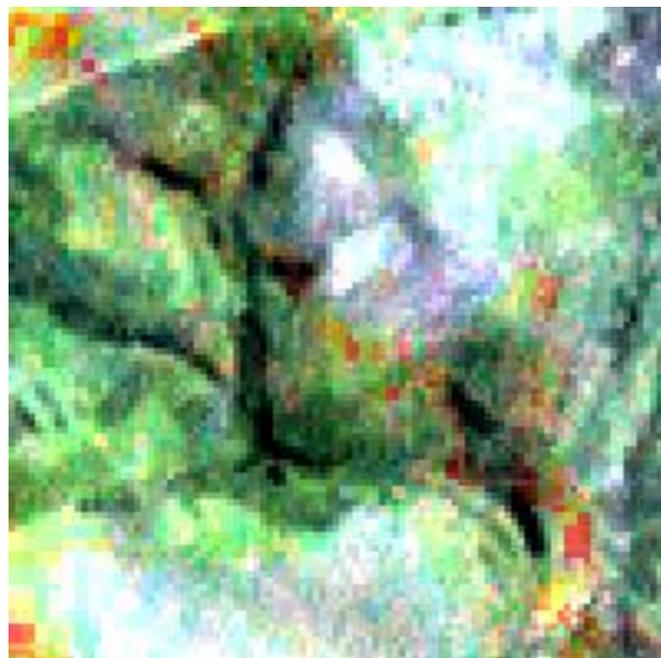


Figura 17: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2001, após do fusionalamento

V.3.2 Análise comparativa entre imagens LANDSAT 7 antes e após fusionalamento para o ano de 2002

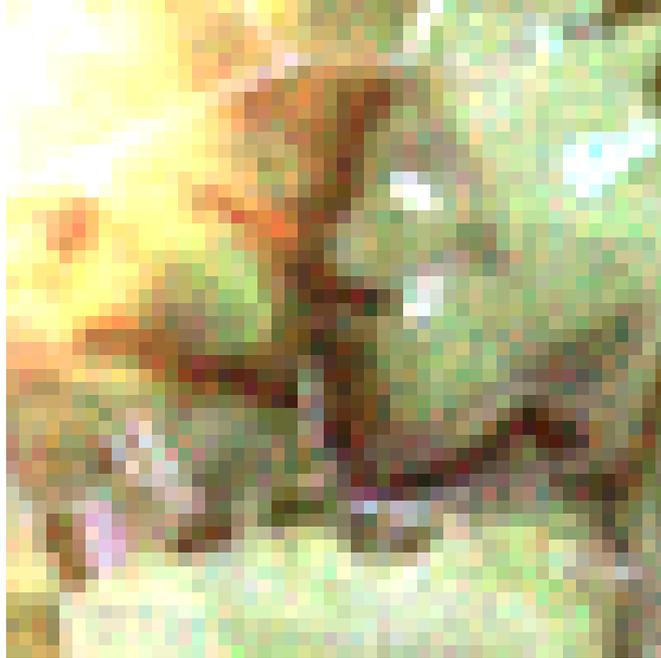


Figura 18: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2002, antes do processo de fusionalamento



Figura 19: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2002, após o fusionalamento

V.3.3 Análise comparativa entre imagens LANDSAT 7 antes e após fusionalamento para o ano de 2003



Figura 20: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2003, antes do processo de fusionalamento

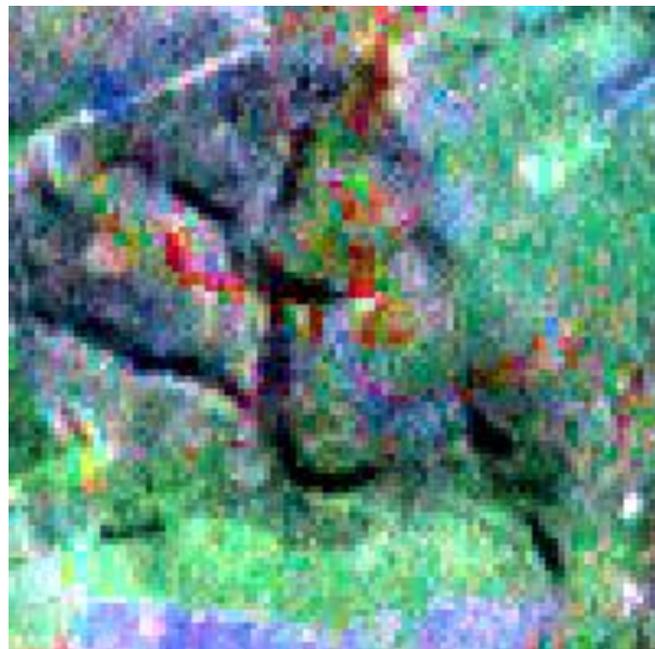


Figura 21: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2003, após o fusionalamento

Percebe-se um ganho efetivo na qualidade das imagens geradas após o processo de pós-tratamento das imagens LANDSAT 7. Todas as imagens estudadas referem-se ao mesmo braço de uma erosão, referentes aos anos de 2001, 2002 e 2003. Todas as três séries comparativas compartilham da mesma conclusão: de que o ganho de definição na imagem da erosão em estudo foi evidente. Graças a esta melhora na qualidade, detalhes antes imperceptíveis na imagem não fusionada, ficaram visíveis após o pós-processamento.

O objetivo deste estudo comparativo foi o de mostrar o ganho real de qualidade obtido pelo processo de fusionamento. Um exemplo disso pode ser observado na comparação entre as imagens de uma mesma cena, conforme Figura 22. A melhora de definição obtida na imagem pós-tratamento, mostrado à direita, permitiu observar porções de solo exposto que, à priori, não puderam ser observadas. A figura 22 mostra mais detalhadamente os pontos de interesse observados na imagem fusionada.

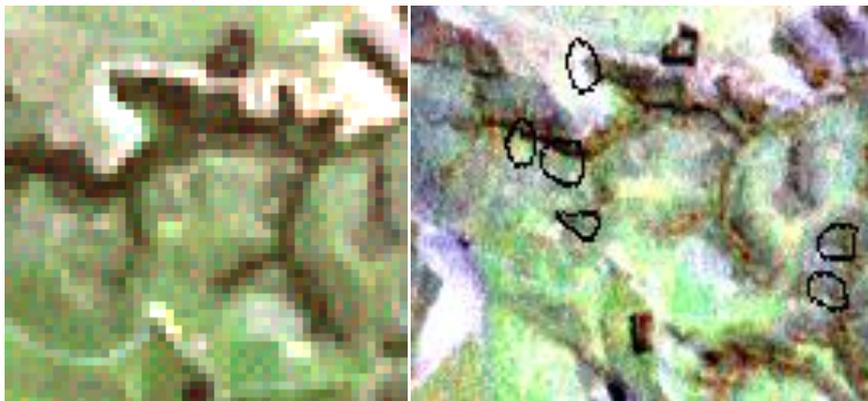


Figura 22: Identificação de pontos de interesse observados na imagem fusionada (direita) que antes não eram possíveis de serem identificados (esquerda)

Mesmo não tendo sido muito efetiva a melhora na identificação das erosões presentes na região, visto que muitas delas ainda não puderam ser claramente identificadas para a resolução fornecida por estas imagens, o processo

de fusionamento melhorou a sua identificação. Muitas das feições do terreno que antes do fusionamento não podiam ser identificadas, acabaram se tornando mais visíveis e definidas nas imagens pós-fusionamento. Pode-se afirmar que o fusionamento de imagens pancromáticas é uma excelente função de melhoria e de expansão da utilidade para as imagens que dispõem desta opção, dentro da área das geociências e dos estudos via sensoriamento remoto.

V.4 Análise das imagens após processo de aplicação de máscara das feições erosivas levantadas em campo

O processo de aplicação de máscara sobre as imagens em estudo teve como objetivo a tentativa de refinamento do processo de identificação das erosões dentro da área estudada. Dada a dificuldade encontrada para realizar o levantamento das feições erosivas dentro da área somente com o uso das imagens de satélite, optou-se por utilizar as informações de um inventário de erosões, realizado na mesma área deste estudo, por Ferreira (2008). A autora disponibilizou um arquivo digital em Auto Cad que continha todas as feições erosivas lineares presentes na região.

A autora realizou o levantamento de todas as feições erosivas lineares presentes na região com base em visitas de campo e de estudo em imagens de alta resolução.

Com os dados disponibilizados na forma digital foi possível selecionar todas as erosões identificadas no trabalho de Ferreira (2008), por meio da sobreposição do arquivo, fruto do trabalho da autora, com as erosões identificadas sobre as imagens de satélite fruto desta pesquisa. A Figura 23 ilustra o resultado

obtido com o processo de aplicação de máscara sobre uma imagem LANDSAT 7, do ano de 2002.

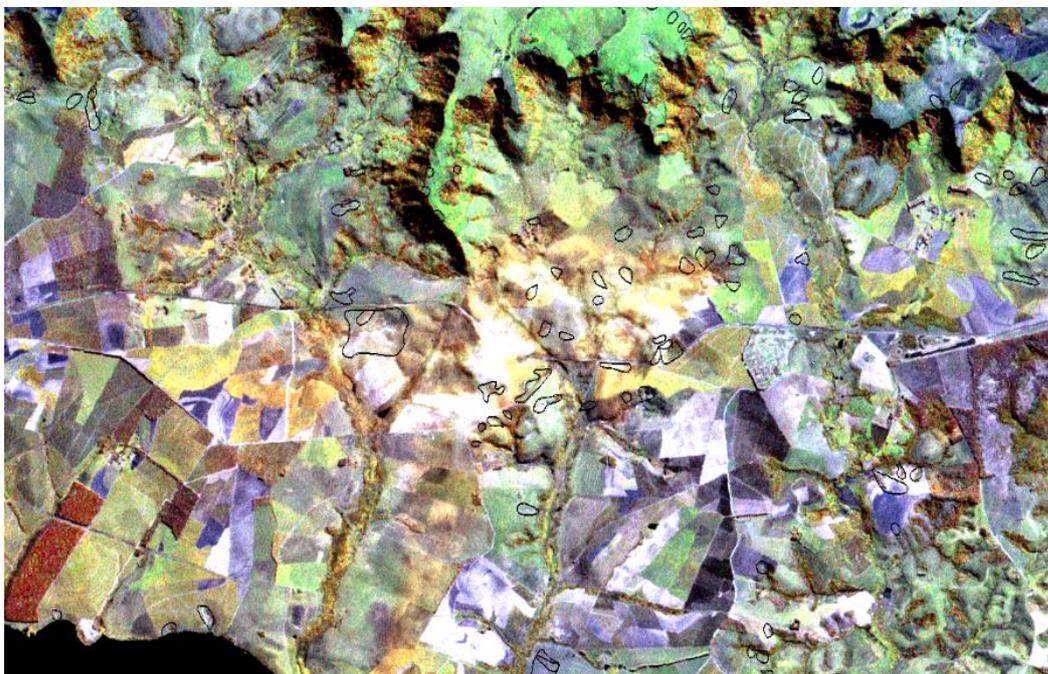


Figura 23: Imagem LANDSAT 7, do ano de 2002, após a aplicação da máscara, onde as feições marcadas em preto representam as erosões levantadas em estudos prévios.

Segundo o arquivo usado para sobrepor as imagens em estudo, pode-se perceber que a região trabalhada possui diversas erosões catalogadas. A partir de uma análise mais detalhada sobre cada uma destas feições erosivas marcadas sobre a imagem, percebe-se que nas imagens, poucas erosões seriam possíveis de serem identificadas sem a presença da máscara. Apenas as erosões de maior porte foram facilmente encontradas com a ajuda da máscara. Isto mostra que, como já discutido nos tópicos anteriores, as imagens fornecidas por ambos os satélites não possuem uma resolução espacial suficientemente grande, de forma que estas consigam ilustrar satisfatoriamente as erosões lineares de menor porte, isto é, a grande maioria presente na região.

V.5 Análise dos resultados obtidos do processo de classificação automática das imagens

Após diversas tentativas de trabalhar com as imagens dos satélites LANDSAT e CBERS, tentando identificar de diversas maneiras as feições erosivas presentes na região, além de realizar o fusão de algumas imagens com o intuito de melhorar sua definição, foi realizado o processo de classificação automática das mesmas, utilizando-se para tal do método da máxima verossimilhança (MAXXVER).

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, com o auxílio do software ENVI, o processo de classificação automática. O objetivo principal deste processo, e, por conseguinte desta pesquisa, era de se obter, como resultado destes processos, uma imagem com a delimitação, mais aproximada possível, de todas as demais erosões presentes na região. A verificação do sucesso do procedimento seria feita com a aplicação do arquivo com as feições erosivas, já levantadas em campo, sobre a imagem gerada após a classificação. 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.

Nas etapas preliminares, a classificação foi realizada utilizando-se apenas as imagens LANDSAT e CBERS sem nenhum tipo de pós-tratamento, excetuando-se apenas o georreferenciamento, sendo que, em seguida, foi realizada a reclassificação das imagens resultantes do processo de fusão.

V.5.1 CBERS

Com pode-se perceber, a partir das Figuras 24 e 25, o processo de classificação automática das erosões não obteve resultados expressivos para a imagem CBERS. 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 a esta dificuldade de selecionar erosões, os resultados obtidos no processo de classificação, marcados na imagem em vermelho, também foram pouco expressivos.

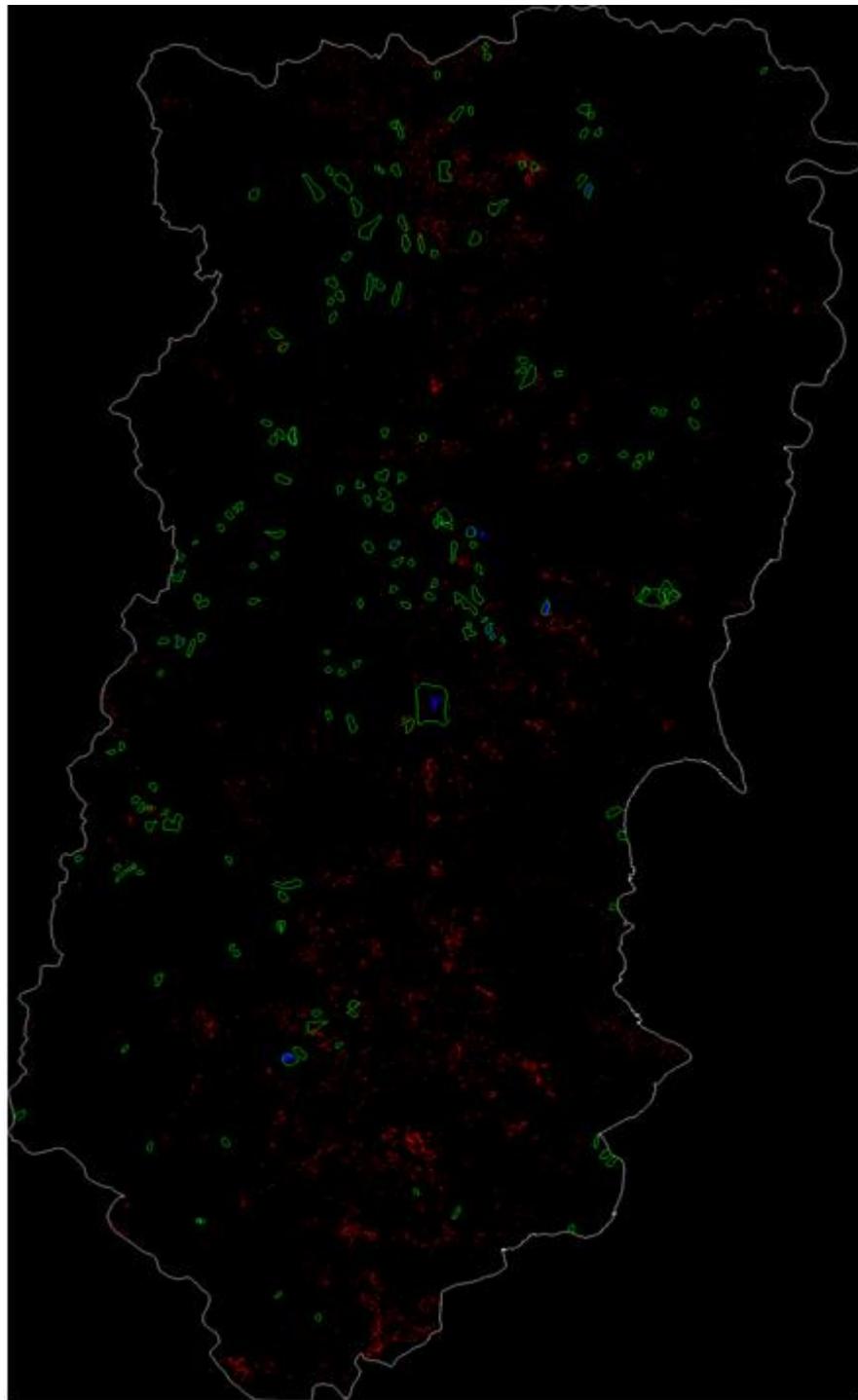


Figura 24: Imagem resultante do processo de classificação automática, pelo método de Máxima Verossimilhança, realizado em imagem CBERS 2003 (em vermelho). Na imagem, os pontos em azul representam as erosões encontradas através da análise da imagem, as feições em verde representam as erosões catalogadas da região

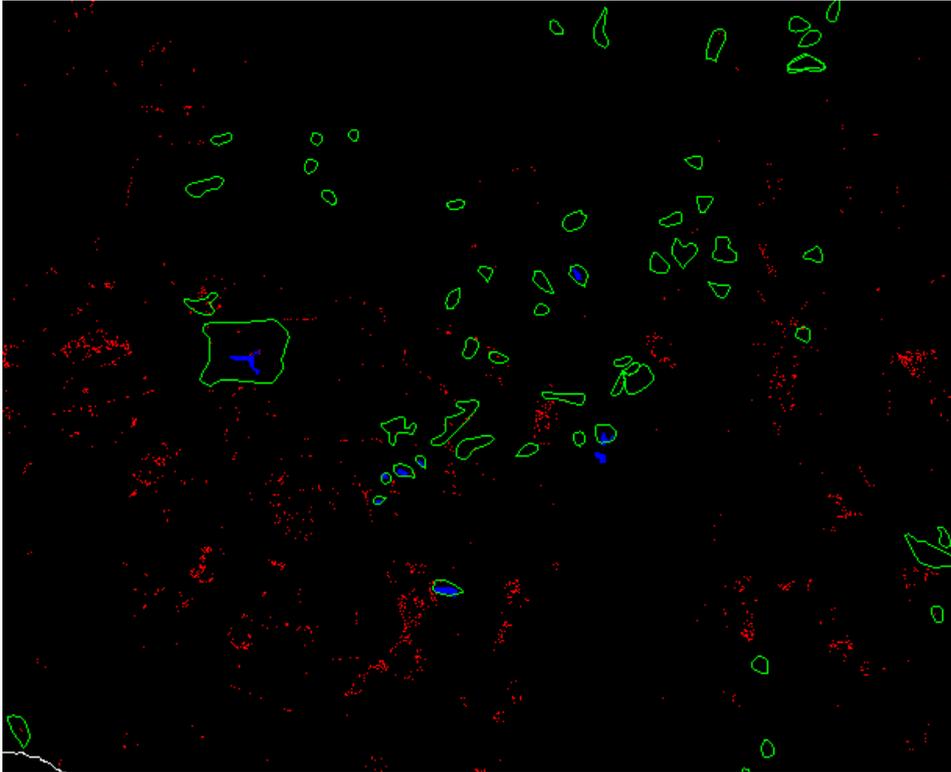


Figura 25: Detalhamento dos resultados obtidos pelo fusionalamento de imagem CBERS, do ano de 2003 (em vermelho: classificação automática, em azul identificação visual na imagem e em verde erosões catalogadas)

V.5.2 LANDSAT

O mesmo procedimento adotado para a classificação da imagem CBERS foi utilizado para a imagem LANDSAT. Com o intuito de aumentar a desempenho do software na seleção dos pixels a serem classificados, optou-se por trabalhar com imagens fusionadas, dada a sua qualidade superior. Desta forma, assim como feito para a imagem CBERS, selecionaram-se, num primeiro momento, todas as erosões possíveis de serem identificadas, criando-se uma base de dados (arquivo de “região de interesse”), sendo que, em seguida, foi realizado o processo de classificação via software. Por fim, colocou-se a máscara de todas as erosões já catalogadas por estudos prévios para servir de parâmetro de avaliação. O resultado final obtido pode ser observado na Figura 26. A Figura 27

mostra, com um detalhamento maior, a dispersão obtida para um trecho específico da área.

Dada à qualidade superior que a imagem LANDSAT fusionada possui, em comparação à imagem CBERS, foi possível de se identificar mais erosões lineares dentro da área de estudo (em azul nas Figuras 26 e 27). No entanto, mesmo com mais pontos selecionados, o processo de classificação não obteve resultados expressivos referentes às demais erosões presentes na região. Mais uma vez, a relativa resolução baixa presente na imagem foi o fator limitador da classificação automática. As variações de resposta espectral que ocorre nas erosões devido à presença de vegetação em certas partes e também ao efeito de sombra, em função da incisão profunda, acabam por também dificultar a classificação automática das áreas.

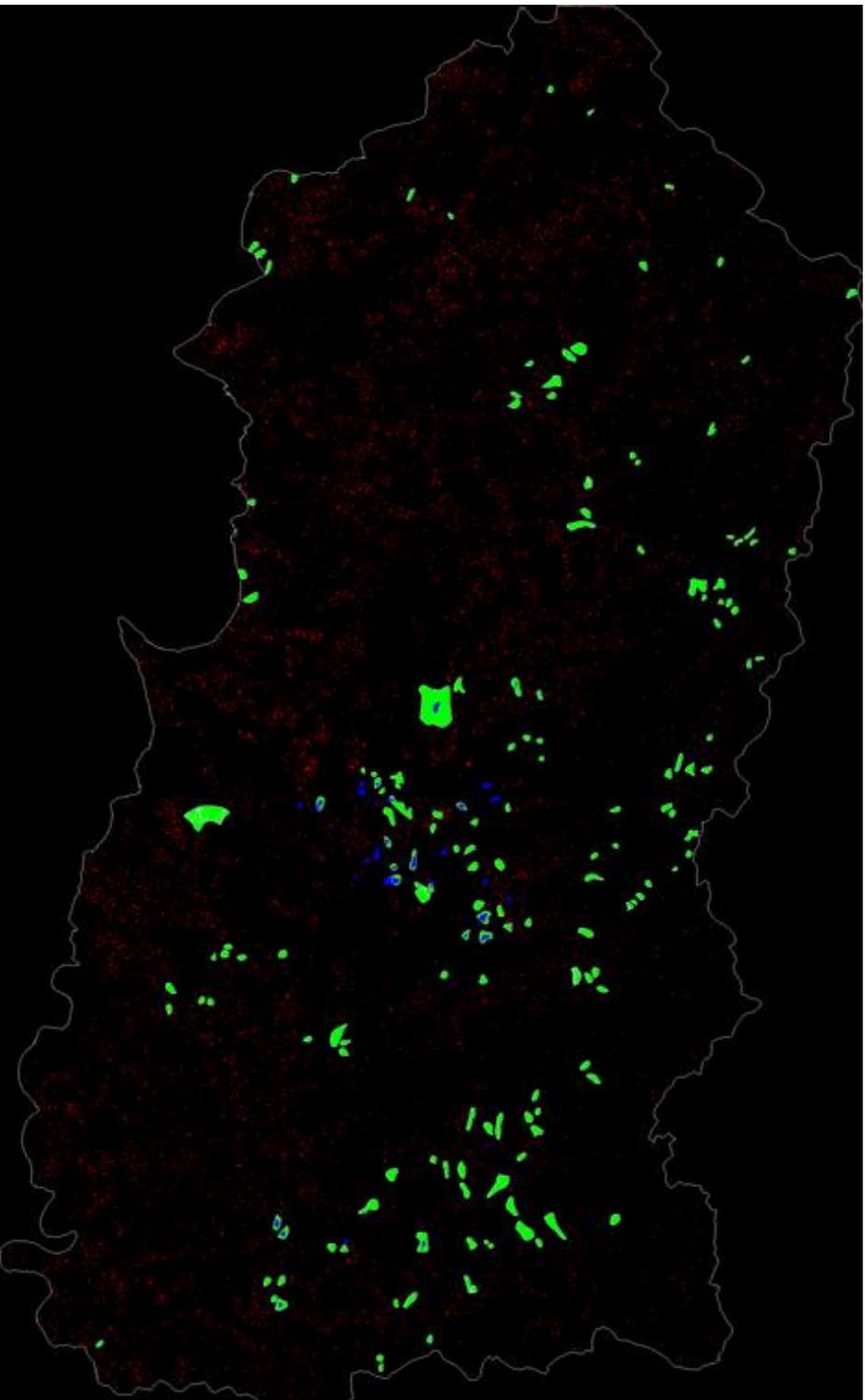
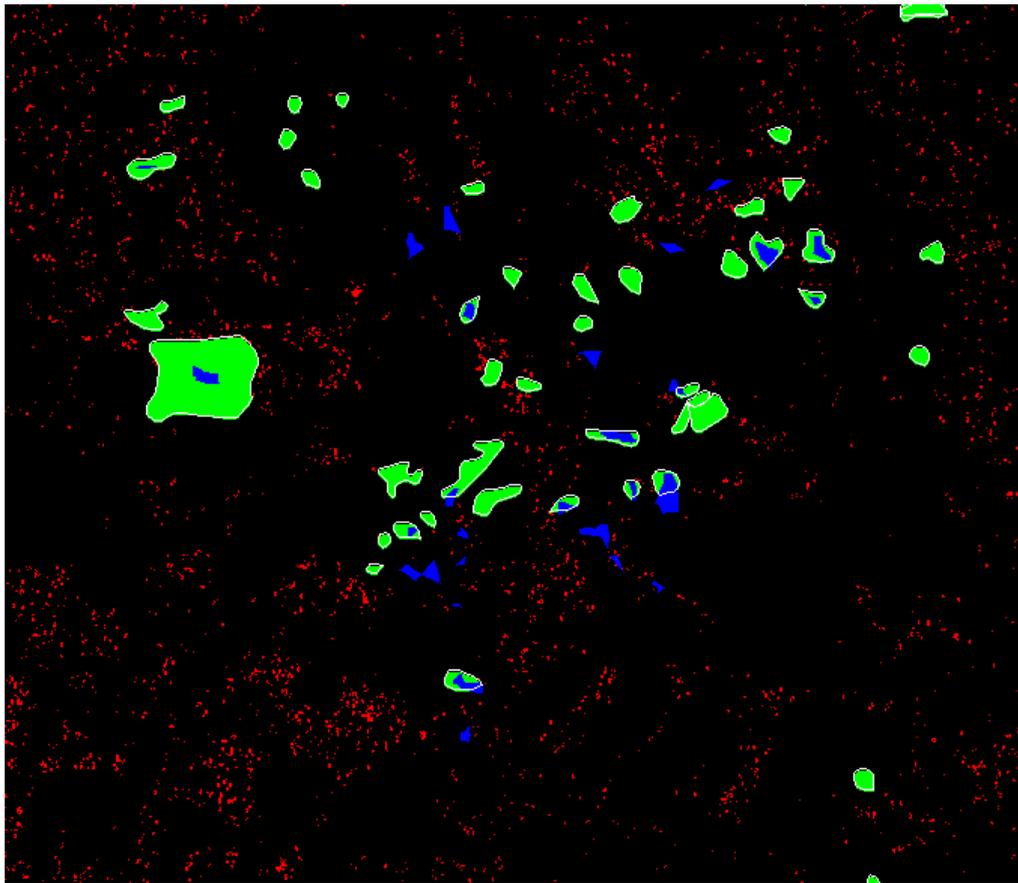


Figura 26: Imagem resultante do processo de classificação automática, pelo método de Máxima Verossimilhança, realizado em imagem LANDSAT 2002, fusionada. Na imagem, os pontos em azul representam as erosões encontradas através da análise da imagem, as feições em verde representam as erosões da região levantadas em estudos prévios e os pontos em vermelho representam o resultado da classificação feita pelo ENVI



*Figura 27: Detalhamento dos resultados obtidos pelo fusão de imagem
LANDSAT, do ano de 2002*

VI. CONCLUSÃO

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 seu uso fica restrito à identificação de objetos de grande extensão. Apesar deste ponto negativo, graças às numerosas funções que os softwares modernos de SIG e de processamento digital de imagens podem oferecer, tais imagens acabam por ter suas possibilidades de uso estendidas, graças às técnicas de pós-processamento oferecidas por tais softwares, como, por exemplo, o fusionamento de imagens com suas respectivas bandas pancromáticas.

Trabalhando com as imagens não fusionadas dos satélites CBERS e LANDSAT, as resoluções oferecidas por ambos os satélites não foram suficientes para uma identificação mais completa e minuciosa das erosões presentes na área. Devido ao fato de que as resoluções espaciais oferecidas por ambos os satélites não ultrapassaram 20m por pixel e que a grande maioria das erosões não apresentaram tamanhos expressivos, muitas das feições erosivas presentes acabaram sendo mascaradas nas imagens. Apesar disso, foi possível, a partir da observação sistemática das imagens obtidas, o levantamento das feições erosivas lineares de maior porte presentes na área, principalmente àquelas presentes fora da mancha urbana ou que não apresentavam qualquer processo de estabilização de seus taludes.

O processo de fusionamento é de grande valia quando o foco do estudo exigir uma maior definição das imagens trabalhadas, uma vez que, no caso específico de imagens LANDSAT, a resolução espacial da imagem salta de 30m

para 15m, superando, assim, até mesmo as resoluções oferecidas pelas imagens CBERS. Muitas das feições do terreno que antes do fusionamento não podiam ser facilmente identificadas, acabaram se tornando relativamente visíveis e definidas nas imagens pós-fusionamento. Pode-se afirmar, portanto, que o fusionamento de imagens pancromáticas é uma excelente função de melhoria e de expansão da utilidade para as imagens que dispõem desta opção, no campo das geociências e dos estudos via sensoriamento remoto. Analogamente, o satélite CBERS 2B também fornece subsídios para o melhoramento da resolução de suas imagens através de seu fusionamento, visto que este satélite possui um sensor diferenciado, chamado de HCR, que possui uma única banda pancromática. Este sensor destaca-se pela alta resolução espacial que oferece, da ordem de 2,7 metros, o que possibilita um maior detalhamento da superfície em relação aos dados captados pela câmera CCD. Apesar de seu excelente incremento de resolução, trabalhar com este tipo de imagens pode ser uma tanto quanto oneroso. As imagens disponibilizadas dentro do catálogo do INPE não estão em ordem que permita sua fácil utilização. Além disso, quanto maior área em estudo, maior será a dificuldade de se trabalhar com tais imagens, ficando, desta forma, a recomendação para a utilização deste tipo de imagem apenas para áreas relativamente pequenas.

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 foi totalmente bem sucedida. Tal fato se deu, entre outros fatores, pelas baixas resoluções apresentadas pelas imagens de ambos os satélites, mesmo após realizar o pós-processamento destas imagens através do fusionamento com as bandas pancromáticas e com o auxílio

de informações das erosões presentes na região, levantadas por trabalhos prévios para a composição dos arquivos “região de interesse” (.roi). No entanto, as erosões de maior porte puderam ser identificadas e delimitadas nas imagens Landsat fusionadas. Além deste fator, podem-se citar também problemas relacionados com a variabilidade espectral das erosões estudadas, como por exemplo, o fato de que muitas delas não possuem solo exposto e estarem cobertas por vegetação, além da presença de sombras que acabaram por influenciar no processo de classificação automática.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida Filho, G.S. (2000) - *Diagnóstico de processos erosivos lineares associados a eventos pluviosos no município de Bauru, SP*. Tese de mestrado. UNICAMP.

Almeida Filho, G.S.; Santoro, J.; Gomes, L.A. (2004) Estudo da dinâmica evolutiva da boçoroca São Dimas no município de São Pedro, SP. In: *Simpósio brasileiro de desastres naturais*, 1., 2004, Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC. p. 73-86.

Araujo, T.P. (2011) - Estudo do desencadeamento das erosões lineares concentradas em uma área do município de São Pedro/SP. Tese de mestrado. SGS/USP.

Barretto, A. G. O. (2007) - *História e geografia da pesquisa brasileira em erosão do solo*. Tese de mestrado. ESALQ/USP.

Carvalho, M. V. A., Freitas Junior, R. L., Campos, R. M., Santos Junior, W. M. e Sardenberg Junior, H. (2007). *A importância do uso de imagens de satélite e cartas-imagem para a execução do trabalho de campo em Geografia*. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis/SC. P.1409-1416.

Carvalho, N. O. (2008) - *Hidrossedimentologia Prática*. 2ª edição. Editora Interciência. 600 p.

Costa, Temóteo e Zimback. *Caracterização de uma bacia hidrográfica quanto a suscetibilidade a erosão, utilizando técnicas de geoprocessamento*. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal/RN. 2009.

Crósta, A. P. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. IG/Unicamp. 1992. 170p. DAEE/IPT (1989) - *Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas*. São Paulo. 2ª edição, 1990. 92 p.

Embrapa. *Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 17 dez. 2010.

Fendrich, R. *Drenagem e controle da erosão urbana*. 4ª edição. 1984. 485 p.

Ferreira, C. S. e Lacerda, M. P. C. (2009) – *Adequação agrícola do uso e ocupação das terras na Bacia do Rio São Bartolomeu, Distrito Federal*. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal/RN. p. 183-189.

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.

Florenzano, T. G. (2002) - *Imagens de Satélite para Estudos Ambientais*. Oficina de Textos. 97 p.

Fontes, S. B. (2004) - *Estudo Geoambiental da bacia do Rio Pardo, a partir da compartimentação em ottobacias* - escala 1: 100.000. v1. Tese de doutorado. EESC/USP.

Gilberto Câmara, Antônio Miguel Monteiro, José Simeão de Medeiros (editores) (2004) – *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos, INPE.

Gupta, R. P. (1991) - *Remote Sensing Geology*. Berlin New York: Springer-Verlag. 356 p.

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.

Lal, R. (1990) – *Soil Erosion in the Tropics: Principles and Management*. New York. McGraw-Hill. 580 pg.

Lourenço, F.R.; Sanches, I.D.; Furtado, A.L.S. (2011) Avaliação das técnicas de fusão disponíveis nos softwares ArcGis, Erdas e ENVI. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. (SBSR)*, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 7486-7493. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD).

Moraes, E. C. *Fundamentos de Sensoriamento Remoto*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos. (2002). Disponível no sítio digital: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18> - acessado em

Moreira et al (2009) - *Monitoramento da cobertura vegetal no desenvolvimento da mamona com uso do SIARCS e ENVI*. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis/SC.

Moreira, M. A. (2001) - *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 250 p.

Morgan, R. C. P. (1986) - *Soil erosion and its control*. 312 p.

Novo, E. M. L. M. *Sensoriamento remoto - Princípios e Aplicações*. Editora Blucher. 3ª edição. 2008. 363 p.

Oliveira, Sobrinho, Rodrigues. *Mapeamento do risco a erosão na Área de Proteção Ambiental do córrego Lageado, MS*. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal/RN. 2009.

Pejon, O. J. (1992)- *Mapeamento geotécnico da folha de Piracicaba-SP (escala 1:100000): estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos*. Tese de Doutorado. EESC/USP

PROIN/CAPES e UNESP/IGCE (1999) - *Material Didático: arquivos de transparências (CD)*. Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada.

Rosa, R. *Introdução ao sensoriamento remoto*. 7ª ed. 2009. EDUFU. 264 p.

Silva, A. S. e Botelho, R. G. M. *Erosão e Conservação dos Solos - Conceitos, Temas e Aplicações*. 5ª edição. 2010. Editora Bertrand Brasil. 340 p.

Santos, W. P., Araújo Filho, M. S., Neto, A. J. B., Silva, C. K. R., Silva, P. V. , Silva, J. D., Frery, A. C. (2003) – *Uma nova técnica de classificação de imagens baseada em lógica nebulosa não iterativa*. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte/MG.

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 Tucum, 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.

Silva, A. M., Schulz, H. E., Camargo, P. B. (2003) - *Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas*. São Carlos. Editora RiMa. 140 p.

Simões, P. R. G. (2007) - *Caracterização física de ambientes cársticos através de sensoriamento remoto e SIG: o caso do parque nacional Cavernas do Peruaçu – Januária/Itacarambi, MG*. Tese de mestrado. Instituto de Geociências/UNICAMP.

Sousa, B. F. S., Teixeira, A. S., Silva, F. A. T. F. (2009) – *Classificação de bioma caatinga usando Support Vector Machines (SVM)*. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal/RN. p. 7917-7924

Sousa, M. A., Ribeiro, R. J. C., Carneiro, P. J. R. (2009) – *Aplicações do sensoriamento remoto e do geoprocessamento. Estudo de caso: bacia do rio do Sono, TO – Brasil*. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal/RN. P. 2241-2248

Valério Filho, M. e Araújo Júnior, G. J. L. *Técnicas de geoprocessamento e modelagem aplicadas no monitoramento de áreas submetidas aos processos de erosão no solo*. 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão.

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

<http://landsat.gsfc.nasa.gov/> acessado em 17 de agosto de 2012

<http://pt.allmetsat.com/satelite-noaa.php> - Acessado em 15 de agosto de 2012

<http://www.aesap.edu.pt/Geografia/evolformrelevo.htm> - Acessado em 17 de agosto de 2012

<http://www.cbers.inpe.br> acessado em 10 de agosto de 2012

http://www.esa.int/esaLP/SEM9VEG23IE_LPmetop_1.html - Acessado em 20 de julho de 2012

<http://www.pedologiafacil.com.br/enquetes/enq33.php> - Acessado em 17 de agosto de 2012

<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter08b.html> - Acessado em 17 de agosto de 2012

<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/landsat.htm> acessado em 17 de julho de 2012

<http://www.sefloral.com.br/70001.htm> acessado em 20 de julho de 2012

<http://www.rolf-derpsch.com/> - Acessado em 17 de agosto de 2012