UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

Viviane Dias Alves Portela

Avaliação da vegetação como indicadora de áreas suscetíveis a
escorregamentos na Serra do Mar em Caraguatatuba (SP)

VERSÃO CORRIGIDA

São Paulo

2014

Viviane Dias Alves Portela

Avaliação da vegetação como indicadora de áreas suscetíveis a
escorregamentos na Serra do Mar em Caraguatatuba (SP)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Bianca Carvalho Vieira

Área de Concentração: Geografia Física

Linha de Pesquisa: Estudos interdisciplinares
em pedologia e geomorfologia

VERSÃO CORRIGIDA

São Paulo

2014

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

Catálogo na Publicação

Serviço de Biblioteca e Documentação

Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

Portela, Viviane Dias Alves

Avaliação da vegetação como indicadora de áreas suscetíveis a escorregamentos na Serra do Mar em Caraguatatuba (SP) / Viviane Dias Alves Portela; orientadora: Bianca Carvalho Vieira – São Paulo, 2014.

122f.; il.

Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física

1. Vegetação. 2. Escorregamentos. 3. Sensoriamento remoto. 4. Índices de Vegetação. 5. Serra do Mar. 6. Caraguatatuba.

I. Vieira, Bianca Carvalho. II. Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. III. Título de Mestre.

<p>Viviane Dias Alves Portela</p>	<p>AVALLIAÇÃO DA VEGETAÇÃO COMO INDICADORA DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A ESCORREGAMENTOS NA SERRA DO MAR EM CARAGUATATUBA (SP)</p>		<p>Mestrado FFLCH 2014</p>
---	---	--	------------------------------------

Viviane Dias Alves Portela

**Avaliação da vegetação como indicadora de áreas suscetíveis a escorregamentos na
Serra do Mar em Caraguatatuba (SP)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre.

Banca Examinadora

Prof^ª. Dra. Bianca Carvalho Vieira (Orientadora)
Departamento de Geografia – Universidade de São Paulo

Prof^ª. Dr. Reinaldo Paul Perez Machado
Departamento de Geografia – Universidade de São Paulo

Dr. Eymar Silva Sampaio Lopes
Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE

São Paulo, 2014.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Prof^a Dr^a Bianca Carvalho Vieira pela confiança depositada em mim, ao Instituto Geológico pelo apoio oferecido durante a execução desta pesquisa, a todos que me apoiaram durante estes três anos e, ao Rodrigo Augusto Stabile por dividir sua vida comigo.

RESUMO

PORTELA, V. D. A. **Avaliação da vegetação como indicadora de áreas suscetíveis a escorregamentos na Serra do Mar em Caraguatatuba (SP)**. 2014. 122f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Apesar de a vegetação ser considerada fator controlador de escorregamentos, os estudos que a discutem como indicador destes processos são escassos. O sensoriamento remoto, por meio dos índices de vegetação, apresenta potencial ainda não explorado para subsidiar os estudos entre vegetação e escorregamentos. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a vegetação como indicador de áreas suscetíveis a escorregamentos. A área escolhida para a pesquisa é o trecho da Serra do Mar no município de Caraguatatuba, litoral norte do Estado de São Paulo. A escolha desta área remete ao evento de 1967 no qual houve escorregamentos generalizados nas escarpas da Serra do Mar que culminaram em inúmeras mortes e perdas materiais. Para a realização da pesquisa foram gerados os índices de vegetação NDVI, *Simple Ratio*, ReNDVI, VIg e PSRI. Os índices de vegetação foram correlacionados às cicatrizes de escorregamentos e com os seguintes parâmetros topográficos: declividade, hipsometria, orientação de vertentes e curvatura em planta. Para isso foi utilizada a distribuição da razão de área afetada por cicatrizes em cada índice de vegetação (V_{cic}). Os resultados demonstraram que os índices de vegetação foram eficientes ao identificar as áreas com cicatrizes além de aludir que a maior densidade de vegetação visualizada pelo NDVI e, o menor estresse hídrico indicado pelo ReNDVI, podem ter refletido fatores controladores dos escorregamentos que podem ou não estar associados às características da vegetação. Para os índices de vegetação NDVI, *Simple Ratio* e ReNDVI foi identificada uma relativa independência da variação do V_{cic} em relação aos parâmetros topográficos ao contrário do VIg e do PSRI. Este novo instrumental pode subsidiar e aprofundar as análises para além da interpretação do relevo por modelos digitais de terreno para estudos de suscetibilidade a escorregamentos contribuindo para aumentar a acurácia dos resultados.

Palavras-chave: vegetação, escorregamentos, sensoriamento remoto, índices de vegetação, Serra do Mar, Caraguatatuba.

ABSTRACT

PORTELA, V. D. A. **Evaluation of vegetation as an indicator of landslide susceptibility in the Serra do Mar in Caraguatatuba (SP).** 2014. 122f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Although the vegetation is considered a landslides factor controller, there are few studies that discuss it as an indicator of these processes. Remote sensing from vegetation indexes has been appointed as under explored to support the studies about vegetation and landslides. The aim of this study is to evaluate the vegetation as an indicator of landslides susceptible areas. The chosen research area is a section of the Serra do Mar mountain range in Caraguatatuba city, in the northern coast of São Paulo. The choice of this area refers to the 1967 event in which there were widespread landslides on the slopes of the Serra do Mar with numerous deaths and material losses. The following vegetation indexes were generated: NDVI, Simple Ratio, ReNDVI, VIg and PRSI. Vegetation indexes were correlated with the landslide scars and with the topographic parameters: slope angle, elevation, slope aspect and curvature in plan. For this reason it was used the distribution of the area affected by scars in each vegetation index (V_{cic}). The results showed that the vegetation indexes were effective in identifying areas with landslide scars, as well as alluding to the highest density of vegetation recognized from NDVI and the lower water stress indicated by ReNDVI may have reflected as controlling factors of landslides that may or may not be associated with the characteristics of the vegetation. It was noticed for the vegetation indexes NDVI, Simple Ratio and ReNDVI a relative independence of V_{cic} variation in relation between topographic parameters unlike VIg and PRSI.

Keywords: vegetation, landslides, remote sensing, vegetation index, Serra do Mar, Caraguatatuba.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Árvore da espécie <i>Liriodendron tulipifera</i> L.....	23
Figura 2 –	Taxa de tensão de cisalhamento em relação a degradação das raízes (por ano). Neste gráfico, o autor comparou os resultados obtidos com o de outro estudo e, observou que o valor da taxa de cisalhamento atingiu 0 após dez anos da morte das raízes.....	28
Figura 3 –	Comportamento espectral da vegetação. Observar que a resposta espectral mais intensa da vegetação ocorre entre o comprimento de onda do vermelho e do infravermelho próximo.....	30
Figura 4 –	O diagrama a (esquerda) mostra as faixas de absorção do espectro eletromagnético pelos pigmentos das clorofilas <i>a</i> e <i>b</i> . As clorofilas <i>a</i> e <i>b</i> absorvem grande parte da energia azul e vermelha incidentes. O diagrama b (direita) exhibe os espectros de absorção do β -caroteno que absorve com mais intensidade no azul, a ficoeritrina que absorve com mais intensidade no verde e a ficocianina que capta melhor a energia na faixa do verde e do vermelho.....	31
Figura 5 –	Localização do município de Caraguatatuba onde localiza-se da área de estudo.....	37
Figura 6 –	Mapa geológico da área de estudo e entorno.....	41
Figura 7 –	Mapa geomorfológico de parte da área de estudo.....	42
Figura 8 –	Vista da Floresta Ombrófila Densa no município de Caraguatatuba.....	44
Figura 9 –	Foto do interior da Floresta Ombrófila Densa no município de Caraguatatuba.....	45
Figura 10 –	Perfil esquemático da Floresta Ombrófila Densa. Adaptado de Veloso <i>et al.</i> , 1991.....	45
Figura 11 –	Perfil e classificação da vegetação da Serra do Mar e Planície Costeira, segundo, Legenda: 1. mar; 2: praia, pobre em vegetação; 3: dunas com arbustos; 4: mata de restinga; 5: manguezal em baías paradas; 6: mata pluvial na planície costeira; 7: Floresta Nebular; 8: Floresta de Altitude.....	47

Figura 12 –	Floresta Nebular no município de Caraguatatuba, com a neblina cobrindo a Serra do Mar ao fundo.....	47
Figura 13 –	Mapa de vegetação da área de estudo e entorno (IF, 2007).....	49
Figura 14 –	Nestas fotografias observa-se a <i>Gleichenia</i> em uma cicatriz de escorregamento vista de longe no município de Caraguatatuba (a); Na fotografia seguinte (b) uma vista aproximada da mesma cicatriz com <i>Gleichenia</i> ; Já a fotografia (c) mostra a <i>Gleichenia</i> dentro da cicatriz; E a fotografia (d) mostra a <i>Gleichenia</i> em detalhe.....	51
Figura 15 –	Vertentes da Serra do Mar atingidas pelos escorregamentos de 1967. Ao fundo observa-se a planície costeira de Caraguatatuba e o deságue do rio Santo Antônio no mar.....	52
Figura 16 –	Ao fundo observa-se as inúmeras cicatrizes dos escorregamentos de 1967 (exemplos apontados pela setas em vermelho).....	53
Figura 17 –	Planície Costeira com o deságue do rio Santo Antônio no mar. Nesta foto é possível perceber a magnitude do evento de 1967 que arrasou o município de Caraguatatuba.....	54
Figura 18 –	Mapa de cicatrizes baseado em FÚLFARO (1976). As cicatrizes concentram-se nas cabeceiras do Ribeirão da Divisa e do Córrego Canivetal, além do interflúvio que separa as duas bacias.	55
Figura 19 –	Fluxograma da pesquisa.....	56
Figura 20 –	Mapa da área afetada pelos escorregamentos no município de Caraguatatuba. O limite inferior (contato entre escarpa da Serra do Mar e planície costeira) foi delimitado a partir da curva de nível de 20 metros da carta topográfica produzida pelo IBGE (escala 1:50.000). Já os limites em direção à escarpa e ao seu contato com o Planalto Atlântico foram definidos por meio da linha de interflúvios afetados pelos escorregamentos.....	58
Figura 21 –	Tela do <i>software ArcGis</i> 10.1 com a ferramenta Índices de Vegetação. Notar que os índices de vegetação foram classificados conforme o tipo de resultado obtido.	59

Figura 22 –	<i>Raster</i> derivado da aplicação do índice de vegetação NDVI. Notar no destaque do círculo vermelho o intervalo de resultados obtidos para o NDVI.....	60
Figura 23 –	Estabelecimento das classes para o intervalo entre -1 e 1 do NDVI. No destaque (círculo vermelho) as classes foram escolhidas devido a sua representatividade na área de estudo.....	61
Figura 24 –	No destaque (círculo vermelho), produto da transformação do <i>raster</i> do NDVI classificado em <i>shapefile</i> . Ao transformar o <i>raster</i> em <i>shapefile</i> , as classes atribuídas receberam um valor que indica a classe (<i>gridcode</i>) a qual pertenciam ao <i>raster</i>	61
Figura 25 –	Exemplo de aplicação do <i>Dissolve</i> em uma área. O uso desta ferramenta agrupa feições que pertencem a uma mesma classe diminuindo assim o número de feições e, por conseguinte o tempo de processamento dos dados no <i>ArcGis</i>	62
Figura 26 –	No item (a), etapa referente a extração do NDVI por meio do <i>shapefile</i> de cicatrizes. No item (b), Como resultado foi obtido os valores de NDVI contidos em cada cicatriz.....	62
Figura 27 –	Tela para utilização da ferramenta <i>Focal Statistics</i> . O <i>Focal Statistics</i> permite realizar generalizações a partir de várias estatísticas descritivas, diversos polígonos de generalização e também escolher o tamanho do vizinho a ter seus valores generalizados.....	64
Figura 28 –	Nesta figura hipotética, ao <i>pixel</i> central (roxo escuro) é atribuído o valor da média dos pixels abrangidos pelo círculo (roxo claro) e assim subsequentemente para todos os <i>pixels</i> do arquivo <i>raster</i>	64
Figura 29 –	Perfis topográficos para a determinação das classes do mapa hipsométrico. As classes foram escolhidas de acordo com rupturas significativas do relevo na área de estudo.....	66
Figura 30 –	Mapa da distribuição do NDVI. A classe entre 0,3 e 0,6 ocupa mais de 60% da área de estudo. Por outro lado, as classes com os menores valores de NDVI (entre -1 a 0,2), apesar não ocuparem grandes extensões concentram-se, sobretudo nas áreas limítrofes da área de estudo com a planície costeira.....	70

Figura 31 –	Histograma de frequência do NDVI com intervalo de 0,05.....	71
Figura 32 –	Mapa de NDVI tratado com a ferramenta <i>Focal Statistics</i>	71
Figura 33 –	Mapa da distribuição do <i>Simple Ratio</i> na área de estudo.....	73
Figura 34 –	Histograma de frequência do <i>Simple Ratio</i> com intervalo de 0,05..	73
Figura 35 –	Mapa de <i>Simple Ratio</i> tratado com a ferramenta <i>Focal Statistics</i> ..	74
Figura 36 –	Mapa da distribuição do ReNDVI na área de estudo.....	76
Figura 37 –	Histograma de frequência do ReNDVI com intervalo de 0,05.....	76
Figura 38 –	Mapa de ReNDVI tratado com a ferramenta <i>Focal Statistics</i>	77
Figura 39 –	Gráfico de dispersão da relação entre os valores de NDVI e <i>Simple Ratio</i> (SR).....	78
Figura 40 –	Gráfico de dispersão da relação entre os valores de ReNDVI e NDVI.....	78
Figura 41 –	Gráfico de dispersão da relação entre os valores de ReNDVI e <i>Simple Ratio</i> (SR).....	78
Figura 42 –	Mapa da distribuição do VIg na área de estudo.....	79
Figura 43 –	Histograma de frequência do VIg com intervalo de 0,05.....	80
Figura 44 –	Mapa de VIg tratado com a ferramenta <i>Focal Statistics</i>	80
Figura 45 –	Mapa da distribuição do PRSI na área de estudo.....	82
Figura 46 –	Histograma de frequência do PSRI com intervalo de 0,05.....	82
Figura 47 –	Gráfico de dispersão da relação entre os valores de VIg e PSRI....	83
Figura 48 –	Gráfico com os valores de ΔV_{cic} nas classes de NDVI.....	83
Figura 49 –	Mapa da distribuição do NDVI na área de estudo e sua relação com as cicatrizes. Em destaque os valores de NDVI no entorno das cicatrizes da cabeceira bacia do córrego Canivetal.....	85
Figura 50 –	Gráfico com os valores de ΔV_{cic} nas classes de <i>Simple Ratio</i> (SR).....	87
Figura 51 –	Gráfico com os valores de ΔV_{cic} nas classes de ReNDVI.....	88
Figura 52 –	Gráfico com os valores de ΔV_{cic} nas classes de VIg.....	89
Figura 53 –	Gráfico com os valores de ΔV_{cic} nas classes de PSRI.....	90
Figura 54 –	Mapa hipsométrico da área de estudo com as cicatrizes.....	93
Figura 55 –	Gráfico da razão da área afetada por cicatrizes em cada classe hipsométrica (%)......	93
Figura 56 –	Mapa de declividade da área de estudo com as cicatrizes.....	94

Figura 57 –	Gráfico da razão da área afetada por cicatrizes em cada classe declividade (%).	94
Figura 58 –	Mapa de curvatura em planta da área de estudo com as cicatrizes.	95
Figura 59 –	Gráfico da razão da área afetada por cicatrizes em cada classe curvatura em planta (%).	95
Figura 60 –	Mapa de orientação de vertentes da área de estudo com as cicatrizes.	96
Figura 61 –	Gráfico da razão da área afetada por cicatrizes em cada classe de orientação de vertentes (%).	96
Figura 62 –	Gráficos de comparação entre o V_{cic} do NDVI (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do índice de vegetação) e o V_{cic} esperado (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do NDVI, calculada em função da proporção das classes dos parâmetros topográficos).	99
Figura 63 –	Gráficos de comparação entre o V_{cic} do <i>Simple Ratio</i> (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do índice de vegetação) e o V_{cic} esperado (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do <i>Simple Ratio</i> , calculada em função da proporção das classes dos parâmetros topográficos).	100
Figura 64 –	Gráficos de comparação entre o V_{cic} do ReNDVI (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do índice de vegetação) e o V_{cic} esperado (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do ReNDVI, calculada em função da proporção das classes dos parâmetros topográficos).	101
Figura 65 –	Gráficos de comparação entre o V_{cic} do VIg (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do índice de vegetação) e o V_{cic} esperado (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do VIg, calculada em função da proporção das classes dos parâmetros topográficos).	104

Figura 66 –	Gráficos de comparação entre o V_{cic} do PSRI (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do índice de vegetação) e o V_{cic} esperado (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do PSRI, calculada em função da proporção das classes dos parâmetros topográficos).....	105
-------------	---	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Ponto e estimativas de intervalo dos coeficientes de correlação entre "ponto de distribuição da vegetação" e variáveis topográficas.....	22
Tabela 2 –	Ocorrência de escorregamentos na Serra do Mar entre São Paulo e Rio de Janeiro.....	39
Tabela 3 –	V_{cic} da relação entre NDVI e Hipsometria.....	67
Tabela 4 –	Coeficiente de Correlação de Pearson.....	77

SUMÁRIO

1. Introdução.....	17
2. A relação vegetação e geomorfologia.....	20
2.1. <i>Vegetação e geomorfologia: uma relação interdependente.....</i>	20
2.2. <i>O papel da vegetação na estabilidade de vertentes.....</i>	24
2.3. <i>Sensoriamento remoto de vegetação.....</i>	28
2.3.1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).....	32
2.3.2. Simple Ratio (SR).....	33
2.3.3. Plant Senescence Reflectance Index (PSRI).....	34
2.3.4. Red Edge Normalized Difference Vegetation Index (ReNDVI).....	35
2.3.5. Visible Green Index (VIg).....	35
3. Caracterização da área de estudo.....	37
3.1. <i>O município de Caraguatatuba.....</i>	39
3.2. <i>A Floresta Ombrófila Densa.....</i>	43
3.3. <i>Vegetação em Caraguatatuba.....</i>	45
3.3.1. <i>Gleichenias.....</i>	50
3.4. <i>Os escorregamentos de 1967 em Caraguatatuba.....</i>	52
4. Procedimentos Metodológicos.....	56
4.1. <i>Materiais.....</i>	57
4.2. <i>Elaboração dos Índices de Vegetação e correlações.....</i>	59
4.3. <i>Parâmetros topográficos e inter-relação com os Índices de Vegetação.....</i>	65
5. Resultados e Discussão	69
5.1. <i>Distribuição dos Índices de Vegetação e correlações.....</i>	69
5.1.1. NDVI, Simple Ratio e ReNDVI.....	69
5.1.2. VIg e PSRI.....	79
5.2. <i>Relação entre os Índices de Vegetação e a distribuição das cicatrizes.....</i>	83
5.2.1. NDVI.....	83
5.2.2. Simple Ratio.....	86
5.2.3. ReNDVI.....	87
5.2.4. VIg.....	89
5.2.5. PSRI.....	90
5.3. <i>Relação entre os Índices de Vegetação e os parâmetros topográficos.....</i>	91
5.3.1. Parâmetros topográficos.....	91

5.3.2. NDVI, <i>Simple Ratio</i> e ReNDVI.....	97
5.3.3. VIg e PSRI.....	102
6. Conclusões.....	106
7. Referências Bibliográficas.....	108

1. Introdução

Os movimentos de massa são processos relacionados à evolução das vertentes e, nos últimos anos, têm sido objeto de vários estudos, principalmente no meio tropical úmido. No Brasil, diversos autores têm se dedicado à compreensão de seus mecanismos e, também, à aplicação de diferentes métodos que possam ser capazes de prever tais processos.

Um dos diversos fatores a serem considerados nos estudos sobre movimentos de massa é a vegetação. Fator diretamente ligado à estabilidade dos materiais, a vegetação contribui para a fixação destes, uma vez que as raízes das plantas se entrelaçam com o solo, mantendo-o coeso (BISHOP e STEVENS, 1964; PRANDINI *et al.*, 1976; GRAY e LEISER, 1982; GUIDICINI e NIEBLE, 1983; AUGUSTO FILHO, 1994; RODRIGUES, 1998; COELHO NETTO, 2005; TABALIPA e FIORI, 2008). Entretanto, autores como Gray (1970; 1973), Gray e Leiser (1982), Fiori e Borchardt (1997) e Michel *et al.* (2012) discordam dos efeitos apenas benéficos da vegetação. Eles apontam como problemas para estabilidade, o aumento da força cisalhante, devido a ação dos ventos que propaga-se das copas das árvores até as raízes, além do efeito “cunha” causado pela entrada das raízes no solo e nas fissuras das rochas.

Uma possibilidade de estudo que aborda a relação vegetação-geomorfologia refere-se à diferenciação da vegetação, por exemplo, pelas características pedológicas, geomorfológicas, hidrológicas, método aplicado, por exemplo, em trabalhos como os de Souza e Luna (2008), Souza *et al.* (2009) e Mogollón (2012). Simonetti (2001) afirma que apesar dos diversos estudos ecológicos, geomorfológicos e pedológicos terem enfoques diferentes, quando abordam a vegetação, o objetivo é similar: tentar associar as características da cobertura vegetal às especificidades do meio físico. A autora ressalta ainda que, regionalmente, as relações são quase sempre evidentes, mas quando tratadas em escala local a compreensão das relações é determinada pela observação minuciosa das características do relevo.

Inúmeros estudos têm se preocupado em entender a relação entre vegetação e geomorfologia, considerando a geomorfologia como condicionante para o desenvolvimento da vegetação. O trabalho mais significativo que discute esta relação foi publicado no ano de 1960 por Hack e Goodlett sobre os Montes Apalaches (EUA). Neste trabalho os autores observaram que os padrões de vegetação eram coincidentes

com as diferentes unidades de relevo. Atualmente diversos trabalhos mostram a interdependência da vegetação e geomorfologia, principalmente trabalhos sobre a relação entre geomorfologia fluvial e o desenvolvimento de vegetação ripária ao longo dos cursos de água. Marston (2010) propõe o estudo conjunto de vegetação e geomorfologia para que a relação entre ambas seja compreendida em sua totalidade.

Apesar de a vegetação ser considerada fator controlador de escorregamentos, os estudos que a discutem como indicador destes processos são escassos. Assim, tais estudos tornam-se indispensáveis para melhor compreender como a vegetação pode ser utilizada para indicar a suscetibilidade de áreas na ocorrência de movimentos de massa.

Atualmente os estudos acerca da relação movimentos de massa e vegetação, têm analisado, sobretudo, a coesão do solo e o arranjo das raízes no solo para a estabilidade das vertentes (TABALIPA e FIORI, 2008; GENET *et al.* 2010; JI *et al.*, 2012; MICHEL *et al.*, 2012; PRETI, 2012). De forma incipiente têm surgido trabalhos que avaliam a relação entre a vegetação e a geomorfologia por meio de imagens de satélite, como os trabalhos de Lin *et al.* (2006) e Cabello *et al.* (2012).

O sensoriamento remoto de vegetação tem sido utilizado principalmente para obtenção de informações sobre plantações (desenvolvimento de culturas, pragas, doenças), acompanhamento do avanço de áreas afetadas por desmatamentos e queimadas, áreas afetadas por terremotos e erupções vulcânicas e também, para o acompanhamento da recomposição da vegetação.

Lin *et al.* (2005) e Lin *et al.* (2006) utilizaram o sensoriamento remoto de vegetação para avaliar o processo de revegetação de áreas atingidas por movimentos de massas oriundos de terremotos em Taiwan. Como resultado, em ambos os trabalhos os autores observaram que este método é eficiente e que a rápida regeneração da vegetação é percebida por meio dos dados obtidos pelo índice *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI).

Outros índices de vegetação também podem contribuir para os estudos da relação entre vegetação e escorregamentos como o *Plant Senescence Reflectance Index* (PSRI), o *Red Edge Normalized Difference Vegetation Index* (ReNDVI), e o *Visible Green Index* (VIg). Em seus resultados, estes índices podem agregar informações para a compreensão do comportamento da vegetação em áreas com suscetibilidade a escorregamentos. Desta forma, o uso do sensoriamento remoto de vegetação para eventos geológico-geomorfológicos deve ser testado e também pode ser avaliada a sua

aplicabilidade na Serra do Mar paulista no tocante aos escorregamentos translacionais rasos.

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa é **avaliar a vegetação como indicador de áreas suscetíveis a escorregamentos na escarpa da Serra do Mar no município de Caraguatatuba (SP)**. Os objetivos específicos consistem em:

a) Verificar se há uma relação entre os índices de vegetação e a ocorrência de escorregamentos.

b) Compreender a relação entre a vegetação e os parâmetros topográficos, como declividade, hipsometria, curvatura em planta e orientação das vertentes.

2. A relação vegetação e geomorfologia

O item 2.1 aborda a relação existente entre vegetação e geomorfologia, em seguida no item 2.2 discute a atuação da vegetação na estabilidade e instabilidade das vertentes. Por fim, o item 2.3 aborda a utilização do sensoriamento remoto para a identificação de características e mapeamento da vegetação.

2.1. Vegetação e geomorfologia: uma relação interdependente

Diversos estudos apontam a importância dos parâmetros topográficos, das formas de relevo e dos processos geomorfológicos na estruturação das comunidades vegetais (HACK e GOODLETT, 1960; HANNAH, 1968; WRIGHT, 1972, 1973; MUNN e VIMMERSTEDT, 1980; VINK, 1982; BROWN e MARQUARD, 1988; SWANSON, 1988; BURNETT *et al.*, 1998; NICHOLS *et al.*, 1998; STEPHENSON e MILLS, 1999; KUBOTA *et al.* 2004; SILVA *et al.* 2008 SOUZA e LUNA, 2008; SOUZA *et al.*, 2009; MARSTON, 2010; MOGOLLÓN; 2012).

Entre os inúmeros parâmetros topográficos existentes, quatro merecem destaque: hipsometria, declividade, curvatura em planta e orientação de vertentes. Estes parâmetros auxiliam na compreensão da distribuição das espécies e também no desenvolvimento dos indivíduos. Bispo *et al.* (2010) destacam que o uso da hipsometria permite avaliar como a altitude influencia na distribuição da vegetação tendo em vista que as condições de solo e clima variam em função da altitude.

A declividade colabora para estruturar as raízes das árvores em bases coesas e estáveis quando a vegetação está sobre áreas com baixa declividade, pois, permite o espessamento solo, ao contrário do que ocorre em áreas com elevada declividade, onde o material não consegue estabilizar-se e manter-se coeso, favorecendo desta forma a ocorrência de escorregamentos.

A orientação de vertentes influencia na exposição das vertentes aos raios solares e, por conseguinte é possível identificar as áreas que apresentam maior insolação e as que são mais sombreadas. Esta identificação possibilita inferir onde há um acúmulo maior de água no solo e também auxilia no entendimento do comportamento da vegetação e seu desenvolvimento nos mais variados ambientes devido ao controle que exerce sobre os fluxos hídricos e de energia (BISPO *et al.*, 2010). Já a curvatura em

planta, ressalta as diferenças entre áreas convergentes e divergentes de fluxos hídricos além de controlar por meio da gravidade a quantidade de matéria orgânica e minerais disponíveis no solo (SCHMIDT *et al.* 2003).

Hack e Goodlett (1960), em um trabalho realizado nas montanhas Apalaches, estado da Virgínia (EUA), analisaram a morfometria e morfologia do relevo, os processos superficiais, o embasamento rochoso, as características texturais do manto de alteração, além de efetuarem levantamentos sistemáticos da vegetação. Os autores identificaram padrões de vegetação coincidentes com o relevo, tendo como principais condicionantes da cobertura vegetal a morfologia, a orientação de vertentes e o substrato rochoso. Os autores, estabelecendo relações entre a forma côncava, convexa e retilínea das encostas e a composição e estrutura das florestas, ainda afirmam que a relação de dependência entre a vegetação e o relevo é mútua, ou seja, a vegetação também influencia os processos geomorfológicos.

Em uma pesquisa realizada no Novo México (EUA), Wondzell *et al.* (1996) relacionaram as formas de relevo, a dinâmica superficial e a vegetação no deserto de Chihuahuan e descobriram que o maior armazenamento de água nos setores côncavos favorece o desenvolvimento de uma vegetação herbácea perene. Diante disso, os autores concluíram que a inter-relação da vegetação com as características do relevo mantém a estabilidade do terreno, aumenta a capacidade de infiltração e reduz o potencial erosivo do local.

Florinsky e Kuryakova (1996) afirmam que existem outros fatores além da altitude, declividade e orientação das vertentes que influenciam a vegetação, ou seja, as características da cobertura vegetal não dependem na mesma medida dos parâmetros topográficos locais. Segundo os autores, ao mudar a escala de trabalho, o caráter da dependência varia, ou seja, os componentes da paisagem, sobretudo, a vegetação precisa ser analisada em seu contexto estrutural. Os autores neste mesmo trabalho propõem abordar a relação vegetação-relevo em uma matriz de correlação (Tabela 1). No entanto, afirmam que devido à ausência de dados da cobertura vegetal compatíveis com a escala de detalhe dos elementos do relevo, a matriz fica restrita a dados superficiais, impossibilitando uma compreensão real das relações entre vegetação-relevo.

Tabela 1: Ponto e estimativas de intervalo dos coeficientes de correlação entre "ponto de distribuição da vegetação" e variáveis topográficas

Variáveis topográficas	Coeficientes de correlação (entre parênteses o nível de significância) e o intervalo de confiança de 95% do coeficiente de correlação			
	<i>Sekisovka</i>	<i>Berezovka</i>	<i>Ust-Feklistka</i>	<i>Chistopolka</i>
<i>h</i>	-0.36 (0.01) - 0.58 a -0.10	0.68 (0.00) 0.48 a 0.80	-0.53 (0.00) -0.72 a -0.30	-0.10 (0.45) -0.38 a 0.18
<i>G</i>	- 0.10 (0.48) -0.38 a 0.18	0.70 (0.00) 0.52 a 0.83	-0.01 (0.95) -0.30 a 0.27	0.00 (0.98) -0.31 a 0.20
<i>A</i>	-0.15 (0.32) -0.42 a 0.14	-0.40 (0.00) -0.62 a -0.14	0.22 (0.10) -0.69 a -0.26	0.54 (0.00) 0.30 a 0.72
<i>k_h</i>	-0.38 (0.01) -0.60 a -0.11	0.35 (0.01) 0.08 a 0.58	-0.26 (0.05) -0.50 a 0.03	0.00 (0.99) -0.31 a 0.29
<i>k_v</i>	-0.28 (0.06) -0.51 a 0.01	-0.40 (0.00) -0.62 a -0.14	-0.50 (0.00) -0.69 a -0.26	-0.11 (0.39) -0.39 a 0.17
<i>H</i>	-0.43 (0.00) -0.64 a -0.19	-0.04 (0.75) -0.32 a 0.24	-0.46 (0.00) -0.66 a -0.20	0.24 (0.06) -0.33 a 0.22
<i>CA</i>	0.35 (0.06) 0.06 a 0.59	-0.31 (0.03) -0.53 a -0.06	0.46 (0.00) 0.21 a 0.64	0.24 (0.06) -0.02 a 0.48
<i>TI</i>	0.51 (0.00) 0.28 a 0.70	-0.40 (0.00) -0.62 a -0.14	0.49 (0.00) 0.24 a 0.68	0.13 (0.33) -0.16 a 0.40
<i>SI</i>	-0.11 (0.47) -0.38 a 0.18	0.61 (0.00) 0.40 a 0.78	-0.21 (0.11) -0.47 a 0.08	-0.07 (0.58) -0.34 a 0.22

h: altitude (metros); ***G***: declividade; ***A***: orientação das vertentes; ***k_h***: curvatura em perfil; ***k_v***: curvatura em planta; ***H***: curvatura média (curvatura em planta + curvatura em perfil) /2; ***CA***: área de contribuição; ***TI***: Topographic Index (Índice Topográfico) área de contribuição / declividade; ***SI***: Stream Power Index (Índice de Poder do Fluxo) área de contribuição * declividade .

Fonte: FLORISKY E KURYAKOVA (1996).

Como método para avaliar a relação vegetação-relevo, Simonetti (2001) propõe o estabelecimento de parcelas em cada compartimento do relevo analisado. Na análise das parcelas são obtidos dados quantitativos (altitude e inclinação) e qualitativos (substrato, dinâmica superficial, orientação da vertente etc.), atribuindo a estes valores nominais. Estes dados foram dispostos em uma matriz e analisados por meio de um índice de similaridade proposto por Goodall (1964, 1966) que permite comparar dados mistos.

McNab (1989) elaborou o “Índice de forma do terreno” para inserir a morfologia do relevo como uma variável contínua nos estudos de estrutura da vegetação. Segundo o autor, a geometria da superfície da terra é descrita como uma variável discreta e as áreas são agrupadas em três classes de forma: convexa, linear ou côncava. No entanto, a forma da superfície varia continuamente e se for expressa como uma variável quantitativa pode ser correlacionada de maneira consistente com o desenvolvimento das árvores. Ainda neste trabalho, o autor aponta algumas premissas estabelecidas por Hack e Goodellet (1960) para a validação das relações entre geomorfologia e vegetação entre as quais está a de ver a paisagem como uma matriz

irregular de formas geométricas curvilíneas e considerar a hipótese da distribuição e estocagem na área basal da vegetação de floresta correlacionar-se com os efeitos das formas da superfície da terra e com o movimento de água.

McNab (1989) mostrou que existe uma relação entre a altura das árvores da espécie *Liriodendron tulipifera* L. (figura 1) e o índice de forma do terreno. Esta espécie apresenta variação da altura em condições ambientais similares. O autor atribui essas variações às condições locais da topografia onde dada espécie foi encontrada e, também a outros fatores não mensurados, como a variabilidade genética e os efeitos de vizinhança. Neste sentido, Kubota *et al.* (2004), Silva *et al.* (2008) e Bispo *et al.* (2012) afirmam que a riqueza e abundância da vegetação depende das características geomorfológicas da área, como topografia e orientação de vertente, no entanto, é importante que considere-se a interação com outros fatores, ou seja, há grande interdependência da vegetação com o relevo mas devem ser considerados outros fatores para a análise da sua fisionomia como a umidade do solo e a pluviosidade.

Figura 1: Árvore da espécie *Liriodendron tulipifera* L.
Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Liriodendron_tulipifera>

Como Simonetti (2001), Marston (2010) destaca que a geomorfologia é tratada como um fator para o desenvolvimento da vegetação, ou seja, do ponto de vista ecológico, botânico e biogeográfico ele é unidirecional. O autor ainda complementa afirmando que apenas esta perspectiva não é suficiente para entender as relações existentes entre vegetação e geomorfologia destacando que há trabalhos que partem da vegetação para compreender a geomorfologia, como por exemplo, processos erosivos, movimentos de massa, produção e acúmulo de sedimentos. Para o autor, vegetação e geomorfologia devem ser estudadas em conjunto e para isso propõe que sejam aprimorados modelos e métodos estatísticos para que a complexidade de suas relações seja compreendida em sua totalidade. A maioria dos trabalhos que considera a vegetação como variável geomorfológica o faz por meio da análise da estabilidade de vertentes.

2.2. O papel da vegetação na estabilidade de vertentes

A vegetação está diretamente ligada com a estabilidade dos materiais, pois contribui para a fixação destes, uma vez que as raízes das plantas se entrelaçam com o solo mantendo-o coeso. A cobertura florestal também protege o solo da instalação de processos erosivos superficiais oriundos da ação das chuvas, pois o escoamento superficial é reduzido (BISHOP e STEVENS, 1964; PRANDINI *et al.*, 1976; GRAY e LEISER, 1982; GUIDICINI e NIEBLE, 1983; AUGUSTO FILHO, 1994; RODRIGUES, 1998; COELHO NETTO, 2005; LIN *et al.*, 2005; LIN *et al.*, 2006; TABALIPA e FIORI, 2008). Augusto Filho (1994) destaca a importância da vegetação no reforço mecânico e escoramento, pois, redistribui as águas oriundas das chuvas e aumenta a resistência do solo com a presença das raízes.

Por outro lado, Gray e Leiser (1982), Fiori e Borchardt (1997) e Michel *et al.* (2012) apontam como efeitos negativos da vegetação na estabilidade de vertentes o “efeito alavanca” que ocorre com o aumento da força cisalhante gerada pela ação dos ventos nos troncos e copas das árvores e transmitida para as raízes, além do “efeito cunha” causado pela pressão das raízes ao adentrar no solo, fendas ou fissuras de rocha. Para estes autores o papel da vegetação na estabilidade das vertentes depende da declividade das vertentes e das características do solo.

Gray (1970, 1973) considera alguns aspectos em que a vegetação influencia a estabilidade das vertentes, como o reforço mecânico das raízes no solo, pois as raízes

estabelecem uma unidade coesa entre solo, rocha e vegetação; a redução da umidade do solo por meio da absorção de água pelas raízes das plantas; a sobrecarga advinda do peso das árvores, uma vez que estas exercem pressão para se manterem fixas ao solo e, o efeito cunha das raízes das árvores devido a ação dos ventos. Os dois primeiros aspectos referem-se aos fatores que mantêm a vertente em estabilidade. Por outro lado, os dois últimos contribuem para a movimentação das vertentes.

Gray (1970, 1973) ainda aborda o papel da evapotranspiração nas plantas. Para o autor a taxa de evapotranspiração em vertentes florestadas tem maior capacidade de absorção e tende a manter a vertente mais “seca”, o que a torna capaz de suportar uma tempestade de maior intensidade e/ou duração antes do desenvolvimento de uma condição crítica de saturação e instabilidade.

Para Bishop e Stevens (1964), Gray (1973), Brown e Sheu (1975) e Prandini *et al.* (1976), dois aspectos devem ser considerados nos estudos sobre a relação vegetação-movimento de massa: os aspectos mecânicos, pois o sistema radicular estrutura o solo, atua na retenção e dissipação do material deslocado e, a copa abrande a ação dos ventos sobre a superfície; e, os aspectos relativos ao balanço hídrico, onde a vegetação intercepta a água da chuva; influencia a infiltração (os dutos abertos pelas raízes permitem que a água tenha mais espaço para circular); variações nas taxas de transpiração e evapotranspiração influenciam nas mudanças de umidade e temperatura do ambiente.

Para Prandini *et al.* (1976), para se compreender a estabilidade das encostas é necessário destacar o papel exercido pelas raízes das plantas, principalmente de árvores de maior porte, pois estas, com suas raízes profundas e localizadas em bases coesas sustentam as árvores, reforçam e estabilizam os solos. Os autores complementam afirmando que o sistema radicular permite ao solo manter-se resistente ao cisalhamento, pois este constitui-se em uma malha de raízes que distribuem-se paralelamente à superfície do terreno.

A presença de blocos de rochas em meio a uma matriz de solo permite que as raízes das árvores prendam-se nestes e facilite a sua fixação na vertente (CASTRO JR., 1991). Esses mesmos blocos promovem o estabelecimento de canais naturais, que auxiliam no alívio de poro-pressões positivas na matriz do solo e, acabam por influenciar na ocorrência dos deslizamentos (COELHO NETTO, 2005).

Prandini *et al.* (1977) descrevem a atuação da vegetação na estabilidade de vertentes. Para isso, em seu trabalho apontam autores que afirmam que a cobertura

vegetal protege o solo de processos erosivos e movimentos de massa, principalmente em vertentes íngremes e/ou com processos lentos como o rastejo. Por outro lado, outros afirmam que a remoção vegetação contribui para a estabilização da vertente. Ellison e Coaldrake *apud* Prandini *et al.* (1977) estudando um rastejo na região de *Queensland* (Austrália) observaram que a velocidade do processo foi maior em áreas florestadas do que nas áreas cobertas apenas por grama. Este fato, segundo os autores, deve-se a heterogeneidade na coesão das raízes provocada pela variação da vegetação. Michel *et al.* (2012) em seu trabalho na bacia do Rio Cunha, no município de Rio dos Cedros (SC), verificaram que o aumento da coesão das raízes eleva a estabilidade das vertentes e que quanto menor a profundidade do solo maior será a coesão. No entanto, afirmam também que a sobrecarga causada pelo peso da vegetação contribui para a instabilidade das vertentes.

Tabalipa e Fiori (2008) ao considerarem a vegetação no Fator de Segurança afirmam que ela contribui para a estabilidade da vertente, afirmando que não há área instável onde existe vegetação na bacia do rio Ligeiro (PR), mesmo em zonas de altas declividades.

Rickli e Graf (2009), durante estudos sobre escorregamentos rasos na Suíça verificaram que a vegetação nem sempre minimiza os efeitos das características hidrogeomorfológicas de uma área e, ao selecionar as áreas a serem investigadas, constataram que na maioria dos casos há ausência de informações acerca das características da vegetação afetada pelos escorregamentos. Os autores notaram que houve pequenas variações em relação à dimensão espacial entre os escorregamentos ocorridos em áreas “abertas” e áreas florestadas. No entanto, as áreas florestadas contabilizaram menos escorregamentos que as áreas “abertas”, mas estes escorregamentos estavam localizados nas áreas com declividades superiores a 25°. Apesar desta constatação, os autores reforçaram que um número menor de escorregamentos em áreas florestadas não significa que eles não ocorram nestas áreas, mas que em muitos casos as cicatrizes e os depósitos dos materiais não são identificados e contabilizados. Ainda segundo os autores, em concordância com Greenway (1987), as vertentes florestadas, mesmo com declividades maiores são mais estáveis devido ao sistema de raízes que permite a coesão do solo.

Ji *et al.* (2012) avaliaram numericamente a variação espacial da coesão e por conseguinte da estabilidade de duas vertentes em áreas florestadas da Bacia Experimental de *Caijiachuan* em *Loess Plateau*, na China. Os resultados mostraram que

a resistência à tração teve forte relação com o teor de umidade presente no solo em julho (período chuvoso), mas mostrou-se variável em relação à posição das árvores na vertente. Os modelos aplicados demonstraram que as raízes nas vertentes com patamares são mais estáveis que em vertentes retilíneas, apesar dos autores não considerarem dados de dinâmica hidrológica em ambas as formas. Os resultados demonstraram que a variação na coesão das raízes não interfere na estabilidade da vertente, porém destacam que novos estudos devem ser realizados no terço inferior destas vertentes onde devido a coesão das raízes o Fator de Segurança foi maior.

Como Ji *et al.* (2012), Genet *et al.* (2010) afirmam que o Fator de Segurança é maior no terço inferior das vertentes, mas destacam que a diversidade de espécies não interfere no Fator de Segurança e que este também é influenciado pelo peso da vegetação sobre a vertente e pela densidade de raízes presentes no solo. No entanto ainda segundo Genet *et al.* (2010), a “arquitetura das raízes” é extremamente variável e produto da relação entre tipo de solo, disponibilidade de água e nutrientes e também depende da localização da vegetação na vertente.

Preti (2013) afirma que os estudos sobre estabilidade de vertentes florestadas têm considerado diversas características da vegetação, como densidade de raízes, biomassa etc., pois estas características não se mantêm constantes ao longo do tempo. Destaca também que a demora na regeneração da vegetação predispõe a área à instalação de processos erosivos, que podem ser agravados com o aumento das precipitações (chuva, neve) resultando em maior infiltração de água no solo devido aos vazios deixados pelas raízes das plantas, que por fim tornam a vertente mais suscetível a escorregamentos rasos. Diante disso, Preti (2013) estabelece uma relação direta ao longo do tempo entre a diminuição da tensão de cisalhamento das raízes e a degradação das raízes após sua morte (figura 2).

Figura 2: Taxa de tensão de cisalhamento em relação a degradação das raízes (por ano). Neste gráfico, o autor comparou os resultados obtidos com o de outro estudo e, observou que o valor da taxa de cisalhamento atingiu 0 após dez anos da morte das raízes.

Fonte: PRETI (2013).

2.3. Sensoriamento remoto de vegetação

Ponzoni *et al.* (2012) discutem as diferenças entre as propriedades espectrais da folha de uma árvore e de um dossel, relatando que há necessidade de se compreender o processo de interação eletromagnética entre os diversos tipos fisionômicos de dosséis (florestas, culturas agrícolas, formações vegetais de porte herbáceo, etc.).

O uso de imagens de satélite no sensoriamento remoto é uma importante ferramenta para estudos ambientais, pois podem ser utilizadas para a interpretação dos atributos da vegetação em locais onde ocorreram escorregamentos, por meio da caracterização da vegetação que existia anteriormente ao evento.

Fussell *et al.* (1986) e Jensen (2009) afirmam que o sensoriamento remoto é uma ferramenta ou técnica similar à matemática. O uso de sofisticados sensores para medir a quantidade de energia eletromagnética que emana de um objeto ou área

geográfica à distância, e depois a extração de informação importante dos dados usando algoritmos baseados em matemática e estatística é uma atividade científica. Assim, a partir da possibilidade de quantificação e correlação de dados, o sensoriamento remoto é uma alternativa para avaliar a vegetação como indicador dos movimentos de massa. Entre os dados que podem ser extraídos das imagens de satélite estão os pigmentos (p. ex. clorofilas, carotenoides, antocianinas), estrutura e altura do dossel das árvores, biomassa derivada de índices de vegetação e o índice de área foliar LAI ou IAF. Tais informações podem ser utilizadas para avaliar a possibilidade de uso da vegetação como indicador de escorregamentos.

A interação dos diferentes dosséis com a radiação eletromagnética é diferente, considerando que duas espécies não refletem a mesma quantidade de fluxo radiante a um sensor, pois os ângulos de incidência e azimutal solares, além da geometria de visada do sensor, são diferentes. Além disso, o dossel vegetal é influenciado por diversos fatores como: o diâmetro e a forma da copa das árvores (circulares, cônicas, p.ex.), o diâmetro dos troncos, as características do solo e a orientação do dossel, pois este pode estar sistematicamente organizado ou distribuído de forma aleatória (JENSEN, 2009).

Diversos trabalhos tais como Gates (1965), Knipling (1970), Zwiggelaar (1998), Liu (2006) e Jensen (2009), discutem a importância de se entender o comportamento dos pigmentos foliares, espalhamentos internos e o conteúdo de umidade presente em uma folha, pois estes atributos determinam as propriedades de reflectância e transmissividade das folhas. A reflectância espectral da vegetação pode ser observada na figura 3. A absorção da clorofila ocorre entre 0,43-0,45 μm^1 (faixa do azul no visível) e 0,65-0,66 μm (faixa do vermelho no visível). Já a absorção da água ocorre em 0,97 μm ; 1,19 μm (ambos no infravermelho próximo) e no 1,45 μm , 1,94 μm e 2,7 μm (estes últimos estão no infra-vermelho médio). A absorção da clorofila ocorre por meio dos pigmentos *a* (entre 0,43-0,45 μm) e *b* (0,65-0,66 μm), assim, diferenciam-se pela faixa de absorção de luz no espectro eletromagnético (LIU, 2006; JENSEN, 2009; PONZONI *et al.*, 2012).

¹ μm : micrômetro.

Figura 3: Comportamento espectral da vegetação. Observar que a resposta espectral mais intensa da vegetação ocorre entre o comprimento de onda do vermelho e do infravermelho próximo.
Fonte: JENSEN (2009).

Outros pigmentos que absorvem a luz também são identificados pelo sensoriamento remoto (figuras 3 e 4). Os carotenoides são pigmentos que absorvem a luz em faixas um pouco diferentes das clorofilas (por exemplo, os carotenos amarelos e as xantofilas amarelo-claras absorvem na faixa do azul). A presença destes pigmentos e de outros contribuem para a variação dos tons de verde e cores nas plantas (arroxeadas, alaranjadas, amarelas, etc.) (LIU, 2006; JENSEN, 2009).

Jensen (2009) destaca que há duas “regiões ótimas” para a observação das características de absorção da clorofila: 0,45-0,52 μm (na faixa do azul e um trecho do verde) e em 0,63-0,69 μm (na faixa do verde). Na primeira, além das clorofilas há a absorção dos carotenoides e, na segunda há apenas absorção da clorofila (figura 4).

Figura 4: O diagrama a (esquerda) mostra as faixas de absorção do espectro eletromagnético pelos pigmentos das clorofilas *a* e *b*. As clorofilas *a* e *b* absorvem grande parte da energia azul e vermelha incidentes. O diagrama b (direita) exhibe os espectros de absorção do β -caroteno que absorve com mais intensidade no azul, a ficoeritrina que absorve com mais intensidade no verde e a ficocianina que capta melhor a energia na faixa do verde e do vermelho.

Fonte: JENSEN (2009).

Liu (2006), Jensen (2009) e Ponzoni *et al.* (2012) destacam que a interação entre a radiação eletromagnética e uma folha depende de fatores químicos (pigmentos e água), estruturais (organização dos tecidos das folhas) além da absorção, transmissão e reflexão da radiação. A análise integrada destes fatores determina o comportamento espectral da vegetação. Para estes autores, o comportamento espectral da vegetação pode ser analisado por meio dos índices de vegetação. Estes índices servem para minimizar as interferências ocasionadas por fatores externos como a atmosfera além de realçarem na maior parte das vezes o comportamento espectral da vegetação, sendo possível relacioná-los com parâmetros biofísicos da vegetação, como biomassa e a porcentagem de cobertura vegetal.

Os Índices de Vegetação compõem um dos métodos mais utilizados para estudar a reflectância dos diferentes dosséis vegetais. Segundo Jensen (2009), os índices de vegetação são medidas radiométricas adimensionais que demonstram a abundância relativa e a atividade da vegetação. Liu (2006) afirma que os índices de vegetação auxiliam no monitoramento, quantificação das condições vegetais e na compreensão da distribuição espacial da vegetação. Estes índices são produtos de diversas combinações matemáticas das reflectâncias nas faixas espectrais da radiação eletromagnética. Liu (2006), Jensen (2009), Ponzoni *et al.* (2012) apontam diversas vantagens para o uso dos

índices, entre elas: os índices de vegetação são calculados a partir da mensuração dos dados das faixas espectrais da energia da radiação eletromagnética; os valores relativos atenuam a variação da intensidade de radiação e corrigem (mesmo que parcialmente) as influências das variações locais das condições atmosféricas e dos ângulos de visada dos sensores e ângulos solares.

Atualmente existem inúmeros Índices de Vegetação e, para estes serem considerados eficientes, é necessário que eles ressaltem a sensibilidade dos parâmetros biofísicos das plantas (se possível de forma linear), pois desta maneira é realçada a amplitude das condições da vegetação e facilitada a validação e calibração dos índices (RUNNING *et al.*, 1995; HUETE *et al.*, 1999; LIU, 2006; FERREIRA *et al.*, 2008; JENSEN, 2009; GONSAMO e PELLIKA, 2012).

Por meio dos índices de vegetação é possível corrigir a influência de variáveis externas como o ângulo solar e interferências atmosféricas, permitindo assim comparações espaciais e temporais, além de minimizar os efeitos internos decorrentes da variação dos estratos vegetais e da topografia (por exemplo, declividade).

2.3.1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*²), desenvolvido por Rouse *et al.* (1974), é um dos índices de vegetação mais utilizados. Este índice apresenta elevada sensibilidade à densidade da cobertura vegetal permitindo mensurar as variações da vegetação ao longo do tempo (WEIER e HERRING, 2000; WANG *et al.* 2003; LIU, 2006; FERREIRA *et al.* 2008; NAKAJI *et al.* 2008; JENSEN, 2009, GRIFFITH *et al.*, 2010). O NDVI é calculado pela diferença da reflectância entre o infravermelho próximo (NIR) e a reflectância do vermelho no visível (RED), sendo determinado pela equação 1:

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (\text{Equação 1})$$

² Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

Onde:

ρ_{nir} = comprimento de onda no infravermelho próximo;

ρ_{red} = comprimento de onda no vermelho.

A vegetação caracteriza-se por uma intensa absorção na região do vermelho devido a clorofila e, por uma intensa energia refletida na região do infravermelho próximo causada pela estrutura celular das folhas, pela distribuição angular delas, além de outros fatores. A aplicação da equação 1 em cada pixel nas bandas do vermelho e infravermelho próximo, produz um valor no intervalo $[-1, 1]$. Quanto mais próximo de 1, maior a certeza de ser um pixel de vegetação. Altos valores do índice indicam maior presença de vegetação. (WEIER e HERRING, 2000; LIU, 2006; BAUMANN, 2009; JENSEN, 2009; KUMAR *et al.* 2013).

Uma das formas de compreender os valores encontrados nos índices de vegetação se dá por meio da classificação dos resultados. Diversos trabalhos procuram identificar intervalos de valores que demonstrem variações na cobertura vegetal como densidade por hectare, solo exposto, teor de umidade, etc. Para o NDVI não é diferente, trabalhos como de Lira *et al.* (2011), Aquino e Oliveira (2012), Bezerra *et al.* (2012), Francisco *et al.* (2012) e Nery *et al.* (2013) estabeleceram classes para o intervalo de resultados possíveis do NDVI (entre -1 e 1) e avaliaram suas distribuições no espaço e em alguns artigos foram avaliadas mudanças que ocorreram nas classes ao longo do tempo como o trabalho de Kumar *et al.* (2013), que avaliou o comportamento da vegetação no território indiano durante um ano. Neste estudo ele pode identificar a influência das correntes do monções na vegetação.

Apesar de muito utilizado, o NDVI apresenta alguns problemas para aplicação, entre eles o fato de ser prejudicado pela geometria de aquisição (sol-alvo-sensor), pela estrutura do dossel, pela interferência da atmosfera e pelo solo. Neste último, percebe-se que o NDVI varia com o teor de umidade no solo e presença de material morto no próprio dossel (JENSEN, 2005, 2009).

2.3.2. Simple Ratio (SR)

Como o NDVI, o *Simple Ratio* (SR) é um índice relacionado aos pigmentos foliares (carotenoides, antocianinas, clorofilas etc.) e Cohen (1991) afirma que este foi o

primeiro índice de vegetação a ser desenvolvido em 1972 por Pearson e Miller. O *Simple Ratio* é uma razão simples entre comprimento de onda infravermelho próximo e o comprimento de onda do vermelho, conforme a equação abaixo:

$$SR = \frac{\rho_{nir}}{\rho_{red}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

ρ_{nir} = comprimento de onda do infravermelho próximo;

ρ_{red} = comprimento de onda do vermelho.

Segundo Tucker (1979), Sellers (1985) e Jensen (2009) este índice fornece importantes informações acerca da biomassa da vegetação sendo muito sensível para áreas com grande volume de biomassa como as florestas. Isto se justifica segundo Pearson e Miller (1972) porque as folhas verdes absorvem a radiação na faixa do vermelho (visível) e refletem na faixa do infravermelho próximo. No entanto, Liu (2006) ressalta que as interferências atmosféricas na radiação afetam os resultados do índice o que pode comprometer a análise dos resultados.

2.3.3. Plant Senescence Reflectance Index (PSRI)

O *Plant Senescence Reflectance Index* (PSRI), proposto por Merzlyak *et al.* (1999), avaliam o estágio de senescência das plantas. Hatfield e Prueguer (2010) afirmam que o PSRI também é um método que auxilia para estimar o índice de Área Foliar (IAF) e pode ser definido pela seguinte equação 3:

$$PSRI = \frac{(red_{680} - green_{500})}{nir_{750}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

red_{680} = comprimento de onda do vermelho;

$green_{500}$ = comprimento de onda do verde;

nir_{750} = comprimento de onda do infravermelho próximo.

O PRSI é um índice de vegetação que avalia as características da vegetação durante o período de senescência considerando em sua análise o teor de carotenoides, lignina e celulose (MERZLYAK *et al.*, 1999; CASTRO e AZOFEIFA., 2008; COLE *et al.*, 2014). A lignina é usada para a produção de componentes como os troncos das árvores. Por outro lado a celulose contribui para constituição da estrutura do tecido celular. Quando as plantas apresentam um elevado teor destes componentes as plantas estão em senescência.

2.3.4. Red Edge Normalized Difference Vegetation Index (ReNDVI)

O *Red Edge Normalized Difference Vegetation Index* (ReNDVI) desenvolvido por Gitelson *et al.* (1996), é uma modificação do NDVI. Entre as várias aplicações estão monitoramento de florestas e detecção de condição de estresse da vegetação. Neste índice são utilizados comprimentos de ondas ao longo da “borda vermelha” (*red edge*) onde estão presentes os picos de absorção e reflectância da vegetação (GITELSON *et al.*, 1996; BEEK *et al.*, 2013). Estes picos de absorção e reflectância são decorrentes de variações no conteúdo de clorofila e água nas folhas.

O ReNDVI procura ressaltar as alterações da vegetação no limite do comprimento do onda do vermelho (alterações do conteúdo de água, por exemplo). O ReNDVI é expresso pela equação 4:

$$RENDVI = \frac{(\rho_{752} - \rho_{701})}{(\rho_{752} + \rho_{701})} \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

ρ_{752} = comprimento de onda do vermelho;

ρ_{701} = comprimento de onda do infravermelho próximo.

2.3.5. Visible Green Index (VIg)

O *Visible Green Index* (VIg) é um índice relacionado aos pigmentos foliares (clorofila, carotenoides, antocianinas etc.), variante do NDVI e, foi desenvolvido por

Gitelson *et al.* (2002) com o objetivo de atenuar as interferências em relação aos efeitos da atmosfera e brilho do solo. Roberts *et al.* (2006) ao analisarem o VIg, o descrevem como um índice no qual a sensibilidade a alterações nas folhas é expressa pelo aumento da refletância nos comprimentos de onda do verde e por uma intensa redução da refletância do comprimento de onda do vermelho devido da dispersão múltipla (sobretudo no infravermelho próximo) e aumento da absorção da clorofila no comprimento de onda do vermelho. A fórmula para o cálculo do VIg é descrita na equação 5:

$$VI_{green} = \frac{(\rho_{green} - \rho_{red})}{(\rho_{green} + \rho_{red})} \quad \text{(Equação 5)}$$

Onde:

ρ_{green} = comprimento de onda do verde;

ρ_{red} = comprimento de onda do vermelho.

3. Caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se na escarpa da Serra do Mar, município de Caraguatatuba, litoral norte de São Paulo (figura 5). Em 1967, Caraguatatuba foi palco de inúmeros movimentos de massa deflagrados durante chuvas torrenciais entre os dias 17 e 18 de março que resultaram em inúmeros danos.

Figura 5: Localização do município de Caraguatatuba onde localiza-se da área de estudo.

A Serra do Mar no estado de São Paulo, segundo Ross e Moroz (1997) compõe a Unidade Morfoescultural Escarpa/Serra do Mar e Morros Litorâneos. Esta unidade caracteriza-se pela presença de vertentes abruptas que bordeiam o Planalto Atlântico desde o Planalto da Bocaina (divisa com o estado do Rio de Janeiro) até o litoral sul do estado de São Paulo, na região do Vale do Rio Ribeira de Iguape.

Ross e Moroz (1997) caracterizam a unidade com a presença de formas denudacionais do relevo, cujo modelado constitui-se por escarpas e cristas, altitudes variando entre 20 e 1.000 metros e declividades que atingem 60% ($\approx 31^\circ$) em alguns

pontos. O substrato rochoso é formado essencialmente por gnaisses, migmatitos, micaxistos e granitos. Por ser essencialmente um relevo dissecado, a drenagem tem padrão dendrítico adaptada às direções das falhas, fraturas e contatos litológicos. IPT (1981a) nomeia a mesma região como Serrania Costeira e com relevos de transição (ex. escarpas festonadas, escarpas com espigões digitados), com predomínio de declividades superiores a 30% ($\approx 17^\circ$). Esta unidade, constituída pelas escarpas da Serra do Mar e da Serra de Paranapiacaba localiza-se entre a Província Costeira e o Planalto Atlântico e ocorre como uma faixa desde o limite do Estado do Rio de Janeiro até as cabeceiras do rio Juquiá, quando começa a aparecer em manchas isoladas a SW da província (IPT, 1981a).

O arranjo do relevo influencia as características climáticas da área. A escarpa da Serra do Mar impede o avanço para o interior da umidade proveniente da zona litorânea e direciona as frentes frias e as correntes de convecção, que condensam a umidade e provocam nevoeiros e chuvas de efeito orográfico na Serrania Costeira (CRUZ, 1974; IPT, 1981a; SIMONETTI, 2001).

As chuvas, apesar de distribuídas ao longo do ano, são mais intensas e prolongadas entre novembro e março, concentrando-se em um período do ano (CRUZ, 1974; GONÇALVES *et al.*, 1993). Simonetti (2001), afirma que durante o período chuvoso a precipitação pluviométrica pode ultrapassar os 250 mm ao dia, sendo que as consequências dessas chuvas podem ser catastróficas, pois ao saturar o manto de alteração as chuvas podem desestabilizar as vertentes. IPT (1981a) e Ross e Moroz (1997) afirmam que na Serrania Costeira os processos geomorfológicos predominantes são os escorregamentos, podendo afetar tanto áreas com a presença de rastejo, quanto áreas estáveis.

A Serra do Mar no trecho compreendido entre São Paulo e Rio de Janeiro registrou nos últimos 90 anos diversos movimentos de massa (ROSA FILHO e CORTEZ, 2010). A tabela 2 inventaria os maiores escorregamentos na faixa costeira do Brasil.

Tabela 2: Ocorrência de escorregamentos na Serra do Mar entre São Paulo e Rio de Janeiro

Local	Data	Nº de mortes
Santos (SP)	Março de 1928	80
Santos (SP)	Março 1956	64
Santos (SP)	Fevereiro de 1959	05
Rio de Janeiro	1966	100
Caraguatatuba (SP)	Março de 1967	120
Santos (SP)	Dezembro de 1979	13
Rio de Janeiro (RJ)	Dezembro de 1982	06
Angra dos Reis (RJ)	1985	05
Rio de Janeiro (RJ)	Março de 1986	12
Rio de Janeiro (RJ)	Fevereiro de 1988	82
Ubatuba (SP)	Fevereiro de 1988	06
Cubatão	Janeiro de 1988	10
Rio de Janeiro (RJ)	Junho de 1989	09
Rio de Janeiro (RJ)	Março de 1992	07
Rio de Janeiro (RJ)	Fevereiro de 1995	05
Rio de Janeiro (RJ)	Fevereiro de 1996	59

Tabela adaptada de Rosa Filho e Cortez (2010).

3.1. O município de Caraguatatuba

O município de Caraguatatuba localiza-se na Província Costeira e em algumas porções no rebordo do Planalto Atlântico se caracteriza por ter as drenagens seguindo diretamente para o mar. A Província Costeira está subdividida em duas zonas (ALMEIDA, 1974): Baixadas Litorâneas e Serrania Costeira, sendo que esta última, por sua vez, está subdividida em duas subzonas: Serra do Mar e subzona Serra de Paranapiacaba, ressaltando-se que esta última não será abordada neste trabalho.

Inserida na zona Serrania Costeira, Caraguatatuba é constituída por rochas migmatíticas, granulíticas entre as quais estão o piroxênio granulito, granulitos quartzo-feldspáticos, charnoquitos e rochas granito-gnáissicas (ALMEIDA, 1974; IPT, 1981b;

CPRM, 1982; PERROTA *et al.*, 2005). Além dessas rochas, na região de Caraguatatuba são encontradas também rochas básicas como metadioritos, quartzo gabros e quartzo dioritos e também rochas básicas afetadas por eventos metamórficos como os metagabros, metadioritos e ortoanfibolitos, conforme apontam segundo IPT (1981b), CPRM (1982) e Perrota *et al.* (2005). (figura 6)

CPRM (1982) descreve cinco unidades de relevo existentes no município de Caraguatatuba (figura 7): (I) planalto, (II) encosta do planalto, (III) serra costeira, (IV) maciços insulares e (V) planície litorânea, sendo que estas unidades distinguem-se por seu arranjo estrutural caracterizado por uma tectônica de blocos falhados e desnivelados onde atuam intensos processos geomorfológicos. É importante destacar que as unidades IV e V não serão abordadas por não serem objeto de análise neste trabalho.

A unidade Planalto (unidade I) é descrita como o topo da Serra do Mar e tem sido dissecada por duas superfícies de erosão (superfície A e superfície B) com níveis altimétricos semelhantes mas que singularizam-se pelas suas diferenças estruturais e litológicas (CPRM, 1982). A superfície A situa-se em altitudes que variam entre 1000-800 metros, tendo se desenvolvido durante o Terciário e início do Quaternário e sujeita a sucessivas retomadas erosivas oriundas de movimentos epirogenéticos durante o Quaternário. Acima deste situa-se o nível B que data do Cretáceo e tem altitudes variando entre 1200-1400 metros (CPRM, 1982). Esta unidade apresenta-se como superfície montanhosa com topos angulosos, dissecada por vales amplos, profundos, alongados e adaptados às linhas das fraturas. A rede fluvial é predominantemente dendrítica, mas assume características retangulares em zonas fraturadas. Por fim, sua litologia é composta essencialmente por granitóides-gnáissicos e granitóides migmatíticos, que oferecem grande resistência ao entalhe fluvial (CPRM, 1982).

CPRM (1982) define a unidade “Encostas do Planalto” (II) como escarpas festonadas muito recortadas e encerradas em anfiteatros individualizados por espigões que em alguns pontos atingem a linha de costa. É possível observar em alguns dos pontos mais elevados da escarpa afloramentos (paredões) rochosos.

A unidade III (Serrania Costeira) é constituída por espigões (como a escarpa da Serra da Caçandoca e a escarpa da Serra do Dom) e morros isolados na planície que também podem estar ligados a escarpa. Estes espigões e morros isolados foram afetados

por movimentos tectônicos, mas também apresentam influência de processos de desgaste que são observados pelas variadas altitudes que apresentam (CPRM, 1982).

Adaptado de: PERROTA et al. 2005. Mapa geológico do estado de São Paulo. Escala 1:750.000. Programa Geologia do Brasil - PGB, CPRM, São Paulo.

Figura 6: Mapa geológico da área de estudo e entorno.

Adaptado de: CPRM. 1982. Projeto Folhas Natividade da Serra e Caraguatatuba. Relatório Final. 2 volumes.

Figura 7: Mapa geomorfológico de parte da área de estudo.

No topo da escarpa que se apresenta de maneira festonada, abrem-se anfiteatros individualizados por espigões ramificados com níveis topográficos bem marcados. Os processos predominantes segundo CPRM (1982) são os escorregamentos por deslocamento de rocha e solo e, no trecho médio da escarpa ocorrem rampas de desgaste. Associadas a estas rampas de desgaste há cones de dejeção, que nada mais são

do que depósitos de materiais oriundos dos trechos a montante destas vertentes (CPRM, 1982).

3.2. A Floresta Ombrófila Densa

Sobre as íngremes vertentes da Serra do Mar desenvolve-se a Floresta Ombrófila Densa. Esta denominação, sugerida por Ellemberg e Dombois (1967) *apud* Veloso *et al.* (1991) substitui a expressão “Floresta Pluvial Atlântica”, apesar de ambas significarem “amiga das chuvas”. A Floresta Ombrófila Densa, segundo Veloso *et al.* (1991) é caracterizada por elevadas temperaturas (médias anuais de 25°C) e elevados índices de chuvas bem distribuídos ao longo do ano (períodos secos de no máximo 60 dias no ano).

A Floresta Ombrófila Densa é uma mata sempre verde (perenifólia), com vários estratos, dossel fechado que pode atingir de 15 a 50 metros e conter árvores emergentes com até 40 metros de altura. A vegetação arbustiva é muito densa e constituída por samambaias arborescentes, bromélias e palmeiras. Além destes exemplares são encontradas também lianas (trepadeiras e cipós) e epífitas (como as bromélias e orquídeas), figueiras, jerivás e palmitos. As plantas têm folhas de superfície lisa e ponta em forma de goteira para facilitar o escoamento da água (HUECK, 1972; VELOSO *et al.*, 1991; SIMONETTI, 2001; IF, 2007 e SMA, 2007; 2010). É sobre as vertentes da Serrania Costeira que a Floresta Ombrófila Densa atinge o seu estágio de maior desenvolvimento, caracterizando-se por grande diversidade florística e associações biológicas (figura 8 e 9).

De acordo com a topografia e altimetria, Veloso *et al.* (1991) dividem a Floresta Ombrófila Densa em cinco classes (figura 10):

- 1) **Floresta Ombrófila Densa aluvial**: não apresenta variação topográfica e restringe-se ao longo dos cursos de água ocupando as áreas de terraços fluviais das planícies quaternárias. É caracterizada por dossel emergente uniforme, com a presença de palmeiras, lianas lenhosas e herbáceas, além de inúmeras epífitas;
- 2) **Floresta Ombrófila Densa das terras baixas**: formação presente nas planícies costeiras situa-se entre as altitudes de cinco a cem metros na faixa litorânea entre os estados do Pará e sul da Bahia. Já na faixa litorânea entre o sul da Bahia e o

sul do estado de São Paulo esta floresta situa-se entre os cinco e cinquenta metros de altitude. Por fim, na faixa litorânea no sul do estado de São Paulo até o sul do estado do Rio Grande Sul a floresta situa-se entre cinco e trinta metros de altitude;

- 3) **Floresta Ombrófila Densa Submontana:** localiza-se nas vertentes dos planaltos e/ou serras. Na faixa litorânea entre os estados do Pará e sul da Bahia sua distribuição varia entre os cem e os seiscentos metros de altitude. Já na faixa entre o sul da Bahia e o sul do estado de São Paulo, a localização varia entre as altitudes de cinquenta e quinhentos metros. Por fim entre o sul de São Paulo e sul do Rio Grande do Sul sua distribuição começa por volta da altitude de trinta metros atinge até a altitude de quatrocentos metros;
- 4) **Floresta Ombrófila Densa Montana:** localiza-se nas vertentes dos planaltos e/ou serras. Na faixa litorânea entre os estados do Pará e sul da Bahia sua distribuição varia entre os seiscentos e os dois mil metros de altitude. Já na faixa entre o sul da Bahia e o sul do estado de São Paulo, a localização varia entre as altitudes quinhentos e mil e quinhentos metros. Por fim entre o sul de São Paulo e sul do Rio Grande do Sul sua distribuição começa por volta da altitude de quatrocentos até mil metros de altitude;
- 5) **Floresta Ombrófila Densa Alto-montana:** inicia-se no limite superior da floresta ombrófila densa Montana. Esta floresta também é conhecida como floresta nebular.

Figura 8: Vista da Floresta Ombrófila Densa no município de Caraguatatuba.
Data: 27/10/2012.

Figura 9: Foto do interior da Floresta Ombrófila Densa no município de Caraguatatuba.
 Autora: Fabiana Souza Ferreira
 Data: 16/11/2011.

Figura 10: Perfil esquemático da Floresta Ombrófila Densa. Adaptado de Veloso *et al.*, 1991.

3.3. Vegetação em Caraguatatuba

No município de Caraguatatuba a vegetação pertence ao bioma da Mata Atlântica¹ e, segundo SMA (1992), subdividi-se em três formações florestais principais: mata de planície litorânea², mata de encosta³ (árvores altas formando um dossel com

¹A Floresta Ombrófila Densa é uma fitofisionomia do bioma da Mata Atlântica.

²Equivalente a Floresta Ombrófila Densa das terras baixas (MICHELETTI NETO 2007).

copas descontínuas) e mata de altitude⁴ (existente a partir dos 1.100 metros de altitude e a vegetação é mais baixa que a da mata de encosta). A Mata Atlântica cobre preferencialmente a zona costeira, mesclando-se nas planícies litorâneas com a vegetação presentes nas restingas.

Nas vertentes alongadas e escarpadas da Serra do Mar há florestas com fisionomias distintas compostas por floras e estruturas complexas, determinadas de acordo com as variadas formas de relevo, altitude, declividade, litologia, pedologia e condições climáticas existentes como precipitação e temperatura (CRUZ, 1974; MANTOVANI *et al.*, 1990; SIMONETTI, 2001 e MICHELETTI NETTO, 2007). Estes autores ainda destacam que as florestas da Serra do Mar apresentam características distintas entre as de fundo de vales e as de topos de morros. Ainda sobre as florestas de topos de morros Mantovani *et al.* (1990) e Micheletti Netto (2007) descrevem a ocorrência de uma formação florestal associada ao topo das escarpas e determinada pelas características pedológicas de solos rasos litólicos. Schröder (1956) *apud* Cruz (1974), Hueck (1972), Falkenberg e Voltolini (1993), Fernandes (2006) e Micheletti Netto (2007) descrevem as florestas de encosta da Serra do Mar como Floresta (Mata) Nebular (figuras 11 e 12). Esta denominação é justificada pela ocorrência constante de neblina oriunda da condensação em altitudes por volta de 700 metros das massas de ar quente e úmidas provenientes do oceano Atlântico, sendo considerada pelos autores como uma floresta de transição entre a Floresta Ombrófila Densa e a Floresta de Araucária. Acima da Floresta Nebular ocorre a Floresta (Mata) de Altitude (em altitudes variando entre 800 e 1000 metros) assentada sobre solos rasos com drenagens de fluxo rápido em escarpas íngremes conforme Klein (1975), Mantovani *et al.* (1990) e Micheletti Netto (2007) (figura 11). Mantovani *et al.* (1990) descrevem esta floresta com espécies de baixo porte (inferior a 10 metros) mas com elevada densidade de indivíduos (4624 indivíduos/ha) .

³Equivalente a Floresta Ombrófila Densa Submontana e Floresta Ombrófila Densa Montana (MICHELETTI NETTO, 2007).

⁴ Equivalente a Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana (MICHELETTI NETTO, 2007).

Figura 11: Perfil e classificação da vegetação da Serra do Mar e Planície Costeira. Legenda: 1. mar; 2: praia, pobre em vegetação; 3: dunas com arbustos; 4: mata de restinga; 5: manguezal em baías paradas; 6: mata pluvial na planície costeira; 7: Floresta Nebular; 8: Floresta de Altitude. Fonte do perfil: adaptado de HUECK, 1972.

Figura 12: Floresta Nebular no município de Caraguatatuba, com a neblina cobrindo a Serra do Mar ao fundo.
Data: 26/10/12.

O mapeamento da vegetação realizado por IF (2007) nos municípios das Regiões Administrativas de São José dos Campos (trecho litoral), Baixada Santista e Registro. Neste trabalho o município do Caraguatatuba apresentou grande variedade de formações florestais, compartimentadas em função da altitude: Floresta Ombrófila Densa, a Formação Arbórea/Arbustiva-Herbácea e a Vegetação Secundária da Floresta Ombrófila Densa. (figura 13).

De acordo com Veloso *et al.* (1991), IF (2007) subdivide esta Floresta em quatro unidades: Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (0 a 50 metros); Floresta Ombrófila Densa Submontana (50 a 500 metros); Floresta Ombrófila Densa Montana (500 a 1500 metros). Já a Formação Arbórea/Arbustiva-Herbácea corresponde a vegetação existente nas planícies costeiras e foi subdividida em Formação Arbórea/Arbustiva-Herbácea Terrenos Marinhos Lodosos, que corresponde às áreas de mangue e, Formação Arbórea/Arbustiva-Herbácea sobre Sedimentos Marinhos Recentes que identifica as áreas de restinga. Por fim em Caraguatatuba é encontrada também a Vegetação Secundária da Floresta Ombrófila Densa que IF (2007) afirma ser a fitofisionomia “capoeira” e que está dividida nas mesmas classes da Floresta Ombrófila Densa.

Ao comparar as figuras 11 e 13 percebe-se a similaridade entre os compartimentos existentes nas duas classificações e, o predomínio da Floresta Nebular e da Floresta de Altitude ou Floresta Ombrófila Densa, que em linhas gerais englobam estas duas formações.

É neste contexto geomorfológico-geológico, climatológico e de formações florestais que ocorreram em 1967 no município de Caraguatatuba, movimentos de massa generalizados e que até hoje têm muitas das suas cicatrizes preservadas pela instalação da pteridófita *Gleichenia*, uma vegetação rasteira e arbustiva, nativa e característica do estágio pioneiro de regeneração florestal conforme abordado no próximo item.

Legenda

- Hidrografia principal
- Limite do município de Caraguatatuba
- Outros municípios

Vegetação (IF, 2007)

- Floresta Ombrófila Densa Montana
- Floresta Ombrófila Densa Submontana
- Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas
- Vegetação Secundária da Floresta Ombrófila Densa Montana
- Vegetação Secundária da Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas
- Área urbana e/ou vegetação não identificada

Adaptado de: IF, 2007. Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo: Regiões Administrativas de São José dos Campos (Litoral), Baixada Santista e Registro.

Figura 13: Mapa de vegetação da área de estudo e entorno (IF, 2007).

3.3.1. Gleichenias

As *gleichenias* (figura 14 a, b, c e d) ao lado das avencas e outras samambaias pertencem a divisão das Pteridófitas⁵. No Brasil as pteridófitas estão localizadas principalmente nas regiões de florestas, sobretudo na Mata Atlântica e matas de regiões serranas (PRADO e HIRAI, 2011).

Por meio de dados fitossociológicos observa-se que a *Gleichenella pectinata* caracteriza-se por colonizar vertentes degradadas em solos compactos e rasos, normalmente erodidos e/ou lixiviados e pobres em matéria orgânica e minerais (LEHMANN 2008).

Estas áreas desnudas passam então a contar com a presença de espécies de pteridófitas dos gêneros *Pteridium*, *Gleichenia* e *Gleichenella* (Gleicheniaceae) (HEINRICH, 1986), e, segundo Reis *et al.* (1999) a espécie *Gleichenella pectinata* é uma das primeiras plantas a instalarem-se em áreas degradadas. Trata-se de uma espécie heliófita, ou seja, necessita de intensa luminosidade solar e, por esta razão é sempre encontrada em barrancos de estradas, em vertentes de morros litorâneos, capoeiras e capoeirões, sendo facilmente identificada na paisagem pelo que o verde-claro de suas folhas que se destaca. (SEHNEM, 1970; JOLY, 1991).

Cusatis (2001) ressalta que essa espécie contribui para a preservação e recuperação das áreas degradadas, impedindo a instalação de processos erosivos, pois a *Gleichenella pectinata* forma uma capa protetora sobre o solo por meio de suas raízes superficiais que se entrelaçam e recobrem os solos desnudos.

⁵ Do grego, *Pterophyta*, nome dado devido ao arranjo das folhas estabelecido pelos folíolos, que lembram as asas de um pássaro.

3.4. Os escorregamentos de 1967 em Caraguatatuba

No mês de março de 1967, Caraguatatuba foi atingida por chuvas torrenciais que desencadearam inúmeros escorregamentos e corridas de detritos. Cruz (1974) afirma que no dia 17 de março foram medidos 115 mm (período de 24 horas) de chuva e no dia seguinte (18) foram registrados 420 mm (período de 24 horas) de chuva, sendo que este valor pode ter sido maior, mas não foi registrado devido à saturação dos pluviômetros. No total mensal foram contabilizados para o mês de março de 1967 em Caraguatatuba 945 mm de chuva (CRUZ, 1974).

Cruz (1974; 1990) afirmam que os movimentos de massa causaram impactos em aproximadamente 40 km de escarpa costeira, mas concentrados no entorno da área urbana, sobretudo na bacia do rio Santo Antônio (figuras 15 e 16).

Figura 15: Vertentes da Serra do Mar atingidas pelos escorregamentos de 1967. Ao fundo observa-se a planície costeira de Caraguatatuba e o deságue do rio Santo Antônio no mar.

Fonte: Arquivo Público do município de Caraguatatuba – “Arino Sant’ana de Barros”

Disponível em: <http://www.flickr.com/photos/caraguaoficial/5393682294/in/photostream/>

Figura 16: Ao fundo observa-se as inúmeras cicatrizes dos escorregamentos de 1967 (exemplos apontados pela setas em vermelho).

Fonte: Arquivo Público do município de Caraguatatuba – “Arino Sant’ana de Barros”

Disponível em:

<http://www.flickr.com/photos/caraguaoficial/5393682294/in/photostream/>

A bacia do rio Santo Antônio tem uma densa rede de drenagem e Cruz (1974; 1990) afirma que a rede de drenagem determinou o caminho percorrido pelos escorregamentos que ocorreram em forma de “*prancha, alongados e estreitos, ou mais curtos e largos, em leque, de acordo com o comprimento das vertentes atingidas e a amplitude topográfica de seus vales*” (CRUZ, 1990, p. 14).

O Pico do Tinga, com declividades predominantes acima de 22° foi uma das áreas mais favoráveis à ocorrência de escorregamentos alongados e estreitos, sendo que nas áreas com altitudes por volta de 600 metros predominou deslizamentos nos canais plúvio-fluviais atingindo uma extensão que variou entre 200 e 250 metros.

O ribeirão do Ouro, afluente da margem esquerda do rio Santo Antônio, representa bem a congruência entre os escorregamentos ocorridos e a rede drenagem. Este rio, em amplitudes topográficas de 800 a 900 metros, transportou por quase 1 km

blocos que atingiam 5 metros de diâmetro em meio a troncos, galhos e lama, o que contribuiu para abarrotar de material a planície a jusante e o baixo curso do rio Santo Antônio até o seu deságue no mar (CRUZ, 1974, 1990) (figura 17).

Figura 17: Planície Costeira com o deságue do rio Santo Antônio no mar. Nesta foto é possível perceber a magnitude do evento de 1967 que arrasou o município de Caraguatatuba.
Fonte: Arquivo Público do município de Caraguatatuba – “Arino Sant’ana de Barros”
Disponível em: <http://www.flickr.com/photos/caraguaoficial/5393682294/in/photostream/>

Nas altas vertentes que constituem as cabeceiras do ribeirão do Pau d’alho e do ribeirão da Divisa as cicatrizes estavam bem visíveis e demarcam com clareza o início dos escorregamentos, além disso, como no ribeirão do Ouro há a conformidade entre escorregamentos, rede plúvio-fluvial e alinhamentos estruturais (CRUZ, 1974; 1990). Nesta porção de Caraguatatuba, os escorregamentos atingiram extensões de 3 a 3,5 km e entulharam de material pequenas planícies e depois a grande planície flúvio-marinha de Caraguatatuba (CRUZ, 1974, 1990). É importante destacar que muito do material mobilizado pelos escorregamentos não atingiu as planícies permanecendo depositado em rampas, canais plúvio-fluviais, patamares e áreas com declividades mais suaves (CRUZ, 1974; 1990 e FÚLFARO *et al.* 1976).

Cruz (1974, 1990) afirmam os escorregamentos em Caraguatatuba ocorreram de forma generalizada em zonas de anfiteatros, nichos de nascente e em perfeita concordância com as linhas estruturais e a rede de drenagem. O mapeamento das cicatrizes dos escorregamentos realizado por Fúlfaro *et al.* (1976) é apresentado na figura 18.

Figura 18: Mapa de cicatrizes baseado em FÚLFARO (1976). As cicatrizes concentram-se nas cabeceiras do Ribeirão da Divisa e do Córrego Canivetal, além do interflúvio que separa as duas bacias.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais e os procedimentos metodológicos para o desenvolvimento da pesquisa (figura 19).

Figura 19: Fluxograma da pesquisa.

O item 4.1. apresenta os dados que foram utilizados para caracterizar a vegetação e sua relação com os escorregamentos no município de Caraguatatuba. Já o item 4.2. detalha as etapas percorridas para a obtenção dos índices de vegetação utilizados durante a pesquisa e descreve como foram elaborados os gráficos para avaliar a inter-relação entre os índices de

vegetação e as cicatrizes. O item 4.3. descreve como foram estabelecidas as inter-relações entre os índices de vegetação elaborados e parâmetros topográficos (declividade, hipsometria, orientação de vertentes e curvatura em planta e perfil). Os métodos foram aplicados em parte do planalto e na escarpa, pois, a planície costeira é o local de acúmulo do material transportado pelos escorregamentos.

4.1. Materiais

A escolha do trecho da Serra do Mar no município de Caraguatatuba deve-se a magnitude dos escorregamentos ocorridos em 1967, alvo de pesquisas como Cruz (1974, 1990), Fúlfaro *et al.* (1976), Cruz e Ploey (1979), Okida (1996), Sestini e Florenzano (2004), Marcelino (2004), Marcelino *et al.* (2009), Gomes (2012), Ramos (2012), Ferreira (2013). Outro fator considerado para a escolha deste local é a preservação das cicatrizes daquele evento pela pteridófito *Gleichenia*, que permite a diferenciação clara entre as áreas deslizadas e aquelas que estão preservadas.

Para compreender a relação entre a vegetação e os escorregamentos foi utilizada uma cena do imageamento realizado pelo satélite *Landsat MSS* em 11/07/1973. O uso deste material deve-se ao fato de ser a imagem de satélite mais antiga disponível para a área de estudo.

O satélite *Landsat MSS* esteve ativo de 23 de julho de 1972 a 06 de janeiro de 1978. Este satélite obtia dados espectrais em quatro bandas: **banda 4** (região espectral: verde) com comprimento de onda entre 0,5 e 0,6 μm ¹; **banda 5** (região espectral: vermelho) com comprimento de onda entre 0,6 e 0,7 μm ; **banda 6** (região espectral: infravermelho próximo) com comprimento de onda entre 0,7 e 0,8 μm ; **banda 7** (região espectral: infravermelho próximo) com comprimento de onda entre 0,8 e 1,1 μm sendo que todas as bandas têm resolução espacial de 80 metros.

É importante ressaltar que a imagem usada neste trabalho foi obtida no mês de julho, ou seja, durante a estação seca no estado de São Paulo. Esta característica pode ter influenciado os resultados obtidos por meio de todos os Índices de Vegetação utilizados durante a pesquisa (LIU, 2006; BAUMANN, 2009; JENSEN, 2009; PONZONI *et al.*, 2012; VIANA e ALVALÁ, 2011; TRENTIN *et al.*, 2013; KUMAR *et al.* 2013, entre outros). No caso do NDVI, esta sazonalidade pode interferir no teor de água no solo e no teor de água nas folhas das árvores e assim interferir na variação dos índices como, por exemplo, nos totais do

¹ μm : micrômetro.

que poderia se classificado como floresta em desenvolvimento e/ou regeneração e floresta desenvolvida (LIU, 2006; JENSEN, 2009; PONZONI *et. al*, 2012; KUMAR *et al*. 2013).

O mapa de Fúlfaro (1976) foi feito sobre cartas topográficas produzidas pelo IBGE (1974) em escala 1:50.000. Para obter os polígonos das cicatrizes, o mapa de FÚLFARO (1976) foi georreferenciado sobre a mesma base cartográfica no *software* ArcGis 10.1. Nas mesmas cartas do IBGE (1974) foram obtidas as curvas de nível, hidrografia e pontos cotados. Após a extração destas informações foi delimitada a área de estudo, tendo em vista a distribuição das cicatrizes em Caraguatatuba. Essa delimitação foi realizada iniciando-se na curva nível de menor valor na carta topográfica que atingisse a escarpa (20 metros). Posteriormente foram seguidas linhas de interflúvios na escarpa e no planalto para contornar a área dos escorregamentos (figura 20).

Figura 20: Mapa da área afetada pelos escorregamentos no município de Caraguatatuba. O limite inferior (contato entre escarpa da Serra do Mar e planície costeira) foi delimitado a partir da curva de nível de 20 metros da carta topográfica produzida pelo IBGE (escala 1:50.000). Já os limites em direção à escarpa e ao seu contato com o Planalto Atlântico foram definidos por meio da linha de interflúvios afetados pelos escorregamentos.

4.2. Elaboração dos Índices de Vegetação e correlações

A imagem *Landsat MSS* foi obtida por meio do site do INPE (www.inpe.br). Por ser uma imagem bruta (sem georreferenciamento, correção atmosférica, por exemplo) foi tratada no *software ENVI 4.7* e em seguida exportada para o *software ArcGis 10.1*.

O georreferenciamento das bandas das imagens foi realizado por meio do procedimento *Image to Image* no *software ENVI 4.7*. Esta técnica consiste na utilização de uma imagem como georreferência para o georreferenciamento da outra imagem. A imagem de georreferência utilizada compõe o acervo do satélite *Landsat 5* e está ajustada ao sistema de coordenadas geográficas WGS84. Após a etapa de georreferenciamento foi aplicada a correção atmosférica por meio de método *Quick Atmospheric Correction (QUAC)*.

Em seguida foi exportado para o *software ENVI 4.7* o vetor com o limite da área de estudos produzido no *software ArcGis 10.1* e feito o recorte da área de interesse nas bandas da imagem *Landsat MSS*. Após essa etapa as bandas da imagem *Landsat MSS* foram exportadas para o *software ArcGis 10.1*.

Apesar do *software ENVI 4.7* ser voltado para o trabalho com imagens de satélite, o *software ArcGis 10.1* apresentou nesta versão uma ferramenta especializada em Índices de Vegetação com interface simplificada para a aplicação dos usuários (figura 21).

Figura 21: Tela do *software ArcGis 10.1* com a ferramenta Índices de Vegetação. Notar que os índices de vegetação foram classificados conforme o tipo de resultado obtido.

A não utilização dos outros Índices de Vegetação disponíveis na *ArcToolbox* Índices de Vegetação no *ArcGis 10.1*. nesta pesquisa se deve ao fato de a imagem utilizada não conter os comprimentos de ondas necessários para as suas aplicações.

A etapa seguinte correspondeu a transformação dos resultados obtidos em planilha *Excel* para a geração de gráficos para estabelecer a correlação entre os índices, entre os índices e as cicatrizes mapeadas e, por fim, dos índices com os parâmetros topográficos.

Para a utilização dos dados espectrais em planilha *Excel* foram realizadas alguns procedimentos no *ArcGis 10.1*. O procedimento será demonstrado por meio do índice de vegetação NDVI. O primeiro passo foi a classificação da imagem em 6 classes. Quando aplica-se um índice de vegetação no *ArcGis 10.1* o produto é um *raster* e seus valores não são divididos em classe, apenas é apresentado o intervalo dos resultados (figura 22).

Figura 22: *Raster* derivado da aplicação do índice de vegetação NDVI. Notar no destaque do círculo vermelho o intervalo de resultados obtidos para o NDVI.

Com a classificação, o *raster* assumiu as classes pela significância de intervalos que representassem mudanças entre uma classe e outra (figura 23). Após a classificação foi feita a transformação do *raster* em *shapefile* de feições poligonais (figura 24):

Figura 23: Estabelecimento das classes para o intervalo entre -1 e 1 do NDVI. No destaque (círculo vermelho) as classes foram escolhidas devido a sua representatividade na área de estudo.

Figura 24: No destaque (círculo vermelho), produto da transformação do *raster* do NDVI classificado em *shapefile*. Ao transformar o *raster* em *shapefile*, as classes atribuídas receberam um valor que indica a classe (*gridcode*) a qual pertenciam ao *raster*.

Após esta etapa, foi aplicada a ferramenta “*Dissolve*” (ArcTool Box/*Data Management Tools/Generalization/Dissolve*), que agrupa feições a partir de algum atributo disponível na tabela. A utilização do “*Dissolve*” (figura 25) diminui o número de feições na tabela associada ao *shapefile* diminuindo o tempo de processamento dos dados. No caso dos índices de vegetação foi utilizado como atributo o campo *GRIDCODE*. Este campo contém as 6 classes estabelecidas no *raster*. Em seguida foi calculada a área total de cada classe (em Km²).

Figura 25: Exemplo de aplicação do *Dissolve* em uma área. O uso desta ferramenta agrupa feições que pertencem a uma mesma classe diminuindo assim o número de feições e, por conseguinte o tempo de processamento dos dados no ArcGis.
Fonte: ArcGis (2010).

Para a inter-relação entre dados dos Índices de Vegetação e as cicatrizes foi necessário realizar o *Extraction* no *shapefile* do NDVI utilizando como máscara o *shapefile* de cicatrizes (figura 26):

Figura 26: No item (a), etapa referente a extração do NDVI por meio do *shapefile* de cicatrizes. No item (b), Como resultado foi obtido os valores de NDVI contidos em cada cicatriz.

Em seguida foi calculada a área em cada classe de NDVI (em Km²) e também a área de cada classe nas cicatrizes (em Km²) e os valores exportados para o *Excel*. Ao final foi elaborada uma tabela com os valores totais de cada classe de NDVI, a área afetada por cicatrizes em cada classe de NDVI e as porcentagens correspondentes. Nesta fase ainda foram elaboradas correlações lineares simples entre os índices de vegetação.

Para avaliar a correlação entre os índices vegetação e as cicatrizes foi elaborado um gráfico que sintetiza a variação da distribuição das cicatrizes nos índices de vegetação. Esta relação, denominada ΔV_{cic} , foi estabelecida pelas equações (6) e (7):

$$V_{cic} = \frac{A_{cic}}{A} \times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

V_{cic} = razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do índice de vegetação;

A_{cic} = área com cicatrizes em cada classe do índice de vegetação;

A = área total de cada classe do índice de vegetação.

$$\Delta V_{cic} = \frac{(V_{cic} - V_{cic_{média}})}{V_{cic_{média}}} \times 100 \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

ΔV_{cic} = variação em relação a média da razão de área afetada por cicatrizes em cada classe de índice de vegetação;

$V_{cic\ média}$ = razão da área afetada por cicatrizes da área de estudo (cujo valor na área de estudo é 4,38).

Após esta etapa, foram produzidos mapas de generalização da distribuição dos índices pela área de estudo. Estes mapas foram elaborados por meio da ferramenta *Focal Statistics* (*ArcGis 10.1/ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Neighborhood/Focal Statistics*) (figura 27). Esta ferramenta realiza uma generalização por meio do cálculo de variadas estatísticas descritivas, atribuindo a um *pixel* central o resultado da estatística aplicada aos

pixels vizinhos (figura 28). A escolha da forma (circular, retangular, irregular etc.) e do tamanho de vizinhança a ser generalizada é determinada pelo usuário. No trabalho foi aplicado a forma circular, com raio de vizinhança de três *pixels* e a média foi a estatística descritiva escolhida.

Figura 27: Tela para utilização da ferramenta *Focal Statistics*. O *Focal Statistics* permite realizar generalizações a partir de várias estatísticas descritivas, diversos polígonos de generalização e também escolher o tamanho do vizinho a ter seus valores generalizados.

Figura 28: Nesta figura hipotética, ao *pixel* central (roxo escuro) é atribuído o valor da média dos pixels abrangidos pelo círculo (roxo claro) e assim subsequentemente para todos os *pixels* do arquivo *raster*.

A próxima etapa consistiu na elaboração dos parâmetros topográficos e sua inter-relação com os Índices de Vegetação.

4.3. Parâmetros Topográficos e inter-relação com os Índices de Vegetação

Para analisar a relação entre os índices de vegetação e o relevo foram selecionados quatro parâmetros topográficos: hipsometria, declividade, curvatura em planta e orientação de vertentes. A escolha dos quatro parâmetros topográficos utilizados deve-se a influência que estes têm no desenvolvimento da vegetação e na ocorrência dos escorregamentos.

Por meio de um Modelo Digital de Terreno (MDT) com pixel de 20m x 20m foram elaborados os mapas de hipsometria, declividade, orientação de vertentes e curvatura em planta. Este modelo foi obtido por meio da vetorização no *software ArcGis 10.1*, das curvas de nível, pontos cotados e hidrografia presentes nas cartas 1:50.000 que compõem a área de estudo.

As classes estabelecidas para o mapa hipsométrico foram obtidas por meio de perfis topográficos (figura 29). Estes perfis indicaram altitudes que apresentavam rupturas significativas no relevo. Assim as cinco classes estabelecidas foram: de 0 a 150 (vales e baixa vertente); de 150 a 300 (baixa vertente e topos baixos); de 300 a 500 (escarpa e topos altos); de 500 a 800 (escarpa) e altitudes superiores a 800 metros (planalto).

Para o mapa de declividade também foram estabelecidas cinco classes: de 0° a 7°; de 7° a 15°; de 15° a 23°; de 23° a 30° e acima de 30°. A escolha destas classes foi pautada em sua representatividade na área de estudo ao apontar, por exemplo, as porções mais íngremes da escarpa da Serra do Mar e individualizar a porção de Planalto Atlântico que está contido na área de estudo.

O mapa de curvatura em planta foi dividido em cinco classes. Estas classes são numéricas e apresentaram os seguintes intervalos: <-0,4; -0,4 a -0,1; -0,1 a 0,1; 0,1 a 0,4 e >0,4. A estas classes foram atribuídas denominações que representam a sua forma na superfície: <-0,4 = côncava; -0,4 a -0,1 = côncava-retilínea; -0,1 a 0,1 = retilínea; 0,1 a 0,4 = retilínea-convexa e por fim, >0,4 = convexa. Estes intervalos indicam as áreas da superfície que tem o caráter acumulador de água (côncava), neutro (retilínea) e dispersor (convexa).

O último mapa a ser elaborado foi o de orientação de vertentes, com as classes Norte (N), Nordeste (NE), Leste (E), Sudeste (SE), Sul (S), Sudoeste (SW), Oeste (W) e Noroeste (NW).

Figura 29: Perfis topográficos para a determinação das classes do mapa hipsométrico. As classes foram escolhidas de acordo com rupturas significativas do relevo na área de estudo.

Após a elaboração dos mapas de parâmetros topográficos, estes foram inter-relacionados com os dados obtidos por meio dos Índices de Vegetação. Para tanto, foram elaboradas tabelas tanto das áreas totais como das áreas com cicatrizes de cada índice de vegetação nas diversas classes dos parâmetros topográficos. Por meio do mesmo método descrito no item 3.2. (Elaboração dos Índices de Vegetação e correlações) foi calculado o valor de V_{cic} para cada intervalo de índice de vegetação em cada classe de parâmetro topográfico. Consequentemente, obteve-se também o valor de V_{cic} para cada classe dos parâmetros topográficos. Um exemplo da estrutura das tabelas com os valores de V_{cic} é apresentado na tabela 3.

Tabela 3: V_{cic} da relação entre NDVI e Hipsometria					
NDVI	Hipsometria (metros)				
	0 a 150	150 a 300	300 a 500	500 a 800	> 800
-1 a -0,3					
-0,3 a 0					
0 a 0,2					
0,2 a 0,3					
0,3 a 0,4					
0,4 a 0,5					
0,5 a 0,6					
0,6 a 1					
Total					

Sabendo-se o valor de V_{cic} para cada classe dos índices de vegetação, a fim de verificar se a variação de V_{cic} observada em função dos intervalos dos índices de vegetação tem influência significativa de cada um dos parâmetros topográficos, calculou-se o V_{cic} esperado tal como na equação (8):

$$V_{cic\ esperado} = \frac{(A_1 \times V_{cic\ ct1}) + (A_2 \times V_{cic\ ct2}) + \dots + (A_n \times V_{cic\ ctn})}{A}$$

(Equação 8)

Onde:

$V_{\text{cic esperado}}$ = razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do índice de vegetação calculada em função da proporção das classes dos parâmetros topográficos e seu respectivo V_{cic} ;

A_1, A_2, A_n = área de cada classe do índice de vegetação em cada classe do parâmetro topográfico;

$V_{\text{cic ct1}}, V_{\text{cic ct2}}, V_{\text{cic ctn}}$ = razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do parâmetro topográfico;

n = número de classe do parâmetro topográfico;

A = área total de cada classe do índice de vegetação.

No caso da variação de V_{cic} segundo os intervalos dos índices de vegetação ser totalmente explicada pela sua inter-relação com o parâmetro topográfico em análise, tem-se a expectativa de que o valor de $V_{\text{cic esperado}}$ calculado seja igual ou próximo ao valor de V_{cic} . Caso contrário, é possível dizer que a variação de V_{cic} não é influenciada pelo parâmetro topográfico.

Por fim, para visualizar a relação entre os índices de vegetação e os parâmetros topográficos foram elaborados gráficos que correlacionam o V_{cic} e o $V_{\text{cic esperado}}$.

5. Resultados e Discussão

A apresentação dos resultados foi dividida em três partes: a primeira parte refere-se à distribuição dos Índices de Vegetação na área de estudo e suas correlações; a segunda parte aborda a relação entre os Índices de Vegetação e as cicatrizes e, por fim, a terceira parte discute a relação dos índices com alguns parâmetros topográficos.

5.1. Distribuição dos Índices de Vegetação e correlações

5.1.1. NDVI, *Simple Ratio*, ReNDVI

NDVI, *Simple Ratio* e ReNDVI foram analisados em conjunto por serem similares. Aqui é apresentada uma breve descrição de cada índice para em seguida serem analisadas as suas correlações.

Ao analisar em conjunto o mapa (figura 30) com a distribuição do NDVI e o histograma de frequência (figura 31) percebe-se que as classes predominantes estão no intervalo entre 0,3 e 0,6, o que corresponde a 62,3% da área de estudo. Este resultado demonstra que a maior parte da área apresenta uma vegetação em desenvolvimento e/ou regeneração florestal. (WEIER e HERRING, 2000; LIRA *et al.* 2011; BEZERRA *et al.*, 2012; FRANCISCO *et al.*, 2012). Acima de 0,6 os valores de NDVI indicam a presença de uma floresta úmida bem desenvolvida.

Os valores entre 0,2 e 0,3 apontam a existência de uma vegetação herbácea e/ou pouco desenvolvida, típica de áreas de caatinga, por exemplo, e, também podem indicar a ocorrência de áreas com histórico de perturbação ambiental recente conforme apontam Weier e Herring (2000); Lira *et al.* (2011); Bezerra *et al.* (2012); Francisco *et al.* (2012), sendo este último o caso da área de estudo. Já os valores entre 0 e 0,2 indicam a não presença de vegetação, sendo em muitos casos caracterizado como solo exposto. Portanto somando-se a área do primeiro caso que está distribuída em 9,8% da área total (vegetação herbácea e/ou pouco desenvolvida) com as áreas de solo exposto (12,6%), verificou-se que 22,4% da área apresenta algum tipo de alteração na vegetação original.

Os resultados negativos do NDVI variaram no intervalo de -1 a 0. Após analisar o histograma de frequência e o mapa do NDVI foi considerado que o intervalo

entre -0,3 e 0 corresponderia a solo exposto, pois este intervalo está no entorno da classe entre 0 e 0,2 e também ocorre em diversos setores da área de estudo. O restante do intervalo (entre -1 e -0,3) ocupa 2,2% e foi classificado como água e/ou interferências atmosféricas (nuvens, sombras, entre outros), resultado similar ao encontrado por Weier e Herring (2000), Aquino e Oliveira (2012) e Nery *et al.* (2013). Somente na faixa entre -0,3 e 0 as áreas classificadas como solo exposto afetam 7,1% da área de estudo. Ao somar este valor (7,1%) com o total de área classificada como solo exposto na classe entre 0 e 0,2 (12,6%), a classe de solo exposto atinge o valor de 19,7%. A classificação das áreas como solo exposto pode englobar as cicatrizes de escorregamentos, áreas de arraste dos materiais durante os escorregamentos, alterações antrópicas e os depósitos de materiais.

Na figura 32 observa-se que os maiores valores de NDVI encontram-se, sobretudo nas partes mais altas da escarpa da Serra do Mar e nos principais interflúvios.

Figura 30: Mapa da distribuição do NDVI. A classe entre 0,3 e 0,6 ocupa mais de 60% da área de estudo. Por outro lado, as classes com os menores valores de NDVI (entre -1 a 0,2), apesar de não ocuparem grandes extensões concentram-se, sobretudo nas áreas limítrofes da área de estudo com a planície costeira.

Figura 31: Histograma de frequência do NDVI com intervalo de 0,05.

Figura 32: Mapa de NDVI tratado com a ferramenta *Focal Statistics*.

Os resultados obtidos por meio do índice de vegetação *Simple Ratio* variaram entre 0 e 38,2 (figura 33). No histograma de frequência (figura 34) o intervalo predominante varia entre 0 a 6 e ocupa 98,2% (175,6 Km²) da área de estudo, enquanto que o intervalo entre 6 e 38,2 está presente em apenas 1,8% (3,1 Km²). O resultado obtido é similar ao encontrado nos trabalhos de Rouse *et al.* (1974), Tucker (1979) e Sellers (1985) que afirmam que o intervalo onde há predomínio de vegetação está entre 2 e 8.

Considerando o proposto por Rouse *et al.* (1974), Tucker (1979) e SELLERS (1985) no tocante ao significado do *Simple Ratio*, observa-se que as classes entre 0 e 2 que estão distribuídas em 41,7% da área e correspondem a valores que indicam ausência de vegetação. No NDVI a área que não está classificada como vegetação (entre -1 a 0,2) está distribuída em 23,2% da área. Apesar de o *Simple Ratio* e o NDVI serem similares em suas análises pode ser que a discrepância dos resultados derive do refinamento que o NDVI possui em sua equação ou da falsa interpretação que os valores entre 0 e 2 do *Simple Ratio* não correspondam a vegetação.

Ao sobrepor o intervalo de NDVI correspondente a solo exposto (-0,3 a 0,2) ao intervalo de *Simple Ratio* entre 0 e 2 (classificado como não vegetação), percebe-se que há uma sobreposição da classe de solo exposto do NDVI com a classe entre 0 e 1 do *Simple Ratio*. Já ao outro intervalo de *Simple Ratio* de não vegetação (entre 1 e 2) foi comparada com a classe de NDVI entre 0,2 e 0,3 (vegetação herbácea e/ou pouco desenvolvida) e percebe-se também uma sobreposição destas classes.

Como para o NDVI, foi elaborado para o *Simple Ratio* um mapa (figura 35), no qual seus valores são generalizados. Este procedimento foi útil para entender a ocorrência da distribuição geral das classes de *Simple Ratio*. A distribuição das classes do *Simple Ratio* é similar a do NDVI, ou seja, os maiores valores ocorrem ao longo dos principais interflúvios e os menores concentram-se no limite da área de estudo com a Planície Costeira.

Figura 33: Mapa da distribuição do Simple Ratio na área de estudo.

Figura 34: Histograma de frequência do Simple Ratio com intervalo de 0,05.

Figura 35: Mapa de *Simple Ratio* tratado com a ferramenta *Focal Statistics*.

O ReNDVI, assim como o NDVI tem seus valores entre -1 e 1. Na figura 36 observa-se que há o predomínio da classe entre 0,4 e 0,5. No entanto, ao analisar a figura 37 percebe-se que o predomínio está restrito a um intervalo menor: entre 0,45 e 0,50, ocupando 37,7 Km² da área.

Ao analisar o mapa da figura 36, em conjunto com o mapa da figura 30 nota-se que as classes inseridas no intervalo entre 0,3 a 1 de NDVI ocorrem nas áreas com os maiores valores de ReNDVI (classes entre 0,3 e 1). Associado a isso observa-se que as classes de ReNDVI entre 0,3 a 1 têm distribuição heterogênea, mas por outro lado, estas classes ocorrem em grandes manchas sobretudo no limite da escarpa da Serra do Mar com o Planalto Atlântico, ou seja, existem áreas onde há o predomínio de maiores ou menores estresses hídricos.

A figura 38, mostra a generalização empregada para o ReNDVI, na qual é possível observar que os valores de ReNDVI são crescentes em relação à escarpa da Serra do Mar, atingindo seus picos na vegetação instalada sobre a escarpa.

NDVI, *Simple Ratio* e ReNDVI apresentam correlações relativamente altas entre si (tabela 4). Ao analisar as correlações percebe-se que o *Simple Ratio* e o NDVI (figura 39) têm uma correlação quase exponencial (correlação linear de 0,69). Essa correlação pode ser justificada por ambas utilizarem as mesmas informações espectrais para elaboração dos índices de vegetação, mas com tratamentos matemáticos diferenciados.

A correlação estabelecida entre NDVI e o índice ReNDVI atinge o valor de 0,78 (tabela 4) e é mais forte que a estabelecida entre o NDVI e *Simple Ratio*. Analisando o gráfico da figura 40 é possível perceber que para um único valor de NDVI há vários valores de ReNDVI associados. Ou seja, é possível selecionar um único valor ou intervalo e analisá-lo em função dos diversos valores de ReNDVI.

Por fim foi estabelecida a correlação entre o *Simple Ratio* e o ReNDVI (figura 41). Nesta correlação (tabela 4) que tem o valor mais baixo entre as três estabelecidas (correlação linear de 0,63) foi observado um comportamento similar tanto à correlação entre *Simple Ratio* e NDVI quanto com a correlação entre NDVI e ReNDVI. A correlação entre *Simple Ratio* e ReNDVI é exponencial como na correlação entre NDVI e ReNDVI e, ao mesmo tempo também é possível associar um valor ou intervalos de valores de ReNDVI e também analisá-lo em função dos diversos valores de *Simple Ratio*.

Figura 36: Mapa da distribuição do ReNDVI na área de estudo.

Figura 37: Histograma de frequência do ReNDVI com intervalo de 0,05.

Figura 38: Mapa de ReNDVI tratado com a ferramenta *Focal Statistics*.

Tabela 4: Coeficiente de Correlação de Pearson					
	NDVI	RENDVI	PSRI	SR	VIG
NDVI					
RENDVI	0,78				
PSRI	0,08	0,05			
SR	0,69	0,63	-0,02		
VIG	0,19	0,31	-0,67	0,27

Figura 39: Gráfico de dispersão da relação entre os valores de NDVI e *Simple Ratio* (SR).

Figura 40: Gráfico de dispersão da relação entre os valores de ReNDVI e NDVI.

Figura 41: Gráfico de dispersão da relação entre os valores de ReNDVI e *Simple Ratio* (SR).

5.1.2. VIg e PSRI

O VIg varia seus resultados entre -1 e 1 e em sua distribuição a classe compreendida entre 0,2 e 0,3 está presente em 41,5% da área de estudo (figura 42), no entanto é importante destacar que dentro deste intervalo, 41,3% (73,8 Km²) está no intervalo entre 0,25 e 0,3 (figura 43).

A distribuição dos valores de VIg não apresenta correlação com os valores de NDVI, o que pode indicar que a presença do pigmento da clorofila na vegetação é indiferente ao estágio de desenvolvimento da vegetação presente na área de estudo.

A figura 44 apresenta uma generalização da distribuição do VIg pela área de estudo, sendo possível observar que os maiores valores de VIg localizam-se no limite sul da área de estudo e em porções da escarpa e os menores valores nas áreas de planalto no contato com as escarpas da Serra do Mar.

Figura 42: Mapa da distribuição do VIg na área de estudo.

Figura 43: Histograma de frequência do VIg com intervalo de 0,05.

Figura 44: Mapa de VIg tratado com a ferramenta *Focal Statistics*.

Os resultados do PSRI variam entre -1 e 1. Ao analisar o mapa da distribuição do PSRI na área estudo (figura 45) e o histograma de frequência (figura 46), observa-se que a vegetação é jovem (baixa concentração de carotenoides que são compostos indicadores da senescência vegetal), pois seus resultados concentram-se, sobretudo na faixa entre -0,1 e 0,2, onde a vegetação contém um alto teor de clorofila (MERZLYAK *et al.*, 1999; CASTRO e AZOFEIFA, 2008; COLE *et al.*, 2014), ou em valores menores (entre -1 e -0,1). Quanto a estes últimos valores, apesar de não serem mencionados na bibliografia consultada, os mesmos foram considerados como vegetação jovem, ou seja, com alto teor de clorofila. Os valores encontrados para a senescência da vegetação estão no intervalo entre 0,2 e 1.

Ao observar-se a distribuição do PSRI, é possível afirmar que na área de estudo há a preponderância do intervalo entre -1 e 0,2 o que indica o predomínio de vegetação jovem devido ao elevado conteúdo de clorofila presente na vegetação. Por outro lado observa-se que maiores valores de PSRI localizam-se nas áreas de planalto, sobretudo no contato com as escarpas da Serra do Mar.

Os índices de vegetação VIg e PSRI apresentam uma correlação negativa (tabela 4) devido aos parâmetros que avaliam: o VIg ressalta a variação do teor de clorofila da vegetação e, quanto mais clorofila mais jovem é a vegetação. Por outro lado o PSRI avalia o teor de carotenoides e quanto maior o teor de carotenoides mais senescente é a vegetação. Analisando o gráfico da figura 47 observa-se que quanto mais se afasta dos valores centrais a força da correlação negativa entre VIg e PSRI diminui.

Figura 45: Mapa da distribuição do PRSI na área de estudo.

Figura 46: Histograma de frequência do PRSI com intervalo de 0,05.

Figura 47: Gráfico de dispersão da relação entre os valores de VIg e PSRI.

5.2. Relação entre os Índices de Vegetação e a distribuição das cicatrizes

5.2.1. NDVI

Ao analisar o gráfico de inter-relação entre o NDVI e as cicatrizes (figura 48) é possível notar dois segmentos nitidamente distintos: o primeiro entre -1 a 0,2 e outro entre 0,4 e 1. Entre eles há valores intermediários de ΔV_{cic} no segmento entre 0,2 e 0,4.

Figura 48: Gráfico com os valores de ΔV_{cic} nas classes de NDVI.

O segmento entre -1 a 0,2 é uma curva decrescente e de valores positivos que concentra a ocorrência das cicatrizes identificadas pelo NDVI. Esta curva decrescente demonstra que conforme os valores de NDVI se aproximam das classes que contém as áreas com cobertura vegetal, a concentração de cicatrizes diminui. Portanto, é possível afirmar que há uma relação direta entre o aumento da média de cicatrizes na área de estudo em relação às áreas de solo exposto. O resultado encontrado no intervalo entre -1 e -0,3 contrapõe o encontrado por Aquino e Oliveira (2012) e Nery *et al.* (2013) que classificam este intervalo como água e/ou interferências atmosféricas (nuvens, sombras, entre outros), pois ao analisar a relação entre o NDVI e as cicatrizes percebe-se que muitas das cicatrizes foram identificadas neste intervalo. Assim, pode-se dizer que os intervalos entre -0,3 e 0 e entre 0 e 0,2, e até mesmo a classe entre -1 e -0,3 são os intervalos ideais para a identificação das cicatrizes no NDVI.

O outro segmento, entre 0,4 e 1, é uma curva crescente, na qual aumenta progressivamente a média de cicatrizes na área de estudo conforme a vegetação se torna mais densa e vigorosa. Ainda que abaixo da média da ocorrência de cicatrizes na área de estudo ($V_{cic_{media}} = 4,38$) é possível afirmar que este intervalo possa indicar o ambiente de deflagração dos escorregamentos.

Ao verificar a relação espacial entre as cicatrizes e as classes que são interpretadas como vegetação arbórea (com exceção do intervalo entre 0,3 e 0,4 que está na transição com a vegetação herbácea) pode ser visualizado que as classes com os maiores valores de NDVI estão justamente no entorno das cicatrizes de escorregamento e também, das classes de NDVI que indicam solo exposto áreas de solo exposto (figura 49).

Figura 49: Mapa da distribuição do NDVI na área de estudo e sua relação com as cicatrizes. Em destaque os valores de NDVI no entorno das cicatrizes da cabeceira bacia do córrego Canivetal.

O peso da vegetação sobre a vertente, o arranjo de suas raízes, o efeito cunha das raízes das árvores devido a ação dos ventos podem desestabilizar a vertente e, por conseguinte contribuir para a ocorrência de movimentos de massa (GRAY, 1970, 1973; RICKLI e GRAF, 2009 e MICHEL *et al.*, 2012). O aumento da ocorrência dos escorregamentos no intervalo entre 0,4 e 1 pode ser decorrente destas características, observando que a Floresta Ombrófila Densa é uma floresta madura com vários estratos, dossel fechado que pode atingir de 15 a 50 metros e conter árvores emergentes com até 40 metros de altura (HUECK, 1972, VELOSO *et al.*, 1991, SIMONETTI, 2001, IF, 2007 e SMA, 2007, 2010). Contudo, a correlação positiva entre ΔV_{cic} e o NDVI, nas classes de NDVI que representam áreas com vegetação arbórea, somente pode ser compreendida sob a ótica de sua inter-relação com outros fatores do ambiente.

Os valores intermediários (entre 0,2 e 0,4) indicam a transição entre a condição de concentração de cicatrizes e a condição que pode indicar o ambiente propício para a deflagração dos escorregamentos. Ao analisar as classes entre 0,2 e 0,3 e entre 0,3 e 0,4 observa-se uma relativa estabilidade da variação da distribuição das cicatrizes, tendo em vista que a presença de vegetação herbácea foi atribuída ao intervalo entre 0,2 e 0,3 no NDVI.

5.2.2. *Simple Ratio*

Por ser similar ao NDVI, os resultados obtidos para o *Simple Ratio* (figura 50) são muito parecidos. Da mesma forma que o gráfico da relação entre NDVI e variação média da distribuição das cicatrizes (figura 48) são identificados dois segmentos que orientam a análise dos resultados.

O primeiro segmento corresponde ao intervalo entre 0 e 2 e engloba as classes de solo exposto (entre 0 e 1) e vegetação herbácea e/ou pouco desenvolvida (entre 1 e 2). Neste segmento decrescente está concentrada a maior concentração de ΔV_{cic} , que segue com seu valor diminuindo até atingir o intervalo no qual situa-se a vegetação arbórea.

Por outro lado, o outro segmento é crescente e varia no intervalo entre 2 e 5. Neste intervalo concentra-se a vegetação arbórea e há um aumento da ΔV_{cic} com o aumento do *Simple Ratio*. Este aumento de ΔV_{cic} como no caso do NDVI pode estar associado a condições propícias à deflagração de escorregamentos, que estão refletidas nos maiores índices de *Simple Ratio*.

Além destes dois segmentos há o último trecho (entre 5 e 38,2) do gráfico no qual se observa uma grande variação dos resultados de ΔV_{cic} . Esta variação pode estar associada à ausência de um espaço amostral significativo de valores para avaliar a distribuição das cicatrizes na área de estudo. Ao analisar o gráfico da figura 34 percebe-se que o intervalo entre 5 e 38,2 ocupa menos de 5% da área de estudo.

Figura 50: Gráfico com os valores de ΔV_{cic} nas classes de *Simple Ratio* (SR).

5.2.3. ReNDVI

As maiores variações positivas de ΔV_{cic} (entre 31% e 62%) em relação ao ReNDVI concentram-se no intervalo entre -1 e 0,3 (figura 51). Numa sobreposição com as classes de NDVI, percebe-se que este intervalo corresponde às superfícies classificadas como solo exposto e vegetação herbácea. Portanto, estes valores não indicam necessariamente uma relação entre o estresse hídrico (ReNDVI) e a ocorrência de cicatrizes.

O intervalo entre 0,4 e 0,6 contém os menores valores de ΔV_{cic} . Estes valores estão associados a áreas onde há vegetação densa e vigorosa e que predominam na paisagem da Serra do Mar em Caraguatatuba.

Figura 51: Gráfico com os valores de ΔV_{cic} nas classes de ReNDVI.

Outra classe que ocupa uma porção significativa da área de estudo é o intervalo entre 0,3 e 0,4. Ao sobrepor este intervalo ao NDVI percebe-se sua relação com os valores de NDVI que estariam na transição entre as áreas de solo exposto e vegetação herbácea e as classes de vegetação arbórea. Consequentemente, a interpretação para o valor intermediário de ΔV_{cic} nesta classe é similar à descrita para o NDVI: situa-se entre as áreas interpretadas como atingidas pelo processo de escorregamento e a vegetação não impactada pelo evento de 1967.

O último intervalo do gráfico (entre 0,6 e 1), cujos valores indicam um baixo grau de estresse hídrico, apresenta um aumento do ΔV_{cic} em relação aos intervalos imediatamente anteriores, característica essa que pode ser analisada sob dois pontos de vista. O primeiro é de que existe uma correlação entre os maiores valores de ReNDVI e os maiores valores de NDVI, de modo que, tal como foi conjecturado anteriormente, a vegetação mais desenvolvida apresenta características físicas (peso, efeito alavanca, efeito cunha, entre outros) que podem contribuir para a deflagração dos escorregamentos (GRAY, 1970, 1973; RICKLI e GRAF, 2009 e MICHEL *et al.*, 2012).

Sob o segundo ponto de vista, ao interpretar e analisar o resultado obtido por meio do ReNDVI no intervalo entre 0,6 e 1, é possível relacionar a proposição do menor estresse hídrico nesses locais com o seu consequente potencial para acumular

água. Tendo como pressuposto a importância da saturação do solo para a geração de poros-pressões positivas no solo e para a diminuição da sua coesão, pode-se supor que essas áreas com maior potencial para acúmulo de água são também as áreas onde ocorre a concentração das águas pluviais e, portanto, são mais suscetíveis aos escorregamentos. Para corroborar essa hipótese é importante analisar sua relação, por exemplo, com as condições de relevo que induzem o acúmulo de água (curvatura em planta e orientação de vertentes).

5.2.4. VIg

Ao analisar a figura 52, observa-se que há uma pequena variação de ΔV_{cic} nas menores classes de VIg (entre -1 a 0,4). Neste intervalo, os menores valores de VIg tem menor ocorrência de cicatrizes. Por outro lado as mais significativas variações estão na curva crescente, a partir da classe entre 0,3 e 0,4, significando que os maiores valores de VIg tem maior relação com as cicatrizes.

Porém, de um modo geral observa-se que a correlação entre a distribuição das cicatrizes e o índice de vegetação VIg é menor do que a verificada entre as cicatrizes, o NDVI, o *Simple Ratio* e o ReNDVI.

Figura 52: Gráfico com os valores de ΔV_{cic} nas classes de VIg.

5.2.5. PSRI

A leitura da figura 53 permite afirmar que os maiores valores de ΔV_{cic} estão ao longo da curva decrescente estabelecida entre no intervalo entre -1 a -0,3. Este intervalo contém os maiores teores de clorofila, pigmento presente em grande concentração na vegetação em seu estágio jovem. A curva continua decrescente entre -0,3 e -0,1, no entanto, o ΔV_{cic} neste trecho demonstra que a presença de cicatrizes é menor do que a média geral encontrada para a área de estudo ($V_{cic} = 4,38$). Já no intervalo entre -0,1 e 1 a curva torna-se crescente. Conforme aumenta o valor de ΔV_{cic} aumenta também o valor de PSRI.

Porém, de um modo geral observa-se que a correlação entre a distribuição das cicatrizes e o índice de vegetação PSRI, como no caso do VIg, é menor do que a verificada entre as cicatrizes, o NDVI, o *Simple Ratio* e o ReNDVI.

Figura 53: Gráfico com os valores de ΔV_{cic} nas classes de PSRI.

As maiores variações da curva de V_{cic} tanto de VIg (classes do intervalo entre 0,3 a 1) quanto de PSRI (entre -1 a -0,2) podem estar associadas a ocorrência dos escorregamentos e 1967. Esta suposição baseia-se na ocorrência de solo exposto, pois seria de se esperar no caso do VIg que os menores valores concentrassem a ocorrência de cicatrizes. Por outro lado, era esperado que as classes com maiores valores do PSRI

reunissem o maior número de cicatrizes, pois os maiores valores do índice de vegetação apontam a senescência da vegetação e, por conseguinte uma tendência de morte da vegetação. Este fato predispõe a área à instalação de processos erosivos, que podem ser agravados com o aumento das precipitações (chuva, neve) resultando em maior infiltração de água no solo devido aos vazios deixados pelas raízes das plantas, que por fim tornam a vertente mais suscetível a escorregamentos rasos (PRETI, 2013).

5.3. Relação entre os Índices de Vegetação e os parâmetros topográficos

5.3.1. Parâmetros topográficos

As figuras entre 54 e 61 apresentam os mapas com a distribuição das cicatrizes segundo os parâmetros topográficos, além dos valores de $V_{cic\ ct}$ que demonstram a influência da topografia nos escorregamentos e que também subsidiaram o cálculo do $V_{cic\ esperado}$ dos índices de vegetação.

No mapa hipsométrico (figura 54) e no gráfico de distribuição do $V_{cic\ ct}$ (figura 55) observa-se que a classe hipsométrica entre 300 metros e 500 metros (escarpa e topos altos) juntamente com a classe entre 150 e 300 metros (baixa vertente e topos baixos) apresenta o maior $V_{cic\ ct}$, a primeira classe com 6,95% e a segunda com 5,45%. Já as altitudes superiores a 800 metros, que correspondem aos planaltos, contêm a menor concentração de cicatrizes. Resultados similares foram encontrados no trabalho de Lopes (2006) que ao analisar a distribuição das cicatrizes em duas datas (1985 e 1994) na Serra do Mar na região de Cubatão (SP) verificou que a maior concentração de cicatrizes está distribuída nas classes entre 300 e 750 metros. No trabalho desenvolvido por Vieira (2007) na mesma região que Lopes (2006), a concentração de cicatrizes estava no intervalo entre 400 e 800 metros, o que para a autora justifica-se pela concentração das chuvas de efeito orográfico no terço médio da escarpa da Serra do Mar e também pela diminuição da declividade neste setor.

Quanto à declividade (figuras 56 e 57), a classe acima de 30° contém a maior concentração de cicatrizes, sendo importante ressaltar que o aumento do $V_{cic\ ct}$ tem uma correlação linear com a declividade, ou seja, quanto maior a declividade, maior valor de $V_{cic\ ct}$. Este mesmo resultado foi encontrado nos trabalhos de Fernandes *et al.* (2001), Lopes (2006), Vieira (2007), Nery (2011) e Ramos (2012), com exceção das classes acima de 50 graus nas quais os autores encontraram uma diminuição da

ocorrência de cicatrizes. É também interessante notar que a diferença entre o maior e o menor valor de $V_{cic\ ct}$ deste trabalho (aproximadamente 4 vezes para a declividade) assemelha-se às diferenças encontradas nos trabalhos acima citados.

O terceiro parâmetro topográfico avaliado por meio do $V_{cic\ ct}$ é a curvatura em planta (figuras 58 e 59). Analisando a figura 59 observa-se que o maior $V_{cic\ ct}$ está na curvatura côncava (concentração de cicatrizes de 5,29%). No entanto o segundo maior valor está na curvatura convexa (concentração de cicatrizes de 5,15%). Nos trabalhos de Vieira (2007), Nery (2011) e Ramos (2012) a curvatura convexa contém a maior parte das cicatrizes. Para justificar este comportamento Vieira (2007) argumenta que as formas côncavas concentram-se, nos fundos dos vales dos rios e as formas convexas e retilíneas ocupam a maior parte das vertentes da Serra do Mar. Os resultados de Nery (2011) complementam a análise de Vieira (2007) ao afirmar que a maioria das áreas côncavas situa-se nos vales e baixa vertente. Estas áreas por serem locais de concentração de fluxos também acumulam materiais oriundos de processos superficiais pretéritos contribuindo para a constituição de depósitos de colúvio que modificam a geometria da vertente.

Nas classes de orientação de vertentes, os maiores valores de $V_{cic\ ct}$ estão nas classes S (sul) e E (leste) (figuras 60 e 61). Por outro lado, estes valores não são significativamente diferentes dos menores (variação de 3,81 a 5,04%), demonstrando uma fraca influência da orientação de vertentes na distribuição dos escorregamentos na área de estudo. Para esse parâmetro, Vieira (2007) e Nery (2007) encontraram a maior concentração de cicatrizes na classe NW (noroeste) e o segundo maior valor na classe N (norte). Outro trabalho que analisou a distribuição da concentração de cicatrizes pelos intervalos de orientação de vertentes é o de Ramos (2012), onde o autor identificou seus maiores valores na classe NW (noroeste) e NE (nordeste).

Figura 54: Mapa hipsométrico da área de estudo com as cicatrizes.

Figura 55: Gráfico da razão da área afetada por cicatrizes em cada classe hipsométrica (%).

Figura 56: Mapa de declividade da área de estudo com as cicatrizes.

Figura 57: Gráfico da razão da área afetada por cicatrizes em cada classe declividade (%).

Figura 58: Mapa de curvatura em planta da área de estudo com as cicatrizes.

Figura 59: Gráfico da razão da área afetada por cicatrizes em cada classe curvatura em planta (%).

Figura 60: Mapa de orientação de vertentes da área de estudo com as cicatrizes.

Figura 61: Gráfico da razão da área afetada por cicatrizes em cada classe de orientação de vertentes (%).

5.3.2. NDVI, *Simple Ratio* e ReNDVI

De um modo geral, os valores de $V_{cic\ esperado}$ para todas as relações entre os parâmetros topográficos e os índices de vegetação NDVI, *Simple Ratio* e ReNDVI não apresentam variações significativas em relação a média de V_{cic} (figuras entre 62 e 64). A partir desta constatação é possível afirmar que os parâmetros topográficos analisados, individualmente, não tem influência expressiva nos resultados de V_{cic} destes três índices de vegetação.

Para os três índices, observou-se que a curvatura e a orientação de vertentes são os parâmetros topográficos que menos fazem variar o $V_{cic\ esperado}$. Isso se deve tanto por sua menor influência na distribuição das cicatrizes na área de estudo em comparação à declividade e à hipsometria como pelo fato dos intervalos definidos para os índices de vegetação não apresentarem diferenças quanto a ocorrência de uma ou outra classe de orientação de vertentes e de curvatura. Especificamente no caso da curvatura, as pequenas variações das classes de NDVI entre -1 e 0,3 e entre 0,6 e 1 são explicadas por estas terem proporcionalmente mais áreas nas curvaturas côncavas e convexas comparativamente as demais classes. Tal análise também é válida para o ReNDVI em que as duas classes com maiores valores de $V_{cic\ esperado}$ apresentam especificidades: a classe de -1 a 0 tem mais curvaturas convexas e a classe de 0,6 a 1 tem mais curvaturas côncavas.

É interessante notar que a forma da curva dos valores de $V_{cic\ esperado}$ da hipsometria e da declividade exibe um contorno similar ao do V_{cic} dos índices de vegetação, porém a forma das curvas é muito mais achatada. Pode-se estender essa interpretação para o $V_{cic\ esperado}$ da curvatura em relação ao ReNDVI.

Como já foi afirmado, embora essas relações não sejam tão proeminentes, a verificação dessa correlação entre os traçados das curvas não exclui a influência, principalmente das classes de hipsometria e declividade, nos valores de V_{cic} destes três índices de vegetação. É notável que as classes dos índices de vegetação que indicam solo exposto estão mais correlacionadas com as altitudes entre 300 e 500 metros (escarpa) e com as declividades acima de 23° e estão menos correlacionadas às altitudes acima de 800 metros (planalto) e às declividades menores que 15°. Esta tendência é fruto da própria interpretação e verificação já realizada de que boa parte das áreas de solo exposto identificadas pelos índices de vegetação representam as cicatrizes ocorridas no evento de 1967 no município de Caraguatatuba, ou seja, já esperava-se que

esses intervalos estivessem associados as porções mais íngremes da escarpa da Serra do Mar.

Por outro lado, o maior interesse está naqueles intervalos interpretados no item 5.2 (Relação entre os Índices de Vegetação e a distribuição das cicatrizes) como representativos do ambiente de deflagração dos escorregamentos, isto é, aqueles que supostamente estariam presentes antes da ocorrência do evento de 1967. Como já visto observou-se que tanto os valores de NDVI como de ReNDVI tiveram um aumento sensível de V_{cic} nas três últimas classes de cada um destes índices, todas elas interpretadas como vegetação arbórea, cujas as variações nos respectivos índices indicam tão somente o aumento do vigor e da densidade da vegetação (no caso do NDVI) ou a diminuição do estresse hídrico (no caso do ReNDVI).

Observou-se que o traçado dos valores de V_{cic} esperado para as três classes em questão não correspondem, nem mesmo se a curva fosse alongada, às curvas crescentes de V_{cic} . Em pequeno grau percebe-se que a última classe de NDVI (entre 0,6 e 1) e que a última classe de ReNDVI (entre 0,6 e 1) contêm maiores declividades e mais curvaturas côncavas do que as duas classes imediatamente inferiores (entre 0,5 e 0,6 e entre 0,4 e 0,5) de ambos os índices. Contudo, trata-se de uma particularidade que não seria suficiente para justificar uma variação do V_{cic} de 3,42% para 4,40% no NDVI e de 3,71% para 4,67% no ReNDVI. Portanto pode-se dizer que os maiores valores de V_{cic} não estão associados aos parâmetros topográficos considerados.

Visto a relativa independência da variação do V_{cic} em relação aos parâmetros topográficos, pode-se conjecturar que a maior densidade e vigor da vegetação (NDVI e *Simple Ratio*) e o menor estresse hídrico (ReNDVI) refletem fatores controladores dos escorregamentos diferentes dos que foram analisados (hipsometria, declividade, curvatura em planta e orientação de vertentes), como características do solo, do microclima ou da própria vegetação. Por esta razão, o entendimento da relação entre vegetação e geomorfologia requer estudos bidirecionais e a consideração de fatores intrínsecos a vegetação na elaboração de trabalhos futuros (FLORINSKY e KURYAKOVA, 1996; SIMONETTI, 2001; KUBOTA *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2008; MARSTON, 2010 e BISPO *et al.*, 2012). No tocante a relação entre vegetação e escorregamentos se faz necessária a compreensão minuciosa da interação entre a vegetação e a variabilidade dos tipos de solo, do quanto o peso de uma cobertura vegetal influi na estabilidade de uma vertente, de como se dá o balanço hídrico do solo em função de algum tipo de cobertura vegetal em relação aos variados parâmetros

topográficos existentes. Estes são alguns exemplos de relações não abordadas neste trabalho que podem colaborar para o entendimento da influência da vegetação nos escorregamentos.

Figura 62: Gráficos de comparação entre o V_{cic} do NDVI (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do índice de vegetação) e o V_{cic} esperado (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do NDVI, calculada em função da proporção das classes dos parâmetros topográficos).

Figura 63: Gráficos de comparação entre o V_{cic} do *Simple Ratio* (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do índice de vegetação) e o $V_{cic} esperado$ (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do *Simple Ratio*, calculada em função da proporção das classes dos parâmetros topográficos).

Figura 64: Gráficos de comparação entre o V_{cic} do ReNDVI (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do índice de vegetação) e o V_{cic} esperado (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do ReNDVI, calculada em função da proporção das classes dos parâmetros topográficos).

5.3.3. VIg e PSRI

As curvas de V_{cic} de VIg e PSRI (figuras 65 e 66) são menos proeminentes que as dos demais índices, isto é, têm uma menor influência na concentração de cicatrizes. Devido a isso, os traçados das curvas de $V_{cic\ esperado}$ são visíveis em comparação àqueles.

Sobre o VIg verificou-se que o traçado do $V_{cic\ esperado}$ para a hipsometria e para a declividade tem muitas coincidências com as variações de V_{cic} (figura 65). Em uma análise mais detalhada nota-se que os maiores valores de V_{cic} do VIg (classes entre 0,5 e 0,6 e entre 0,6 e 1) estão associados as maiores altitudes (acima de 300 metros) e com menos intensidade às maiores declividades (acima de 23°), enquanto que os menores valores (intervalos entre 0,2 e 0,3 e entre 0,3 e 0,4) atrelam-se às altitudes abaixo dos 300 metros e às declividades menores que 15° .

No que tange a curvatura observou-se que os menores valores de V_{cic} para o VIg tem uma tendência a ocorrer nas formas retilíneas enquanto que os maiores valores predominam nas áreas côncavas. Contudo, as maiores variações entre V_{cic} e os parâmetros topográficos ocorrem na orientação de vertentes, onde os maiores valores de V_{cic} para o VIg (classes entre 0,5 e 0,6 e entre 0,6 e 1) preponderam nas faces SE, S, SW e W, em sua maioria faces frias. Por outro lado, os menores valores de V_{cic} (intervalos entre 0,2 e 0,3 e entre 0,3 e 0,4) concentram-se nas vertentes voltadas para N, NE, L e NW (faces quentes).

Apesar desta relativa alta-correlação entre a curvatura em planta, a orientação de vertentes e as classes de VIg, não surpreende que as curvas de $V_{cic\ esperado}$ para estes dois parâmetros sejam tão mais achatadas do que para o gráfico de $V_{cic\ esperado}$ da hipsometria e da declividade, pois a curvatura em planta e a orientação de vertentes não contêm grandes variações no $V_{cic\ ct}$ (entre 3,57 e 5,29 para curvatura e entre 3,81 e 5,04 para a orientação de vertentes).

Diferentemente do VIg, o PSRI não apresenta tão alta coincidência entre as curvas de V_{cic} e $V_{cic\ esperado}$ (figura 66). Quando comparamos as classes com maior V_{cic} (entre -1 e -0,5 e entre -0,5 e -0,4) e as classes com menor V_{cic} (entre -0,3 a -0,2 e entre -0,2 e -0,1) não percebe-se a influência dos parâmetros topográficos analisados nestes extremos de V_{cic} do PSRI, atestando certa independência entre os extremos de V_{cic} e a topografia.

Por outro lado, considerando a suposição descrita anteriormente de que a porção da curva entre a classe de -1 a -0,5 e entre -0,3 e -0,2 estaria associada aos escorregamentos já ocorridos enquanto que as três classes de maior PSRI (entre -0,2 e -0,1; entre -0,1 e 0,2; entre 0,2 e 1) denotam o ambiente de deflagração representado neste índice pelo aumento da senescência da vegetação, existem tendências outras que não àquelas descritas para as demais classes.

Para estas três classes de PSRI há uma correspondência perceptível entre os maiores valores de V_{cic} e os maiores valores de $V_{cic\ esperado}$ para todos os parâmetros topográficos analisados, principalmente declividade e hipsometria. Verificado isto, fica visível a influência da topografia nas maiores ocorrências de cicatrizes na classe de PSRI de vegetação mais senescente (entre 0,2 e 1), enfraquecendo, de certa forma, a hipótese sobre as características da vegetação senescente contribuírem para a ocorrência dos escorregamentos de 1967 no município de Caraguatatuba.

Diante do exposto, nota-se que tanto o VIg quanto o PSRI apresentam uma relação com a topografia, diferentemente dos demais índices de vegetação estudados.

Figura 65: Gráficos de comparação entre o V_{cic} do VIG (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do índice de vegetação) e o V_{cic} esperado (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do VIG, calculada em função da proporção das classes dos parâmetros topográficos).

Figura 66: Gráficos de comparação entre o V_{cic} do PSRI (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do índice de vegetação) e o V_{cic} esperado (razão de área afetada por cicatrizes em cada classe do PSRI, calculada em função da proporção das classes dos parâmetros topográficos).

6. Conclusões

A utilização de índices de vegetação mostrou-se útil para investigar os escorregamentos ocorridos em 1967 no município de Caraguatatuba, apesar da baixa resolução da imagem utilizada na pesquisa.

Estudos na interface vegetação e geomorfologia apontam a interdependência entre estes elementos na estruturação da paisagem (HACK e GOODELLET, 1960; FLORINSKY e KURYAKOVA, 1996; WONDZELL *et al.*, 1996; SIMONETTI, 2001; KUBOTA *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2008; MARSTON, 2010 e BISPO *et al.*, 2012). A pouca relação estabelecida entre os valores de NDVI, *Simple Ratio* e ReNDVI no segmento das respectivas curvas de V_{cic} considerado como ambiente deflagrador dos escorregamentos, pode significar que os índices apenas identificaram as áreas onde houve os escorregamentos de 1967, no entanto, podem aludir que a maior densidade de vegetação visualizada pelo NDVI e, o menor estresse hídrico indicado pelo ReNDVI, podem ter refletido fatores controladores dos escorregamentos que podem ou não estar associados às características da vegetação.

Esta hipótese pode ser corroborada ou refutada por estudos futuros ao analisar eventos onde há disponibilidade de imagens de satélites anteriores e posteriores aos escorregamentos aplicando as mesmas análises desenvolvidas neste trabalho. Este novo instrumental pode subsidiar e aprofundar as análises para além da interpretação do relevo por modelos digitais de terreno para estudos de suscetibilidade a escorregamentos contribuindo para aumentar a acurácia dos resultados.

Os resultados do ΔV_{cic} no intervalo entre 0,4 e 1 do NDVI demonstram que a medida que a vegetação se torna mais densa e vigorosa há o aumento da média de cicatrizes na área de estudo, além do que este intervalo de NDVI está justamente no entorno das cicatrizes de escorregamento e também, das classes de NDVI que indicam áreas de solo exposto. Assim é possível afirmar que esta conformação pode indicar que este foi o ambiente de deflagração dos escorregamentos em 1967.

A consideração de que a vegetação densa e vigorosa é um ambiente de deflagração dos escorregamentos perpassa pelo entendimento de que o peso da vegetação sobre a vertente, o arranjo de suas raízes, o efeito cunha das raízes das árvores devido à ação dos ventos podem desestabilizar a vertente e, por conseguinte contribuir para a ocorrência de movimentos de massa (GRAY, 1970, 1973; RICKLI e

GRAF, 2009 e MICHEL *et al.*, 2012). Contudo, a correlação positiva entre ΔV_{cic} e o NDVI, nas classes de NDVI que representam áreas com vegetação arbórea, somente pode ser compreendida sob a ótica de sua inter-relação com outros fatores do ambiente.

Para o ReNDVI, o aumento do ΔV_{cic} no intervalo entre 0,6 e 1 permitiu estabelecer uma consideração interessante. A este intervalo que apresenta baixo estresse hídrico é possível afirmar que esses locais têm potencial para acumular água. Tendo como pressuposto a importância da saturação do solo para a geração de poros-pressões positivas no solo e para a diminuição da sua coesão, pode-se supor que as áreas com maior potencial para acúmulo de água são também as áreas onde ocorre a concentração das águas pluviais e, portanto, são mais suscetíveis aos escorregamentos. No entanto, ao analisar o V_{cic} do ReNDVI em relação $V_{cic\ esperado}$ tanto para a orientação de vertentes quanto para a curvatura em planta percebeu-se que estes parâmetros topográficos pouco influenciaram na distribuição das cicatrizes na área de estudo, sendo que uma das razões discutidas considera o fato dos intervalos definidos para os índices de vegetação não apresentarem diferenças quanto a ocorrência de uma ou outra classe de orientação de vertentes e de curvatura.

O Vig e o PSRI apresentaram uma relação com a topografia, diferentemente dos demais índices de vegetação estudados. Esta relação se deve no caso do PSRI ao aumento simultâneo entre os valores de V_{cic} e os valores de $V_{cic\ esperado}$ para todos os parâmetros topográficos analisados, sobretudo hipsometria e declividade. Assim, é possível visualizar a influência da topografia no aumento da ocorrência de cicatrizes na classe de vegetação mais senescente do PSRI (entre 0,2 e 1), no entanto esta assertiva enfraqueceu a hipótese de que por ser uma vegetação mais velha estas áreas foram mais afetadas pelos escorregamentos.

7. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. Em: IGEOG: Série Teses e Monografias. n°14. São Paulo – IG/USP.110 páginas. 1974.

AQUINO, C. M. S; OLIVEIRA, J.G.B. Estudo da dinâmica do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) no Núcleo de São Raimundo Notato-PI. Em: **Geosp – Espaço e Tempo**. n° 31. pp. 157-168. 2012.

AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de risco de escorregamento: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP**. São Paulo, 1994. 172 páginas. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

BAUMANN, P. R. **Tropical wet realms of Central Africa, Part II**. Geo/SAT 2. 2009.

BEEK, J.V; TITS, L; SOMERS, B; COPPIN, P. Stem Water Potential Monitoring in Pear Orchards through WorldView-2 Multispectral Imagery. Em: **Remote Sensing**. vol. 5. n° 12. pp. 6647-6666. 2013.

BEZERRA, J. M; VASCONCELOS, R.S; MOURA, G.B.A; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Spectral indices of vegetation to caatinga of the semi-arid of Rio Grande of Norte, Brazil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**. vol. 2. n° 2. 2012.

BISHOP, A.W.; STEVENS, M.E. **Landslide on logged areas in southeast Alaska**. United States Department of Agriculture, Forest Service, Northern Forest Experiment Station, Juneau, AK, Research Paper NOR-1, 18 páginas. 1964.

BISPO, P. C.; VALERIANO, M. M.; SANTOS, J. R.. Effects of the geomorphometric characteristics of the local terrain on floristic composition in the central Brazilian Amazon. Em: **Austral Ecology**. vol. 37. no. 4. pp. 491-499. 2012.

BISPO, P. C.; VALERIANO, M. M.; KUPLICH, T. M. Relação entre as variáveis morfométricas extraídas de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e a vegetação do Parque Nacional de Brasília. Em: **Acta Botanica Brasilica**. vol. 24 no.1. pp. 96-103. 2010.

BROWN, C. B.; SHEU, M.S. Effects of deforestation on slopes. Em: **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, ASCE. n° 101. pp. 147-165.1975.

BROWN, J.H.; MAQUARD, R.D. Site index of yellow-poplar in relation to soils and topography in the Allegheny Plateau of Ohio. Em: **Northern Journal of Applied Forestry**. vol. 5. n. 1. pp. 34-35. 1988.

BURNETT, M.R.; AUGUST, P.V.; BROWN JR, J. H.; KILLINGBECK, K.T. The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity. I. Patch-scale perspective. Em: **Conservation Biology**. vol. 12. n. 2. pp. 363-370. 1998.

CABELLO, J. (et. al). The role of vegetation and lithology in the spatial and inter-annual response of EVI to climate in drylands of Southeastern Spain. Em: **Journal of Arid Environments**. n° 79. pp. 76-83. 2012.

CASTRO, K. L; AZOFEIFA, G.A.S. Changes in Spectral Properties, Chlorophyll Content and Internal Mesophyll Structure of Senescing *Populus balsamifera* and *Populus tremuloides* Leaves. Em: **Sensors**. vol. 8. n° 1. pp. 51-69. 2008.

CASTRO JR., E. **O papel da fauna endopodônica na estruturação física do solo e implicações sobre a hidrologia de superfície nas encostas montanhosas da Floresta da Tijuca**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFRJ. 1991.

COELHO NETTO, A. L. A interface florestal-urbana e os desastres naturais relacionados à água no Maciço da Tijuca: desafios ao planejamento urbano numa perspectiva socioambiental. Em: **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo: Departamento de Geografia/USP. 2005. vol. 16. pp. 46-60.

COHEN, W.B. Response of vegetation indices to changes in three measures of leaf water stress. Em: **Photogrametric Engineering & Remote Sensing**. vol. 57. n°2. pp. 195-202. 1991.

COLE, B; MCMORROW, M. E. Spectral monitoring of moorland plant phenology to identify a temporal window for hyperspectral remote sensing of peatland. Em: **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. vol. 90. pp. 49-58. 2014.

CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). Projeto Folhas Natividade da Serra e Caraguatatuba. Relatório Final. 2 volumes. 110p. 1982.

CRUZ, O. Contribuição geomorfológica ao estudo de escarpas da Serra do Mar. Em: **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo. vol. 8-10, 11. n° 1. pp. 9-20. 1990.

_____. **A Serra do Mar e o litoral na área de Caraguatatuba: contribuição à geomorfologia tropical litorânea**. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas/USP. 1974.

CRUZ, O; PLOEY, J. Landslides in the Serra do Mar. Em: **Catena**. vol. 6. pp. 111-122. 1979.

CUSATIS, A. C. **Diagnósticos de Taludes Rodoviários Revegetados Naturalmente na Região de Viçosa, MG**. Dissertação de Mestrado. UFV. 2001.

FALKENBERG, D. B. e VOLTOLINI, J. C. The montane cloud forest in the Southern Brazil. Em: Hamilton, L. S.; Jovir, O. J.; e Scatena, F. N. (eds.). **Tropical Montane Cloud Forest Symposium, Puerto Rico, Proceedings**. vol. 110: 86 – 93. 1993.

FERNANDES, A. **Fitogeografia do Brasil: Províncias Florísticas**. 2ª parte. 3ª edição. Fortaleza: Realce Editora. 202 páginas. 2006.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. M. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: teoria, evidências de campo e aplicação de modelo de

previsão de áreas susceptíveis. Em: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 2. n°. 1, p. 51-71, 2001.

FERREIRA, F. S. **Análise da influência das propriedades físicas do solo na deflagração dos escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP)**. Dissertação de Mestrado. 112 páginas. 2013.

FERREIRA, L.G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. Em: **Acta Scientiarum Biological Sciences**. vol. 30 n° 4. pp. 379-390. 2008.

FIORI, A.P; BORCHARDT, N. Influência da vegetação na estabilidade de taludes naturais. Em: **Boletim Paranaense de Geociências**, n° 45, 43-58, 1997.

FLORISKY, I. V.; KURYAKOVA, G. A. Influence of topography on some vegetation cover properties. Em: **Catena**. vol. 27. n° 2. p. 123-141.1996.

FRANCISCO, P.R.M; CHAVES, I.B; LIMA, E.R.V; BANDEIRA, M.M; SILVA, B.B. Mapeamento da Caatinga com Uso de Geotecnologia e Análise da Umidade Antecedente em Bacia Hidrográfica. Em: **Revista Brasileira de Geografia Física**. vol. 5. n° 3 pp. 676-693. 2012.

FÚLFARO, V.J.; PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; STEIN, D.P. **Escorregamentos de Caraguatatuba: expressão atual, e registro na coluna sedimentar da planície costeira adjacente**. Em: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1°. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. vol. 2. pp. 341-346 (+ anexos). 1976.

FUSSEL, J.; RUNDQUIST, D; HARRINGTON JR, J. A. On Defining Remote Sensing. Em: **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. vol. 52. n. 9. pp. 1507-1511. September, 1986.

GATES, D. M. KEEGAN, H. J.; SCHLETER, J. C.; WEIDNER, V. R. Spectral Properties of Plants. Em: **Applied Optics**. vol. 4. n° 1. pp.11-20. 1965.

GENET, M.; STROKES, A. FOURCAUD; NORRIS, J.E. The influence of plant diversity on slope stability in a moist evergreen deciduous forest. Em: **Ecological Engineering**. n° 36. pp. 265-275. 2010.

GITELSON, A.A; KAUFMAN, Y. J; STARK, R; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. Em: **Remote Sensing of Environment**. vol. 80. pp. 76– 87. 2002.

GITELSON, A. A.; MERZLYAK, M. N.; LICHTENTHALER, H.K. Detection of Red Edge Position and Chlorophyll Content by Reflectance Measurements Near 700 nm. Em: **Journal of Plant Physiology**. vol. 148. pp. 501-508. 1996.

GOMES, M.C.V. **Análise da influência da condutividade hidráulica saturada dos solos nos escorregamentos rasos na bacia do rio Guaxinduba (SP)**. Dissertação de Mestrado. FFLCH/USP. 138p. 2012.

GONÇALVES, C.S; MONTE, I.G.; CÂMARA, N.L. *Clima*. Em: CALDEIRON, S.S. (Coord.) **Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE. pp. 95-100. 1993.

GONSAMO, A.; PELIKKA, P. The sensitivity based estimation of leaf area index from spectral vegetation indices. Em: **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. n° 70. pp. 15-25. 2012.

GOODALL, D. W. A Probabilistic Similarity Index. Em: **Nature**. vol. 203. p. 1098. 1964.

_____. A new similarity index based on probability. Em: **Biometrics**. vol. 22. pp. 883-907. 1966.

GRAY, D. H. Effects of forest clear-cutting on the stability of natural slopes. Em: **Bull. of the Assoc. of Engrg. Geologists**. Vol. VII. Nos.1 and 2. pp. 45-66. 1970.

_____. **Effects of forest clear-cutting on the stability of natural slopes: results of field studies.** Washington D.C.: University of Michigan. 1973.

GRAY, G.L.; LEISER, A.J. Role of vegetation in stability and protection of slopes. Em **Biotechnical slope protection and erosion control.** New York. Van Nostrand Reinhold Company, pp. 37-65, 1982.

GREENWAY, D.R. Vegetation and slope stability. Em: ANDERSON, M.G.; RICHARDS, K.S (eds.) **Slope Stability.** Wiley. 187–230. 1987.

GRIFFITH, A.B.; ALPERT, H; LOIK, M.E. Predicting shrub ecophysiology in the Great Basin Desert using spectral indices. Em: **Journal of Arid Environments.** n° 74. pp. 315–326. 2010.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação.** São Paulo: Editora Blücher. 196 páginas. 1983.

HACK, J. T.; GOODLETT, J. C. **Geomorphology and Forest Ecology of a Mountain Region in the Central Appalachians.** Professional paper. no. 347. Washington, DC: U.S. Geological Survey. 1960.

HANNAH, P. R. Estimating site index for White and Black oaks in Indiana from soil and topography factors. Em: **Journal of Forestry.** vol. 66. pp. 412-417. 1968.

HATFIELD, J.L; PRUEGER, J.H. Value of Using Different Vegetative Indices to Quantify Agricultural Crop Characteristics at Different Growth Stages under Varying Management Practices. Em: **Remote Sensing.** vol. 2. n°2. pp. 562-578. 2010.

HEINRICH, W. **Vegetação e zonas climáticas: tratado de ecologia global.** Editora Pedagógica e Universitária. 326 páginas. 1986.

HUECK, K. **As florestas da América do Sul.** São Paulo: Polígono; Ed. Universidade de Brasília. 466 páginas. 1972.

HUETE, A.; JUSTICE, C.; LEEUWEN, W. MODIS vegetation index (MOD13) algorithm theoretical basis document. **Technical Report NASA**. 1999.

IF (Instituto Florestal). **Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo**: Regiões Administrativas de São José dos Campos (Litoral), Baixada Santista e Registro. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo. 140 páginas. 2007.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. 2 volumes. 1981a.

_____. Mapa geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. 2 volumes. 1981b.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese. 2009. Tradução: José Carlos Neves Epiphany (coordenador).

_____. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. Prentice Hall (series in geographic information science). 3rd edition. 2005.

JI, J.; KOKUTSE, N.; GENET, M.; FOURCAUD, T.; ZHANG, Z. Effect of spatial variation of tree root characteristics on slope stability. A case study on Black Locust (*Robinia pseudoacacia*) and Arborvitae (*Platycladus orientalis*) stands on the Loess Plateau, China. Em: **Catena**. n° 92. pp. 139-154. 2012.

JOLY, A.B. **Botânica: introdução à taxonomia vegetal**. Editora Nacional. 777 páginas. 1991.

KLEIN, R. M. Southern brazilian phytogeographic features and the probable influence of upper quaternary climatic changes in the floristic distribution. Em: **Boletim Paranaense de Geociências** n° 33. pp. 67-88. 1975.

KNIPLING, E.B. Physical and Physiological Basis for the Reflectance of Visible and Near-Infrared Radiation from Vegetation. **Em: Remote Sensing of Environment**. n° 1. pp. 155-159. 1970.

KUBOTA, Y; MURATA, H; KIKUZAWA, K. Effects of topographic heterogeneity on tree species richness and stand dynamics in a subtropical forest in Okinawa Island, Southern Japan. **Em: Journal of Ecology**. vol. 92. no. 2. pp. 230-240. 2004.

KUMAR, T.V. L; RAO, K.K; BARBOSA, H; PRABHA, E. Studies on spatial pattern of NDVI over India and its relationship with rainfall, air temperature, soil moisture adequacy and ENSO. **Em: GEOFIZIKA**. vol. 30. n°. 1. pp. 1–18. 2013.

LEHMANN, D.R. M. **Estudos sobre a propagação de *Gleichenella pectinata* (will.) Ching (pteridófita – gleicheniaceae)**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal. UFSC. 2008.

LIN, W.T.; LIN, C.Y.; CHOU, W. C. Assessment of vegetation recovery and soil erosion at landslides caused by a catastrophic earthquake: A case study in Central Taiwan. **Em: Ecological Engineering**. n° 28. pp. 79–89. 2006.

LIN, W.T.; CHOU, W.C.; LIN, C.Y.; HUANG, P. H.; TSAI, J. S. Vegetation recovery monitoring and assessment at landslides caused by earthquake in Central Taiwan. **Em: Forest Ecology and Management**. n° 210. pp.55–66. 2005.

LIRA, V. M; SILVA, B.B; DANTAS NETO, J; AZEVEDO, C.A.V; FRANCO, E.S. Variação sazonal da cobertura vegetal em áreas do submédio São Francisco a partir de dados NDVI e imagens TM-Landsat 5. **Em: Enciclopédia da Biosfera**. Goiânia: Centro Científico Conhecer. vol. 7. n° 12. 2011.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP. 908 páginas. 2006.

LOPES, E. E. S. **Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar Paulista, na escala de 1:10.000.** Tese de Doutorado. Rio Claro/UNESP. 276 páginas. 2006.

MANTOVANI, W.; RODRIGUES, R.R.; ROSSI, L.; ROMANIUC-NETO, S.; CATHARINO, E. L. M. A vegetação na Serra do Mar em Salesópolis, SP. Em: **Anais do II Simpósio de Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira – Estrutura, Função e Manejo**, Águas de Lindóia, São Paulo. *ACIESP* 1: 348 – 384. 1990.

MARCELINO, E.M.; FORMAGGIO, A. R. MAEDA, E. E. Landslide inventory using image fusion techniques in Brazil. Em: **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. nº 11. pp. 181-191. 2009.

MARCELINO, E.M. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto.** Dissertação de Mestrado/INPE. São José dos Campos. 228 páginas. 2004.

MARSTON, R. A. Geomorphology and vegetation on hillslopes: Interactions, dependencies, and feedback loops. Em: **Geomorphology**. vol. 116. pp. 206-217. 2010.

McNAB, W. H. Terrain Shape Index: Quantifying Effect of Minor Landforms on Tree Height. Em: **Forest Science**. vol. 35. no. 1. pp. 91-104. 1989.

MERZLYAK, M. N; GITELSON, A. A; CHUVKUNOVA, O. B; RAKITIN, V. Yu. Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. Em: **Physiologia Plantarum**. vol. 106. pp. 135-141. 1999.

MICHEL, G.P.; KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F. Avaliação do papel da vegetação na estabilidade de encostas através do modelo SHALSTAB modificado. Em: **Anais 9º SINAGEO** (Simpósio Nacional de Geomorfologia). Rio de Janeiro. 2012.

MICHELETTI NETO, J. C. M. T. **Relações florísticas, estruturais e ecológicas entre as Florestas do Topo da Serra do Mar e as Florestas de Restinga no Estado de São**

Paulo. Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. 111p. 2007.

MOGOLLÓN, J. E. J. B. **Avaliação da sustentabilidade ambiental dos fragmentos de maciços florestais da planície costeira e baixa encosta do município de Bertioga (SP).** Tese de Doutorado. Departamento de Geografia/FFLCH-USP. 225 páginas e anexos. 2012.

MUNN, L. C.; VIMMERSTEDT, J. P. Predicting height growth of yellow-poplar from soils and topography in south-eastern Ohio. Em: **Soil Science Society of America Journal**. vol. 44. n. 2. pp. 384-387. 1980.

NAKAJI, T., IDE, R. TAKAGI, K.; KOSUGI, Y.; OHKUBO, S.; NASAHARA, K. N.; SAIGUSA, N.; OGUMA, H. Utility of spectral vegetation indices for estimation of light conversion efficiency in coniferous forests in Japan. Em: **Agricultural and forest meteorology**. n° 148. pp. 776–787. 2008.

NERY, C.V.M; OLIVEIRA, D.B; ABREU, L.H.G. Estudo comparativo entre os índices NDVI obtidos a partir dos sensores Landsat 5 –TM e Resource – LISS III. Em: **Caminhos de Geografia**. vol. 14. n. 46. pp. 160–167. 2013.

NERY, T. D. **Avaliação da Suscetibilidade a Escorregamentos Translacionais Rasos na Bacia da Ultrafértil, Serra do Mar (SP).** Dissertação de Mestrado. São Paulo/Universidade de São Paulo (USP). 156 páginas. 2011.

NICHOLS, W.F.; KILLINBECK, K.T.; AUGUST, P. V. The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity. II. A landscape perspective. Em: **Conservation Biology**. vol. 12. n. 2. pp. 371-379. 1998.

OKIDA, R. **Técnicas de sensoriamento remoto como subsídio ao zoneamento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e a inundações.** Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 147 páginas. 1996.

PEARSON, R.L; MILLER, L.D. Remote sensing of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie. Em: **Proceedings of the 8th Symposium on Remote Sensing of Environment**. University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA. pp. 1357-1381. 1972.

PERROTA, M.M; SALVADOR, E.D; LOPES, R.C; D'AGOSTINO, L.Z; PERUFFO, N; GOMES, S.D; SACHS, L.L. B; MEIRA, V.T; GARCIA, M.G.M. LACERDA FILHO, J.V. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:750.000. Programa Geologia do Brasil – PGB. CPRM. São Paulo. 2005.

PRADO, J; HIRAI, R.Y. Checklist das licófitas e samambaias do Estado de São Paulo. Em: **Biota Neotropica**. vol. 11, n°1a. 2011.

PRANDINI, F. L. GUIDICINI, G.; BOTTURA, J. A.; PONÇANO, W.L.; SANTOS, S.R. **Atuação da cobertura vegetal na estabilidade de encostas: uma resenha crítica**. 2º Congresso Brasileiro de Florestas Tropicais, Mossoró (RN). 1976. p. 1-22.

PRANDINI, L.; GUIDIINI, G.; BOTTURA, J. A.; PONÇANO, W. L.; SANTOS. A. R. Behaviour of the vegetation in slope stability: a critical review. Em: **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**. n° 16. pp. 51-55. 1977.

PRETI, F. Forest protection and protection forest: Tree root degradation over hydrological shallow landslides triggering. Em: **Ecological Engineering**. n° 61P. pp. 633-645. 2013.

PONZONI, F. J. SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese. 2ª edição. 2012.

RAMOS, H. **Avaliação da Suscetibilidade aos Escorregamentos Translacionais Rasos a partir do modelo *Shalstab* na bacia do Rio Guaxinduba em Caraguatatuba (SP)**. Trabalho de Graduação Individual. Departamento de Geografia/Universidade de São Paulo. 72 páginas. 2012.

REIS, A; ZAMBONIN, R. M; NAKAZONO, E. M. **Recuperação de áreas de florestas degradadas utilizam a sucessão e as interações plantas-animais**. Caderno nº14. Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. 1999.

RICKLI, C; GRAF, F. Effects of forests on shallow landslides – case studies in Switzerland. Em: **For. Snow Landsc. Res.** vol. 1. nº82. pp. 33-44. 2009.

ROBERTS, D.A; DENNISON, P.E; PETERSON, S; SWEENEY, S; RECHEL, J. Evaluation of Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) and Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS) measures of live fuel moisture and fuel condition in a shrubland ecosystem in southern California. Em: **Journal of Geophysical Research**. vol. 111. nº G04S02. 2006.

RODRIGUES, B.B. **Inventário e análise de susceptibilidade aos escorregamentos de massa gravitacionais e erosão na região de Águas de Lindóia – SP – Escala 1:10.000**. São Carlos. 163 p. 1998. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos.

ROSA FILHO, A; CORTEZ, A.T.C. A problemática socioambiental da ocupação urbana em áreas de risco de deslizamento da “Suíça Brasileira”. Em: **Revista Brasileira de Geografia Física**. vol. 3. nº 1. pp. 33-40. 2010.

ROSS, J. L.S; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: USP/IPT/FAPESP. 1997.

ROUSE, J.W; HAAS, R.H, SCHELL, J.A; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Em: FRADEN, S.C, MARCANTI, E.P; BECKER, M.A (eds.). **Thrid ERTS-1 Symposium** 10-14 Dec. 1973, NASA SP-351, Washington D.C. NASA, pp.309-317. 1974.

RUNNING, S.W. A Remote Sensing Based Vegetation Classification Logic for Global Land Cover Analysis. Em: **Remote Sensing Environment**. nº 51. pp. 39-48. 1995.

SCHMIDT, J.; EVANS, I.S.; BRINKMANN, J. Comparison of polynomial models for land surface curvature calculation. Em: **International Journal of Geographical Information Science**. vol.17. n° 8. pp. 797-814. 2003.

SEHNEM, A. S. J. **Glequeniáceas**. Flora Ilustrada Catarinense. . Herbário Barbosa Rodrigues . 37 páginas. 1970.

SELLERS, P.J. Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration. Em: **International Journal of Remote Sensing**. vol. 6. pp.1335-1372. 1985.

SESTINI, M.F; FLORENZANO, T.G. Caracterização de Cicatrizes de Deslizamentos por Processamento de Dados TM Landsat em Caraguatatuba – SP. Em: **Revista do Instituto de Geociências – USP**. Geologia USP Série Científica, São Paulo. vol. 4. n. 2. p. 57-69. 2004.

SMA (Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo). **Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo: Regiões administrativas de São José dos Campos (litoral), Baixada Santista e Registro**. São Paulo: SMA. 2007.

____. **Biodiversidade**. Em: Coleção Cadernos de Educação Ambiental. vol. 4. São Paulo: SMA. 2010.

____. **São Paulo 92: perfil ambiental e estratégias**. São Paulo:SMA. 181 páginas. 1992.

SIMONETTI, C. **As relações entre o relevo, os solos e a floresta atlântica na serra do Mar (bacia do rio Itamambuca, Ubatuba, SP)**. Tese de Doutorado. Instituto de Biociências/USP. 2001.

SILVA, W. G; METZGER, J. P; BERNACCI, L.C, CATHARINO, E.L.M; DURIGAN, G; SIMÕES,S. Relief influence on tree species richness in secondary forest fragments of Atlantic Forest, SE, Brazil. Em: **Acta Botânica Brasilica**. vol .22. n. 2. pp. 589-598. 2008.

SOUZA, C. R. G; MOREIRA, M. G; LOPES, E. A. Coastal plain and low-medium slope sub-biomes: a new approach based on studies developed in Bertiooga (SP). Em: **Brazilian Journal of Ecology**. vol. 8. pp. 1-13. 2009.

SOUZA, C. R. G; LUNA, G. C. Unidades quaternárias e vegetação nativa de planície costeira e baixa encosta no Litoral Norte de São Paulo. Em: **Revista do Instituto Geológico**. vol. 29. pp. 1-18. 2008.

STEPHENSON, S.L; MILLS, H.H. Contrasting vegetation of noses and hollows in the Valley and Ridge province, southwestern Virginia. Em: **Journal of the Torrey Botanical Society**. vol. 126. n. 3. pp. 197-212. 1999.

SWANSON, F. J.; KRATZ, T. K.; CAINE, N.; WOODMANSEE, R. G. Landform effects on ecosystem pattern and processes. Em: **BioScience**. vol. 38, n. 2. pp. 92-98. 1988.

TABALIPA, N.L.; FIORI, A. P. Influência da vegetação na estabilidade de taludes da bacia do rio Ligeiro (PR). Em: **Geociências**. São Paulo. v. 27. n. 3. 2008.

TRENTIN A.B.; SALDANHA, D.L.; KUPLICH, T.M. Análise comparativa do NDVI em fitofisionomias na bacia hidrográfica do rio São Marcos. Em: **Revista Geográfica Acadêmica**. vol. 7. nº 1. pp. 5-16. 2013.

TUCKER, C.J. **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation**. Em: **Remote Sensing of Environment**. vol. 8. pp. 127-150. 1979.

VIANA, D. R.; ALVALA, R. C. S. Vegetation index performance for the pantanal region during both dry and rainy seasons. Em: **Geografia**. vol. 36. Número Especial. pp. 143-158. 2011.

VELOSO, H.P, RANGEL FILHO, A. L., LIMA, J.C.A. **Classificação da Vegetação Brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE. 124 páginas. 1991.

VIEIRA, B. C. **Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas**. Rio de Janeiro/UFRJ. 193 páginas. 2007.

VINK, A.P.A. Landscape ecological mapping. Em: **ITC Journal**. pp. 338-343. 1982.

WANG, Z.X. (*et. al*). From AVHRR-NDVI to MODIS-EVI: advances in vegetation index research. Em: **Acta Ecologica Sinica**, vol. 23, n. 5. pp. 979-988. 2003.

WEIER, J; HERRING, D. **Measuring Vegetation (NDVI e EVI)**. Earth Observatory. NASA. USA. 2000.

WONDZELL, S. M.; CUNNINGHAM, G. L.; BACHELET, D. Relationships between landforms, geomorphic processes, and plant communities on a watershed in the northern Chihuahuan Desert. Em: **Landscape Ecology**. vol. 11. no. 6. pp. 351-362. 1996.

WRIGHT, R. L. Principles in a geomorphological approach to land classification. Em: **Zeitschrift fur Geomorphologie**. vol. 16, n. 4. pp. 351-373. 1972.

_____. An examination of the value of site analysis in field studies in tropical Australia. Em: **Zeitschrift fur Geomorphologie**. vol. 17, n. 2. pp. 156-184. 1973.

ZWIGGELAAR, R. A review of spectral properties of plants and their potential use for crop/weed discrimination in row-crops. Em: **Crop Protection**. n° 3. vol. 17. pp. 189-206. 1998.