



**Universidade Federal do Rio de Janeiro**  
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza - CCMN  
Instituto de Geociências – IGEO  
Departamento de Geografia  
Programa de Pós-Graduação em Geografia



**ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DE SOLOS COM DISTINTAS COBERTURAS  
VEGETAIS E PROCESSOS HIDROEROSIVOS EM ÁREA DEGRADADA NA  
BACIA DO RIO MARANDUBA - UBATUBA, SÃO PAULO**

**LEONARDO DOS SANTOS PEREIRA**

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2015

# **Leonardo dos Santos Pereira**

Análises físico-químicas de solos com distintas coberturas vegetais e processos hidroerosivos  
em área degradada na bacia do rio Maranduba - Ubatuba, São Paulo

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (Planejamento e Gestão Ambiental), Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio José Teixeira Guerra

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2015

## CIP - Catalogação na Publicação

d426a dos Santos Pereira, Leonardo  
Análises físico-químicas de solos com distintas coberturas vegetais e processos hidroerosivos em área degradada na bacia do rio Maranduba - Ubatuba, São Paulo / Leonardo dos Santos Pereira. -- Rio de Janeiro, 2015.  
117 f.

Orientador: Antônio José Teixeira Guerra.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Programa de Pós Graduação em Geografia, 2015.

1. Diagnóstico ambiental. 2. Potencial matricial. 3. Ambiente degradado. 4. Escoamento . 5. Erosão. I. José Teixeira Guerra, Antônio, orient. II. Título.

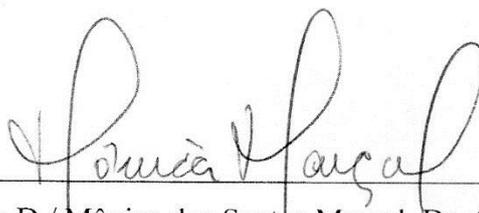
Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

## Leonardo dos Santos Pereira

Análises físico-químicas de solos com distintas coberturas vegetais e processos hidroerosivos em área degradada na bacia do rio Maranduba - Ubatuba, São Paulo

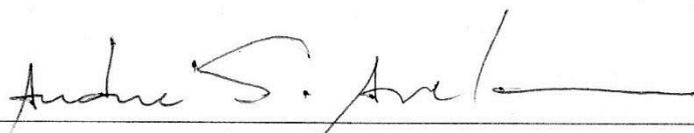
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (Planejamento e Gestão Ambiental), Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Aprovado em 03/02/2015, por



---

Antonio José Teixeira Guerra, Ph.D./ Mônica dos Santos Marçal, Dr. (Presidente da banca –  
Departamento de Geografia – IGEO/UFRJ)



---

André de Souza Avelar, Dr. (Departamento de Geografia – IGEO/UFRJ)



---

Antônio Soares da Silva, Dr. (Instituto de Geografia – UERJ)

*Dedica esta pesquisa a minha  
família e a todos que contribuíram para a  
elaboração da mesma.*

## AGRADECIMENTOS

Neste momento desejo agradecer aos anjos que passaram em minha vida e que estão nela para me alavancar mais alto, para me fazer uma pessoa melhor, um profissional de sucesso.

A base de minha vida, a família, agradeço ao apoio de sempre, ajudando-me a ter força para os desafios do mundo: Nancy I. S. Pereira e Sidney Pereira (Mãe e pai), Leandro S. Pereira e Anderson S. Pereira (Irmãos), Josefa I. Santos (Avó). Em especial ao meu noivo Rafael F. Silva.

Agradeço, em especial, ao pesquisador que muito me ensinou: ao professor-pesquisador doutor Antonio José Teixeira Guerra. Realizei essa pesquisa devido ao seu companheirismo, estando sempre disposto a ajudar com o que existe de melhor. Tive a honra de conhecer e trabalhar com um verdadeiro orientador, sempre ativo no desenvolvimento da pesquisa: transportando litros e litros de garrafas de escoamento, aventurando-se comigo nos trabalhos de campo, fora no pesado processo de construção da estação experimental.

Agradeço à geógrafa Maria C. O. Jorge. Nossos trabalhos científicos e as análises no laboratório nos aproximaram e nos tornaram amigos. Agradeço por toda a ajuda no desenvolvimento dessa pesquisa, as deliciosas comidas que sempre fez questão de preparar com carinho, mesmo após de um dia cansativo de coleta de amostras nos trabalhos de campo.

A bióloga Luana B. Santos, agradeço ao me incentivar no processo seletivo no mestrado, orientando-me na correção do projeto, sendo uma verdadeira pesquisadora e amiga.

Agradeço à pesquisadora doutora Cláudia M. Rezende e novamente ao químico Rafael F. Silva do Laboratório de Análises de Aromas do IQ-CT/UFRJ, por me ajudarem nas análises químicas do solo, sempre deixando o laboratório disponível, sem mesmo cobrar pelos reagentes utilizados.

Ao técnico de aferição da estação experimental, Sebastião Jorge de Oliveira, por se dedicar à pesquisa, assim como agradeço à Yoriko Kamiyama (Dona Ane), empresária da Agroindústria Y. Kamiyama Alimentos (Sítio Recanto da Paz/Gengibre de Ubatuba), que abriu as portas de seu sítio cedendo espaço para a instalação da estação experimental, vendo importância no desenvolvimento da pesquisa nacional.

Às minhas amigas geógrafas Aline M. Rodrigues e Ana Paula S. Marinho, sempre me incentivando e confiando na minha potencialidade profissional, ajudando-me a enfrentar novos desafios.

Agradeço a todos os integrantes do LAGESOLOS, em especial aos bolsistas e ex bolsistas pela força no pesado processo de análises das amostras: Susiane Machado, Rafael Moreira, Yolanda Molinaro, Marcelo Silva, Fabrizio Garritano e Gabriel Finotti.

Também agradeço ao corpo docente do PPGG/UFRJ pela grande experiência profissional na qual me proporcionaram.

Agradecimento à CAPES pela concessão de bolsa, assim como ao CNPq que financiou esta pesquisa por meio de projetos do LAGESOLOS.

*“Das relações e inter-relações, no espaço e no tempo, nas florestas e na sociedade: a Geografia surge como ciência para entender a complexidade dos processos espaciais.”*  
(Autor: Leonardo S. Pereira, 2015)

## RESUMO

PEREIRA, Leonardo dos Santos. Análises físico-químicas de solos com distintas coberturas vegetais e processos hidroerosivos em área degradada na bacia do rio Maranduba - Ubatuba, São Paulo. Rio de Janeiro, 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

A erosão acelerada é uma problemática mundial, pois tem sua ocorrência em distintas espacialidades e temporalidades, abrangendo diversas escalas. Diversos fatores influenciam nesse processo como a declividade do relevo, a cobertura vegetal, o uso e manejo do solo, e a intensidade da chuva. Muitas pesquisas conferem maior peso na alta declividade do terreno como fator decisivo no processo hidroerosivo, mas baixas declividades, como 4°, são suficientes para se iniciar o escoamento superficial. A presente dissertação teve como objetivo geral fazer um diagnóstico ambiental de solos degradados de uma sub-bacia do rio Maranduba, em Ubatuba/SP. Este município, rico em biodiversidade e situado em floresta de Mata Atlântica, apresenta paisagens em diferentes temporalidades, sendo mais um ambiente que sofre com a pressão das ações humanas: com o avanço desordenado da urbanização para as florestas, tanto quanto com as atividades turísticas, sem adequada regulamentação de conservação do meio ambiente. Portanto, especificamente o trabalho se pautou na construção de uma estação experimental para se analisar os fluxos superficiais do escoamento, bem como o processo de drenagem da água. Na estação experimental foi instalado um pluviômetro automático e três parcelas de erosão de 10 m x 1 m, cujas calhas são do modelo Gerlach, em baixa declividade (4°), que determinam o total de escoamento e perda de solo. Também foi inserido, em cada parcela, bateria de três tensiômetros a vácuo em distintas profundidades (15, 30 e 90 cm), para monitorar a variabilidade da drenagem da água no solo. As parcelas estão localizadas em área de retirada de material de empréstimo de solo (corte de encosta). Foram instaladas na faixa intermediária da encosta, na presença do horizonte B, sem presença de horizontes O, A e E. Para análises físicas e químicas foram coletadas amostras de solo deformadas e volumétricas de 0-10 cm do horizonte do solo em distintos ambientes: Parcelas de erosão A (PA), B (PB) e C (PC), caracterizando-se por ser um ambiente de solo exposto, sem cobertura vegetal, representando um sistema degradado; área degradada (AD), baixo índice de vegetação, apresentando, em grande parte, solo exposto e vegetação de gramínea, sendo um talude a 2 metros de distância da estação; transição com a floresta (TF), vegetação até um metro de altura, sendo talude de transição com a floresta, localizado a 10 metros de distância da estação; e área de floresta (FL), com presença de árvores de grande porte e maior diversidade vegetal, sendo o talude localizado a 20 metros de distância da estação experimental. Desse modo, ao analisar os dados de propriedades físicas e químicas, observa-se a fragilidade dos solos degradados (Parcelas e AD), uma vez que os índices de porosidade total foram inferiores aos da TF e FL. E os dados de densidade aparente apresentaram valores inverso, sendo solos mais compactos devido, provavelmente, à falta de raízes no solo. Portanto, salienta-se a fragilidade dos ambientes degradados frente às altas taxas de perdas de solo e água, que no período de um ano e meio de monitoramento totalizam, aproximadamente, mais de 50 dias com ocorrências de escoamento, em solos que tendem à saturação prolongada. A magnitude de chuva com maior frequência é inferior a 2,5 mm/h, representando índices pluviais leves, segundo parâmetros de classificação da escala Reichart (1987), contudo mais de 5,5 t/ha de solo foram perdidos durante o monitoramento e mais de 5.354.667 L/ha de água foram escoados superficialmente.

Palavras-chave: Diagnóstico ambiental. Potencial matricial. Ambiente degradado.

## ABSTRACT

PEREIRA, Leonardo dos Santos. Physical and chemical analysis of soils with different vegetation covers and hydroerosivos processes in degraded areas in a sub-basin of the river Maranduba, in Ubatuba. Rio de Janeiro, 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

The accelerated erosion is a global problem; it has its occurrence in different spatiality and temporality, covering different scales. Several factors influence this process as slope angle, vegetation cover, soil use and management, rainfall. Many studies give more importance in the high steepness of the land as a decisive factor in hydro erosive process, but low steepness, as 4°, is sufficient to start the runoff. This dissertation aimed to do an environmental assessment of degraded soils in a sub-basin of the river Maranduba, in Ubatuba Municipality, Sao Paulo State. This municipality has a high, natural biodiversity and is situated in the Atlantic Forest, presents landscapes in different times, being an environment that suffers from the pressure of degrading human actions: with uncontrolled urban expansion toward the forest, as much as with the touristic activities, without proper regulation of environmental conservation. Therefore, specifically the work was based on the construction of an experimental station to analyze the runoff, as well as the process of draining the water. In the experimental station an automatic rain gauge was installed and three erosion plots of 10x1 meter, which the troughs are of Gerlach model, in low steepness (4°), which collect the total runoff and soil loss. It was also inserted in each plot, a set of three vacuum tensiometers at different depths (15, 30 and 90 cm), to understand the variability of water drainage in the soil. The plots are located in area of cutting slope. They were installed in the middle of the slope, in the presence of the B horizon, without the presence of the horizon O, A and E. For physical and chemical analysis of the soil were collected disturbed soil samples and volumetric of 0-10 cm of the soil horizon in different environments: The erosion plots A (PA), B (PB) and C (PC), are characterized by bare soil environment without vegetation, representing a degraded system; degraded area (AD), low vegetation index, presenting, largely, bare soil and grassy vegetation, being a slope to 2 meters away from the station; transition to the forest (TF), vegetation of half to one meter high, with transition slope with the forest, located 10 meters away from the station; and forest area (FL), with the presence of large trees and greater plant diversity, with the slope located 20 meters away from the experimental station. Therefore, when analyzing the data of physical and chemical properties, there is the fragility of degraded soils (Plots and AD), since the total porosity rates were lower than those of TF and FL. And the bulk density data showed opposite values, being more compact soil, probably due to lack of roots in the soil. Therefore, highlight the fragility of degraded environments front to high rates of soil loss and water, which in the period of a year and a half monitoring totaling approximately more than 50 days with runoff occurrences in soils that tend to prolonged saturation. The magnitude of precipitation most frequent is less than 2,5 mm/h, which represents light rain rates, according to parameters of classification of the scale Reichart (1987), however more than 5,5 t/ha of soil were lost during the monitoring, and over 5.354.667 L/ha of water were lost by the runoff.

Keywords: Environmental diagnosis. Matric potential. Degraded environment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de parcela para monitoramento de <i>runoff</i> . Fonte: Guerra (2002). .....	31
Figura 2: Esquema salientando as forças de atração atuante entre sólido e água na matriz de solo. Organizado por Leonardo S. Pereira (2013). .....	34
Figura 3: Sistema de medição de sucção em tensiômetros. Organizado por Leonardo S. Pereira (2013). .....	36
Figura 4: Localização do litoral norte de São Paulo, salientando o município de Ubatuba e os limítrofes dos municípios. Fonte: IBGE, malha digital municipal, 2010. Organização e modificado de Buzato, 2012. ....	38
Figura 5: Museu Caiçara localizado na Pousada das Cachoeiras em Ubatuba/SP, representado o modo de vida da população local do município antes da chegada urbano-industrial. Foto: Leonardo S. Pereira (2014). ....	40
Figura 6: Mapa geológico do estado de São Paulo, salientando os domínios tectônicos. Fonte: modificado de Perrotta <i>et al.</i> (2005). ....	42
Figura 7: Rochas e blocos com orientação estrutural que avançam até o mar em Ubatuba. Foto: Leonardo S. Pereira (2014). ....	43
Figura 8: Rochas fraturadas na faixa litorânea, com presença de dique (A). Ocorrência de rocha intrusiva no litoral norte de São Paulo, Ubatuba (B). Foto: Leonardo S. Pereira (2014). ....	44
Figura 9: Modelo numérico do terreno de São Paulo, salientando a curta faixa de planície na bacia do rio Maranduba. Fonte: modificado de Perrotta <i>et al.</i> (2005). Foto: Leonardo S. Pereira (2013). ....	45
Figura 10: Depósito de tálus na vertente do sítio Lama Mole, na bacia do rio da Marandda Maranduba, em Ubatuba. Foto: Leonardo S. Pereira (2013). ....	46
Figura 11: Blocos de rochas acumulados no rio na faixa da Pousada das Cachoeiras. Foto: Leonardo S. Pereira (2014). ....	47
Figura 12: Corte de solo em um morro na bacia da Maranduba. Foto: Leonardo S. Pereira (2014). ....	49
Figura 13: Ocupação da população (1), salientando a pressão sobre área de floresta, gerando problemas de erosão (2). Foto: Leonardo S. Pereira (2013). ....	50
Figura 14: visão geral da localização da estação experimental de erosão de solos de Ubatuba/SP (1), salientando o corte de encosta (2). Foto: Leonardo S. Pereira (2013). ....	52
Figura 15: Pluviômetro automático na estação (A) e em detalhe (B). Foto: Leonardo S. Pereira (2013). ....	53

Figura 16: Distintos ambientes de coleta de amostras de solo onde: A) representa solo da estação experimental, B) solo da área degradada (AD), C) solo da área de transição para a floresta (TF) e D) solo da área de floresta (FL). Foto: Leonardo S. Pereira (2013). .....	55
Figura 17: Coleta de amostra volumétrica do solo (A), visto em detalhe no anel de kopeck (A e C). Foto: Leonardo S. Pereira (2013). .....	56
Figura 18: Análise granulométrica para determinação da classificação textural do solo onde (A) é o agitador das partículas das frações de solo, (B) a lavagem na peneira, (C) areia retida na peneira, (D) argila em decantação na proveta e (E) pipetagem da argila após tempo determinado. Foto: Leonardo S. Pereira (2013). .....	57
Figura 19: Etapas das análises de matéria orgânica. Aquecendo a solução em placa elétrica (A); soluções em repouso (B); processo de titulação (C). Foto: Leonardo S. Pereira (2013). .....	58
Figura 20: Procedimento de extração dos voláteis por SPME. Fonte: Modificado de Harmon, 2002. ....	59
Figura 21: Amostras de solo vedadas para análise (A); estabilização da amostra de solo (B); extração com a fibra exposta do SPME (C). Foto: Leonardo S. Pereira (2013). .....	60
Figura 22: Análise em cromatografia em fase gasosa (A), salientando a dessorção (B) e o cromatograma após análise no CG (C). Foto: Leonardo S. Pereira (2013). .....	61
Figura 23: Procedimento de aferição de pH (A), visto em detalhe com o eletrodo mergulhado na solução (B). Foto: Leonardo S. Pereira (2013). .....	62
Figura 24: Visão geral da estação experimental de erosão de solos, salientando o pluviógrafo (1); os tensiômetros (2); as parcelas de erosão (3); as caixas coletoras de sedimento (4 e 5). Foto: Leonardo S. Pereira (2013). .....	63
Figura 25: Procedimento de análise de escoamento para cálculos de perda de solo (A), salientando o papel filtro após estufa (B) e a cor dos sedimentos antes e posterior a filtragem do escoamento (C). Foto: Leonardo S. Pereira (2013). .....	64
Figura 26: Tensiômetro em distintas profundidades (15, 30 e 90 cm) (A), salientando o tensiômetro a vácuo com a ponta porosa (B). Foto: Leonardo S. Pereira (2013). .....	65
Figura 27: Média pluvial mensal de 6 anos (2009-2014) (A); Média anual de chuva (B). ....	69
Figura 28: Média e desvio padrão nos distintos solos de porosidade total (A) e a densidade aparente (B). .....	76
Figura 29: Relação da porcentagem de M.O. com a quantidade de substâncias químicas voláteis. ....	79
Figura. 30: Cromatograma da análise dos voláteis de solo de área degradada extraídos por SPME com as substâncias voláteis orgânicas identificadas. ....	80

Figura. 31: Cromatograma da análise dos voláteis de solo de transição para floresta extraídos por SPME com as substâncias voláteis orgânicas identificadas. ....	81
Figura 32: Cromatograma da análise dos voláteis de solo de floresta extraídos por SPME com as substâncias voláteis orgânicas identificadas. ....	82
Figura 33: Total mensal de precipitação comparado com total mensal de perda de água. ....	84
Figura 34: Total de perda de água mensal nas parcelas de erosão. ....	85
Figura 35: Total de perda de solo mensal nas parcelas de erosão. ....	87
Figura 36: Erosão por <i>splash</i> nas placas galvanizadas das parcelas de erosão. Foto: Leonardo S. Pereira (Novembro de 2013). ....	88
Figura 37: Construção irregular em encosta (A); Talude exposto após corte de estrada (B). Foto: Leonardo S. Pereira (Outubro de 2014). ....	89
Figura 36: Drenagem da água no solo após evento/s de chuva em distintas profundidades (15, 30 e 90 cm) em diversos períodos de estiagem: 07 a 15 de novembro de 2013 (A, B e C); 12 a 29 de dezembro de 2013 (D, E e F). ....	96
Figura 37: Drenagem da água no solo após evento/s de chuva em distintas profundidades (15, 30 e 90 cm) em diversos períodos de estiagem: 16 de fevereiro a 01 de março de 2014 (A, B e C); 08 a 20 de março de 2014 (D, E e F). ....	97
Figura 38: Drenagem da água no solo após evento/s de chuva em distintas profundidades (15, 30 e 90 cm) em diversos períodos de estiagem: 04 a 15 de abril de 2014 (A, B e C); 12 a 23 de maio de 2014 (D, E e F). ....	98
Figura 39: Drenagem da água no solo após evento/s de chuva em distintas profundidades (15, 30 e 90 cm) em diversos períodos de estiagem: 24 de junho a 08 de julho de 2014 (A, B e C); 29 de junho a 08 de agosto de 2014 (D, E e F). ....	99
Figura 40: Drenagem da água no solo após evento/s de chuva em distintas profundidades (15, 30 e 90 cm) em diversos períodos de estiagem: 06 a 16 de setembro de 2014 (A, B e C); 06 a 20 de outubro 2014 (D, E e F).....	100
Figura 41: Drenagem da água no solo após evento de chuva em período de estiagem de 30 dias nas profundidades de 15 cm (A), 30 cm (B) e 90 cm (C). ....	101
Figura 42: Placa da estação experimental de erosão de solo fixada no local das parcelas com endereço do site do LAGESOLOS e e-mails de contato. Organizado por Leonardo S. Pereira (Agosto de 2013). ....	102
Figura 43: Folder com conceitos e ilustrações sobre erosão .....	103

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Efeito do comprimento da rampa em declives entre 6,5 e 7,5% sobre as perdas de solo. Médias na base de 1.300 mm de chuva. Fonte: Modificado de Bertoni & Lombardi Neto (2010). .....	26
<b>Tabela 2.</b> Efeito do tipo de solo nas perdas por erosão. Médias na base de 1.300 mm de chuva e declives entre 8,5 e 12,8%. Fonte: Modificado de Bertoni e Lombardi Neto (2010). .....	28
<b>Tabela 3.</b> Relação da chuva 72 horas anterior dos períodos de estiagens selecionados. Organizado por Leonardo S. Pereira (Janeiro de 2015). .....	66
<b>Tabela 4.</b> Valores da precipitação média (milímetros e percentual) para os meses de janeiro a dezembro entre 2009 e 2014 e médias mensais anuais de 6 anos comparados com a série histórica de 30 anos do município de Ubatuba do banco de dados climáticos do Brasil (2015). .....	68
<b>Tabela 5.</b> Classificação da intensidade da chuva durante os períodos de ocorrências dos escoamentos nas parcelas de erosão entre os meses de abril e dezembro de 2014. ....	72
<b>Tabela 6.</b> Classificação físico-química do solo dos distintos ambientes modificados. ....	78
<b>Tabela 7.</b> Relação chuva e escoamento em milímetro e porcentagem. ....	84
<b>Tabela 8.</b> Relação do potencial matricial da água no solo em porcentagem em distintas profundidades de 140 dias dos onze períodos de estiagens selecionadas. ....	90
<b>Tabela 9.</b> Potencial matricial da água no solo nos distintos períodos de estiagem em 15 cm de profundidade. ....	92
<b>Tabela 10.</b> Potencial matricial da água no solo nos distintos períodos de estiagem em 30 cm de profundidade. ....	93
<b>Tabela 11.</b> Potencial matricial da água no solo nos distintos períodos de estiagem em 90 cm de profundidade. ....	94

## LISTA DE QUADROS

- Quadro 1:** Ciclos das mudanças culturais, sociais, econômicas e ambientais em Ubatuba de 1500 até atualmente. Fonte: organizado e modificado de Buzato (2011). ..... 41
- Quadro 2:** Descrição das Unidades de Paisagens. Fonte: Melo (2012). ..... 48
- Quadro 3:** Caracterização ambiental dos pontos de coleta do solo. Organizado por Leonardo S. Pereira (2014). ..... 54
- Quadro 4:** Relação dos potenciais matriciais com a quantidade de água no solo. Organizado por Leonardo S. Pereira (Dezembro de 2014). ..... 67
- Quadro 5:** Total de perda de água em Argissolo Amarelo de textura média/Argilosa em distintos ambientes, com precipitação média entre os anos de 987,5 mm. Fonte: Modificado de Martins *et al.* (2003). ..... 86
- Quadro 6:** Total de perda de solo em Argissolo Amarelo de textura média/Argilosa em distintos ambientes, com precipitação média entre os anos de 987,5 mm. Fonte: Modificado de Martins *et al.* (2003). ..... 87

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>19</b>
2.1. Objetivo geral .....	19
2.2. Objetivos específicos .....	20
<b>3. EMBASAMENTO TEÓRICO-CONCEITUAL .....</b>	<b>20</b>
3.1. Transformações da paisagem no espaço e tempo .....	21
3.1.1. Relação entre sociedade e natureza .....	22
3.2. Processos erosivos superficiais .....	24
3.2.1. Conceitos da erosão de solo superficial .....	25
3.2.2. Influência da declividade do terreno .....	26
3.2.3. Características do solo .....	27
3.2.3.1. Propriedades físicas .....	27
3.2.3.2. Propriedades químicas .....	28
3.2.4. Cobertura vegetal e substâncias orgânicas no solo .....	29
3.2.5. Monitoramento da erosão pelo escoamento superficial: parcelas de erosão .....	31
3.3. Processos hidrológicos .....	32
3.3.1. Energia da água no solo em zona não saturada .....	32
3.3.2. Dinâmica da água no solo .....	34
3.3.3. Técnicas de medição da água no solo .....	35
<b>4. ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>37</b>
4.1. Características gerais de Ubatuba .....	37
4.2. Breve história do município .....	39
4.3. Geologia .....	41
4.4. Geomorfologia .....	44
4.5. Pedologia e Cobertura vegetal .....	47
4.6. Caracterização climática de Ubatuba/SP .....	50
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>51</b>
5.1. Estação Experimental de Erosão de Solos de Ubatuba/SP .....	51
5.2. Coleta de índices pluviométricos .....	52
5.3. Análises das propriedades do solo .....	53
5.3.1. Propriedades físicas .....	56
5.3.2. Análises químicas no solo .....	57
5.3.2.1. Taxas de matéria orgânica no solo .....	58
5.3.2.2. Quantificação e caracterização das substâncias voláteis orgânicas no solo: extração dos voláteis por micro extração em fase sólida (solid phase micro-extraction - SPME) e análise por cromatografia em fase gasosa .....	59
5.3.2.3. pH do solo .....	61
5.4. Perda de solo e água: parcelas de erosão .....	62
5.5. Monitoramento do potencial matricial da água no solo .....	64
5.6. Elaboração de <i>folders</i> didáticos .....	67

<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>67</b>
6.1. Índice pluviométrico em Araribá, bairro da Maranduba, Ubatuba/SP .....	67
6.1.1. Interação intensidade da chuva com escoamento superficial .....	70
6.2. Propriedades físicas do solo .....	75
6.3. Propriedades químicas das substâncias orgânicas do solo .....	79
6.4. Perda de solo e água em parcelas de erosão sem cobertura vegetal .....	82
6.5. Potencial matricial da água em solo sem cobertura vegetal .....	89
6.6. Difusão do conhecimento para a população local .....	102
<b>7. CONCLUSÕES .....</b>	<b>104</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>107</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Profissionais de diversas áreas estão se envolvendo com pesquisas de recuperação de áreas degradadas, uma vez que a erosão é considerada um processo preocupante devido ao seu acelerado aumento que pode gerar implicações econômicas, sociais e ambientais (NAGLE & RITCHIE, 2005). Pesquisadores ressaltam que os efeitos da erosão têm impactos fora do seu local de ocorrência, abrangendo uma escala maior (LI *et al.*, 2004; CHAPLOT *et al.*, 2005; VALENTIN *et al.*, 2005; GUERRA, 2009). Desse modo, entender a dinâmica e a qualidade do sistema solo se torna um indicativo de análise para alcançar a sustentabilidade do meio ambiente.

Logo, o conjunto sistêmico de energias e matérias que compõem o solo, que podem ter alterações de ordem ambiental variando a entrada e saída desses elementos no mesmo, influencia a dinâmica da paisagem. Vezzani e Mielniczuk (2011) ao contribuírem com a literatura “O Solo como Sistema” salientam a complexidade desse recurso natural, reforçando as interações holísticas e reducionistas da fauna edáfica e como esta é importante para a qualidade ambiental. Por isso, qualquer perturbação nesses sistemas, desde uma escala menor até a uma maior, pode ser o suficiente para superar a resistência de uma determinada área, pois afetará os fluxos de energias e matérias atuantes no espaço físico, modificando o relativo equilíbrio do sistema.

Assim, a intervenção antrópica pode mudar toda teia holística de um sistema regional, como explicitado desde a década de 50 na pesquisa de Ab’ saber (1951), quando estudou a paisagem da região de Santa Isabel-SP e constatou os problemas advindos de áreas rurais como extensas áreas degradadas, onde o solo, corpo aberto, dinâmico e sujeito à influência de diversas ações que atuam de forma interligada, variaram seu comportamento hidrológico, devido às formas de uso e manejo que interferiram em suas propriedades físicas e químicas.

O Brasil é um país rico em biodiversidade natural e a floresta tem papel fundamental não somente para a preservação da fauna e flora, mas também para garantir a conservação da qualidade do solo e da água (ALVES *et al.*, 2011; RIBEIRO, 2009), além de ser importante para a própria funcionalidade da dinâmica ambiental, como boa eficiência hidrológica, o que ajuda a minimizar os problemas da erosão dos solos, por exemplo (JUNIOR & RIZZO, 2012).

Contudo, para entender a dinâmica ambiental de uma determinada área, também deve-se considerar as interações antrópicas com o meio físico natural (RODRIGUEZ *et al.*, 2010; RIBEIRO *et al.*, 2012). O Brasil tem se desenvolvido em atividades que exploram, em larga

escala, das riquezas naturais do país, onde o processo desordenado de ocupação se torna mais um agravante para o desequilíbrio ambiental.

As florestas foram muito impactadas pelas ações humanas e seus diversos ecossistemas naturais estão sendo perdidos para a ocupação desordenada do solo, seja por atividades agrícolas, ou pela urbanização, por exemplo (ALVES *et al.*, 2011). A relação do homem com a natureza no Brasil se pautou historicamente de forma agressiva, principalmente no litoral brasileiro, onde a Mata Atlântica foi intensamente degradada pelo processo de ocupação (GRANGEIRO, 2012). Portanto, o intenso depauperamento do solo intensifica os processos naturais hidroerosivos, provocando além de perturbações ambientais, como também problemas urbanos.

Segundo Oldeman *et al.*, (1990), a nível mundial, cerca de 15% do solo se encontra degradado (1.966 10<sup>6</sup> ha), a América do Sul soma 14% em comparação ao total dos outros continentes, e um dos três principais fatores que corrobora para a degradação é a ação da atividade agrícola, que pela porcentagem interfere em torno de 28,1%, junto com o desmatamento (29,4%) e o superpastejo (34,5%). No Brasil, apontam-se como os principais agentes de degradação do solo as atividades agrícolas e o desmatamento. O Estado de São Paulo, por exemplo, perde anualmente cerca de 130.000.000 de toneladas de solo devido ao efeito da erosão acelerada, que se explica pelo intenso depauperamento do solo causado pelas intensas atividades agrícolas (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010). O mesmo autor ressalta que essa perda representa 25% do total de perda de solo do Brasil e salienta que aproximadamente 35% do território de São Paulo se encontra em cultivo, enquanto que somente 3,5% do território brasileiro se encontra em cultivo. Apesar desses estudos serem da década de 90, esses problemas (erosão) são muito atuais na literatura nacional e internacional como Chang e Zhang (2011); Telles (2012); Guo *et al.* (2013) e Rienzi *et al.* (2013).

Nessa perspectiva, torna-se importante o adequado diagnóstico ambiental englobando os fatores e processos atuantes no espaço físico natural para utilizar técnicas de manejos adequadas às potencialidades e limitações de cada área. Portanto, o entendimento da hidrologia de solo e dos processos erosivos por meio do escoamento superficial ganha relevância na dinâmica socioambiental e no entendimento das transformações das paisagens. Contudo, apesar da dinâmica da água no solo ser um importante indicativo de qualidade ambiental, pois está intimamente relacionada com os processos erosivos, poucos são os trabalhos que ponderam a sua importância.

Uma das metodologias difundidas na pesquisa acadêmica para conhecer e se entender a dinâmica do solo está ligada ao monitoramento de estações experimentais (GUERRA, 2002; GUERRA, 2005; MENDES, 2006; BEZERRA, 2013; GARCIA-ESTRINGANA, 2013; PEREIRA & RODRIGUES, 2013). É importante conhecer as taxas de erosão e perda de água e, para tanto, a construção de parcelas de erosão é uma técnica muito utilizada, pois representa uma análise mais próxima da dinâmica do solo ao se tratar de uma metodologia em campo, onde a amostragem de solo representa parte de uma determinada área delimitada com as mesmas condições naturais (temperatura, chuva, declividade, cobertura do solo e outros) (STROOSNIJDER, 2005).

A presente pesquisa de dissertação se desenvolveu na bacia hidrográfica do rio Maranduba, no Litoral Norte no estado de São Paulo, no município de Ubatuba. A área de estudo está inserida em bioma de Mata Atlântica e já foi palco de diversos trabalhos, tanto para a caracterização da geoecologia das paisagens (MELO, 2012), quanto na dinâmica climática e variações do nível do mar a fim de estudar ocorrências de enchentes, inundações e ressacas no litoral (BRIGATTI & SANT'ANNA NETO, 2011). Guerra e Jorge (2009) estudaram a pressão que o meio físico natural do município vem sofrendo frente à urbanização da área e ressaltam os riscos dos deslizamentos para a população local.

Portanto, o presente trabalho visou fazer um diagnóstico ambiental em solos degradados com baixa declividade para compreender o processo de escoamento superficial da água no solo, bem como entender a hidrologia do mesmo. Desse modo, foi monitorado uma estação experimental de erosão de solo a fim de se entender as diversas variáveis relacionadas as dinâmicas de solos degradados em uma sub-bacia do rio Maranduba em Ubatuba/SP, além de evidenciar a importância do monitoramento de estações experimentais para nortear trabalhos de planejamentos ambientais. Análises físicas e químicas do solo da parcela de erosão e de distintas coberturas vegetais do entorno da estação também foram analisadas, a fim de estabelecer relações das propriedades do solo entre os diferentes sistemas.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1. Objetivo geral**

Fazer um diagnóstico ambiental de solos degradados em terrenos de baixa declividade em uma sub-bacia do rio Maranduba em Ubatuba/SP, a fim de se entender e totalizar os fluxos de escoamento superficial, correlacionando com os índices pluviométricos e a hidrologia do solo em zona não saturada. Nessa perspectiva, pretendeu-se diagnosticar

também o nível de resistência do solo (Aspectos Físico-químicos) frente aos agentes modeladores do relevo, ou seja, entender o solo como um sistema ativo nas interações com o meio ambiente, utilizando os resultados obtidos para a difusão do conhecimento científico para a população local.

## **2.2. Objetivos específicos**

Especificamente pretendeu-se:

1. entender as variações pluviométricas da área de estudo temporalmente, bem como compreender a magnitude e frequência da chuva;
2. analisar as diferenciações das propriedades físicas e químicas do solo exposto e em distintos ambientes de cobertura de vegetal no entorno da estação experimental;
3. monitorar parcelas de erosão e analisar os fluxos de escoamento superficial em solo sem cobertura vegetal;
4. Quantificar os totais de perda de solo e água em ambiente de solo exposto;
5. entender temporalmente o processo de infiltração, drenagem e estocagem da água no solo em sistema sem cobertura vegetal por meio de potenciais matriciais com instrumentação de campo;
6. Elaborar *folders* didáticos com os dados obtidos para salientar a importância de entender a problemática da erosão.

## **3. EMBASAMENTO TEÓRICO-CONCEITUAL**

As diversas paisagens são constantemente alteradas ao longo do tempo e espaço por diversos fatores (RODRIGUEZ *et al.*, 2010) que podem ser de ordem tanto natural, como as variações de precipitação ao longo do ano, quanto por intervenções do ser humano, que pode intensificar os processos hidroerosivos de uma encosta, por exemplo. Os estudos de cunho ambiental, portanto, são dotados de diversas variáveis que se interagem, sendo uma abordagem complexa (TEIXEIRA & ROMÃO, 2009).

Nessa perspectiva, quanto maior o quantitativo de variáveis pertinentes ao estudo a serem identificadas e analisadas, melhor será o diagnóstico de uma área e a qualidade do entendimento dos processos atuantes nesse espaço. Este capítulo, portanto, objetiva discutir processos importantes que variam no tempo e no espaço, que se associam ao diagnóstico ambiental, e exemplificar métodos de quantificar, ou mensurar, os fatores que colaboram com a degradação do solo como o escoamento superficial, total de matéria orgânica e sua diversidade no solo, porosidade total, pH e índice pluviométrico.

### **3.1. Transformações da paisagem no espaço e tempo**

O termo espaço, segundo Christopherson (2012), está associado à natureza e ao espaço físico, tanto quanto relacionado à sua mensuração e distribuição das coisas dentro dele. A análise espacial, desse modo, é um método que interliga conhecimentos de diversas áreas da ciência, logo, os geógrafos constroem suas pesquisas ao passo que estudam os fenômenos que ocorrem em espaços, áreas e localidades, analisando as semelhanças e diferenças entre estes ambientes. Portanto, o solo representa um objeto de análise espacial, uma vez que é um recurso natural ativo intrínseco ao espaço físico, que interage com diversos elementos.

A interação entre elementos e fenômenos no espaço é a resultante de um conjunto de mecanismos e atividades delimitadas por uma escala geográfica, que é caracterizado por processos. Estes representam a forma de análise de sistemas como o solo, ou como uma rede de drenagem de uma bacia hidrográfica. O papel da geografia, desse modo, é utilizar a análise espacial e compreender a interação dos processos com o meio (CHRISTOPHERSON, 2012).

A paisagem também pode ser o resultado de uma relação entre os processos do passado e da atualidade. Vitte (2007), portanto, ao estudar o surgimento do conceito da paisagem, principalmente na geografia, observou que os processos da dinâmica da paisagem do passado representam a herança de uma paisagem recente, sendo uma representação do espaço, ou seja, a sociedade imprime e deixa registrado a sua marca no espaço. A natureza também marca o espaço, e esta serve de respaldo para diagnosticar um solo com alto grau de susceptibilidade erosivo, por exemplo, ou para caracterizar uma encosta como área de risco. Estudos de Avelar *et al.* (2011) e Coelho Netto *et al.* (2011), ao analisarem as ocorrências dos deslizamentos em janeiro de 2011 em Nova Friburgo-RJ, ressaltaram que as observações em campo, de vertentes com coberturas vegetais iniciais, foram importantes para poder conhecer áreas que tiveram ocorrências de deslizamentos de terra pretéritos ao se avaliar as formas de ameaças e perigos nas análises de risco.

### 3.1.1. Relação entre sociedade e natureza

O território brasileiro era na metade do século XX baseado nas atividades agrícolas, com mais de 50% da população nacional morando no campo (STEMPNIAK *et al.*, 2007). Contudo, segundo o autor, a industrialização que se iniciou na segunda metade do século XX intensificou o crescimento urbano, culminando na migração de grande parte da população rural para as cidades. Segundo Sene & Moreira (1998), nos anos 90, mais de 80% da população brasileira vivia nos centros urbanos, e o crescimento dotado pela falta de planejamento aumentou a pressão nos recursos naturais. Desse modo, observa-se que as atividades antrópicas no urbano intensificaram as transformações na paisagem, embora seja importante destacar que as atividades agrícolas também tinham grande influência nessas transformações, mesmo sendo menos intensos do que atualmente por meio da maior mecanização do campo ao longo do tempo.

A problemática ambiental nas grandes cidades dos países em desenvolvimento é considerada maior ao se comparar com os países desenvolvidos, porque a qualidade de vida da população de baixa renda que vive sem saneamento, por exemplo, pode intensificar a degradação no meio natural ao poluir rios e os solos pela falta de alternativa no despejo do esgoto de suas residências, além das questões que estão associadas à ocupação desordenada em grandes adensamentos demográficos (ROSS, 1995). Logo, a degradação dos solos e a poluição das águas geradas pelas intensas transformações nas paisagens por meio das ações antrópicas, perturbam a estrutura e funcionalidade dos ecossistemas, comprometendo a qualidade e distribuição hídrica e a qualidade de vida das populações (STEMPNIAK *et al.*, 2007).

Portanto, por meio das atividades humanas, que utilizam o potencial natural do meio ambiente (fluxos de matéria e energia), a situação de relativo “equilíbrio” dos sistemas se modifica (CHRISTOFOLETTI, 1999; VEZZANI & MIELNICZUK, 2011). Nessa perspectiva, torna-se importante compreender a grandeza do conceito de paisagem uma vez que esta é resultante da combinação, num nível local, dos fatores físicos e humanos, trazendo elementos pretéritos e atuais do espaço, sendo um meio de aproximação com a realidade geográfica (BERTRAND, 2004).

Segundo Stempniak *et al.* (2007), o conceito de paisagem representa as relações entre os elementos bióticos e abióticos, nas quais a vida determina a dinâmica do meio e é determinada pelas alterações naturais e antrópicas. As bacias ou microbacias urbanas, por exemplo, tendem estar consideravelmente mais alteradas e com prejuízos ambientais em

comparação com bacias de áreas preservadas. Isso se deve pela substituição da floresta natural pelo uso do solo em área urbana, ou pelo uso para a atividade agrícola, que acelera os processos erosivos, o que promove desequilíbrio na ciclagem dos nutrientes, alterando todo o ecossistema (ANDRADE, et al., 2000). O estudo da degradação ambiental deve ser analisado do ponto de vista físico tanto quanto das relações existentes entre degradação e sociedade causadora desta degradação. Tal problemática é de nível mundial e afeta todos os espaços da Terra, gerando desequilíbrio ecológico onde as atividades humanas têm grande responsabilidade neste processo (GUERRA & CUNHA, 2001), deixando o solo menos resistente aos agentes modeladores do relevo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010).

Muitas áreas agrícolas se tornam menos produtivas devido à perda da estrutura do solo, perda de matéria orgânica, perda dos elementos nutritivos e perda de solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010). Nesta perspectiva, Bryan (2000) e Guerra (2009) destacam que a análise das propriedades físicas do solo em estudos sobre erosão é de fundamental importância, pois a partir desta análise é possível inferir sobre a suscetibilidade dos solos, o que torna importante o estudo das propriedades físicas e químicas, junto com a análise das características da encosta, cobertura vegetal e erosividade da chuva. O conhecimento do comportamento hidrológico e erosivo também é importante para o manejo ambiental de áreas montanhosas, principalmente quando decorrentes de intervenções antrópicas degradantes (COELHO NETTO & AVELAR, 1996).

Logo, o conjunto sistêmico de energias e matérias que compõem o solo, que podem ter alterações de ordem ambiental variando a entrada e saída desses elementos no solo (VEZZANI & MIELNICZUK, 2011) influencia a dinâmica da paisagem. Por isso, a intervenção antrópica pode mudar toda teia holística de um sistema regional, favorecendo problemas de ordem ambiental, econômico e social (AB' SÁBER, 1951), como o que pode ser visto em áreas urbanas e agrícolas, onde o solo, corpo aberto, dinâmico e sujeito à influência de diversas ações que atuam de forma interligada, varia seu comportamento hidrológico devido às técnicas de manejo que interferem em suas propriedades físicas e químicas (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010; CHRISTOFOLETTI, 2011).

De acordo com Christofolletti (1999) e Stroosnijder (2005), a abordagem sistêmica serve de respaldo para a investigação da dinâmica do meio ambiente, havendo importância da relação dos fenômenos de diferentes áreas do conhecimento humano, que se materializam no espaço, abrangendo a estruturação, funcionamento e dinâmica dos elementos físicos, biogeográficos e sociais.

Logo, Christofolletti (2003) considera como sendo impactos ambientais os efeitos e transformações provocadas pela ação antrópica nos aspectos do meio ambiente físico e que refletem, por interação, nas condições ambientais que envolvem a vida humana. Assim, os impactos possuem componentes espaciais e temporais, podendo ser descritos através das modificações no meio ambiente, durante um período específico, numa determinada área.

### **3.2. Processos erosivos superficiais**

Segundo Guerra (2009), os processos erosivos são uma problemática em escala mundial e são mais intensos em países em desenvolvimento com regime de chuvas tropicais. O mesmo autor ainda salienta que os países que sofrem menos com os processos erosivos acelerados, como nos países europeus, são os que mais produzem pesquisas nesse tema, pois tratam o mesmo como prioridade.

Pimentel (2006) ressalta que a perda de solo acelerada está sendo de 10 a 40 vezes superior as taxas de renovação do mesmo, o que coloca em risco a sustentabilidade ambiental, assim como a segurança alimentar. O autor salienta que a perda de solo ocorre em distintos ambientes (florestas, na agricultura, e até em solos urbanos), o que torna essa problemática internacional. Concomitante com o aumento populacional, a erosão dos solos também está se intensificando. Isso gera uma grande perda para a humanidade, pois significa dizer que ecossistemas estão perdendo suas biodiversidades, além de ocasionar problemas com a disponibilidade de água. Esses prejuízos interferem na qualidade dos solos, estes, que são fundamentais para sustentar a produção e oferta de alimentos, tornam-se improdutivos e abandonados.

Segundo Silva *et al.* (1994), em áreas com práticas agrícolas convencionais ocorrem as maiores modificações no solo, por alterar sua porosidade e densidade o que afeta a retenção da água, a resistência mecânica e outros aspectos. Desta forma, uma das grandes problemáticas da degradação dos solos por atividades agrícolas intensas é a diminuição do potencial da capacidade produtiva por meio da erosão acelerada, porque aumenta os custos de produção com gastos em implementos agrícolas (LOPES *et al.*, 2005), além de corroborar com o abandono dessas áreas, deixando-as menos resistentes aos agentes modeladores do relevo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010), provocando o avanço das fronteiras agrícolas para áreas de florestas, como o que acontece na Mata Atlântica, que é o principal bioma brasileiro em risco de extinção e um do cinco mundiais (MYERS *et al.*, 2000). Isso devido às ações humanas de urbanização e de industrialização no campo e nas cidades, estas

ações que, em sua maioria, são executadas sem adequado manejo e uso das terras, usufruindo dos recursos naturais extrapolando as suas capacidades de resiliência.

Portanto, a erosão é a principal causa de degradação dos solos do mundo, pois abrange distintas espacialidades desde áreas florestadas não alteradas (erosão geológica), até áreas que possuem um manejo do solo mais intenso (erosão acelerada). Valentin *et al.* (2005) ainda acrescenta que essa problemática ganha escalas diferenciadas no espaço físico, dependendo do recorte da pesquisa. Os autores salientam que antes dos anos 2000, os estudos de erosão eram baseados no efeito *on site*, ou seja, pesquisas focadas nas questões da agricultura, na escala da parcela, estudos pautados, por exemplo, em erosão de ravinas e inter-ravinas. Contudo, após os anos 2000, Bélgica e China iniciaram pesquisas do efeito *off site*, o que salienta a importância de se estudar na escala da bacia hidrográfica, de se entender a identificação de fontes de poluição, ou estratégias de gestão para combater a erosão do solo, por exemplo.

Desse modo, busca-se nesse tópico tratar dos principais fatores controladores que vão dar início aos processos erosivos superficiais. Para tanto, a discussão teórico-conceitual abordará o assunto integrando as diversas variáveis.

### **3.2.1. Conceitos da erosão de solo superficial**

Constata-se que a erosão é um processo natural de desprendimento, arraste e deposição das partículas de solo, causado pela água e/ou pelo vento (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2010) e que pode ser acelerado pela ação antrópica. Segundo Brady (1989), a erosão é o fenômeno destrutivo que ocorre mundialmente, trazendo consequências como a perda de solos agricultáveis, o assoreamento de cursos de água e reservatórios, provocando catástrofes como a poluição destes. Portanto, ao se entender o processo erosivo (causas e consequências) é possível diagnosticar sua ocorrência e criar medidas mitigadoras adequadas de conservação para distintos ambientes (GUERRA, 2009; TEIXEIRA & ROMÃO, 2009).

Desse modo, entender a erosividade da chuva, propriedades do solo, cobertura vegetal e características das encostas se torna importante, pois são estes fatores controladores que determinam as variações nas taxas de perda de solo e água, por exemplo (GUERRA, 2009; THOMAZ & VESTENA, 2012), ou até mesmo nas perdas de nutrientes no solo fundamentais para a conservação da fauna e flora (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2010; VEZZANI & MIELNICZUK, 2011).

### 3.2.2. Influência da declividade do terreno

Baixas declividades como 3°, ou 5°, já são suficientes para ocorrência de erosão na superfície do solo, contudo é importante salientar que as elevadas taxas de perda de solo que ocasionam problemas socioambientais, por exemplo, estão associados à falta de práticas conservacionistas (JORGE & GUERRA, 2013), ou seja, utilizam o solo em excesso a nível de extrapolar a sua capacidade de resiliência. Estudos de Bertoni (1959) sobre erosão em culturas anuais em espaçamento de terraços com declividades entre 6,5 e 7,5% comparando rampas de 25, 50 e 100 metros (Tabela 1) comprovam a importância do estudo de solos em baixas declividades.

**Tabela 1.** Efeito do comprimento da rampa em declives entre 6,5 e 7,5% sobre as perdas de solo. Médias na base de 1.300 mm de chuva. Fonte: Modificado de Bertoni & Lombardi Neto (2010).

Comprimento da rampa (m)	Perdas de	
	Solo (t/ha)	Água (% da chuva)
25	13,9	13,6
50	19,9	10,7
100	32,5	2,6

Portanto, Segundo Boardman (2006) e Carvalho (2009), a erosão dos solos é um processo complexo que envolve vários fatores de diferentes formas e magnitudes, que se modificam de acordo com o local de ocorrência. Para Guerra (2010) o Brasil possui grande suscetibilidade aos processos erosivos devido aos fatores como: variadas classes de solos que possuem características físico-químico diferenciados; tropicalidade do clima com períodos característicos de chuva em determinada época do ano; tipo de cobertura vegetal, encostas declivosas que favorecem o escoamento superficial; e por fim, uso e manejo do solo inadequado.

Segundo a pesquisa de Loos e Elsenbeer (2011), ao estudarem a sub bacia Lutzito, no Panamá, e relacionar a topografia da floresta como agente controlador na geração de escoamento superficial, evidenciaram que outros fatores influenciam para a ocorrência do mesmo, como a microtopografia do terreno e a magnitude dos índices pluviométricos. Johnson *et al.* (2006) analisaram o fluxo do escoamento em uma microbacia da Amazônia brasileira e ressaltam a importância de se analisar as respostas hidrológicas dos solos, tanto em zona não saturada, quanto em zona saturada.

### **3.2.3. Estrutura do solo**

O conhecimento das principais características físicas dos solos, como textura, densidade aparente, densidade real e porosidade, é de grande importância na orientação dos trabalhos de manejo e controle do solo contra a erosão (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2010). Como as características físicas, químicas e biológicas do solo estão intimamente interligadas, a modificação em uma delas leva a mudanças em todas as outras (LUCARELLI, 1997; TEIXEIRA & ROMÃO, 2009). Nesse sentido, cabe ressaltar que os processos erosivos vão estar diretamente ligados com a alteração negativa dessas características.

Brady (1989) atesta que cada solo possui diferenciada capacidade de erosão, processo este que é denominado de erodibilidade do solo. Os valores de erodibilidade são utilizados, entre outros aspectos, para estabelecer níveis de suscetibilidade natural dos solos à erosão hídrica (BERTOL *et al.*, 2004). Dessa forma, a erodibilidade do solo não é estática, sendo uma função que depende do tempo. Sendo assim, quando analisada em um determinado estudo é preciso relacioná-la a um período de tempo específico, pois a mesma pode variar, onde solos susceptíveis à erosão podem se transformar em solos mais resistentes a este processo (GUERRA, 2009).

#### **3.2.3.1. Propriedades físicas**

As propriedades físicas do solo vão influenciar na erosão hídrica à medida que afetam a velocidade da infiltração da água, a permeabilidade e a resistência ao escoamento do solo. As diferentes técnicas de uso e manejo do solo controlam a erosão por meio da adoção de práticas conservacionistas, que visam aumentar a resistência do solo, ou diminuir as forças do processo erosivo (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2010). Portanto, entendendo que a textura é a distribuição quantitativa das classes de tamanho de partículas de que se compõe o solo (areia grossa, areia fina, silte e argila), compreende-se que as distintas texturas do solo terão maior, ou menor, influência na capacidade de erodibilidade do solo (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2010).

Segundo Guerra (2009), a textura afeta a erosão porque algumas frações granulométricas são removidas mais facilmente do que outras, assim como Salomão (2007) salienta que esta propriedade influi na capacidade de infiltração e de absorção da água de chuva, interferindo no potencial de enxurradas, e em relação a maior ou menor coesão entre as partículas. Solos arenosos, por exemplo, apresentam maior porosidade e tendem a apresentar

melhor capacidade de infiltração durante eventos de chuva de baixa intensidade, em detrimento aos solos argilosos que apresentam, em geral, menor porosidade. No entanto em chuvas de grande intensidade os solos arenosos são mais suscetíveis à erosão (Tabela 2), pois ainda que apresentem maior taxa de infiltração acarretará numa saturação mais rápida, e o fato de suas partículas serem maiores e menos coesas fará com que sejam mais facilmente carregados. Em detrimento aos solos argilosos que demonstram infiltração mais lenta e chegam à saturação de forma mais demorada que os solos arenosos, além de conterem partículas menores que acabam se apresentando mais coesas e dificultam o arraste por erosão.

**Tabela 2.** Efeito do tipo de solo nas perdas por erosão. Médias na base de 1.300 mm de chuva e declives entre 8,5 e 12,8%. Fonte: Modificado de Bertoni e Lombardi Neto (2010).

SOLO	Perdas de	
	Solo (t/ha)	Água (% da chuva)
Arenoso	21,1	5,7
Argiloso	16,6	9,6

### 3.2.3.2. Propriedades químicas

Uma propriedade importante que influi diretamente na textura do solo é o teor de matéria orgânica, já que vai favorecer diretamente a agregação das partículas, propiciando maior resistência da estrutura dos solos ao efeito do impacto das gotas, influenciando no aumento do processo de infiltração e diminuindo os efeitos do escoamento superficial (GUERRA *et al.*, 2001). Segundo o mesmo autor, o empobrecimento nas taxas de matéria orgânica faz com que os solos tendam ter maior suscetibilidade à erosão.

Para Troeh e Thompson (2007), torna-se de elevada importância analisar a estrutura do solo, que se caracteriza pela agregação e pelo arranjo das partículas do solo. A organização estrutural do solo influencia na infiltração e movimentação da água, sendo essa estrutura diretamente modificada pelo uso e manejo, principalmente em superfície, o que pode causar menor permeabilidade e maior suscetibilidade desse solo aos processos erosivos. Um solo mal estruturado causa diversos problemas para seu uso, como baixa capacidade de infiltração, má drenagem, bem como diminuição da quantidade de água no solo. Reichardt (1987) define solos sem estrutura como massivo, pesado para ser trabalhado, com problemas de penetração de águas e de raízes.

Propriedades do solo, como o aumento da densidade aparente e diminuição da porosidade, vão interferir significativamente na erosão. Salgado (1995) atesta que estas

propriedades relacionam-se de forma inversamente proporcional, logo, o aumento da densidade aparente do solo diminui o volume total de ar no solo, reduzindo o espaço poroso, este que tem papel fundamental na entrada de água no solo (KIEHL, 1979). Desse modo, conforme a densidade aparente aumenta, significando maior compactação, a porosidade diminui e reflete em menor quantidade de ar no solo bem como menor taxa de infiltração e maior suscetibilidade ao escoamento superficial (THOMAZ & VESTENA, 2012).

#### **3.3.4. Cobertura vegetal e substâncias orgânicas no solo**

O solo é constituído por um sistema trifásico (sólido, líquido e gasoso) (LEPSCH, 2003; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010) e suas proporções variam no tempo e espaço. Levando em consideração o percentual de condições ótimas do solo, que favorece o crescimento de vegetação, sua composição volumétrica constitui-se aproximadamente entre 50% de fase sólida (45% de origem mineral e 5% orgânica), 25% de fase líquida e 25% de fase gasosa. Os quatro componentes (mineral, orgânico, líquido e gasoso) estão intimamente misturados, permitindo a ocorrência de reações e constituindo um ambiente adequado para a vida vegetal. Dessa forma, a fração mineral da fase sólida é resultante da desagregação física das rochas. Portanto, possui dimensões bem menores, porém com composição química idêntica à da rocha-mãe da qual se originou (ROSA e ROCHA, 2003; SCHAEZTL e ANDERSON, 2005).

A fração orgânica, portanto, é formada pela porção do solo sólida com substâncias provenientes de plantas e animais mortos, bem como produtos intermediários da degradação biológica feita por bactérias e fungos. O material orgânico de fácil decomposição é transformado em gás carbônico, água e sais minerais. Nos solos férteis, com densa vegetação, existe uma complexa fauna constituída de pequenos mamíferos, tais como ratos e outros roedores, e minúsculos protozoários, minhocas, insetos e vermes, os quais têm função muito importante na trituração, aeração, decomposição e mistura da matéria orgânica no solo, que é toda fração orgânica presente no solo em forma de resíduo fresco, ou em diversos estágios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados, associados, ou não, à fração mineral, e outra parte composta por organismos vivos como raízes e os constituintes da fauna edáfica (JENNY, 1994; ROSCOE e MACHADO, 2002).

A matéria orgânica do solo é fonte primária de nutrientes às plantas, influenciando na infiltração, na retenção de água e na susceptibilidade à erosão. Atua também, sobre outros processos como a ciclagem de nutrientes, a complexação de elementos tóxicos e a

estruturação do solo. O conteúdo de matéria orgânica do solo é considerado um dos principais indicadores de sustentabilidade e qualidade do solo (GREGORICH *et al.*, 1994).

Há estreita relação entre matéria orgânica e os diversos processos químicos, físicos e biológicos nos ecossistemas terrestres (CHRISTENSEN, 2000). Pesquisadores têm enfatizado a importância da matéria orgânica na qualidade de solo (OADES, 1984; CASTRO FILHO *et al.*, 2002; CASTRO, 2008), como na eficiência hidrológica e na retenção de água (RAWLS *et al.*, 2003; BERTONI E LOMBARDI NETO, 2010), na atividade biológica (PRIMAVESI, 1984; VEZZANI & MIELNICZUK, 2011), na capacidade de trocas catiônicas (STEVENSON, 1994; LEPCH, 2003), na disponibilidade de nutrientes para as plantas (CHENG, 1997; VEZZANI & MIELNICZUK, 2011), e na liberação de CO<sub>2</sub> e outros gases (LAL e BRUCE, 1999; FOLLETT *et al.*, 2001).

Contudo, cabe ressaltar que apesar de altas taxas de material orgânico ser um indicativo para a qualidade do solo, deve-se relevar a importância da diversidade do material orgânico no solo. Segundo Pinheiro *et al.* (2013) e Kopp *et al.* (2007), são poucos os estudos que salientam a importância de identificar as substâncias orgânicas presentes na matriz de solo. Trabalhos que pesquisam a caracterização dos compostos orgânicos são voltados em sua maioria para a qualidade de solos agrícolas (RAO & MIKKELSEN, 1977; SOUSA & BORTOLON, 2002; KOPP *et al.*, 2007; PINHEIRO *et al.*, 2013), poucos são os que estudam sua importância na qualidade ambiental.

Segundo Pinheiro *et al.* (2013), no solo são encontrados ácidos como oxálico, cítrico, fórmico, acético, málico, succínico, maleico, acotínico, fumárico, gálico, vanílico, benzoico, fumárico e chiquímico em concentrações variáveis, que representam menos de 3% do carbono orgânico dissolvido na solução do solo. Dependendo da classificação do solo, como os Espodosolos, pode representar até 5% do carbono orgânico dissolvido, pois são solos que se caracterizam pela migração de alumínio e/ou ferro, em presença de matéria orgânica, para o horizonte subsuperficial. Os ácidos orgânicos provenientes de plantas têm sido o foco de muitas pesquisas, contudo, informações sobre a concentração e o tipo de ácidos orgânicos em solos tropicais ainda são incipientes.

Os ácidos orgânicos alifáticos de cadeia curta, por exemplo, são voláteis e possuem meia-vida em solo que varia de 1 a 12 h; esses compostos são rapidamente mineralizados pela comunidade microbiana do solo. Esses materiais orgânicos são, em geral, ácidos orgânicos de baixa massa molecular, o que facilita a sua biodegradação e volatilização. Os ácidos orgânicos de baixa massa molecular são moléculas reativas que desempenham inúmeras funções no

solo. Apesar dos ácidos monocarboxílicos (fórmico, acético, propiônico, láctico e butírico) serem com frequência encontrados em concentrações mais elevadas (até 1000 mol L<sup>-1</sup>) na solução do solo, a maioria das funções estão associadas aos ácidos di e tricarboxílicos, como málico, oxálico e cítrico (BOUDOT, 1992; STROBEL, 2001).

### 3.2.5. Monitoramento da erosão pelo escoamento superficial: parcelas de erosão

Segundo Mendes (2006) e Boix-Fayos *et al.*, (2006), os métodos de confecção de parcelas de erosão são variados e podem ser em sistemas coletores para determinação das perdas de solo e água, em condições de precipitações naturais (Figura 1), ou em simuladores de chuvas, nas quais são montadas nas mais variadas classes de solos, coberturas vegetais (culturas agrícolas) típicas, submetidas às práticas de conservação e manejo nestes solos, além em estudos sobre aspectos botânicos de espécies vegetais como gramíneas e leguminosas na utilização de áreas de risco à erosão. As parcelas de erosão têm sido bastante utilizadas em vários países e parte dos trabalhos realizados nos Estados Unidos utiliza parcelas com dimensões de 4,0 m de largura por 25 m de comprimento, correspondendo a uma área de 100 m<sup>2</sup> (MENDES, 2006).

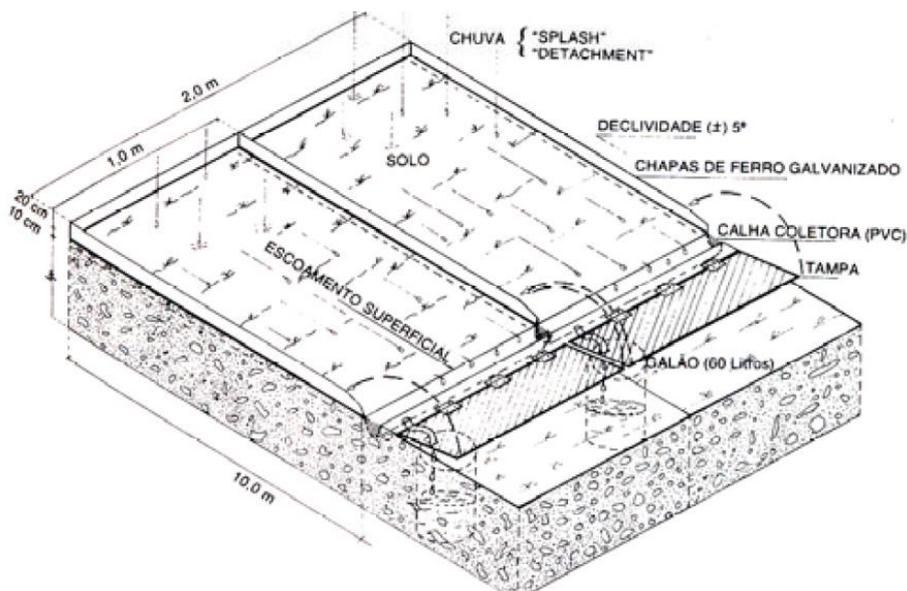


Figura 1: Exemplo de parcela para monitoramento de *runoff*. Fonte: Guerra (2002).

Segundo Bertoni (1959), em nível de Brasil, os primeiros sistemas coletores para a determinação das perdas de solo, foram instalados em 1942, na antiga Escola de Agricultura de Minas Gerais, atual Universidade Federal de Viçosa. Em São Paulo, a primeira instalação

de parcelas de erosão iniciou-se em 1944, na estação experimental de Pindorama, do Instituto Agrônomo de Campinas, seguida por instalações em Campinas, Mococa e Ribeirão Preto (MENDES, 2006). Segundo o mesmo autor, no Rio de Janeiro, trabalhos desenvolvidos pela EMBRAPA, UFRRJ, PESAGRO (DESUSMO - Desenvolvimento Sustentável de Sistemas Agrícolas em Terras Montanhosas de Baixa Fertilidade com Pastagens na América do Sul), Instituto de Geociências da UFRJ (Guerra, A.J.T; Fernandes, N.F.), Geoheco/Ufrj (Coelho Netto, A.L. & Avelar, A.S), Geotecnia COPPE/UFRJ (Rego, J.) e Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (Anjos, L. H. & Pereira, M. G) são alguns dos centros de pesquisa que contribuíram com o aprofundamento dos estudos sobre perdas de solo e os elementos que compõem todo este processo.

Trabalhos realizados por Bezerra (2013) sobre reabilitação de áreas degradadas por erosão utilizou parcelas para monitorar as taxas de perda de solo e água. O estudo constatou que encosta com declives suaves, característica da paisagem de São Luís/ MA, não representa necessariamente um fator limitante aos processos erosivos, mas sim um problema que envolve uma área com potencial de urbanização, onde o solo pode erodir mais intensamente quando não houver adequado planejamento. Portanto, solos expostos de São Luís podem perder em 2.065,50 mm de chuva mais de 494,63 L/m<sup>2</sup> de escoamento superficial, mais que o dobro se comparado a um solo com cobertura vegetal gramínea (208,57 L/m<sup>2</sup>). As taxas de perda de solo da área exposta chegaram a 4.390,96 g/m<sup>2</sup>, 17 vezes mais do que a área com solo de cobertura com gramínea.

Logo, observa-se que a instalação e o monitoramento de parcelas de erosão são importantes para o adequado diagnóstico e prognóstico da perda de solo, a fim de criar medidas mitigadoras (STROOSNIJDER, 2005). Geralmente as parcelas são instaladas em estações experimentais e seus dados se associam a outras variáveis como potenciais matriciais da água no solo, pluviosidade e outras características do ambiente.

### **3.4. Processos hidrológicos**

#### **3.4.1. Energia da água no solo em zona não saturada**

A energia potencial é aquela em que o corpo possui em virtude de sua posição em campos de força, e a energia cinética é aquela em que os corpos possuem em virtude de seu movimento. No solo e na planta a velocidade da água é relativamente pequena, por isso a energia cinética é desprezada. Nessa perspectiva, a energia potencial gravitacional pode ser positiva, ou negativa, dependendo da escolha do referencial, no caso da água no solo o campo

gravitacional das forças pode afetar o estado de energia da água através da pressão. Esta pressão pode ser medida através da coluna de um fluido, que pode ser geralmente água ou mercúrio (REICHARDT, 1987).

A retenção e o movimento da água no solo em zona não saturada, além da sua captação e transporte pelas plantas, são fenômenos associados ao estado de energia da água no solo (BRADY, 1989). Assim, os campos de força que influenciam a água no solo são segundo Kiehl (1979) e Klar (1984): i) a força da gravidade ( $\Psi_g$ ), que é o potencial gravitacional; ii) a da atração da matriz do solo pela água ( $\Psi_p$ ), chamado de potencial matricial; iii) a da presença de solutos ( $\Psi_o$ ), potencial osmótico. Logo, o potencial total da água ( $\Psi_t$ ) se expressa como:

$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_p + \Psi_o$$

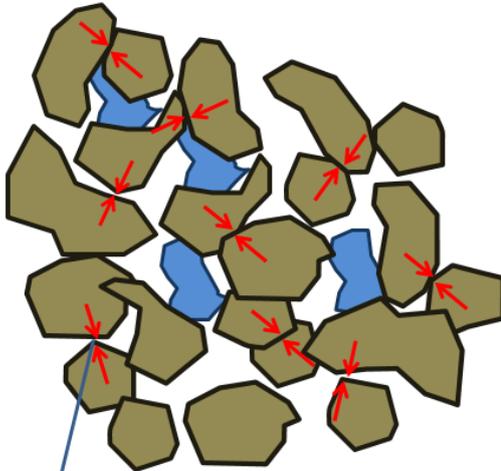
A água se movimenta no solo do potencial negativo mais alto para o mais baixo, esse processo varia dependendo da porosidade e permeabilidade do solo. O potencial matricial da água no solo atua na retenção e movimentação do líquido no solo e, mesmo após vários dias de estiagem, permanece retida no solo determinada quantidade de água sob a ação desta força, resistindo às forças gravitacionais (COELHO NETTO, 2009; BRADY e WEIL, 2013).

Portanto, a movimentação e a retenção da água no solo resultam de duas forças: a) força de coesão que é resultante da atração das moléculas entre si; b) a força de adesão, que consiste na atração exercida entre as moléculas de água pela superfície das partículas sólidas. O potencial matricial, então, atua como o resultado das forças capilares e de adsorção, em função da interação das partículas sólidas e a água (Figura 2). A atuação destas forças se dá na atração e fixação da água no solo, causando a diminuição da energia potencial em relação à água livre (REICHARDT, 1987).

A água no solo pode sofrer pressões diferenciadas, podendo ser positivas ou negativas. Para solos não saturados em função da presença de meniscos (interface líquido-gás) e da presença de superfície de adsorção (interface sólido-líquido), sendo a pressão negativa, o que lhe confere o potencial matricial (REICHARDT, 1987).

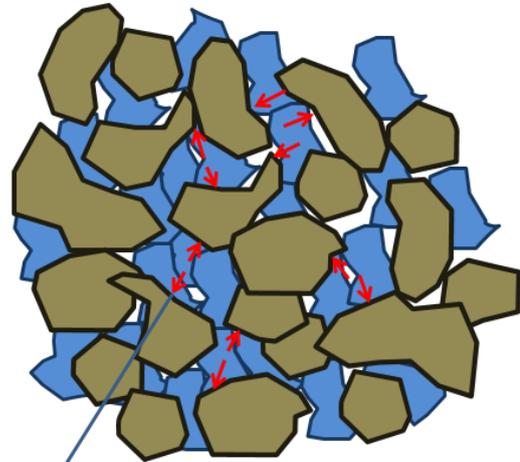
kPa é a unidade padrão de pressão e tensão. Os valores na mensuração de solos se tornam negativos, pois estão abaixo da pressão atmosférica de 1 atm.

Solo seco (kPa próximo a -100)



Maior atração entre as partículas de solo. Significa maior sucção do solo com pressão menor a 1 atm

Solo Saturado (kPa próximo a 0)



Maior pressão da água, diminuindo a atração entre as partículas de solo. Significa menor sucção do solo

Figura 2: Esquema salientando as forças de atração atuante entre sólido e água na matriz de solo. Organizado por Leonardo S. Pereira (2013).

### 3.4.2. Dinâmica da água no solo

Para Coelho Netto (2009), se a intensidade da chuva for menor do que a capacidade de infiltração do terreno, a taxa de infiltração será igual da chuva. Contudo, quando a intensidade da chuva for maior do que a capacidade de infiltração, o solo absorverá parte da água precipitada de acordo com sua capacidade de infiltração, sendo o restante escoado pela superfície do terreno.

Sendo assim, chuvas de longa duração atingem potencial de estocagem e, eventualmente, levam à saturação do solo (BERTONI & LOMBARDI NETTO, 2010). Entretanto, a cobertura vegetal aumenta a capacidade de infiltração do solo, pois interfere na velocidade de infiltração devido ao material coloidal que em contato com a água expande-se, causando a redução do espaço poroso.

A estrutura do solo associada a outras características (físicas, químicas e biológicas) favorece a maior/ menor resistência à ação das águas no solo (BEZZERA *et al.*, 2006). O

desenvolvimento de bioporos pela fauna escavadora e do enraizamento da vegetação proporciona aumento do processo de infiltração (COELHO NETTO, 2009).

Para Brady (1989), alguns fatores como a atração entre os corpos (Força de adesão) e a atração de íons e de outros solutos pela água (Forças osmóticas), podem exercer influência sobre a energia livre da água do solo.

A variação da carga total em pontos diferentes da matriz do solo (Do maior para o menor) movimenta a água em busca do equilíbrio (KLAR, 1984; LIBARDI, 1995). A carga matricial pode ser positiva ou negativa, de acordo com a pressão aplicada na água de referência (KLAR, 1984). E a carga gravitacional, determinada pela posição da água no campo gravitacional terrestre, sendo medida a partir de um referencial de posição.

### **3.4.3. Técnicas de medição da água no solo**

A medição do potencial matricial do solo pode ser feita por diversos instrumentos, como por tensiômetros e o Sensor de Matriz Granular (Granular Matrix Sensors – GMS's). Em condições de campo, o tensiômetro mede o potencial matricial da água no solo, porém é indicado para potenciais aproximadamente superiores a  $-80$  kPa, uma vez que o ar tende a penetrar em potenciais inferiores a esse valor, comprometendo, assim, o seu funcionamento, conforme Bezzera *et al.*, (2006).

Para Leles (2003), a diferença entre os tipos de tensiômetros está relacionada com o sensor de pressão, que pode ser: i) de manômetro de mercúrio; ii) manômetro de vácuo (Figura 3); iii) e o transdutor elétrico de pressão. Os tensiômetros de manômetro de mercúrio e de vácuo apresentam uma boa exatidão, e de simples manuseio. Os tensiômetros com transdutor de pressão elétrica são mais adequados à obtenção de grandes dados e podem ser conectados a sistemas de obtenção de dados automatizados, proporcionando, assim, perfeita análise dos fluxos de água na matriz do solo.

Os tensiômetros são constituídos de tubos de PVC e podem ter distintas profundidades. Estes são conectados a uma cápsula porosa na extremidade inferior e tampa de borracha na parte superior, para evitar a entrada de ar e a consequente quebra da coluna de mercúrio (FERNANDES *et al.* 1989; COELHO & TEIXEIRA, 2004). Quando a sucção do instrumento chega próximo de  $-85$  kPa, o instrumento deixa de responder devido ao processo de cavitação, conforme Schaetzl e Anderson (2005).

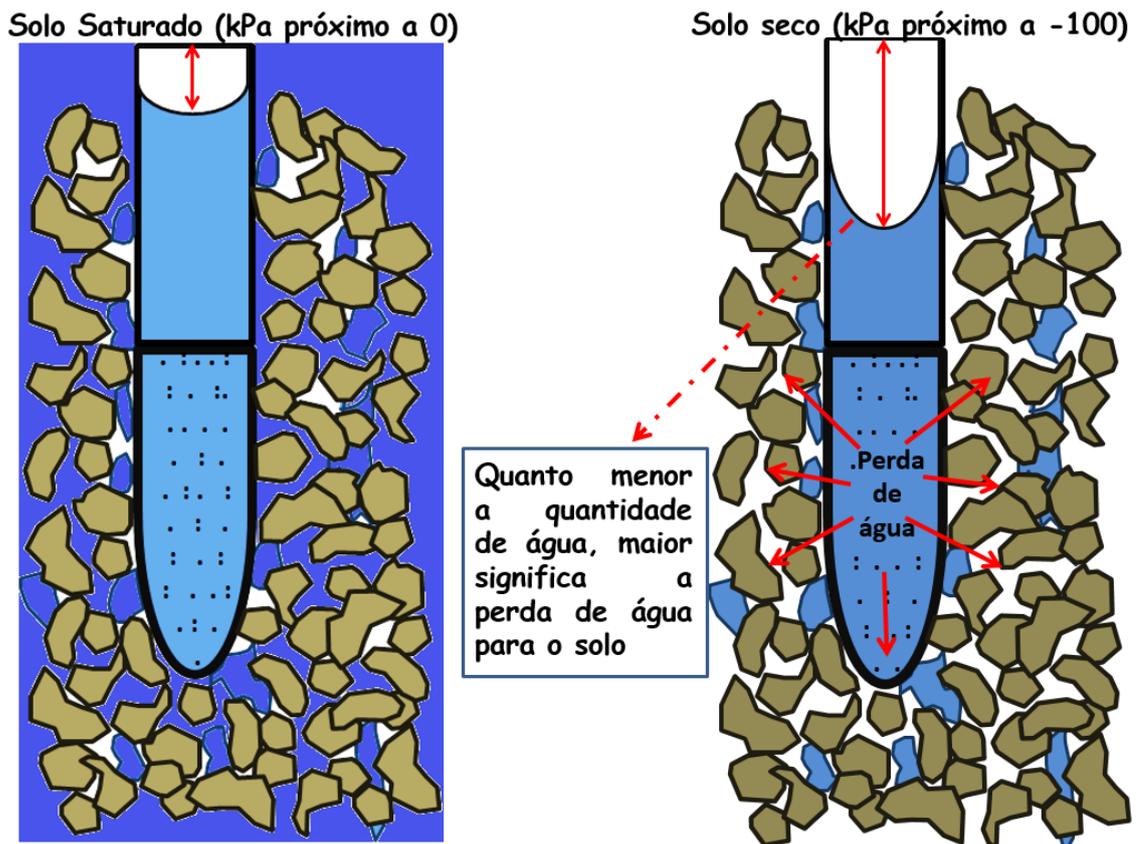


Figura 3: Sistema de medição de sucção em tensiômetros. Organizado por Leonardo S. Pereira (2013).

A entrada de ar no sistema do aparelho também impossibilita sua utilização, sendo necessário a fluxagem, que é retirada do ar através da injeção de água no sistema. Apesar da estreita faixa do potencial matricial ser coberta pelo tensiômetro, constitui um faixa de interesse de manejo de irrigação para a maioria dos solos brasileiros que vai de -10 a -80 kPa (RESENDE & ALBUQUERQUE, 2002).

Os sensores de matriz granular (GMS) funcionam com o princípio de resistência elétrica em blocos de gesso, contendo uma pastilha de gesso localizada na matriz granular, associado ao medidor de corrente elétrica. Ao fazer a conexão do aparelho ao medidor, flui uma corrente elétrica entre os eletrodos, que fornece o correspondente valor da sucção do solo, que responde a uma faixa de 0 a -200 kPa. A vantagem do GMS em relação ao tensiômetro é o tempo e a faixa de resposta, que é bem superior à resposta dos tensiômetros (LELES, 2003).

Portanto, o monitoramento do potencial matricial da água no solo servirá de respaldo para o entender temporalmente os processos hidrológicos em solos sem cobertura vegetal, a

fim de relacionar a sua variação com os índices pluviométricos da área de estudo e com os totais de perda de solo e água.

## **4. ÁREA DE ESTUDO**

### **4.1. Características gerais de Ubatuba**

O presente estudo se desenvolveu na bacia hidrográfica do rio Maranduba, no município de Ubatuba, litoral norte do estado de São Paulo (Figura 4). O município de Ubatuba possui 712 km<sup>2</sup> e pertence à região administrativa de São José dos Campos, com população local de aproximadamente a 78.870 indivíduos (IBGE, 2010), contudo, em altas temporadas a população flutua de cerca de 225.000 mil pessoas (dezembro a março) (FIBGE, 2001 in BRIGATTI & SANT'ANNA NETO, 2011), onde as principais atividades econômicas desenvolvidas no município são o turismo, a construção civil e a pesca, segundo Jorge *et al.* (2010).

A área de estudo está inserida em bioma de Mata Atlântica e 80 % de sua área pertence ao Parque Estadual da Serra do Mar (Unidades de Conservação). Ubatuba já foi palco de diversos trabalhos tanto para a caracterização da geoecologia das paisagens (MELO, 2012), quanto na dinâmica climática e variações do nível do mar a fim de estudar ocorrências de enchentes, inundações e ressacas no litoral (BRIGATTI & SANT'ANNA NETO, 2011).

Tominaga (2007) analisou em sua tese de doutorado metodologias de validação de riscos a escorregamentos em Ubatuba com o objetivo de contribuir com estudos de prevenção e mitigação para o adequado planejamento ambiental de regiões litorâneas. Em uma abordagem geossistêmica, análise integrada dos elementos geoambientais, constatou que essa região apresenta maior suscetibilidade aos escorregamentos devido à declividade exercer maior influência, seguido pela forma da vertente e pelo grau de dissecação.

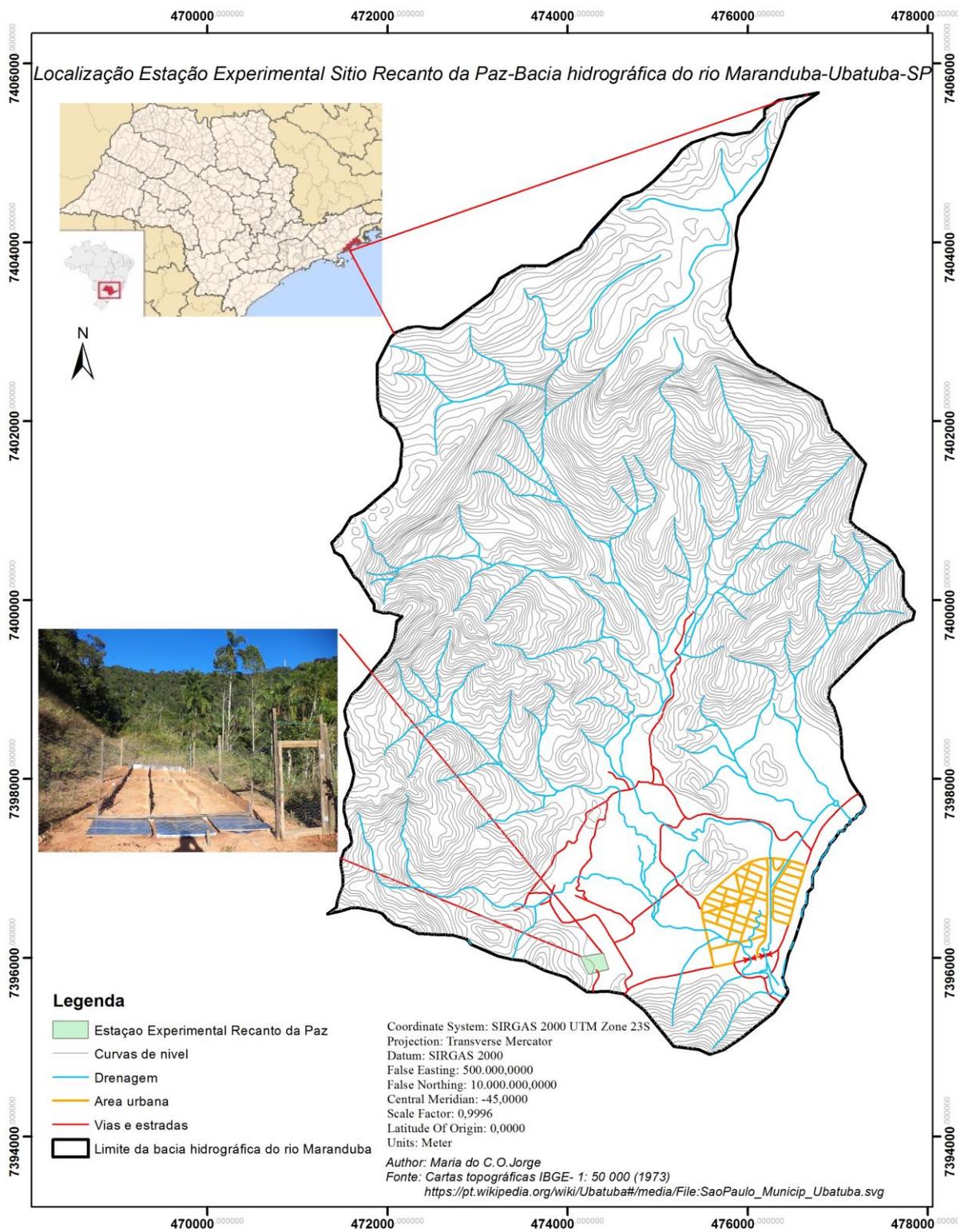


Figura 4: Localização do litoral norte de São Paulo, salientando o município de Ubatuba, os limítrofes dos municípios e a bacia hidrográfica do rio Maranduba. Fonte: Organizado por Maria do C. O. Jorge.

Guerra & Jorge (2009), ao contribuírem com a literatura “Mapping hazard risk”, salientam o risco natural de movimentos de massa que essa região apresenta, contudo, alertam na maior frequência a ocorrência desses episódios devido ao inadequado uso e manejo da área por parte da população local, com construções irregulares, e, também, com o turismo predatório, como ressaltam nas pesquisas de Jorge (2014) e Jorge *et al.* (2014).

#### **4.2. Breve história do município**

A região de Ubatuba apresenta paisagens em diferentes temporalidades, com áreas urbanas e rurais, além de preservar modos de vida diferenciados, como caçaras e quilombolas (Figura 5). Com a chegada da sociedade urbano-industrial, as interferências nas comunidades que habitavam o litoral foram notáveis ao associar em seus modos de vida as necessidades materiais e de acumulação capitalista, diferentes das que historicamente existiam (SOUZA, 1998; SOUZA & SUGUIO, 2003; JORGE, 2014).

Segundo Buzato (2012), foi a partir da década de 50 que ocorreu um acelerado aumento populacional em Ubatuba, que foi impulsionado pelo crescimento da industrialização de grandes cidades como São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. A autora ressalta que o crescimento dessas três cidades culminou na necessidade de maior oferta de casas de veraneio, e foi no litoral norte que a essa população foi se instalar, atraindo a atenção imobiliária e de novo serviços, principalmente os relacionados as atividades turísticas.

Nessa perspectiva, a transformação da característica da sociedade culminou em interferências no espaço, que se encontra grande parte apropriada pela urbanização e tecnologias. Isso causou grande pressão nas áreas florestadas, com drásticas reduções de ambientes originais, antes preservados. Essa problemática resultou na necessidade do governo estadual de definir os remanescentes de florestas e ecossistemas como Unidade de Conservação, único recurso à sua manutenção em meio a áreas devastadas e degradadas pela expansão do mercado imobiliário (BRIGATTI & SANT’ANNA NETO, 2011; MELO, 2012).



Figura 5: Museu Caiçara localizado na Pousada das Cachoeiras em Ubatuba/SP, representado o modo de vida da população local do município antes da chegada urbano-industrial. Foto: Leonardo S. Pereira (2014).

Segundo Jorge *et al.* (2010), o turismo em Ubatuba se desenvolveu mais intensamente no início da década de 70 (Quadro 1), culminando a uma grande expansão urbana alavancada pelo setor imobiliário, gerando mudanças na espacialidade da região. Os autores salientam que as belezas das paisagens de Ubatuba e a facilidade de acesso atraem, a cada ano, um número maior de turistas e migrantes que buscam lazer e serviços. Contudo, o aumento populacional tem como consequência também maiores problemas com as questões ambientais decorrentes do turismo predatório e da especulação imobiliária, que não respeitam as legislações ambientais.

**Quadro 1:** Ciclos das mudanças culturais, sociais, econômicas e ambientais em Ubatuba de 1500 até atualmente. Fonte: organizado e modificado de Buzato (2011).

<b>Período</b>	<b>Principais eventos</b>	<b>Mudanças/ Impactos</b>
De 1500 ao fim do séc. XIX	Ciclos do açúcar, ouro (Saída do porto), exportação de café	Desmatamentos, técnicas/manejos rudimentares, exaustão dos solos
Séc. XX até a década de 1950	Retração da economia, abandono pelos colonos, subsistência caíçara	Recuperação das áreas (Vegetação, solos, rios, vertentes), Preservação ambiental
De 1950 a 1970	Pesca comercial, turismo pela natureza, início da especulação imobiliária	Baixo impacto ambiental, poucas mudanças
De 1970 até hoje	BR 101 (Rio-Santos), urbanização, verticalização, marinas, turismo	Novos modelos socioeconômicos, desmatamento, poluição, movimento de massa, surgimento de periferia

### 4.3. Geologia

Segundo dados de Hasui *et al.* (1981) e Perrotta *et al.* (2005), Ubatuba se localiza em domínio de rochas do embasamento cristalino agrupados no complexo costeiro. Especificamente no trecho Maranduba-Paranapiacaba têm a ocorrência de um conjunto de gnaisses e metassedimentos com elevados níveis de metaforfismo. Analisando a classificação dos domínios tectônicos na figura 6, observa-se que a região apresenta gnaisses charnochíticos do Neoproterozóico, estas rochas, segundo Hasui *et al.* (1994) *apud* Tominaga (2007) e Melo (2012), foram utilizados como rochas ornamentais.

# DOMÍNIOS TECTÔNICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

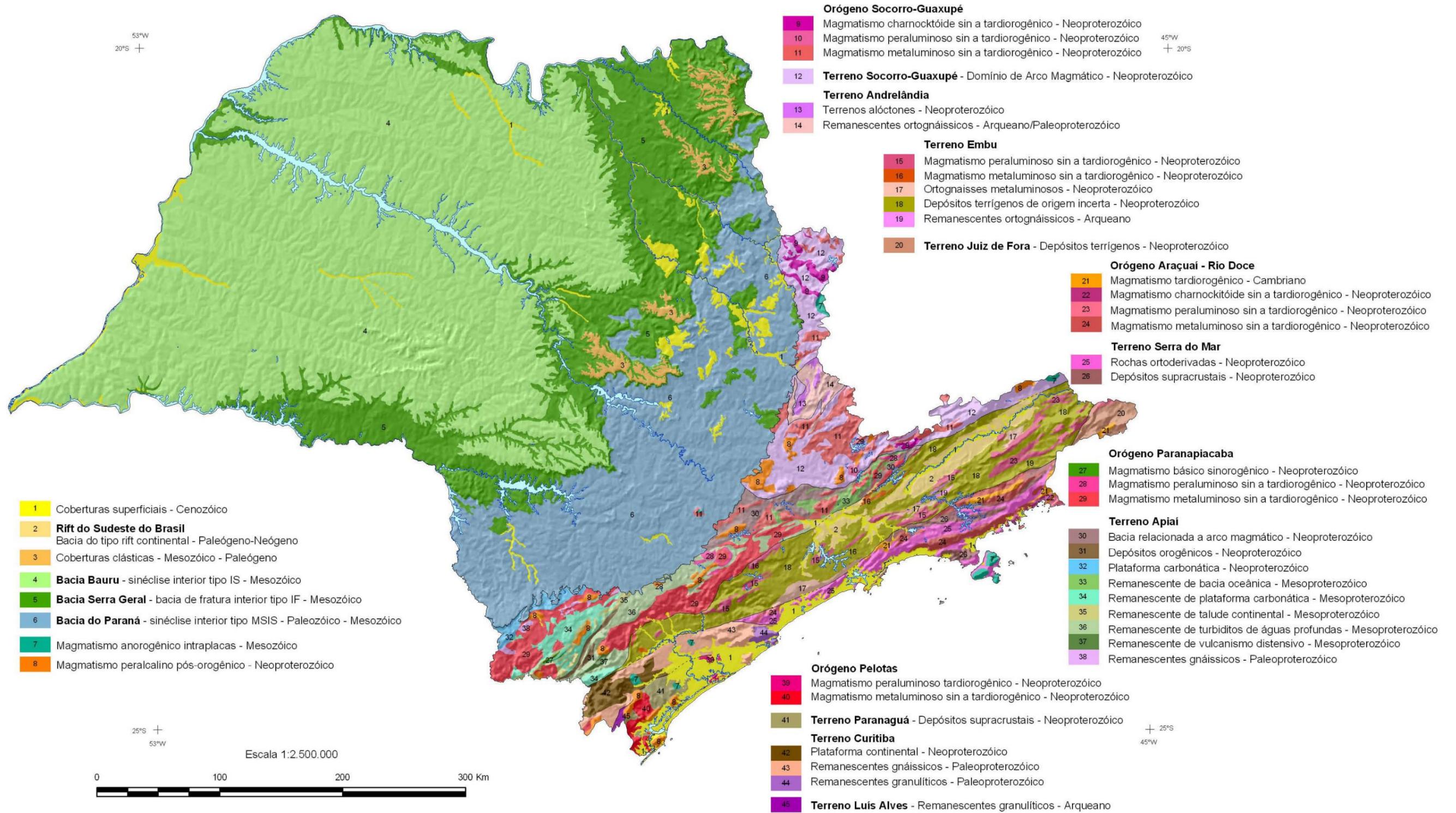


Figura 6: Mapa geológico do estado de São Paulo, salientando os domínios tectônicos. Fonte: modificado de Perrotta *et al.* (2005).

No terreno da Serra do Mar, encontram-se rochas ortoderivadas e depósitos supracrustais, ambos do Neoproterozóico (Figura 6). No setor mais próximo a faixa da linha litorânea se observa uma estreita faixa de coberturas superficiais do Cenozóico.

Segundo Buzato (2012), no litoral norte do estado de São Paulo as rochas do Complexo Costeiro, que estruturam a formação da Serra do Mar, alinham-se comprimidas a até a zona costeira e no sopé de suas vertentes, tendo ocorrência de promontórios alongados com orientação em sua estrutura que adentram no mar (Figura 7).



Figura 7: Rochas e blocos com orientação estrutural que avançam até o mar em Ubatuba.

Foto: Leonardo S. Pereira (2014).

A formação geológica de Ubatuba conta com a presença de rochas em distintos níveis de intemperismo, com ocorrência de fraturas e formação de diques. Também observa-se rochas intrusivas, que segundo Hasui *et al.* (1994) *apud* Buzato (2012), podem ser representados por Granitóides (Em pequenos corpos intrusivos), ou por rochas intermediárias a ultrabásicas (Compostas, em sua maioria, por diabásio) (Figura 8 A e B).



Figura 8: Rochas fraturadas na faixa litorânea, com presença de dique (A). Ocorrência de rocha intrusiva no litoral norte de São Paulo, Ubatuba (B). Foto: Leonardo S. Pereira (2014).

Desse modo, o relevo segue um padrão partindo da transição planície-planalto, onde se encontra a Serra do Mar (com predominância de setores com granitos e gnaisses, apresentando transições abruptas para mais suaves), após encontram-se as planícies (setor que apresenta sedimentos marinhos recobertos ou intercalados por sedimentos continentais) e, por fim, nos setores mais próximos a linha de costa encontram-se as planícies marinhas (com depósitos do quaternário) (BUZATO, 2012).

#### 4.4. Geomorfologia

Levando em consideração o recorte espacial de Ubatuba, este possui forma alongada, com cerca de 60 km de extensão. No sentido transversal a largura do município varia entre 5 e 17 km, aproximadamente. Junto ao oceano o perímetro é bastante recortado, definindo extensa linha de contato com o mar, com baías, sacos, enseadas, pontões e costões, cuja extensão, considerando saliências e reentrâncias, é de cerca de 140 km, abrigando praias diversificadas (MELO, 2012).

Na figura 9 se observa o modelo numérico do terreno do estado de São Paulo. Na faixa do terreno da Serra do Mar, litoral norte de São Paulo, o relevo alcança altitudes de até 2.000 metros, aproximadamente. Mais a jusante da Serra do Mar se encontra curta faixa de planície comprimida com o litoral.

Mais especificamente na escala da bacia da pesquisa, o rio Maranduba, encontra-se altitudes de até 1.100 metros. Em morros mais isolados, como da Serra da Caçandoca, pode chegar a 512 metros (BUZATO, 2012).

# MODELO NUMÉRICO DE TERRENO

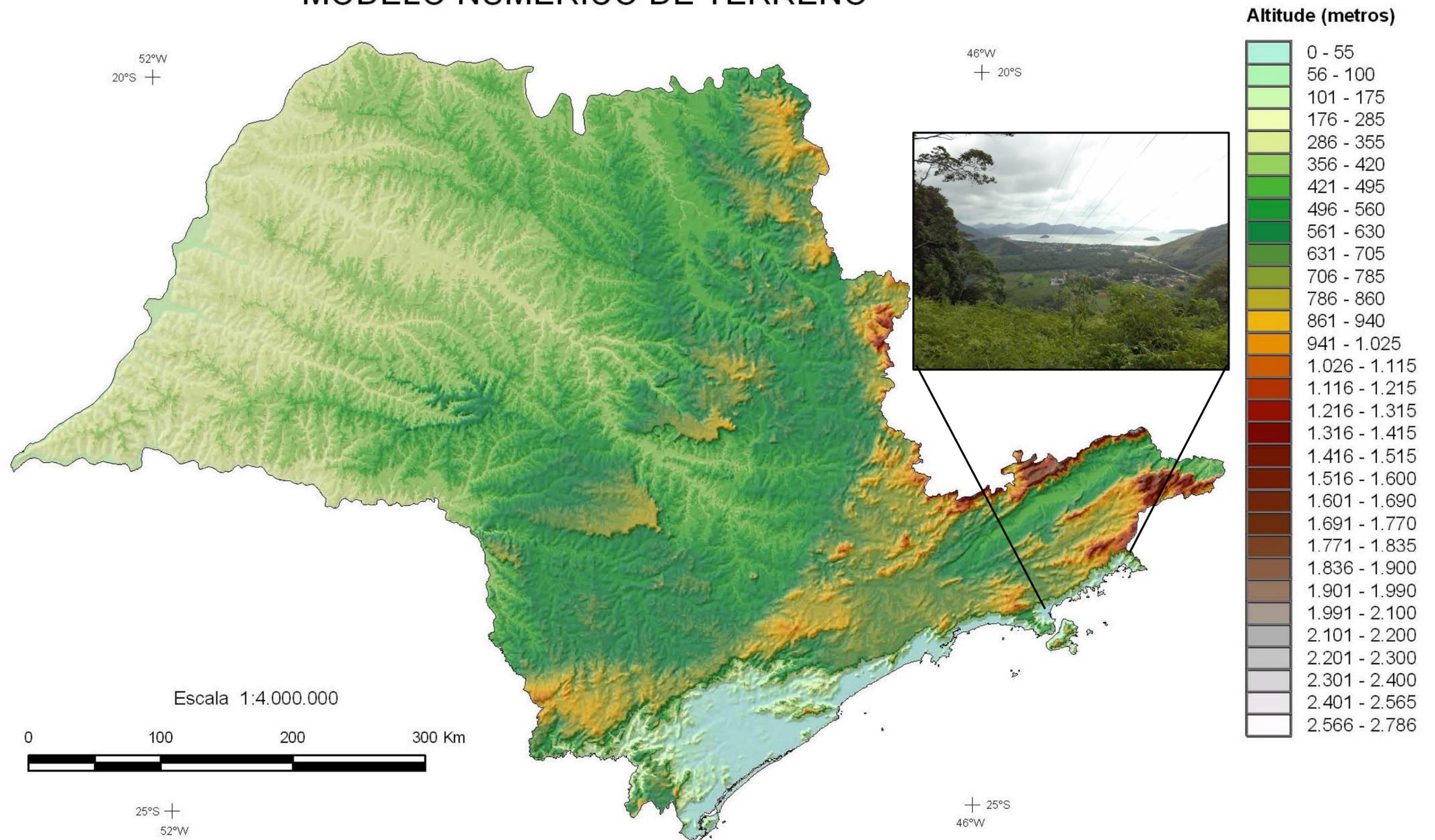


Figura 9: Modelo numérico do terreno de São Paulo, salientando a curta faixa de planície na bacia do rio Maranduba. Fonte: modificado de Perrotta *et al.* (2005). Foto: Leonardo S. Pereira (2013).

Segundo Buzato (2012), os principais agentes modeladores da bacia de drenagem da presente pesquisa são os rios da Maranduba, do Araribá e os seus tributários. A autora salienta que as nascentes desses rios se localizam formando cabeceiras na escarpa cristalina da Serra do Mar, com vales encaixados. Ocorrem nas rupturas das vertentes e declives mais suaves cabeceiras e cachoeiras, como a cachoeira da Água Branca. Estas diminuem de força e velocidade ao passo que alcançam a planície.

A planície da praia da Maranduba é formada com sedimentos marinhos, contudo, nas proximidades das escarpas se observa procedência de material marinhos e continentais. Estes, por sua vez, alcançam a planície por meio do transporte superficial hídrica e gravitacional (TOMINAGA, 2007; BUZATO, 2012).

Em encostas da bacia do rio Maranduba há ocorrência de depósitos de tálus, extensas áreas (Figura 10). Segundo Ponçano *et al.* (1981) apud Tominaga (2007), os depósitos de tálus presentes na região são constituídos por grandes quantidades de blocos rochosos de matriz fina, com espessuras podendo chegar a dezenas de metros.



Figura 10: Depósito de tálus na vertente do sítio Lama Mole, na bacia do rio da Maranduba, em Ubatuba. Foto: Leonardo S. Pereira (2013).

A capacidade de carga do rio Maranduba, segundo Buzato (2012), é constatada quando se observa os blocos arredondados depositados nas partes mais suaves do rio, esses que tiveram sua origem na faixa mais a montante das vertentes da Serra (Figura 11).



Figura 11: Blocos de rochas acumulados no rio na faixa da Pousada das Cachoeiras. Foto: Leonardo S. Pereira (2014).

#### **4.5. Pedologia e Cobertura vegetal**

Estudo desenvolvido por Melo (2012), baseado nas correlações desenvolvidas entre os condicionantes dos meios físico, biótico e socioeconômicos, definindo, assim, características que compõem as relações existentes na área de estudo, tanto no aspecto natural como sociocultural, pautou-se na elaboração de um mapa de caracterização da paisagem. Para a caracterização das Unidades de Paisagem, o estudo associou variáveis de características da área em macroescala e a compartimentação paisagística de Ubatuba em unidades baseou-se, principalmente, em aspectos geomorfológicos, geológicos e da vegetação, o que resultou em 12 unidades (Quadro 2).

**Quadro 2:** Descrição das Unidades de Paisagens. Fonte: modificado de Melo (2012).

<b>Unidade de Paisagem</b>	<b>Características</b>
<b>Unidade 1</b>	Planalto Atlântico - acima de 1000 m, com predominância de gnaisses, formação florestal alto montana, ausência de ocupação.
<b>Unidade 2</b>	Planalto Atlântico – entre 400 e 1000 m, complexo granítico-gnaissico com transição entre formação florestal alto montana e montana, ausência de ocupação.
<b>Unidade 3</b>	Planalto Atlântico – morrotes baixos, entre 200 e 800 m, predominância de gnaisses com floresta montana, ocupação rarefeita.
<b>Unidade 4</b>	Planície Costeira – baixada litorânea, entre 0 e 80m, com predomínio de depósitos quaternários inconsolidados com formações de restinga e manguezal, densa ocupação urbana.
<b>Unidade 5</b>	Província Costeira – morraria costeira, entre 100 e 400 m, predomínio de granitos, com floresta submontana, ocupação dispersa.
<b>Unidade 6</b>	Transição entre Planalto Atlântico e Província Costeira, entre 0 e 300 m, predomínio de charnockitos (rocha ornamental) com formação florestal de terras baixas, densa ocupação.
<b>Unidade 7</b>	Planalto Atlântico – morrotes baixos, entre 0 e 800 m, predomínio de granitos, formação de floresta montana a terras baixas, ocupação dispersa.
<b>Unidade 8</b>	Planalto Atlântico – transição entre morros paralelos e morrotes baixos, entre 200 e 1200 m, predomínio de granitos, formação de floresta alto montana a terras baixas, ausência de ocupação.
<b>Unidade 9</b>	Província Costeira – morraria costeira, entre 0 e 200 m, predomínio de gnaisses indiferenciados, formação de terras baixas, densa ocupação.
<b>Unidade 10</b>	10 Província Costeira – morraria costeira, entre 0 e 300 m, predomínio de granitos, formação florestal de terras baixas, densa ocupação.
<b>Unidade 11</b>	Província Costeira – morraria costeira, entre 0 e 200 m, predomínio de depósitos litorâneos indiferenciados, formação florestal de terras baixas, densa ocupação.
<b>Unidade 12</b>	Planalto Atlântico – entre 400 e 1200m, depósitos litorâneos, formação florestal montana a terras baixas, ocupação dispersa.

A diferenciação da cobertura vegetal se encontra estreitamente associada às variações altitudinais (Desde floresta ombrófila densa alto-montana, até setores de planície, com formação de terras baixas, restingas e manguezais) (SANT'ANNA NETO, 1993; MELO, 2012).

Nos solos da área da Serra do Mar têm predomínio os Cambissolos, principalmente. Os Neossolos Litólicos têm predominância nas faixas das vertentes de alta declividade, bem como em topos de morros elevados. Os Argissolos são menos comuns na região, mas tem ocorrência predominantemente em morrotes convexos e nas baixas vertentes côncavas (ROSSI *et al.*, 2002; TOMINAGA, 2007).

Na figura 12 se observa um perfil de solo com fina camada de material orgânico na parte superficial, bem como a presença de um solo residual, salientando a rocha de origem do material. A partir da caracterização textural dos solos residuais, saprolíticos e coluviais da pesquisa de tese de Tominaga (2007), na região de Ubatuba se encontram solos argilosos, argilo arenoso a siltoso, areia, silte argiloso com grânulos, principalmente.



Figura 12: Corte de solo em um morro na bacia da Maranduba. Foto: Leonardo S. Pereira (2014).

#### 4.6. Caracterização climática de Ubatuba/SP

O clima de Ubatuba é caracterizado como tropical litorâneo úmido ou tropical atlântico, com temperatura anual de 21° C, a temperatura máxima chega a 27° C e a mínima, de 15° C (FERNANDES, 2009). O período de verão (dezembro a março) representa período da estação do ano que ocorrem eventos pluviais extremos e, conseqüentemente, os maiores episódios de adversidades e desastres naturais, destacando-se aqueles relacionados aos grandes movimentos de massa, enchentes e inundações. Aliado a este fato cresce o número de ocupações pela população local em áreas de risco, bem como a modificação dos ambientes naturais costeiros (BRIGATTI & SANT'ANNA NETO, 2011) e continentais, que geram grandes problemas de erosão (Figura 13).



Figura 13: Ocupação da população (1), salientando a pressão sobre área de floresta, gerando problemas de erosão (2). Foto: Leonardo S. Pereira (2013).

Problemas relacionados a enchentes e inundações em Ubatuba são recorrentes, principalmente quando se leva em consideração a pressão que o espaço natural vem sofrendo por parte das atividades antrópicas dos últimos 30 anos. Contudo, Ubatuba representa uma

área com elevados índices pluviiais, com os maiores totais pluviométricos do Brasil (com média anual superior a 4000 mm, chegando a 6000 mm em anos extremos) (TAVARES *et al.*, 2002). Há também a presença de “ilhas de sombra de chuvas” proporcionadas, principalmente, pelo maciço da Ilha de São Sebastião, que atuam ao norte do canal homônimo e sobre a região da Enseada de Caraguatatuba. Nestas áreas os totais pluviométricos são mais baixos, em torno de 1800 mm na média anual. A região é dominada pelas massas tropicais, mas por sua posição de transicionalidade climática, apresenta atuação constante dos sistemas frontais (frentes frias), sendo estes responsáveis, aliado às características morfológicas e altimétricas da Serra do Mar, pela maior parte dos eventos pluviiais extremos (SANT’ANNA NETO, 1990; TAVARES *et al.*, 2002).

Souza (1998) salienta que, associando com características climáticas a forte declividade do relevo, a pequena extensão da planície costeira, as formas das bacias dos principais rios e a dinâmica oceânica, Ubatuba torna-se uma região muito frágil, que se agrava pela ocupação desordenada e a construção de inúmeras rodovias, com a presença de áreas irregularmente ocupadas e obras mal dimensionadas, ou realizadas sobre áreas suscetíveis a episódios extremos. Para Tominaga (2007), Brigatti & Sant’anna Neto (2011) e Buzato (2012), o litoral norte paulista apresenta características ímpares, proporcionadas principalmente por seus aspectos físicos e formas de uso do solo. A ocupação de áreas marginais aos rios e suas desembocaduras, aliadas a uma dinâmica atmosférica peculiar e às oscilações das marés, comumente ocasionam sérios prejuízos socioambientais.

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **5.1. Estação Experimental de Erosão de Solos de Ubatuba/SP**

A estação está inserida na bacia hidrográfica do rio Maranduba, na estrada do Araribá, Ubatuba/ SP, em encosta que sofreu com ações antrópicas em área de retirada de material de empréstimo de solo (corte de encosta), caracterizando ambiente de trilha, apresentando solo degradado e com pouca vegetação. Suas coordenadas são  $-45^{\circ} 15' 9,23''$  de Longitude e  $-23^{\circ} 32' 46,87''$  de Latitude a 19,2 metros de elevação (Figura 14). A presente área de estudo encontra-se a 27 km do centro de Ubatuba e a 24 km do centro do município de Caraguatatuba. A aferição dos instrumentos instalados na estação (tensiômetros e escoamento) são diários. Para tanto, a pesquisa contou com apoio de um colaborador que reside no local da estação, monitorando-a diariamente.



Figura 14: visão geral da localização da estação experimental de erosão de solos de Ubatuba/SP (1), salientando o corte de encosta (2). Foto: Leonardo S. Pereira (2013).

## 5.2. Coleta de índices pluviométricos

A fim de entender as variações da precipitação na área de estudo e associar com fluxos de escoamento, foi instalado na estação experimental um pluviógrafo automático do modelo P300 da empresa Irriplus (Figura 15). O aparelho se encontra a uma altura de 1,50 m e afere a cada 60 minutos o total de chuva, com mínimo de leitura de 0,33 mm. Também foi analisado um histórico de dados diários de chuva de seis anos (2009 até 2014) por meio de um pluviômetro de leitura diária instalado a 1 km de distância da estação, com o objetivo de conhecer a distribuição pluvial da região. Esse pluviômetro já existia antes do início dessa dissertação de mestrado e os dados foram aproveitados para poder se calcular as médias do período de seis anos, bem como foram aproveitados para o próprio período de monitoramento dessa dissertação.

Foi elaborado a classificação da intensidade das chuvas seguindo os parâmetros de Reichart (1987), onde índices pluviométricos inferiores a 2,5 mm/h são considerados de intensidades leve, superior a 2,5 mm/h e inferior a 7,5 mm/h é classificado como chuva moderada e superior a 7,5 mm/h são chuvas fortes. Para estes cálculos foi levado em consideração o acumulado de chuva (em mm) a cada 60 minutos, a fim de correlacionar com os processos de escoamento.

Estes dados serviram de respaldo para entender os limiares das intensidades das chuvas que foram responsáveis pela ocorrência do escoamento na presente área de estudo. Correlacionando os dados, também, com as taxas de umidade do solo.

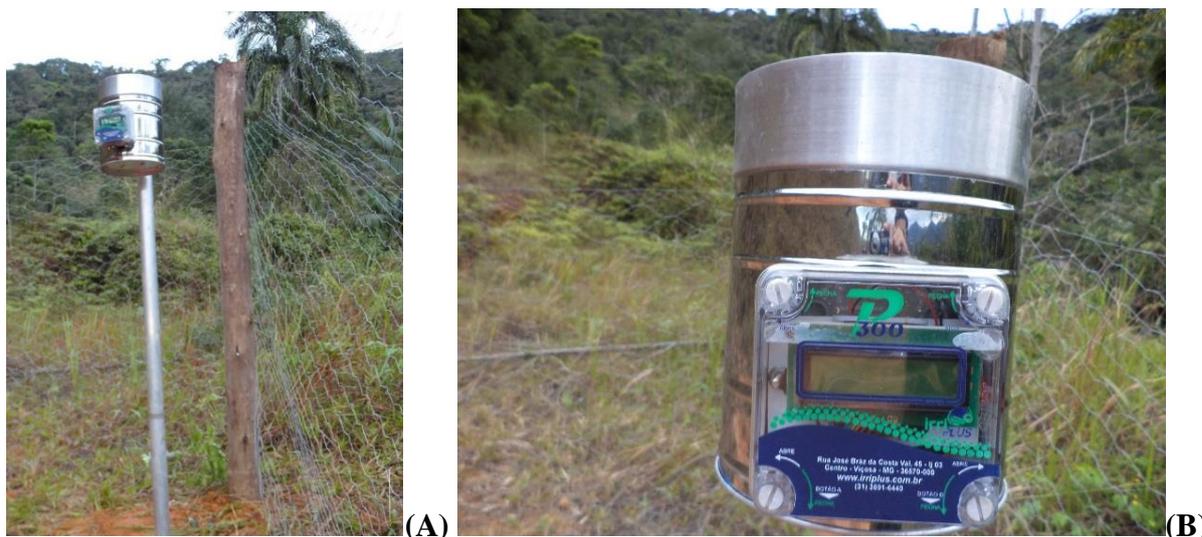


Figura 15: Pluviômetro automático na estação (A) e em detalhe (B). Foto: Leonardo S. Pereira (2013).

### 5.3. Análises das propriedades do solo

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas nos horizontes superficiais da estação e em distintos ambientes para comparação de suas características físicas e químicas com a da estação experimental. Para tanto, três ambientes nas proximidades da estação experimental foram escolhidos e se caracterizam em: a) área degradada (AD) a 2 metros da estação, talude com baixo índice de vegetação, apresentando em grande parte solo exposto e vegetação gramínea com 32° declividade; b) área de transição com a floresta (TF) a 10 metros da estação, talude com vegetação, de meio a um metro de altura, com 41° de declividade; c) área de floresta (FL) a 20 metros da estação, talude com presença de árvores de grande porte e maior diversidade vegetal com 40° de declividade (Quadro 3; figura 16).

**Quadro 3:** Caracterização ambiental dos pontos de coleta do solo.

Estação experimental e pontos de coleta das amostras de solo		Localização UTM	Elevação em relação ao nível do mar	Declividade da área	Características da área
Parcelas de erosão (Monitoradas na estação experimental)	Parcela A (PA)	N – 0474221/ E – 7395940	19,2 metros	4°	Ambiente de solo exposto, sem cobertura vegetal, representando um ambiente degradado. As parcelas estão localizadas em área de material de empréstimo de solo (corte de encosta). Foram instaladas na faixa intermediária da encosta, na presença do horizonte B, sem presença de horizonte O; A ; E
	Parcela B (PB)				
	Parcela C (PC)				
Distintos ambientes modificados	Área degradada (AD)	N – 0474211/ E – 7395934	19,7 metros	32°	Baixo índice de vegetação, apresentando, em grande parte, solo exposto e vegetação de gramínea. Talude a 2 metros de distância da estação
	Transição com a floresta (TF)	N – 0474170/ E – 7395902	29,9 metros	41°	Vegetação de meio a um metro de altura. Talude de transição com a floresta localizado a 10 metros de distância da estação
	Floresta (FL)	N – 0474165/ E – 7395895	43,6 metros	40°	Presença de árvores de grande porte e maior diversidade vegetal. Talude localizado a 20 metros de distância da estação experimental

Organizado por Leonardo S. Pereira (2014).



Figura 16: Áreas de coleta de solo onde: A) representa solo da estação experimental, B) solo da área degradada (AD), C) solo da área de transição para a floresta (TF) e D) solo da área de floresta (FL). Foto: Leonardo S. Pereira (2013).

Em todas as análises dos solos (tanto físicas, quanto químicas) foram elaboradas triplicatas. Também foram aplicados tratamentos estatísticos de desvio padrão e médias nos resultados de todas as análises. Os dados, por fim, foram tabulados, elaborando gráficos para as interpretações dos mesmos. As amostras de solo deformadas foram secas ao ar e destorroadas, sendo utilizadas para as análises dos próximos tópicos.

### 5.3.1. Propriedades físicas

#### - análise de porosidade total e densidade aparente do solo

As análises foram baseadas segundo métodos da EMBRAPA (1997). As análises de porosidade total e densidade aparente ( $D_{ap}$ ) foram elaboradas por meio da coleta de solo volumétrico, em anéis de kopeck de  $100 \text{ cm}^3$  (Figura 17). Para determinação da porosidade total, foi utilizada análise da densidade real para se basear no cálculo, onde:

$$\text{➤ } \textit{Porosidade Total} = 100 (\textit{densidade real} - \textit{densidade aparente}) / \textit{densidade real}$$

$$\text{➤ } \textit{Densidade Aparente} (\textit{g/cm}^3) = \textit{peso da amostra seca} (\textit{g}) / \textit{volume do anel cm}^3$$



Figura 17: Coleta de amostra volumétrica do solo (A), visto em detalhe no anel de kopeck (A e C). Foto: Leonardo S. Pereira (2013).

#### - análise granulométrica

O solo foi destorroado e separado as frações por peneiramento em frações grossas e finas, estas são secas em estufa para posterior pesagem. O material fino foi separado após a

adição de dispersante (NaOH) e batido no mix por 15 minutos, após esse processo o material é lavado por uma peneira que fica sob uma proveta, onde o silte decantou e o material suspenso (argila) foi coletado e colocada em estufa (FIGURA 18). Após a secagem, analisou-se o seu peso e foi calculado o valor do percentual de argila (EMBRAPA, 1997).



Figura 18: Análise granulométrica para determinação da classificação textural do solo onde (A) é o agitador das partículas das frações de solo, (B) a lavagem na peneira, (C) areia retida na peneira, (D) argila em decantação na proveta e (E) pipetagem da argila após tempo determinado. Foto: Leonardo S. Pereira (2013).

### 5.3.2. Análises químicas no solo

A fim de entender os totais de taxas de matéria orgânica presente em cada tipo de solo e comparar com a diversidade das substâncias orgânicas no solo, o presente estudo químico se dividiu em duas etapas de análises: 1º análise quantitativa, entendendo os totais de matéria orgânica presente nos distintos ambientes de cobertura vegetal; 2º análise qualitativa, identificando a diversidade das substâncias orgânicas no solo.

### 5.3.2.1. Taxas de matéria orgânica no solo

A análise tem como princípio a oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor despreendido do ácido sulfúrico e/ou aquecimento. O excesso de dicromato após a oxidação é titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr). Portanto, pesa-se aproximadamente 20g de solo e tritura em gral e passa-se em peneira de 80 mesh. Após esse procedimento, pesar 0,5g do solo triturado e colocar em erlenmeyer de 250ml. Adicionar 10 ml (pipetados) da solução de dicromato de potássio 0,4N. Incluir um branco com 10 ml da solução de dicromato de potássio e anotar o volume de sulfato ferroso amoniacal gasto. Colocar um tubo de ensaio de 25 mm de diâmetro e 250 mm de altura cheia de água na boca do erlenmeyer, funcionando este como condensador. Aquecer em placa elétrica até a fervura branda, durante 5 minutos. Deixar esfriar e juntar 80 ml de água destilada, medida com proveta, 2 ml de ácido ortofosfórico e 3 gotas do indicador difenilamina. Titular com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,1N até que a cor azul desapareça (Figura 19), cedendo lugar à verde (EMBRAPA, 1997).



Figura 19: Etapas das análises de matéria orgânica. Aquecendo a solução em placa elétrica (A); soluções em repouso (B); processo de titulação (C). Foto: Leonardo S. Pereira (2013).

Após a titulação, deve-se anotar o número de mililitros gastos de sulfato ferroso a fim de calcular o carbono orgânico e matéria orgânica em g/kg, onde:

$$\begin{aligned} \text{➤ } C \text{ (g/kg)} &= (40 - \text{volume gasto}) \times f \times 0,6 \\ f &= 40 / \text{volume sulfato ferroso gasto na prova em branco} \end{aligned}$$

A percentagem de matéria orgânica é calculada multiplicando-se o resultado do carbono orgânico por 1,724. Este fator é utilizado em virtude de se admitir que, na composição média do húmus, o carbono participa com 58%.

$$\text{➤ } \textit{Matéria orgânica (g/kg)} = C \textit{ (g/kg)} \times 1,724$$

### 5.3.2.2. Quantificação e caracterização das substâncias voláteis orgânicas no solo: extração dos voláteis por micro extração em fase sólida (solid phase micro-extraction - SPME) e análise por cromatografia em fase gasosa

A quantificação e caracterização das substâncias voláteis orgânicas no solo foi analisado em parceria com o Laboratório de Análises de Aromas, do Instituto de Química (IQ), da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Esta análise foi elaborada em três etapas:

1º etapa: a extração dos voláteis foi realizada por meio da técnica de microextração por fase sólida (SPME, da sigla em inglês). O aparato de SPME foi adquirido da empresa Supelco Inc. (BELLEFONTE, PA) (Figura 20).

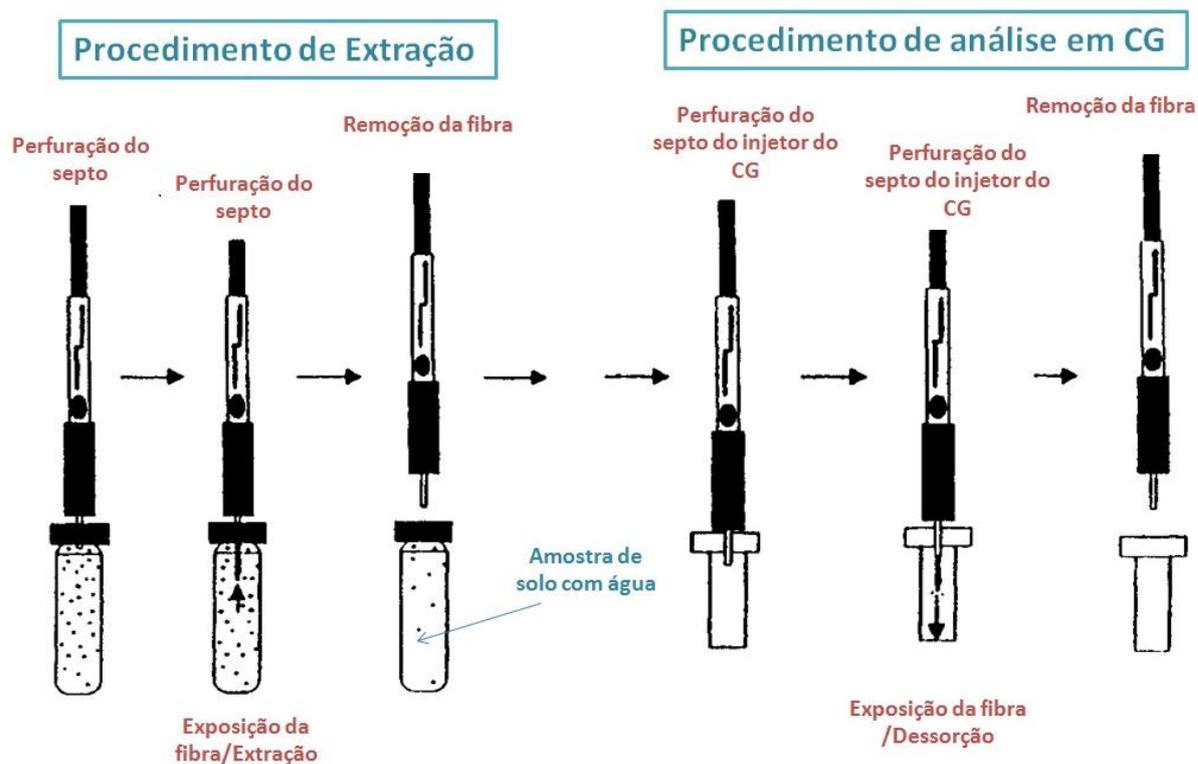


Figura 20: Procedimento de extração dos voláteis por SPME. Fonte: Modificado de Harmon, 2002.

Uma fibra de 50/30  $\mu\text{m}$  composta por carboxen/ divinilbenzeno/ polidimetilsiloxano foi utilizada para o procedimento de extração. Em um frasco selado de 20 mL de capacidade foram colocados 5g de solo proveniente de cada parcela de erosão e 10 mL de água destilada. A extração foi realizada sob temperatura de 60 °C. O solo foi mantido no frasco vedado por 1h, tempo no qual houve o estabelecimento do equilíbrio de partição, após este período a fibra foi exposta ao espaço de ar confinado do frasco (*headspace*), onde permaneceu por 22,5 min (Figura 21).

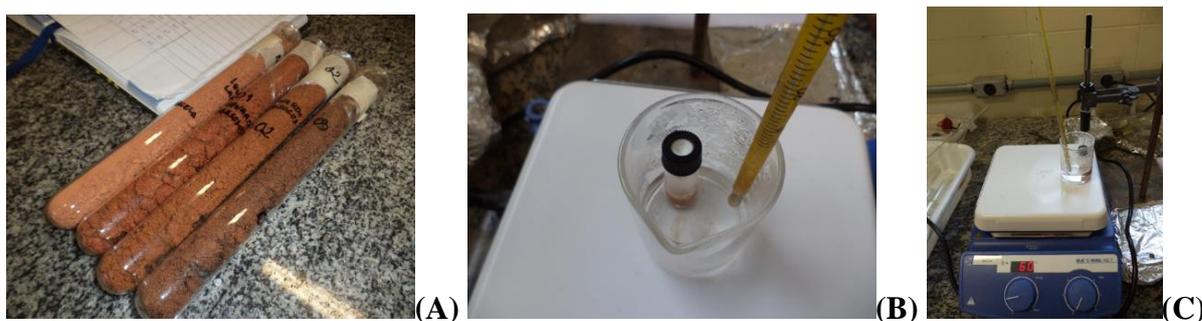


Figura 21: Amostras de solo vedadas para análise (A); estabilização da amostra de solo (B); extração com a fibra exposta do SPME (C). Foto: Leonardo S. Pereira (2013).

2º etapa: a análise por Cromatografia em fase gasosa com detecção por espectrometria de massas (CG/EM) foi realizada em aparelho Agilent 6890N, equipado com detector de massas Agilent 5973N. Foi utilizada uma coluna capilar de sílica fundida (30 m X 0,25 mm X 0,25  $\mu\text{m}$ ), com fase DB-1. O hélio foi utilizado como gás de arraste em um fluxo de 1,0 mL/minuto. O detector de massa foi operado no modo de ionização por elétrons (70 eV), em 3,15 scans/segundos, com escala de massas de 40 a 450 u. A linha de transferência foi mantida em 260 °C, a fonte de ionização em 230 °C e o analisador em 150 °C. A temperatura do forno foi programada de 60 a 240 °C em uma taxa de aquecimento de 3 °C/minuto. A dessorção das substâncias para análise em CG durou 3 min dentro do injetor em modo sem divisão de fluxo, com injetor mantido a 250 °C (Figura 22 A; B).

3º etapa: a identificação das substâncias foi realizada por comparação de seu espectro de massas experimental com o da base Wiley Registry of Mass Spectral Data (1994) ou NIST databases (NIST Chemistry Webbook, 2013), bem como de seu índice de retenção linear, calculado de acordo com Van Den Dool and Kratz (1963), após injeção de uma série

homóloga de n-alcenos ( $C_7$ - $C_{26}$ ) nas mesmas condições supracitadas e comparadas às informações da literatura (ADAMS, 2007) (Figura 22 C).

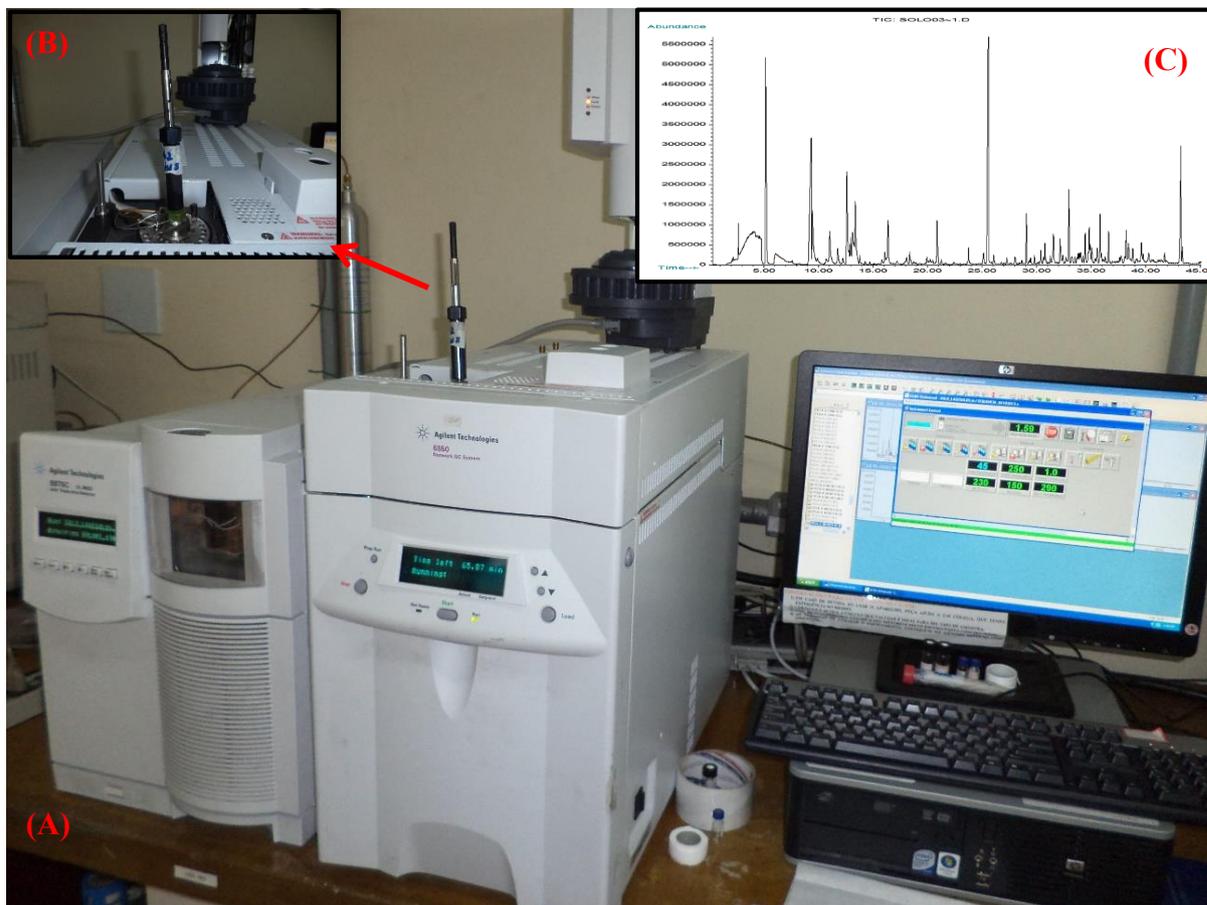


Figura 22: Análise em cromatografia em fase gasosa (A), salientando a dessorção (B) e o cromatograma após análise no CG (C). Foto: Leonardo S. Pereira (2013).

### 5.3.2.3. pH do solo

Para este procedimento, foi utilizado um medidor de pH de bancada (pH 300 M, da empresa Analyzer). Este equipamento conta com um eletrodo acoplado no leitor de pH. Foi elaborado a calibração do equipamento com soluções tampão de pH 4 e 7 para realizar a leitura de acidez dos distintos solos.

A análise seguiu o método da EMBRAPA (1997), onde se pesa 10 g de solo em um recipiente de 100 ml. Adicionou 25 ml de água e com auxílio de um bastão de vidro aditou a solução, deixando-a em repouso por uma hora. Posterior a este procedimento, agita-se a solução novamente e mergulha o eletrodo para o procedimento de leitura (Figura 23 A; B).

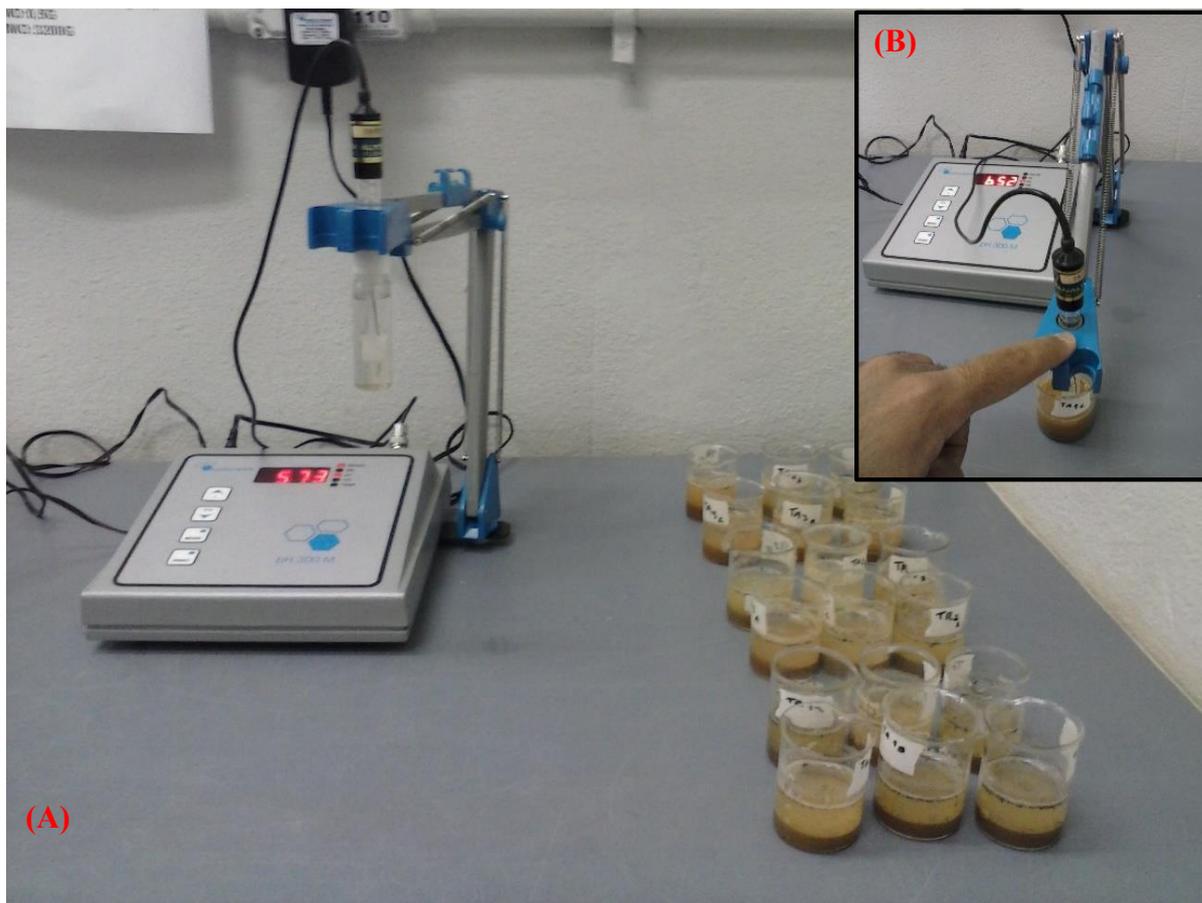


Figura 23: Procedimento de aferição de pH (A), visto em detalhe com o eletrodo mergulhado na solução (B). Foto: Leonardo S. Pereira (2013).

#### 5.4. Perda de solo e água: parcelas de erosão

A fim de analisar os totais dos fluxos de escoamento superficial e entender os processos erosivos de solos degradados sem cobertura vegetal, instalaram-se três parcelas de erosão, dos quais as calhas são do modelo Gerlach (GUERRA, 1999), em declive de 4°, e foram delimitadas com placas galvanizadas a uma profundidade de, aproximadamente, 15 a 20 cm. Ressalta-se que as parcelas de erosão estão instaladas em condições climáticas naturais.

As parcelas de erosão têm 10 metros de comprimento e 1 metro de largura, totalizando 10 m<sup>2</sup>, estando conectadas a calhas que coletam os sedimentos e a caixas que armazenam o escoamento superficial. As caixas que armazenam o escoamento têm capacidade de 100 Litros. Dentro das caixas possuem baldes graduados de 10 litros a fim de armazenar escoamento que não ultrapassem 10 litros (Figura 24). Os mesmos servem também para facilitar a leitura total, quando os volumes de água escoados ultrapassam os 10 litros.



Figura 24: Visão geral da estação experimental de erosão de solos, salientando o pluviógrafo (1); os tensiômetros (2); as parcelas de erosão (3); as caixas coletoras de sedimento (4 e 5). Foto: Leonardo S. Pereira (2013).

As parcelas de erosão são aferidas diariamente e do escoamento armazenado retira-se alíquota de 1 litro para analisar em laboratório os totais de perda de solo. A análise de perda de solo foi por meio de papel filtro qualitativo de  $80 \text{ g/m}^2$  de porosidade equivalente a 3 micras. Após filtrar o escoamento, leva-se o sedimento retido no filtro a estufa para secar (Figura 25 A; B; C) a uma temperatura de  $50^\circ$  por 24 horas. Posterior à secagem esfria-se em dessecador e pesa a fim de determinar o total de sedimento perdido superficialmente, e se multiplica pelo número de litros retidos da caixa coletora.

Os dados obtidos de perda de solo e água foram tabulados e aplicados tratamentos estatísticos das suas médias, que representam as três parcelas. Foi expresso graficamente os dados para melhor interpretação dos resultados obtidos, correlacionando-os com dados de chuva no acumulado de 24 horas, bem como levando em consideração os parâmetros da intensidade pluviométrica.

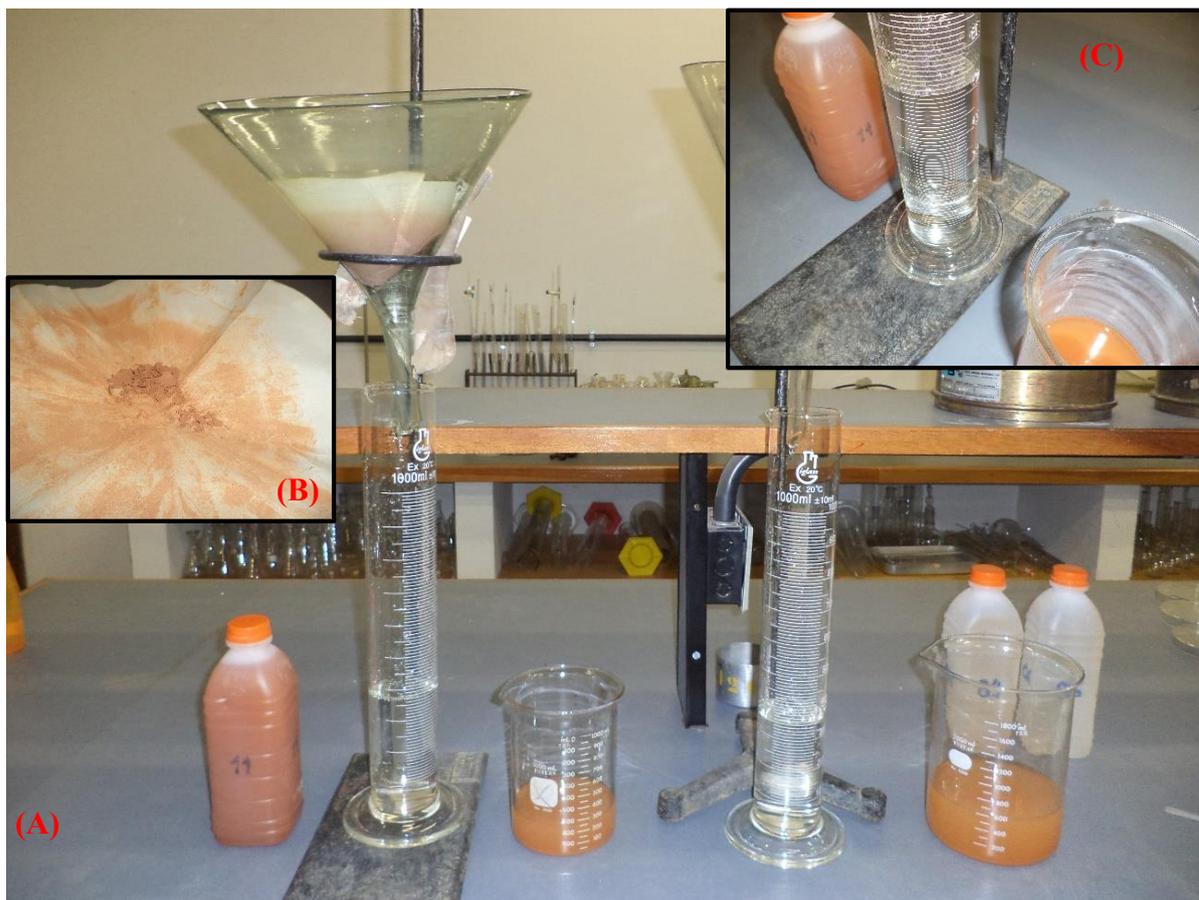


Figura 25: Procedimento de análise de escoamento para cálculos de perda de solo (A), salientando o papel filtro após estufa (B) e a cor dos sedimentos antes e posterior a filtragem do escoamento (C). Foto: Leonardo S. Pereira (2013).

### 5.5. Monitoramento do potencial matricial da água no solo

Em cada parcela de erosão foi instalado bateria de três tensiômetros a vácuo em distintas profundidades (15, 30 e 90 cm) a fim de entender o processo de drenagem da água no solo por meio dos potenciais matriciais. O monitoramento dos tensiômetros é diário (9:00 h). Estes operam na faixa de 0 até -100 kPa, aproximadamente (Figura 26 A e B). Cabe ressaltar que o monitoramento é realizado abrangendo períodos mais úmidos e secos. As profundidades, por sua vez, foram escolhidas levando em consideração os seguintes pressupostos segundo Marouelli (2008):

*profundidade de 15 cm:* camada mais superficial que apresenta as maiores alterações quando se leva em consideração o manejo e uso do solo, sendo a região de maior macroporosidade e alta atividade biológica, sendo a camada de acentuado efeito de drenagem da matriz, além de apresentar maior presença de sistemas radiculares.

*profundidade de 30 cm:* é uma região que pode ser afetada pelos efeitos do uso e manejo superficial.

*profundidade de 90 cm:* trata-se da região na qual o uso e manejo interfere em menor proporção, caracterizando-se como uma região de recarga.

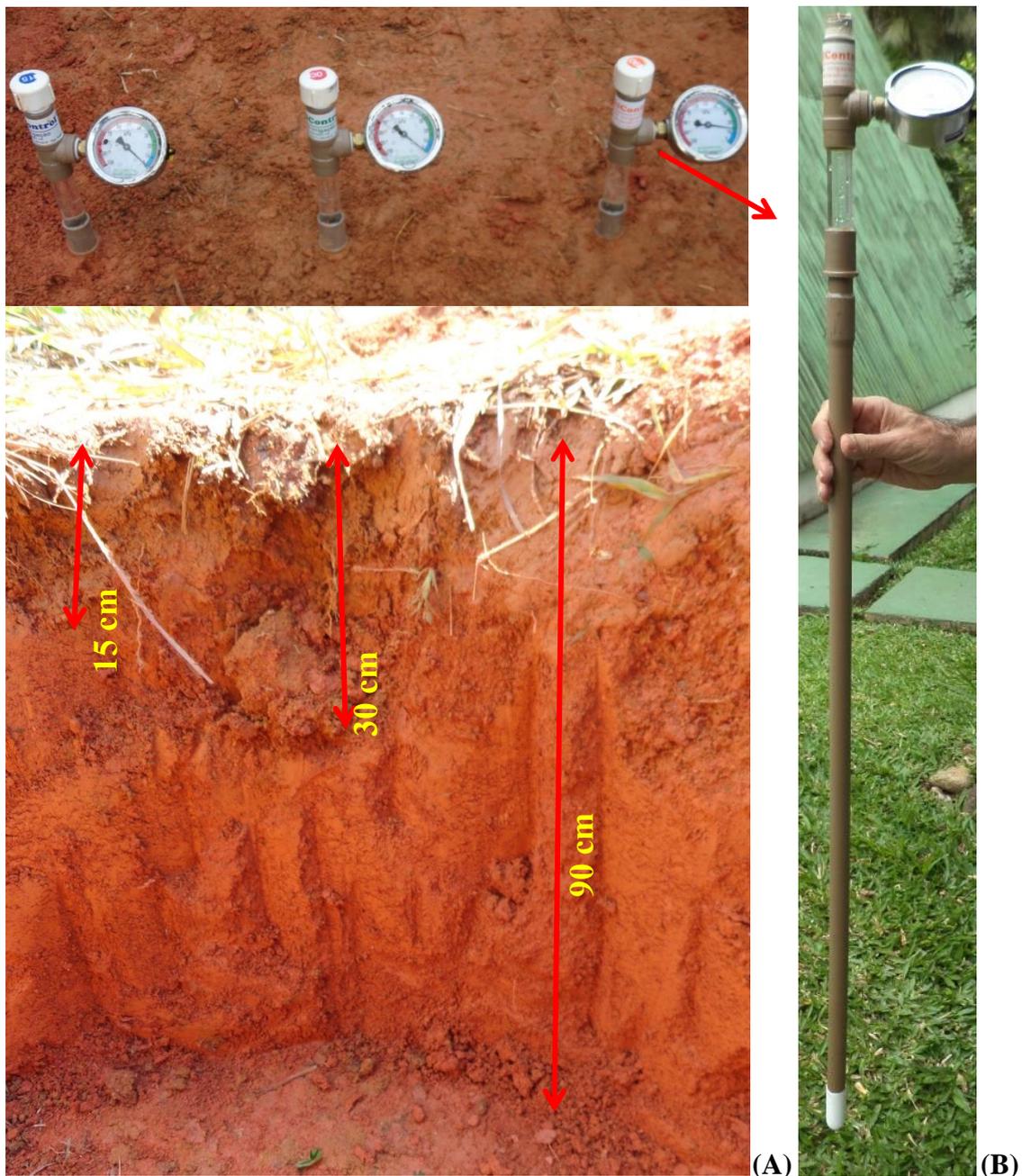


Figura 26: Tensiômetro em distintas profundidades (15, 30 e 90 cm) (A), salientando o tensiômetro a vácuo com a ponta porosa (B). Foto: Leonardo S. Pereira (2013).

Os dados dos potenciais matriciais da água no solo foram tabulados e elaborado tratamentos estatísticos de médias de cada profundidade. Foi levado em consideração períodos mensais de kPa para cada profundidade, para entender temporalmente os períodos de umidade, mas também foi analisado diariamente os potenciais matriciais para melhor detalhamento da drenagem da água após eventos de chuva que culminaram na saturação do solo. Desse modo, foram selecionados períodos de estiagem superior a 7 dias e inferior a 15 dias para entender o processo de movimentação da água nesse período e, assim, foi possível prever os dias que o solo permaneceu saturado (Tabela 3).

Um período de estiagem, que alcançou 30 dias (17 janeiro a 15 de fevereiro de 2014), foi analisado para poder entender a drenagem da água após 15 dias de estiagem. Esse foi o único período de estiagem de 30 dias registrado desde o início do monitoramento do potencial matricial da água no solo, em julho de 2013.

**Tabela 3.** Relação da chuva 72 horas anterior dos períodos de estiagens selecionados.

<b>mm de chuva</b>			<b>Períodos de estiagem selecionados</b>
<b>72 h</b>	<b>48 h</b>	<b>24 h</b>	
5	15	16	<b>07 - 15 nov 2013</b>
-	60	35	<b>12 - 19 dez 2013</b>
-	-	38	<b>17 jan - 15 fev 2014</b>
-	120	4	<b>16 fev - 01 mar 2014</b>
1	1,8	80	<b>08 - 20 mar 2014</b>
-	9	36	<b>04 - 15 abr 2014</b>
-	8	30	<b>12 - 23 mai 2014</b>
12,5	-	2	<b>24 jun - 08 jul 2014</b>
64	70	0,2	<b>29 jul - 08 ago 2014</b>
37	8,5	15	<b>06 - 16 set 2014</b>
12,5	0	7	<b>06 - 20 out 2014</b>

Organizado por Leonardo S. Pereira (Janeiro de 2015).

Segundo o manual dos tensiômetros da *SoilControl* (2013), os vacuômetros possuem faixas de kPa representadas por distintas cores, que são os limiares de transição de kPa para designar o nível de umidade do solo (Quadro 4). Esses dados são importantes para poder entender a condição de umidade no solo ao longo do tempo.

**Quadro 4:** Relação dos potenciais matriciais com a quantidade de água no solo.

<b>Faixas das cores dos sensores de vácuo</b>	<b>kPa</b>	<b>Caracterização da quantidade de água no solo</b>
<b>Azul</b>	de 0 até -10	Saturação do solo
<b>Verde</b>	entre -10 e -30	Solo úmido
<b>Laranja</b>	entre -30 e -50	Solo seco
<b>Vermelho</b>	entre -50 e -100	" <i>stress</i> " hídrico

Organizado por Leonardo S. Pereira (Dezembro de 2014).

### **5.6. Elaboração de *folders* didáticos**

A elaboração dos *folders* teve a intenção de articular os conhecimentos abordados pelo presente estudo de dissertação com os dados adquiridos no monitoramento da estação experimental. Por meio de uma abordagem didática, foi confeccionado o *folder* de modo a articular informações de volumes com figuras/imagens mais representativas pela população como: quantidade de perda de água comparando com volumes que caixas d'água comportam.

São pequenos folhetos de caráter informativo que serão, no segundo momento, entregues para a população local a fim de difundir o conhecimento científico, sendo uma ferramenta de aprendizado e conscientização. Sendo utilizados, principalmente, em escolas e distribuídos para a população que é carente de informações referentes às questões ambientais. A ideia proposta já foi apresentada a lideranças locais, que pretendem difundir os *folders*.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **6.1. Índice pluviométrico em Araribá, bairro da Maranduba, Ubatuba/SP**

Considerando os totais mensais de chuva a partir da leitura diária do pluviômetro instalado a 6 anos, janeiro e dezembro apresentaram maiores amplitudes nas médias mensais de 2009 a 2014 (325,4 e 266,1 mm, respectivamente). Estes meses representam 28,6 % do total de chuva anual, caracterizando períodos mais úmidos. Segundo Brigatti & Sant'anna Neto (2011), o verão (Dezembro a março) representa período da estação do ano que ocorrem eventos pluviais extremos e, conseqüentemente, os maiores episódios de adversidades e desastres naturais. Em contrapartida, os meses mais secos são junho e agosto (113,7 e 61,2 mm, respectivamente), que representam 8,5 % do total mensal das chuvas anuais. Na média dos últimos 6 anos, foi registrado índice de chuva de 2.067,2 mm, abaixo da média de 30 anos (1961-1991), segundo o banco de dados climáticos do Brasil (2015), de 2.519 mm (Tabela 4; figura 27 A e B).

**Tabela 4.** Valores da precipitação média (milímetros e percentual) para os meses de janeiro a dezembro entre 2009 e 2014 e médias mensais anuais de 6 anos comparados com a série histórica de 30 anos do município de Ubatuba do banco de dados climáticos do Brasil (2015).

Meses	2009		2010		2011		2012		2013		2014		Média de 6 anos		Média de 30 anos (1961-1991)	
	mm	%	mm	%	mm	%										
janeiro*	223,1	9,5	456,9	18,9	231,6	10,0	220,2	12,8	495,1	24,9	122,5	7,6	325,4	15,7	376,0	14,9
fevereiro	191,0	8,2	198,3	8,2	149,9	6,5	228,3	13,2	92,1	4,6	132,0	8,2	171,9	8,3	302,0	12,0
março	91,6	3,9	227,2	9,4	604,9	26,2	112,4	6,5	267,6	13,4	252,8	15,6	260,0	12,6	300,0	11,9
abril	276,7	11,8	206,0	8,5	394,0	17,0	79,2	4,6	46,7	2,3	226,0	14,0	201,0	9,7	241,0	9,6
maio	166,5	7,1	107,0	4,4	11,0	0,5	193,0	11,2	169,3	8,5	82,0	5,1	149,0	7,2	124,0	4,9
junho*	99,7	4,3	171,5	7,1	56,9	2,5	151,1	8,8	89,3	4,5	94,1	5,8	113,7	5,5	87,0	3,5
julho*	209,7	9,0	219,0	9,0	45,5	2,0	179,7	10,4	135,7	6,8	179,8	11,1	157,9	7,6	11,0	0,4
agosto	82,0	3,5	64,6	2,7	116,5	5,0	15,5	0,9	27,5	1,4	83,9	5,2	61,2	3,0	93,0	3,7
setembro	162,3	6,9	166,5	6,9	121,4	5,2	41,7	2,4	93,5	4,7	111,5	6,9	117,1	5,7	166,0	6,6
outubro	287,7	12,3	95,7	4,0	160,0	6,9	138,3	8,0	199,0	10,0	68,2	4,2	176,0	8,5	215,0	8,5
novembro	130,0	5,6	175,5	7,2	90,9	3,9	204,0	11,8	183,5	9,2	116,7	7,2	156,8	7,6	256,0	10,2
dezembro*	416,2	17,8	332,1	13,7	230,4	10,0	160,0	9,3	191,7	9,6	149,3	9,2	266,1	12,9	348,0	13,8
<b>Total</b>	2336,5	100,0	2420,8	100,0	2312,6	100,0	1723,4	100,0	1991,0	100,0	1618,8	100,0	2067,2	100,0	2.519	100,0

\*As cores em azul representam os meses mais chuvosos e em vermelho os mais secos.

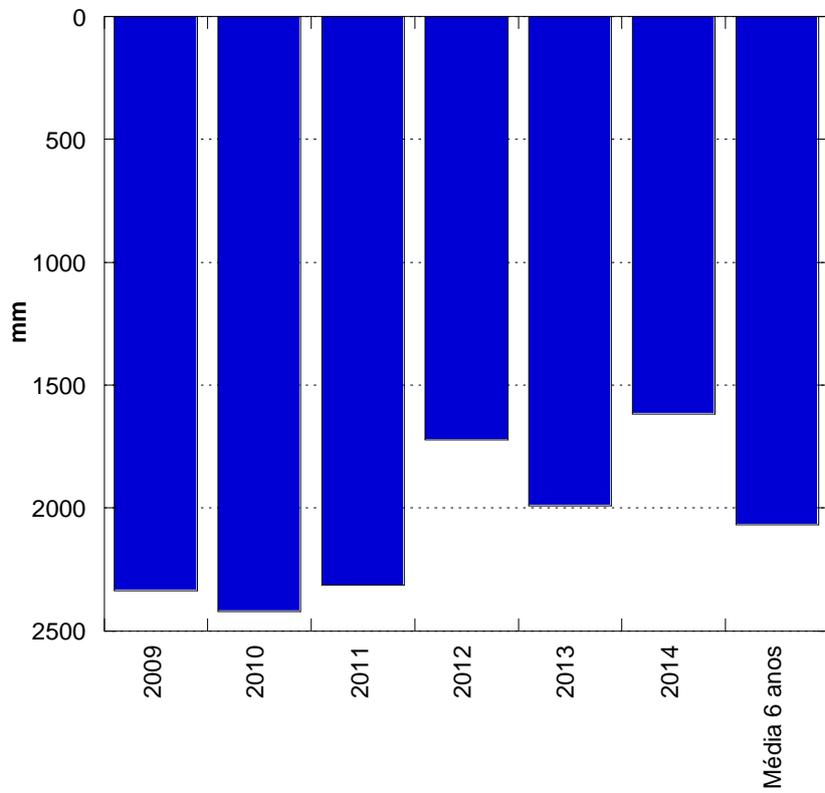
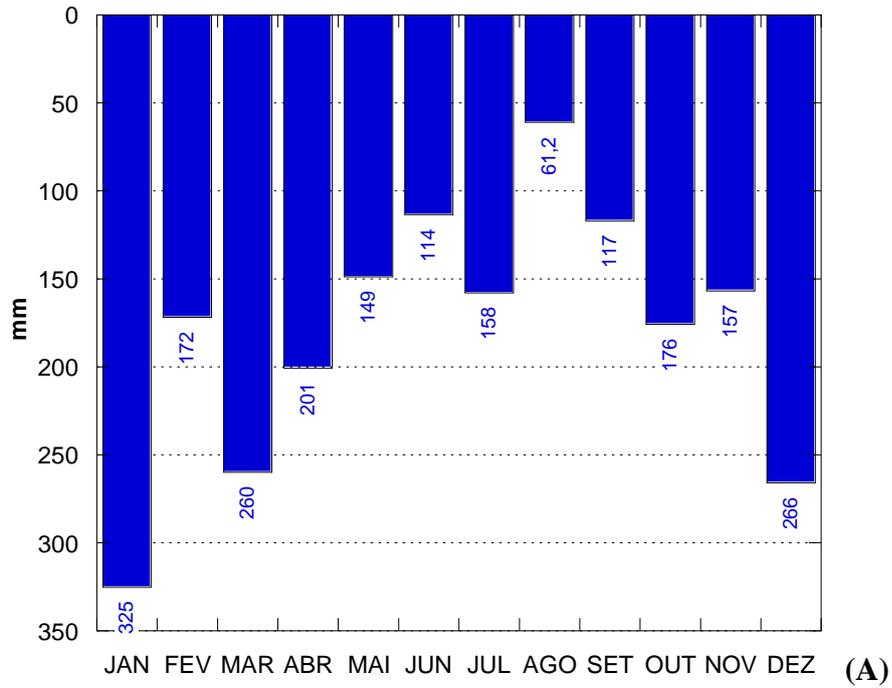


Figura 27: Média pluvial mensal de 6 anos (2009-2014) (A); Média anual de chuva (B).

Observa-se que os últimos 6 anos foram meses que ficaram abaixo da média de 30 anos de Ubatuba, sendo que 2014 foi o ano com menor acumulado pluvial (1.618,8 mm), representando 900,2 mm de chuva a menos. Este déficit de chuva é superior aos dois meses mais chuvosos juntos na média de 30 anos (janeiro e dezembro), com 724 mm. Sendo assim,

constatou que desde o início do monitoramento pluvial, 2010 foi o ano mais úmido (2.420,8 mm), apesar de também estar abaixo da média do município, com 98,2 mm a menos de chuva.

Esses períodos mais secos estão relacionados com a pouca precipitação que o estado de São Paulo está enfrentando nos últimos anos, principalmente em 2014, baixando a quantidade de água armazenada nos reservatórios que abastecem a cidade. Segundo Lengoasa (2014), secretário geral adjunto da Organização Mundial de Meteorologia (OMM), a previsão para 2015 é a continuação da falta de chuva que alcance as médias históricas do estado. O agravante neste ano será devido ao fenômeno El Niño, que, segundo o cientista, as nuvens que se formarão não serão arrastadas pelos ventos para a América do Sul, mas sim na direção oeste.

Contudo, Ubatuba é um município que possui boa distribuição de chuva ao longo do ano, com meses mais e menos úmidos. Segundo Nunes (2010), esta cidade está entre as 10 mais chuvosas do Brasil, o que confere ao município grande oferta de água. Essa região também conta com constantes chuvas orográficas, isso devido ao seu território ser comprimido com a serra do Mar, ou seja, apresenta grande densidades de massas de ar úmidas.

Portanto, segundo Sant'Anna Neto (1990), Ubatuba pertence à subzona litoral norte, que vai do litoral de Maranduba, ao sul, até a Ponta da Trindade, ao norte, zona costeira com média pluviométrica anual entre 2000 e 2500 mm, comprimida pelas vertentes da Serra do Mar e esporões que avançam e adentram ao mar. Esses índices pluviométricos assemelham-se aos totais anuais da Serra do Rio de Janeiro de Nova Friburgo, com médias anuais de precipitação, segundo Coelho Netto *et al.* (2008), de cerca de 2.500 mm nas áreas mais altas (1977-2000). O período de maior índice pluviométrico, segundo os mesmos autores, está relacionado entre os meses de dezembro e fevereiro, onde o total de chuva na sua média mensal varia de 240 a 340 mm em altitudes mais elevadas do sul e entre 150 e 240 mm para o norte.

### **6.1.1. Interação intensidade da chuva com escoamento superficial**

Foram analisados 67 períodos de ocorrência de escoamento entre abril e outubro de 2014 e relacionados com a intensidade das precipitações. Desse modo, as chuvas com intensidade leve (Inferior a 2,5 mm/h) predominam no município, representando 100% de 35 períodos.

O período de 15/04/2014 às 11:00 até 16/04/2014 às 08:00 exemplifica a maior frequência de chuvas de intensidades leves, quando os 19 eventos de precipitação ficaram abaixo de 2,5 mm/h. Dessa forma, essas chuvas ganham relevância para se entender o processo de escoamento superficial, pois apesar da baixa declividade do terreno (4°), a frequência de chuvas leves culminou, nesse mesmo período, no total de escoamento de 100.000 L/ha, com ocorrência de perda de solo de 0,141 t/ha (Tabela 5).

Portanto, outro fator importante que deve ser analisado é o processo de umidade antecedente do solo, quando a água fica armazenada no mesmo devido à baixa drenagem, ou evaporação. É o que pode ser observado na tabela 5 nos períodos de 21/04/2014 às 5:00 até o 3° período 24/04/2014 às 03:00, quando as 18 precipitações de distintas intensidades não propiciaram o processo de escoamento superficial. Contudo, nos três próximos períodos, observa-se o inverso, como no dia 25/04/2014 as 10:00 até o dia 26/04/2014 à 01:00, que com apenas 2 eventos de chuva de baixa intensidade foi possível a ocorrência de escoamento 100.000 L/ha, totalizando perda de solo de 0,228 t/ha, próximo da metade da perda do dia seguinte, 27/04/2014 entre as 16:00 e 17:00 horas, com 0,692 t/ha, com apenas um evento de chuva de intensidade forte (Superior a 7,5 mm/h). E no terceiro período do próximo dia (28/04/2014 entre 00:00 e 09:00 horas), com 6 eventos de precipitação, onde 50% de chuva leve e 50% de chuva de intensidade forte culminaram, também, com ocorrência de escoamento de 100.000 L/ha e perda de solo de 0,223 t/ha.

Considerando que o mês de abril de 2014 obteve um acumulado de perda de solo de 1,64 t/ha, somente os dois eventos de chuva de intensidades leves entre os dias 25/04 e 26/04 foram responsáveis pela perda de 13,9 % do total mensal desse mês. Comparando com chuvas de forte intensidade, no dia 27/04, uma única chuva resultou com 42,2 % do total de perda de solo mensal.

Portanto, ao associar a maior frequência de precipitações de intensidades leves com a umidade antecedente do solo, salienta-se que essas chuvas também podem ser um fator de detonação e propiciar a ocorrência de escoamento. Essa concepção se reforça ao evidenciar que do total de perda de solo desse período analisado (2,419 t/ha), foram 35 períodos com 100% de chuvas leves, representando um total de perda de solo de 0,633 t/ha, 26,2% do total. Segundo Nunes (2010), a quantidade de chuvas inferiores a 2,5 mm/h no município se explica pelas constantes chuvas orográficas, estas carregadas de massas de ar úmidas de origem da evaporação mar, tanto quanto da evapotranspiração mata Atlântica, devido à proximidade com a serra do Mar.

**Tabela 5.** Classificação da intensidade da chuva durante os períodos de ocorrências dos escoamentos nas parcelas de erosão entre os meses de abril e dezembro de 2014.

Período de ocorrência do escoamento		Classificação de intensidade da chuva segundo parâmetros de Reichart (1987)				Escoamento (L/ha)	Perda de solo (t/ha)
Início	Final	Nº de chuvas	Leve (%) < 2,5 mm/h	Moderado (%) > 2,5 e < 7,5 mm/h	Forte (%) > 7,5 mm/h		
02/04/2014 20:00	03/04/2014 01:00	4	50,0	25,0	25,0	44333	0,056
03/04/2014 20:00	04/04/2014 10:00	11	54,5	27,3	18,2	100000	0,169
13/04/2014 02:00	14/04/2014 09:00	16	37,5	37,5	25,0	100000	0,131
14/04/2014 10:00	15/04/2014 00:00	12	100,0	0,0	0,0	-	-
15/04/2014 11:00	16/04/2014 08:00	19	100,0	0,0	0,0	100000	0,141
16/04/2014 23:00	17/04/2014 03:00	4	100,0	0,0	0,0	-	-
21/04/2014 05:00	21/04/2014 06:00	2	100,0	0,0	0,0	-	-
23/04/2014 00:00	24/04/2014 09:00	4	75,0	25,0	0,0	-	-
24/04/2014 10:00	25/04/2014 03:00	12	66,7	0,0	33,3	-	-
25/04/2014 22:00	26/04/2014 01:00	2	100,0	0,0	0,0	100000	0,228
27/04/2014 16:00	27/04/2014 17:00	1	0,0	0,0	100,0	100000	0,692
28/04/2014 00:00	28/04/2014 09:00	6	50,0	0,0	50,0	100000	0,223
09/05/2014 10:00	09/05/2014 14:00	4	75,0	25,0	0,0	-	-
10/05/2014 01:00	11/05/2014 09:00	12	75,0	8,3	16,7	100000	0,218
11/05/2014 11:00	19/05/2014 01:00	4	100,0	0,0	0,0	-	-
23/05/2014 07:00	24/05/2014 07:00	14	100,0	0,0	0,0	100000	0,252
24/05/2014 13:00	25/05/2014 04:00	13	92,3	7,7	0,0	-	0,000
25/05/2014 15:00	26/05/2014 09:00	8	100,0	0,0	0,0	-	-
27/05/2014 23:00	28/05/2014 07:00	9	88,9	11,1	0,0	100000	0,098
28/05/2014 10:00	29/05/2014 08:00	7	71,4	14,3	14,3	100000	0,074

29/05/2014 19:00	30/05/2014 08:00	3	100,0	0,0	0,0	-	-
01/06/2014 14:00	02/06/2014 02:00	2	100,0	0,0	0,0	-	-
02/06/2014 12:00	02/06/2014 15:00	3	100,0	0,0	0,0	-	-
09/06/2014 23:00	10/06/2014 09:00	7	71,4	14,3	14,3	31667	0,001
10/06/2014 10:00	11/06/2014 09:00	12	91,7	8,3	0,0	100000	0,002
11/06/2014 10:00	11/06/2014 11:00	2	0,0	100,0	0,0	100000	0,002
16/06/2014 05:00	16/06/2014 08:00	4	100,0	0,0	0,0	-	-
18/06/2014 16:00	19/06/2014 09:00	9	100,0	0,0	0,0	100000	0,007
19/06/2014 10:00	20/06/2014 09:00	20	80,0	20,0	0,0	-	-
20/06/2014 13:00	21/06/2014 05:00	14	78,6	21,4	0,0	100000	0,007
21/06/2014 16:00	22/06/2014 07:00	10	80,0	20,0	0,0	-	-
23/06/2014 05:00	23/06/2014 06:00	1	100,0	0,0	0,0	-	-
08/07/2014 13:00	09/07/2014 05:00	7	100,0	0,0	0,0	-	-
09/07/2014 21:00	10/07/2014 08:00	4	75,0	25,0	0,0	-	-
10/07/2014 12:00	11/07/2014 08:00	13	69,2	30,8	0,0	100000	0,003
11/07/2014 21:00	12/07/2014 09:00	5	80,0	20,0	0,0	50000	0,005
12/07/2014 09:00	12/07/2014 10:00	1	100,0	0,0	0,0	-	-
14/07/2014 05:00	15/07/2014 02:00	5	80,0	20,0	0,0	-	-
24/07/2014 19:00	25/07/2014 10:00	8	87,5	12,5	0,0	24667	0,013
26/07/2014 04:00	26/07/2014 07:00	2	100,0	0,0	0,0	-	-
26/07/2014 18:00	27/07/2014 09:00	12	100,0	0,0	0,0	100000	0,002
27/07/2014 10:00	28/07/2014 09:00	23	34,8	60,9	4,3	100000	0,001
28/07/2014 11:00	29/07/2014 05:00	4	100,0	0,0	0,0	-	-
05/08/2014 04:00	05/08/2014 07:00	4	100,0	0,0	0,0	-	-
08/08/2014 21:00	09/08/2014 09:00	13	46,2	53,8	0,0	100000	0,003
09/08/2014 10:00	09/08/2014 23:00	13	100,0	0,0	0,0	86667	0,002
13/08/2014 13:00	14/08/2014 06:00	12	100,0	0,0	0,0	28000	0,001
14/08/2014 12:00	14/08/2014 13:00	2	100,0	0,0	0,0	-	-

16/08/2014 20:00	17/08/2014 00:00	5	60,0	40,0	0,0	-	-
27/08/2014 00:00	27/08/2014 09:00	5	100,0	0,0	0,0	-	-
28/08/2014 11:00	28/08/2014 12:00	2	50,0	50,0	0,0	-	-
31/08/2014 19:00	01/09/2014 03:00	7	100,0	0,0	0,0	-	-
03/09/2014 00:00	03/09/2014 04:00	5	60,0	15,0	15,0	100000	0,032
04/09/2014 02:00	04/09/2014 09:00	6	50,0	50,0	0,0	100000	0,016
04/09/2014 10:00	05/09/2014 07:00	16	93,8	6,2	0,0	100000	0,009
16/09/2014 21:00	17/09/2014 05:00	4	100,0	0,0	0,0	-	-
17/09/2014 17:00	17/09/2014 22:00	6	100,0	0,0	0,0	-	-
18/09/2014 19:00	19/09/2014 08:00	7	100,0	0,0	0,0	-	-
19/09/2014 21:00	19/09/2014 22:00	1	100,0	0,0	0,0	-	-
20/09/2014 16:00	21/09/2014 09:00	4	100,0	0,0	0,0	-	-
21/09/2014 10:00	22/09/2014 04:00	5	100,0	0,0	0,0	-	-
26/09/2014 14:00	26/09/2014 20:00	6	66,6	16,7	16,7	49667	0,020
28/09/2014 05:00	28/09/2014 21:00	4	100,0	0,0	0,0	-	-
29/09/2014 18:00	29/09/2014 19:00	1	100,0	0,0	0,0	-	-
01/10/2014 07:00	01/10/2014 08:00	2	100,0	0,0	0,0	-	-
02/10/2014 04:00	02/10/2014 05:00	2	100,0	0,0	0,0	-	-
02/10/2014 14:00	03/10/2014 07:00	8	62,5	37,5	0,0	71000	0,011

## 6.2. Propriedades físicas do solo

Levando em consideração os totais de porosidade no solo, as parcelas de erosão representaram maiores taxas na superfície de 0-10 cm (34,4 %) em detrimento da subsuperfície de 20-30 cm que, apesar de valores próximos, obteve média de 33,1%. Solos da área degradada próximo da estação experimental apresentaram taxas de porosidade total semelhantes no horizonte superficial (36,2 %). Contudo, os solos que estão associados à cobertura vegetal obtiveram maiores taxas de porosidade, onde solo da área de transição para a floresta e de floresta apresentaram 48,8 e 45,3 % de porosidade total respectivamente (Figura 28 A). Estes solos também apresentaram maiores desvio padrão, salientando a complexidade desses sistemas em detrimento aos solos expostos da estação e da área degradada.

Desse modo, a água é retida nos poros da matriz de solo devido aos fenômenos de capilaridade e adsorção e, portanto, a análise da diferenciação da porosidade em solos de diferentes tipos de cobertura vegetal se torna uma variável importante, porque diferentes tipos de vegetação podem causar transformações ao longo do perfil, principalmente em relação à porosidade, interferindo na densidade aparente (SILVA, 2010; BEZZERA, 2013). Desta forma, a sua caracterização torna-se um parâmetro importante na avaliação da dinâmica hidrológica e dos processos erosivos.

Nessa perspectiva, os resultados de densidade aparente da estação apresentaram elevado índice tanto superficial, quanto subsuperficial, entorno a  $1,7 \text{ g/cm}^3$ , caracterizando um ambiente compactado (Figura 28 B). O solo da área degradada obteve porcentagem semelhante,  $1,6 \text{ g/cm}^3$  de densidade aparente na superfície. Associa-se a esses valores a baixa presença de vegetação uma vez que as raízes ajudam na reestruturação dos solos e na formação de poros. Nessa perspectiva, os solos da área de transição para a floresta e da floresta apresentaram valores inferiores ( $1,3$  e  $1,4 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente), salientando a importância da floresta, sendo importante para a própria funcionalidade da dinâmica ambiental como boa eficiência hidrológica, o que ajuda na contenção de ocorrências de deslizamentos de terra, por exemplo, minimizando os problemas de erosão.

Portanto, segundo Silva (2010), a porosidade possui grande importância para o adequado funcionamento do solo, permitindo a infiltração da água em subsuperfície, o que viabiliza o abastecimento do lençol freático e fornece água para os vegetais. Contudo, se a rede porosa do solo é comprometida, como as áreas degradadas da presente pesquisa com  $1,7 \text{ g/cm}^3$  de densidade aparente, ocorre a formação da erosão laminar.

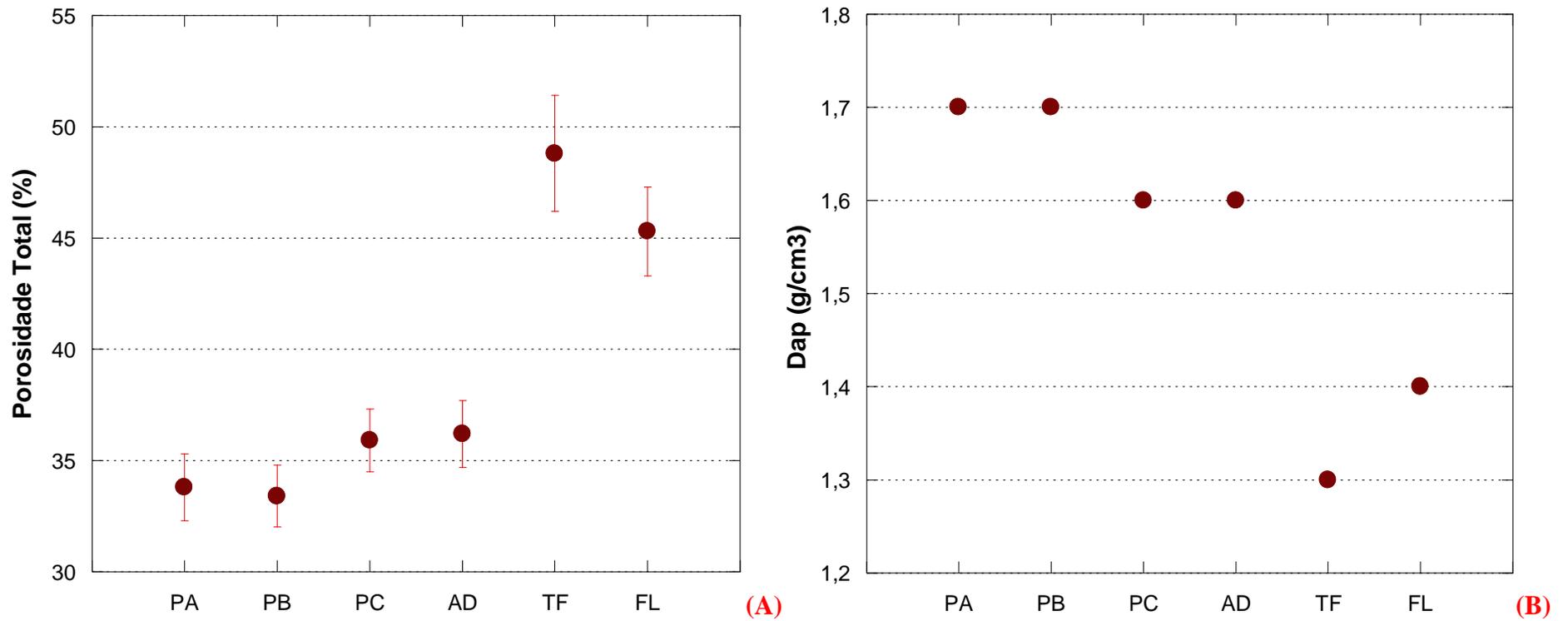


Figura 28: Média e desvio padrão nos distintos solos de porosidade total (A) e da densidade aparente (B).

Outro fator importante na análise da suscetibilidade dos solos à erosão depende da predominância das frações granulométricas. A classificação textural do solo desta pesquisa seguiu os parâmetros da United States Department of Agriculture (USDA) e variaram entre solos franco arenosos, franco argilo arenosos e argilosos nos distintos ambientes modificados (Tabela 6). São solos que possuem altas taxas das frações areia, em média 52,1 %, seguidos de argila 26,7 % e silte 21,2 %.

Nessa perspectiva, segundo Morgan (2005), as frações com maior potencialidade à erosão são as frações silte e areia, sobretudo, areia fina, pois não possuem alta capacidade de agregação, o inverso com a argila, que é a fração mais difícil de remoção, pois possui maior capacidade de agregação (MORGAN, 2005). Logo, levando em consideração somente a classificação textural, os solos analisados de Ubatuba apresentam maior suscetibilidade aos processos erosivos, principalmente quando sofrem pela ação degradante do ser humano, deixando-os expostos as ações diretas dos agentes modeladores do relevo. Portanto, o fator principal que será responsável para o arraste do solo no município está relacionado com a erosividade da chuva, uma vez que a cidade é uma das mais chuvosas do país.

Contudo, outros fatores influenciam no processo hidroerosivo, como a quantidade de matéria orgânica (M.O.) presente no solo. A matéria orgânica, portanto, tem a capacidade de agregação do solo, tornando-o resistente à ação da chuva, por exemplo. Além de estar relacionado com a ciclagem de nutrientes, o que auxilia na qualidade do solo (PODWOJEWSKI *et al.*, 2011). Nessa perspectiva, a porcentagem de M.O. presente nas parcelas, em AD e em TF confere a estes ambientes maior susceptibilidade à erosão (Aproximadamente 0,5, 1,6 e 0,6 %, respectivamente), pois são solos com menor complexidade nos fluxos de matéria e energia, segundo Vezzani e Mielniczuk (2011), sendo desfavorável para o crescimento da vegetação. Contudo, os solos da área TF possuem vegetação de, aproximadamente, um metro de altura, com presença de raízes que agem na contenção da erosão, minimizando os processos de solo. Em contrapartida, os solos de FL que apresentaram a maior taxa de M.O. (4,2 %), o que culmina na qualidade ambiental, ajudando na manutenção da vegetação.

As análises de pH dos solos não variaram muito significante entre os ambientes, variando de 4,9 nas áreas mais degradadas até a 5,8 em floresta (Tabela 6), ou seja, representam solos ácidos. Contudo, segundo Malavolta (1979), os solos com pH entre 6 e 6,5 são ideais para o crescimento da vegetação, logo, a área de floresta apresenta o solo mais próximo ao ideal, nos que diz respeito a sua acidez.

**Tabela 6.** Classificação físico-química do solo dos distintos ambientes modificados.

Pontos de coleta	Profundidade	Análises físicas						Análises químicas		
		Arranjo poral		Granulométrica %				Classificação textural (USDA, 2014)	M.O. %	pH
		Porosidade total %	Densidade aparente g/cm <sup>3</sup>	Areia	Silte	Argila				
Parcelas de erosão	PA	0 - 10 cm	33,8	1,7	47,3	17,9	34,8	Franco argilo arenoso	0,47	5,1
		10 - 20 cm	34,1	1,7	55,3	19,2	25,5	Franco argilo arenoso	0,44	5,0
	PB	0 - 10 cm	33,4	1,7	57,3	22,9	19,8	Franco arenoso	0,51	5,1
		10 - 20 cm	32,9	1,7	55,3	26,2	18,5	Franco arenoso	0,51	5,2
	PC	0 - 10 cm	35,9	1,6	48,3	22,0	29,7	Franco argilo arenoso	0,51	5,0
		10 - 20 cm	32,5	1,7	51,9	22,1	26,0	Franco argilo arenoso	0,55	5,1
Distintos ambientes modificados	AD	0 - 10 cm	36,2	1,6	60,3	24,3	15,4	Franco arenoso	1,60	4,9
	TF	0 - 10 cm	48,8	1,3	42,5	13,2	44,3	Argiloso	0,65	5,1
	FL	0 - 10 cm	45,3	1,4	50,6	23,2	26,2	Franco argilo arenoso	4,29	5,8

### 6.3. Propriedades químicas das substâncias orgânicas do solo

Podwojewski *et al.* (2011) salientam que para um bom funcionamento do sistema solo, este deve estar associado a uma boa concentração de matéria orgânica (M.O.), pois é fundamental para a formação de agregados, além de ser responsável pela retenção e ciclagem dos nutrientes, sendo fonte de energia para a atividade biológica, por exemplo. Sua perda, desse modo, pode representar o desequilíbrio de processos no meio ambiente, comprometendo os fluxos de energia e matéria no solo, que são complexos e importantes para a sustentabilidade ambiental.

A área de estudo apresentou solos degradados (AD) com baixas concentrações de taxas de matéria orgânica, assim como em área de transição com a floresta (TF): 1,6 e 0,6%, respectivamente. A área de floresta (FL) que representou maior porcentagem de M.O. (4,3%). Contudo, AD apresenta menor diversidade de substâncias orgânicas no solo (3 no total) ao comparar com TF e FL (10 e 29 substâncias, respectivamente) (Figura 29).

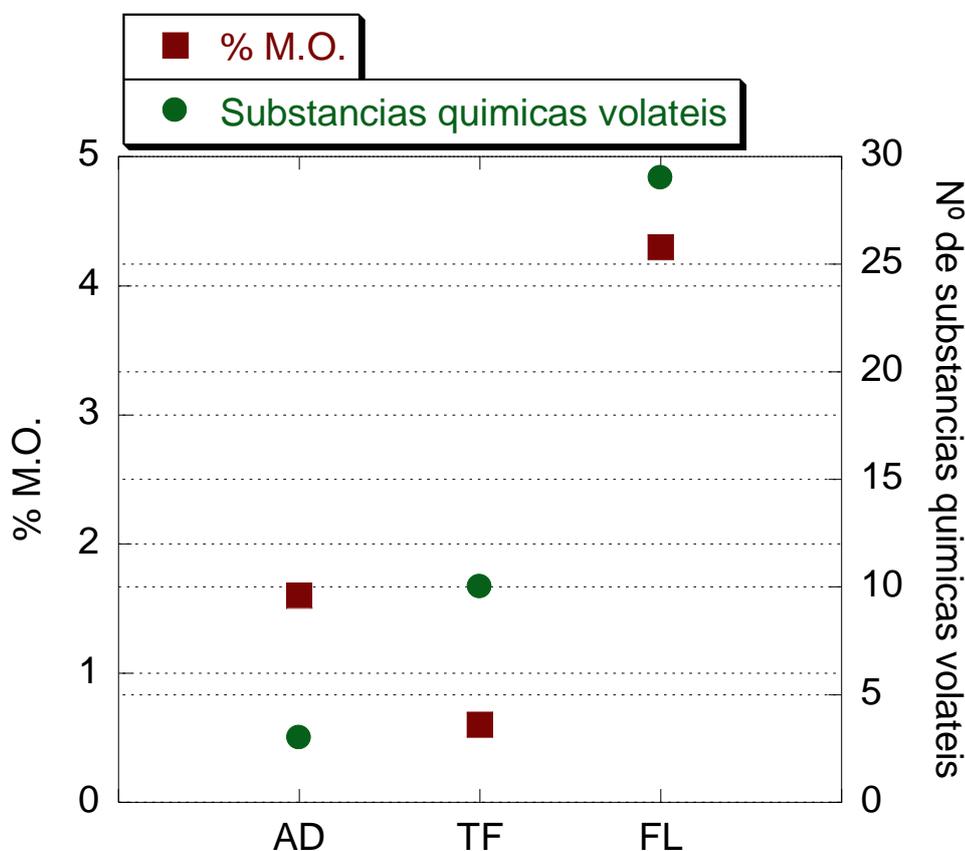


Figura 29: Relação da porcentagem de M.O. com a quantidade de substâncias químicas voláteis.

Portanto, observa-se que somente as análises quantitativas de porcentagem de matéria orgânica não representam com fidedignidade a qualidade do solo, é importante identificar quais são as substâncias químicas presentes no solo para que se possa entender a dinâmica do mesmo, assim como a sua funcionalidade no meio ambiente. Desse modo, o estudo qualitativo das substâncias orgânicas no solo ganha relevância uma vez que o solo apresenta grande diversidade do mesmo quando associado a um ambiente rico em biodiversidade (JOHNSON *et al.*, 2006).

A partir da análise dos cromatogramas (Figura 30, 31 e 32) é possível analisar a maior diversidade de compostos orgânicos em solo de floresta e, apesar do solo de área de transição para a floresta apresentar vegetação, observou-se a pouca quantidade de substâncias orgânicas. Contudo, o solo da área degradada apresentou a menor quantidade de compostos, o que indica um ambiente com baixa diversidade química e biológica.

Os ácidos orgânicos, provenientes de plantas, têm sido o foco de muitas pesquisas para produção de alimentos, contudo, informações sobre a concentração e o tipo de ácidos orgânicos em solos tropicais ainda são incipientes (PINHEIRO *et al.*, 2013). Segundo Strobel (2000), a solução do solo consiste de diversos compostos orgânicos de carbono com ácidos carboxílicos de baixo peso molecular, representando a menor fração do carbono orgânico dissolvido, menos de 10% na maioria dos solos. O autor salienta a contribuição da floresta na incorporação desses ácidos no solo, uma vez que o acúmulo de folhas no solo propicia a formação da serapilheira, e associado a alta temperatura e umidade, culmina na decomposição desse material.

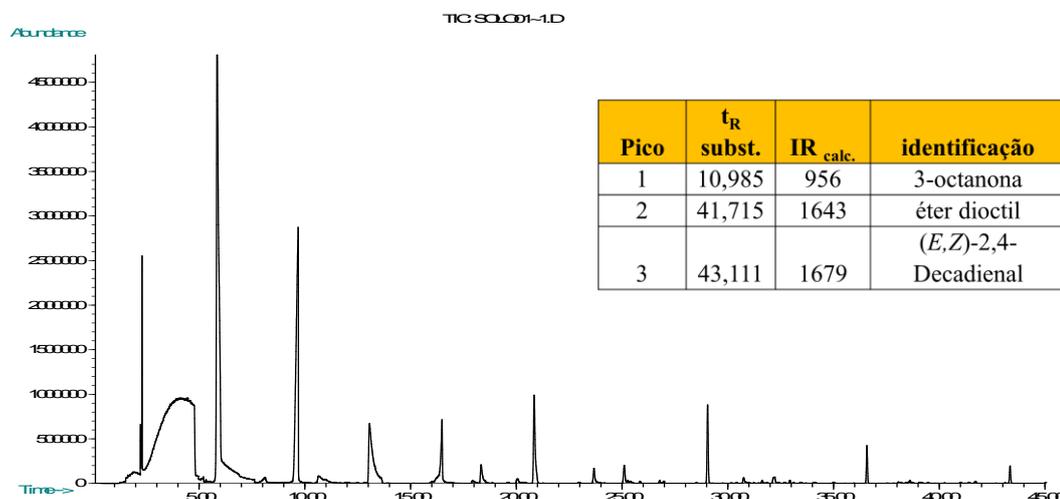


Figura. 30: Cromatograma da análise dos voláteis de solo de área degradada extraídos por SPME com as substâncias voláteis orgânicas identificadas.

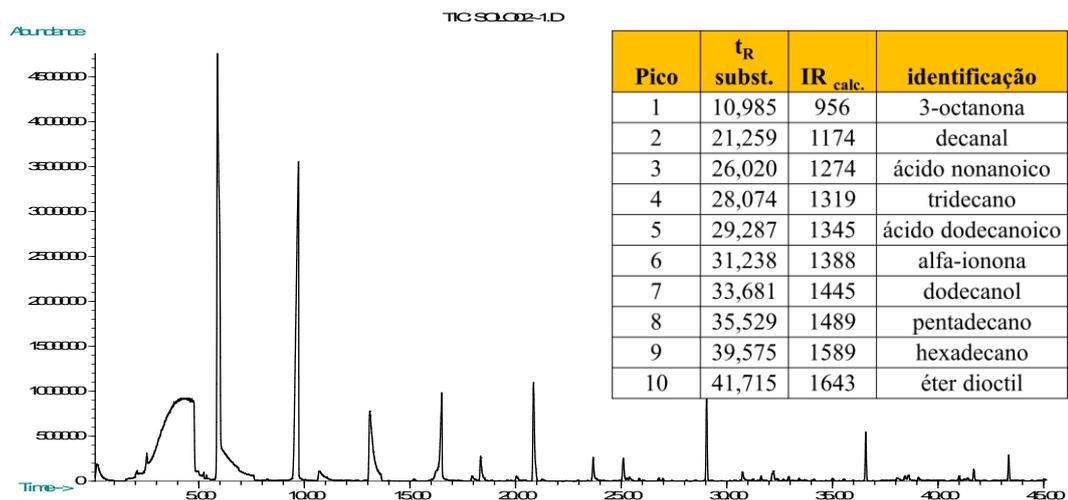


Figura. 31: Cromatograma da análise dos voláteis de solo de transição para floresta extraídos por SPME com as substâncias voláteis orgânicas identificadas.

Nessa perspectiva, na identificação dos compostos voláteis orgânicos de solo de FL e TF, observou-se a presença de ácidos nonanoico e dodecanoico, bem como alguns possíveis derivados de ácidos carboxílicos como: decanal, tridecano, dodecanol, pentadecanos, hexadecano, que, segundo Singh e Amberger (1998) e Jones *et al.* (2003), são responsáveis pela biodisponibilidade de fósforo (P), ferro (Fe), zinco (Zn) e cobre (Cu) para as plantas. Esses compostos podem estar associados à grande presença das raízes no solo e, principalmente, à presença de serapilheira, caracterizando qualidade ao solo e sustentabilidade ambiental.

Shamrikova *et al.* (2013), salientam a importância de outros tipos de substâncias orgânicas presentes no solo além dos ácidos carboxílicos, como os encontrados no presente estudo em FL ( $\alpha$ -pineno, limoneno, *p*-cimeno, terpinoleno, 6-canfenol,  $\alpha$ -ylangeno, (*Z*)-cariofileno e outros) (Figura 32). Pois, segundo os autores, essas substâncias também são bons indicadores da presença de micro-organismos produtores de ácidos orgânicos e de outras substâncias voláteis, que contribuem na complexidade do sistema solo, conferindo maior qualidade ao mesmo.

Os autores supracitados, realizaram a comparação das substâncias orgânicas presentes nos solos de Tundra e de floresta de Coníferas. Verificou-se uma menor quantidade e diversidade dos ácidos orgânicos nos solos de Tundra, em detrimento aos da floresta de Coníferas. Uma das explicações citadas pelos autores para a maior concentração dessas substâncias na floresta, foi devido à diversidade de espécies vegetais e micro-organismos produtores dos ácidos, enquanto que o *stress* térmico de área de Tundra (Baixa temperatura)

somado a baixa qualidade e concentração de M.O. no solo afetam o bom desempenho dos processos de mineralização e humificação.

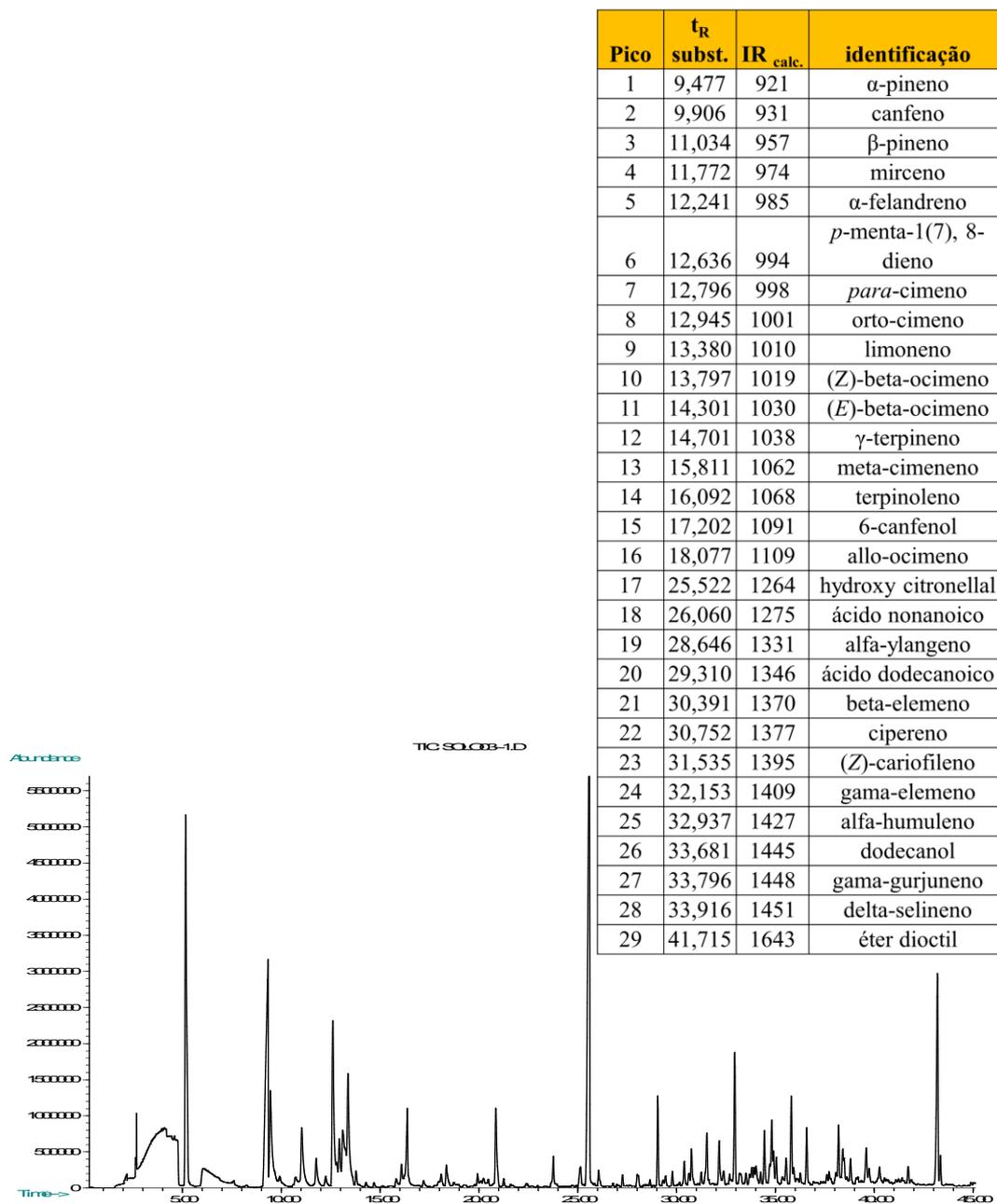


Figura 32: Cromatograma da análise dos voláteis de solo de floresta extraídos por SPME com as substâncias voláteis orgânicas identificadas.

#### 6.4. Perda de solo e água em parcelas de erosão sem cobertura vegetal

A fim de diagnosticar e entender a problemática referente aos processos hidroerosivos, o estudo visa quantificar a perda total de solo e água por escoamento superficial em condições de precipitação natural. Foram 17 meses de monitoramento do escoamento superficial

analisados que se iniciou em agosto de 2013 e se estendeu até dezembro de 2014, totalizando um ano e cinco meses de estudo. Desse modo, o total de chuva do acumulado desse período foi de 2.400 mm, sendo que 535 mm foi escoado superficialmente (Tabela 7).

Esses resultados salientam que apesar da pouca declividade do terreno (4°), mais de 22% do que chove está sendo escoado para outros ambientes, culminando no transporte de partículas de solo e nutrientes. É uma problemática que interfere em outras espacialidades e afeta a qualidade de recursos naturais importantes para a sobrevivência dos seres vivos, como, por exemplo, a poluição de rios pelo acúmulo de material de partículas de solo, ou matéria orgânica, que podem ser carregados pelo escoamento provenientes das encostas. Valentin *et al.* (2005) salientam que estudos recentes indicam que a erosão por voçoroca é a principal fonte de produção de sedimentos na bacia hidrográfica, mas não se pode desprezar outros ambientes degradados devido a sua baixa declividade, como o da presente pesquisa, pois somados com outros ambientes de características semelhantes, essas áreas degradadas ganham dimensões espaciais significativas.

Apesar da média do total de escoamento variar entorno de 22 %, a variação entre os meses foi muito alta, pois são diversas variáveis que vão interferir no maior, ou menor, volume de chuva escoada, como, por exemplo, a umidade antecedente e a intensidade da precipitação. Na tabela 7 se observa meses que o total de escoamento superficial chega próximo a 50 % do que choveu, como janeiro de 2014 (44,9 % de escoamento, o que representa 55 mm do total de 122,5 mm de chuva), maio de 2014 com 48,8 % de água escoada, o que equivale a 40 mm do total de 82 mm de chuva e novembro de 2014 com 42,8 % de escoamento, representando 50 mm dos 116,7 mm precipitado (Tabela 7; Figura 33).

Além das questões ambientais, o problema do escoamento pode ser prejudicial para as esferas econômicas de determinados municípios, como o que aconteceu na praia de Maresias em São Sebastião, no litoral norte de São Paulo. O turismo na região que gira em torno da praia na alta temporada no período do verão está sendo prejudicado neste ano, devido à poluição da água, estando impróprias ao banho (CETESB, 2015). Segundo a instituição ligada ao governo de SP, a poluição ocorreu após fortes tempestades do dia 23 de dezembro de 2014, que culminou em grandes volumes de escoamentos, estes mais densos pela quantidade de material arrastados das encostas, desaguando na praia todas as partículas em suspensão de origem de ambientes degradados, principalmente.

**Tabela 7.** Relação chuva e escoamento em milímetro e porcentagem.

Meses	Chuva (mm)	Escoamento (mm)	Água não escoada (%)	Escoamento (%)
ago/13	61,2	10	83,7	16,3
set/13	117,1	23	80,4	19,6
out/13	176	28	84,1	15,9
nov/13	156,8	47	70,0	30,0
dez/13	266,1	10	96,2	3,8
jan/14	122,5	55	55,1	44,9
fev/14	132	20	84,8	15,2
mar/14	252,8	26	89,7	10,3
abr/14	230	65	71,7	28,3
mai/14	82	40	51,2	48,8
jun/14	94,1	31	67,1	32,9
jul/14	179,8	37	79,4	20,6
ago/14	83,9	21	75,0	25,0
set/14	111,5	35	68,6	31,4
out/14	68,2	19	72,1	27,9
nov/14	116,7	50	57,2	42,8
dez/14	149,3	18	87,9	12,1
<b>Totais*/Médias**</b>	<b>2400*</b>	<b>535*</b>	<b>77,7**</b>	<b>22,3**</b>

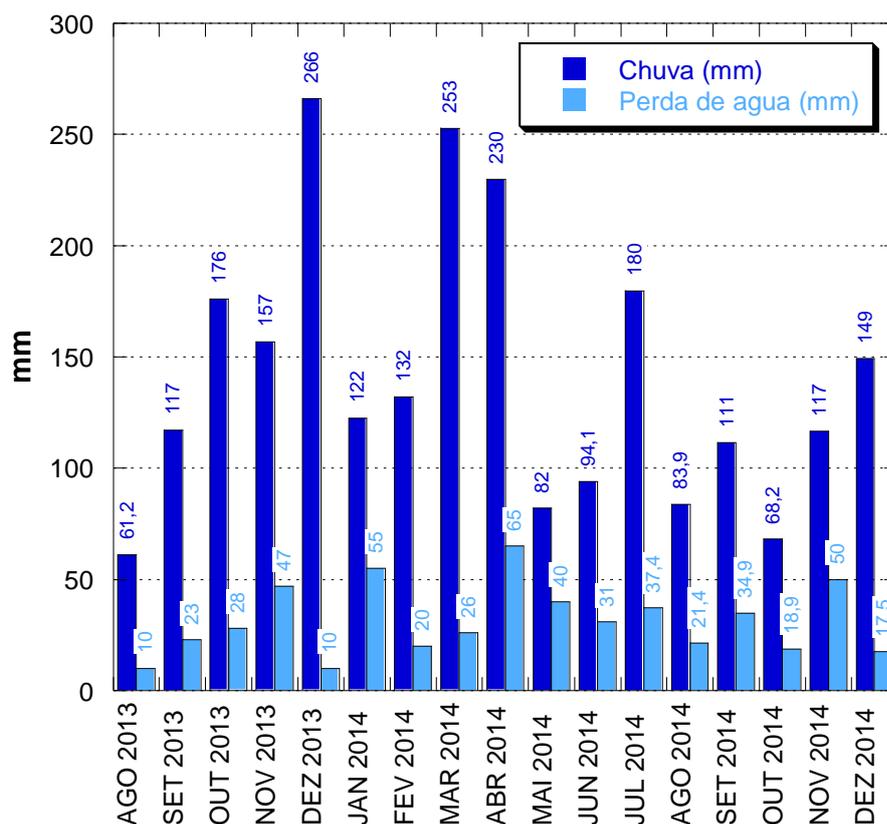


Figura 33: Total mensal de precipitação comparado com total mensal de perda de água.

Ao analisar os totais mensais em litros/ha da perda de água (Figura 34), os dados indicam que janeiro e abril de 2014 foram os meses que apresentaram as maiores perdas na média das três parcelas (543.000 e 644.333 L/ha, respectivamente). Observa-se que o quantitativo de perda de água não está apenas relacionado, portanto, diretamente com os meses mais chuvosos, pois abril, que possui média de 30 anos mensais de 241 mm e contribui com 9,6 % do acumulado de chuva anual, foi o mês com maior expressividade de perda de água.

Nessa perspectiva, os dados salientam a elevada contribuição de água dos solos expostos para os sistemas fluviais em distintas temporalidades, como o Rio Maranduba – Ubatuba/SP, que está recebendo grandes taxas de água mesmo em períodos mais secos. Como mês de abril de 2014, por exemplo, apresentou maior perda de água ao longo de todo o período monitorado, perdendo 644.000 L/ha escoados superficialmente (que representam 64,4 mm em um mês com total de 230 mm), ou seja, aproximadamente 28% da chuva está sendo escoada para o rio, sem abastecer os lençóis freáticos.

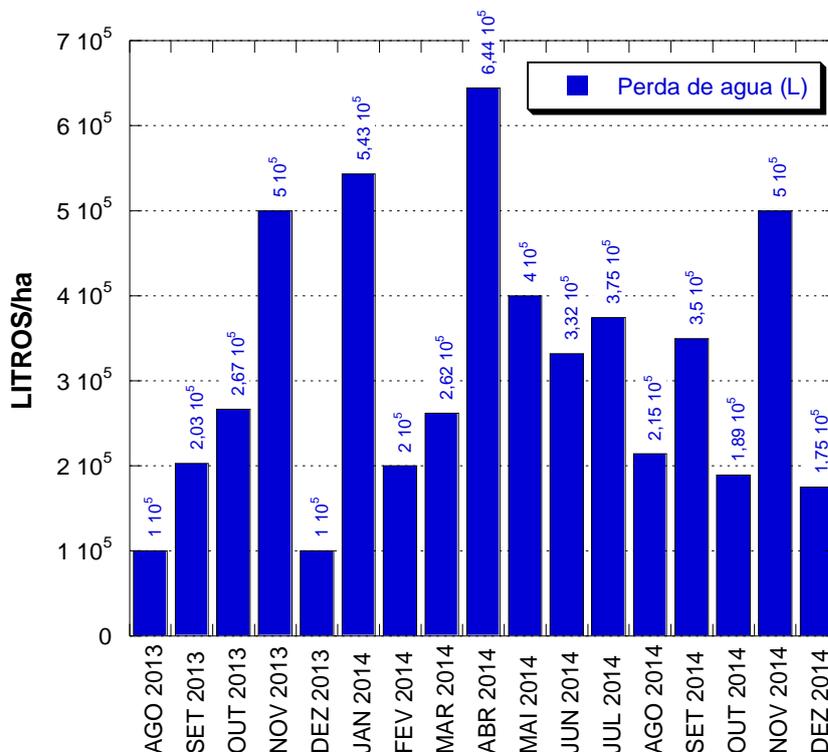


Figura 34: Total de perda de água mensal nas parcelas de erosão.

Segundo dados de Martins *et al.* (2003), ao comparar os valores de perda de água em distintos ambientes, constatou que as áreas com coberturas vegetais, principalmente florestas, perdem menos água pelo escoamento superficial, em média de 10,47 mm ao ano (Quadro 5).

Entretanto, os solos desnudos perdem 6 vezes mais água (61,95 mm). O solo analisado em Ubatuba perdeu ao longo do ano de 2014 417 mm, de um total de chuva de 1.622,8 mm, ou seja, choveu quase o dobro e escoou quase 10 vezes mais ao comparar com os Tabuleiros Costeiros da região de Aracruz/ES.

**Quadro 5:** Total de perda de água em Argissolo Amarelo de textura média/Argilosa em distintos ambientes, com precipitação média entre os anos de 987,5 mm. Fonte: Modificado de Martins *et al.* (2003).

Ano	Perda de água (mm)		
	Eucalipto <sup>a*</sup>	Floresta <sup>b*</sup>	Solo desnudo <sup>c*</sup>
1997	21,83	7,15	10,14
1998	47,79	5,63	38,51
1999	22,11	16,14	155,98
2000	17,12	12,94	43,16
Média	27,21	10,47	61,95

\*a- declividade de 1,8%; b- declividade de 8,3%; c- declividade de 3,6%.

No acumulado do período de monitoramento, foram mais de 6,8 t/ha de perda de solo, e desse total, os meses de janeiro e abril de 2014 também foram que apresentaram as maiores taxas de perda de solo (1,03 e 1,64 t/ha, respectivamente), representando 15,1% e 24,1 % do total desse período (Figura 35). Estes resultados indicam a fragilidade do ambiente sem cobertura vegetal, onde solos expostos podem estar associados à baixa resistência aos agentes modeladores do relevo, ou seja, podem representar solos mais susceptíveis ao escoamento superficial. Salienta-se ainda o baixo declive da área, de apenas 4°, representando apenas uma das várias declividades de uma unidade geomorfológica, como encostas de mais de 50°.

Os elevados índices de perda de sedimentos e água, portanto, são indicativos da baixa qualidade do solo, pois ao associarmos tais resultados com as propriedades físicas e químicas de ambiente degradado, constata-se que são caracterizados pela alta densidade aparente, com baixa porcentagem de porosidade total, logo, menor quantidade de ar no solo representam menor taxa de infiltração, bem como maior suscetibilidade ao escoamento superficial. E associado a esse fator, está a contribuição de elevados índices de chuva na região.

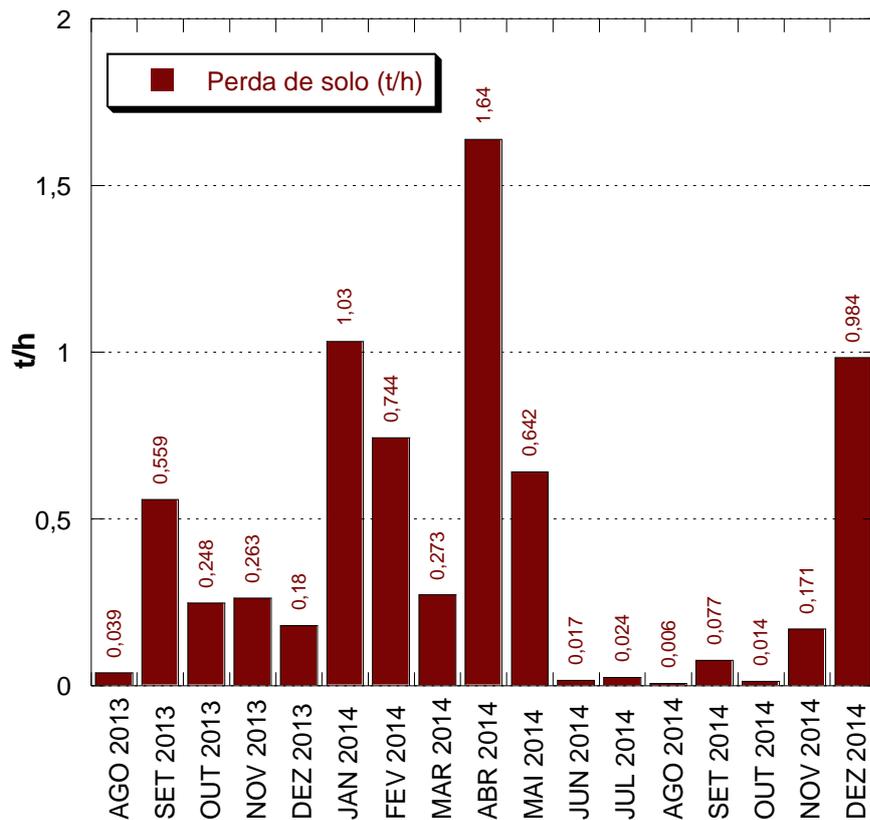


Figura 35: Total de perda de solo mensal nas parcelas de erosão.

Os dados de perda de solo de 2014 em Ubatuba obteve um somatório de 5,54 t/ha, comparando com os de Martins *et al.* (2003), representam mais do que o dobro de perda (2,02 t/ha). Ao comparar com a cobertura de floresta, o solo degradado do município de Ubatuba perdeu 69 vezes mais solo, e o solo desnudo dos Tabuleiros Costeiros da região de Aracruz/ES perdeu 25 vezes mais do que em áreas de mata nativa (Quadro 6).

**Quadro 6:** Total de perda de solo em Argissolo Amarelo de textura média/Argilosa em distintos ambientes, com precipitação média entre os anos de 987,5 mm. Fonte: Modificado de Martins *et al.* (2003).

Ano	Perda de solo (t/ha)		
	Eucalipto <sup>a*</sup>	Floresta <sup>b*</sup>	Solo desnudo <sup>c*</sup>
1997	0,69	0,07	1,25
1998	3,07	0,11	2,56
1999	0,93	0,04	2,38
2000	0,29	0,08	1,87
Média	1,25	0,08	2,02

\*a- declividade de 1,8%; b- declividade de 8,3%; c- declividade de 3,6%.

Outro tipo de erosão constatado nas parcelas é provocado pela ação da gota da chuva direta no solo logo no início da precipitação, representada pela erosão por *splash* (Ou por salpicamento). Na figura 36 se observa a altura com que as partículas de solo são lançadas para cima, ultrapassando até os 15 cm acima da superfície do solo, deixando marcas na placa galvanizada que delimitam as parcelas de erosão. No entanto, não foi monitorado o total de perda por *splash*, sendo apenas colocado aqui como ilustração do processo erosivo.

Portanto, segundo Guerra e Mendonça (2011), o avanço da urbanização nas áreas de florestas é um dos principais fatores responsáveis pela aceleração dos processos erosivos, culminando na degradação dos solos. O depauperamento desse sistema representou perdas, como explicitados na presente pesquisa, que podem resultar em impactos negativos tanto *onsite* (no próprio local), quanto *offsite* (fora do local). A bacia hidrográfica do rio Maranduba está em processo de intensa de degradação ambiental, perdendo a sua qualidade frente à exposição à erosão por ravinas e voçorocas, aceleradas pelo avanço de ocupações irregulares, bem como de construções de estradas, deixando taludes desnudos (Figura 37 A e B).



Figura 36: Erosão por *splash* nas placas galvanizadas das parcelas de erosão. Foto: Leonardo S. Pereira (Novembro de 2013).



Figura 37: Construção irregular em encosta (A); Talude exposto após corte de estrada (B).  
Foto: Leonardo S. Pereira (Outubro de 2014).

### 6.5. Potencial matricial da água em solo sem cobertura vegetal

Para corroborar com os estudos dos processos hidroerosivos, o presente trabalho também analisa a dinâmica hidrológica do solo exposto de Ubatuba/SP. Para tanto, foram instalados instrumentação de campo na estação experimental de solos nas três parcelas de erosão, que são os tensiômetros de vácuo. Por meio desta aparelhagem, é possível inferir o potencial matricial da água no solo e, associado a distintas profundidades, como 15, 30 e 90 cm, observa-se a drenagem da água no solo, a fim de se entender a entrada e saída de água no solo, bem como a sua movimentação.

Na análise da caracterização da quantidade de água no solo, segundo os parâmetros dos sensores à vácuo, foi observado, em porcentagem, a predominância do potencial matricial nas distintas profundidades entre os onze períodos selecionados. Portanto, dos 140 dias, constatou-se a maior frequência na faixa verde (Entre -10 e -30 kPa), representando solo úmido. A profundidade de 90 cm apresentou maior frequência de solo úmido entre os períodos analisados (75%), seguido da faixa azul (0 e -10 kPa), que representa a saturação do solo (25%), não sendo constatado variação para solo seco (-30 e -50 kPa) e o “*stress*” hídrico (-50 e -100 kPa) nessa profundidade (Tabela 8). A profundidade de 15 cm também tem maior frequência de solos úmidos (57,8%), seguido da faixa azul (Solo saturado) com 27,8%, Laranja (Solo seco) com 12,9% e sendo a única profundidade com presença da faixa vermelha (“*stress*” hídrico), entre -50 e -100 kPa, com 1,5% dos dias.

A saturação do solo (faixa azul) também predomina entre os períodos de estiagem, e a profundidade de 30 cm apresenta 55%, dos 140 dias, dos potenciais matriciais em estágio

de saturação. O solo úmido predomina em 42% dos dias, seguido de solo seco (2,9%) e sem nenhum registro de “*stress*” hídrico.

**Tabela 8.** Relação do potencial matricial da água no solo em porcentagem em distintas profundidades de 140 dias dos onze períodos de estiagens selecionadas.

Caracterização da quantidade de água no solo segundo as faixas de cores dos sensores à vácuo	Profundidade dos tensiômetros		
	15 cm	30 cm	90 cm
<b>Azul (de 0 até -10 /saturação do solo)</b>	27,8%	55,0%	25,0%
<b>Verde (entre -10 e -30/ solo úmido)</b>	57,8%	42,1%	75,0%
<b>Laranja (entre -30 e -50/ solo seco)</b>	12,9%	2,9%	0,0%
<b>Vermelho (entre -50 e -100/ "<i>stress</i>" hídrico)</b>	1,5%	0,0%	0,0%

Portanto, observa-se que os solos degradados da região apresentam baixa capacidade de sucção, uma vez que estão associados ao elevado quantitativo de chuva ao longo de todo o ano, com períodos de estiagens curtos.

Analisando as distintas profundidades (15, 30 e 90 cm) entre os períodos, também se verifica a baixa variabilidade dos potenciais matriciais da água no solo. A profundidade de 15 cm apresenta maior sucção da água em detrimento as de 30 e 90 cm, pois segundo Marouelli (2008), representa a camada mais superficial, com acentuada drenagem na matriz do solo, além de apresentar maior presença de sistemas radiculares. Contudo, como se trata de uma área desnuda, a saída da água do solo está mais relacionada com a evaporação da água devido à proximidade com a superfície.

A profundidade de 90 cm apresentou a menor capacidade tensão do solo, pois trata-se da zona de recarga. As profundidades superiores drenam a água para zona mais subsuperficiais. Resultados semelhantes foram encontrados por Pereira e Rodrigues (2013), em ambiente de área agrícola degradada abandonada. Os autores constataram rápida saturação do solo, devido à baixa capacidade de drenagem, armazenando nas camadas inferiores. Esses resultados foram responsáveis por elevadas perdas de solos e nutrientes, inviabilizando o crescimento da vegetação.

A condição de umidade prolongada dos solos degradados dessa região, pode interferir na maior perda de sedimentos, principalmente, além de ser responsável pela incisão erosiva por meio do maior fluxo do escoamento superficial, corroborando com a formação de ravinas e voçorocas, ou, até mesmo, pela detonação de deslizamentos, que são presentes no município de Ubatuba, como evidenciado por Guerra e Jorge ao mapear as áreas da cidade que tem maior probabilidade a riscos de desastres ambientais. Estudos recentes, segundo Valentin *et al.* (2005), indicam que 80% da carga de sedimentos que estão depositados nos reservatórios e nas bacias tem sua origem da erosão de ravinas, ou de paredes das voçorocas, como pesquisado no norte da Austrália e de Oregon (EUA) e na China, por exemplo.

A aceleração das altas taxas de escoamento superficial propiciada pela umidade antecedente é constatada nas tabelas 9, 10 e 11, ao analisar o tempo médio de drenagem da água no solo entre períodos de estiagens em distintas estações do ano de 2014 nas três profundidades. Em condição natural climática, após a última chuva do período de estiagem, a profundidade de 15 cm apresenta saturação por 3 dias seguidos, e nos próximos 9 dias entra na faixa verde, que representa solo úmido. Somente a partir do 13º dia que boa parte da água é drenada e solo entra no estágio seco, mas sem apresentar “*stress*” hídrico nas médias. Quando se analisa isoladamente os períodos de estiagem do dia 17 de janeiro a 15 de fevereiro de 2014 e 16 de fevereiro a 01 de março de 2014, o solo se associa a faixa vermelha a partir do 15º e 14º dias, respectivamente, com – 53 e – 51 kPa.

A profundidade de 30 cm (Tabela 10) apresenta em sua matriz a maior capacidade de armazenamento de água, isso significa menor sucção, representando menor coesão entre as partículas do solo. Quando se associa baixa coesão com baixa resistência do solo, como em ambientes degradados, ocorre a rápida saturação, acelerando as taxas de escoamento superficial. A baixa tensão nessa profundidade ocorre em todos os dias do período de estiagem, pois somente após o 5º dia que o solo deixa a saturação para entrar no estágio de umidade, e permanecer nessa condição até a próxima precipitação. Semelhante a profundidade de 90 cm (Tabela 11), contudo, a movimentação da água nessa região se torna mais linear, com solo permanentemente úmido (Variando entre -10 e 16,7 kPa).

**Tabela 9.** Potencial matricial da água no solo nos distintos períodos de estiagem em 15 cm de profundidade.

Períodos de estiagem selecionados	Valores de kPa diário após cada evento de chuva (Período de estiagem)														
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°
07 - 15 nov 2013	0	-2,7	-9,3	-14,7	-16	0	-1,3	-12,7	-11,3	-	-	-	-	-	-
12 - 29 dez 2013	0,0	-1,3	-4,7	-8,7	-11,0	-13,0	-14,0	-11,0	-17,0	-21,0	-26,0	-21,0	-31,0	-25,0	-33,0
17 jan - 15 fev 2014	-2,0	-2,7	-4,7	-8,7	-11,0	-15,0	-21,0	-18,0	-19,0	-27,0	-29,0	-30,0	-35,0	-33,0	-53,0
16 fev - 01 mar 2014	-2,0	0,0	-7,3	-10,0	-15,0	-20,0	-27,0	-33,0	-24,0	-25,0	-23,0	-31,0	-39,0	-51,0	-
08 - 20 mar 2014	-1,3	-1,3	-7,3	-13,0	-20,0	-11,0	-13,0	-19,0	-25,0	-30,0	-41,0	-31,0	-35,0	-	-
04 - 15 abr 2014	-4,6	-6,7	-10,0	-12,0	-15,0	-21,0	-30,0	-29,0	-34,0	-40,0	-	-	-	-	-
12 - 23 mai 2014	-8,7	-10,0	-15,0	-11,0	-19,0	-21,0	-23,0	-7,3	-25,0	-29,0	-33,0	-8,0	-	-	-
24 jun - 08 jul 2014	-7,3	-9,3	-9,3	-11,0	-13,0	-12,0	-14,0	-15,0	-16,0	-19,0	-19,0	-20,0	-20,0	-22,0	-23,0
29 jul - 08 ago 2014	-6,0	-6,0	-6,7	-8,7	-6,7	-11,0	-8,0	-12,0	-13,0	-13,0	-15,0	-	-	-	-
06 - 16 set 2014	-3,7	-5,7	-14,7	-14,7	-15,3	-19,3	-18,7	-23,3	-17,3	-19,3	-20,7	-	-	-	-
06 - 20 out 2014	-8,0	-12,0	-11,3	-10,7	-11,3	-19,3	-14,7	-17,3	-22,0	-36,0	-40,7	-43,0	-43,3	-32,0	-46,0
<b>Média</b>	-4,0	-5,2	-9,1	-11,2	-13,9	-14,8	-16,8	-18,0	-20,3	-25,9	-27,5	-26,3	-33,9	-32,6	-38,8
<b>Desvio Padrão</b>	3,2	4,0	3,5	2,2	3,9	6,4	8,3	7,8	6,5	8,2	9,3	11,1	8,0	11,3	13,4

As cores em azul: saturação do solo; verde: solo úmido; Laranja: solo seco; vermelho: "stress" hídrico.

**Tabela 10.** Potencial matricial da água no solo nos distintos períodos de estiagem em 30 cm de profundidade.

Períodos de estiagem selecionados	Valores de kPa diário após cada evento de chuva (Período de estiagem)														
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º	13º	14º	15º
07 - 15 nov 2013	-2,0	-7,3	-10,0	-11,3	-12,7	-3,3	-6,0	-16,0	-15,3	-	-	-	-	-	-
12 - 29 dez 2013	0,0	-4,7	-4,7	-6,7	-11,0	-12,0	-11,0	-12,0	-11,0	-12,0	-14,0	-14,0	-15,0	-18,0	-22,0
17 jan - 15 fev 2014	-6,7	-9,3	-6,7	-10,0	-8,7	-11,0	-11,0	-19,0	-23,0	-25,0	-30,0	-31,0	-19,0	-18,0	-39,0
16 fev - 01 mar 2014	-2,7	-2,7	-5,3	-6,7	-9,3	-9,3	-13,0	-20,0	-17,0	-19,0	-9,3	-11,0	-17,0	-28,0	-
08 - 20 mar 2014	-6,0	-8,7	-9,3	-12,0	-11,0	-11,0	-11,0	-10,0	-13,0	-19,0	-15,0	-22,0	-21,0	-	-
04 - 15 abr 2014	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-11,0	-12,0	-13,0	-12,0	-14,0	-	-	-	-	-
12 - 23 mai 2014	-11,0	-13,0	-14,0	-15,0	-13,0	-15,0	-15,0	-10,0	-15,0	-21,0	-23,0	-11,0	-	-	-
24 jun - 08 jul 2014	-8,7	-9,3	-9,3	-9,3	-9,3	-8,0	-8,0	-8,0	-8,0	-7,0	-6,7	-7,3	8,7	-7,3	-7,7
29 jul - 08 ago 2014	-7,7	-8,7	-8,7	-8,0	-9,3	-9,3	-8,7	-9,3	-8,7	-10,0	-9,3	-	-	-	-
06 - 16 set 2014	-12,7	-12,3	-12,0	-13,3	-10,7	-12,0	-14,7	-16,7	-14,0	-13,3	-13,3	-	-	-	-
06 - 20 out 2014	-10,0	-10,0	-9,3	-4,7	-7,3	-10,0	-6,7	-8,7	-8,0	-8,7	-6,3	-6,7	-6,7	-6,0	-6,7
<b>Média</b>	-7,0	-8,7	-9,0	-9,7	-10,2	-10,2	-10,6	-13,0	-13,2	-14,9	-14,1	-14,7	-11,7	-15,5	-18,9
<b>Desvio Padrão</b>	4,0	3,0	2,7	3,1	1,7	2,9	3,0	4,3	4,5	5,9	7,9	8,8	11,1	9,0	15,1

As cores em azul: saturação do solo; verde: solo úmido; Laranja: solo seco; vermelho: "stress" hídrico.

**Tabela 11.** Potencial matricial da água no solo nos distintos períodos de estiagem em 90 cm de profundidade.

Períodos de estiagem selecionados	Valores de kPa diário após cada evento de chuva (Período de estiagem)														
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º	13º	14º	15º
07 - 15 nov 2013	-12,7	-14,7	13,3	-14,7	-11,3	-8,7	-13,3	-14,0	-18,0	-	-	-	-	-	-
12 - 19 dez 2013	-9,3	-13,0	-10,0	-15,0	-15,0	-17,0	-17,0	-18,0	-17,0	-16,0	-17,0	-19,0	-20,0	-18,0	-21,0
17 jan - 15 fev 2014	-21,0	-20,0	-14,0	-17,0	-8,7	-10,0	-11,0	-10,0	-8,7	-17,0	-12,0	-15,0	-14,0	-15,0	-20,0
16 fev - 01 mar 2014	-17,0	-20,0	-15,0	-18,0	-15,0	-8,0	-11,0	-9,3	-17,0	-14,0	-9,3	-11,0	-15,0	-14,0	-
08 - 20 mar 2014	-19,0	-17,0	-16,0	-18,0	-16,0	-17,0	-7,3	-15,0	-14,0	-17,0	-16,0	-18,0	-15,0	-	-
04 - 15 abr 2014	-14,0	-13,0	-10,0	-10,0	-13,0	-14,0	-15,0	-15,0	-13,0	-15,0	-	-	-	-	-
12 - 23 mai 2014	-12,0	-12,0	-13,0	-13,0	-12,0	-13,0	-14,0	-11,0	-15,0	-16,0	-18,0	-12,0	-	-	-
24 jun - 08 jul 2014	-10,7	-11,3	-10,7	-12,7	-11,3	-12,0	-6,0	-8,0	-8,0	-7,0	-6,7	-7,3	-8,7	-7,3	-7,7
29 jul - 08 ago 2014	-9,0	-6,7	-6,7	-6,7	-6,7	-8,0	-8,0	-6,7	-6,7	-9,3	-8,7	-	-	-	-
06 - 16 set 2014	-14,7	-12,7	-12,0	-16,0	-13,3	-14,0	-13,3	-14,0	-13,3	-15,3	-15,3	-	-	-	-
06 - 20 out 2014	-14,7	-16,0	-14,0	-10,0	-10,0	-16,7	-15,3	-16,7	-18,0	-20,0	-16,7	-17,3	-18,7	-14,7	-18,0
<b>Média</b>	-14,0	-14,2	-9,8	-13,7	-12,0	-12,6	-11,9	-12,5	-13,5	-14,7	-13,3	-14,2	-15,2	-13,8	-16,7
<b>Desvio Padrão</b>	3,8	3,9	8,1	3,7	2,8	3,5	3,6	3,7	4,1	3,8	4,2	4,3	4,0	3,9	6,1

As cores em azul: saturação do solo; verde: solo úmido; Laranja: solo seco; vermelho: "stress" hídrico.

Analisando graficamente o tempo de saturação e de drenagem dos dados de potenciais matriciais da água no solo, evidencia-se a maior movimentação da água na profundidade de 15 cm, com maior variabilidade dos potenciais. Os 10 períodos de estiagem inferior a 15 dias (Figura 36, 37, 38, 39 e 40) apresentaram maior inclinação da reta, o que reforça a concepção de que a saída da água mais superficialmente também está relacionada com a evaporação, além da drenagem da água para zonas subsuperficiais, uma vez que 30 e 90 cm apresentam baixas capacidades de sucção, estando com saturação e umidades do solo com períodos prolongados.

Portanto, apesar do solo não apresentar “*stress*” hídrico, uma vez que 30 e 90 cm apresentaram menor inclinação da reta (Figura 36, 37, 38, 39 e 40), principalmente 90 cm com menor verticalização, não representa relação direta com crescimento de vegetação, pois se deve associar com a disponibilidade de água a qualidade do solo, ou seja, as suas propriedades físicas e químicas.

Na análise do período de 30 dias de estiagem (17 de janeiro a 15 de fevereiro de 2014) (Figura 41 A, B e C), observou-se maior variabilidade dos potenciais matriciais da água no solo tanto na profundidade de 15 cm, quanto na de 30 cm, ou seja, os curtos períodos de estiagens, que predominam do município, não favorecem a drenagem dos solos com essas características físicas e químicas.

Mesmo com maior período de estiagem, a profundidade de 90 cm apresentou baixa verticalização da reta, entretanto, com dias com maior variação dos potenciais matriciais (Variando entre 0 e -22 kPa), sempre na faixa de solo úmido. Esses dados salientam da necessidade do aporte vegetal, para auxiliar na drenagem da água, uma vez que as raízes, além de ajudar na incorporação de substâncias orgânicas no solo, ajudam na melhor estruturação do arranjo poral, viabilizando a movimentação da água no solo.

O escoamento superficial possui comportamento diferente em determinadas encostas. Valentin *et al.* (2005) salientam que em encosta íngreme, ocorre o favorecimento a alta velocidade do *Runoff*, o que confere a baixa taxa de formação de crosta. Contudo, em encosta suave, ocorre a baixa velocidade do escoamento, o que favorece na maior taxa de formação de crostas no solo. Mas deve ser levado em consideração outros fatores como a quantidade e intensidade da chuva, além da umidade antecedente do solo, como analisado para o município de Ubatuba.

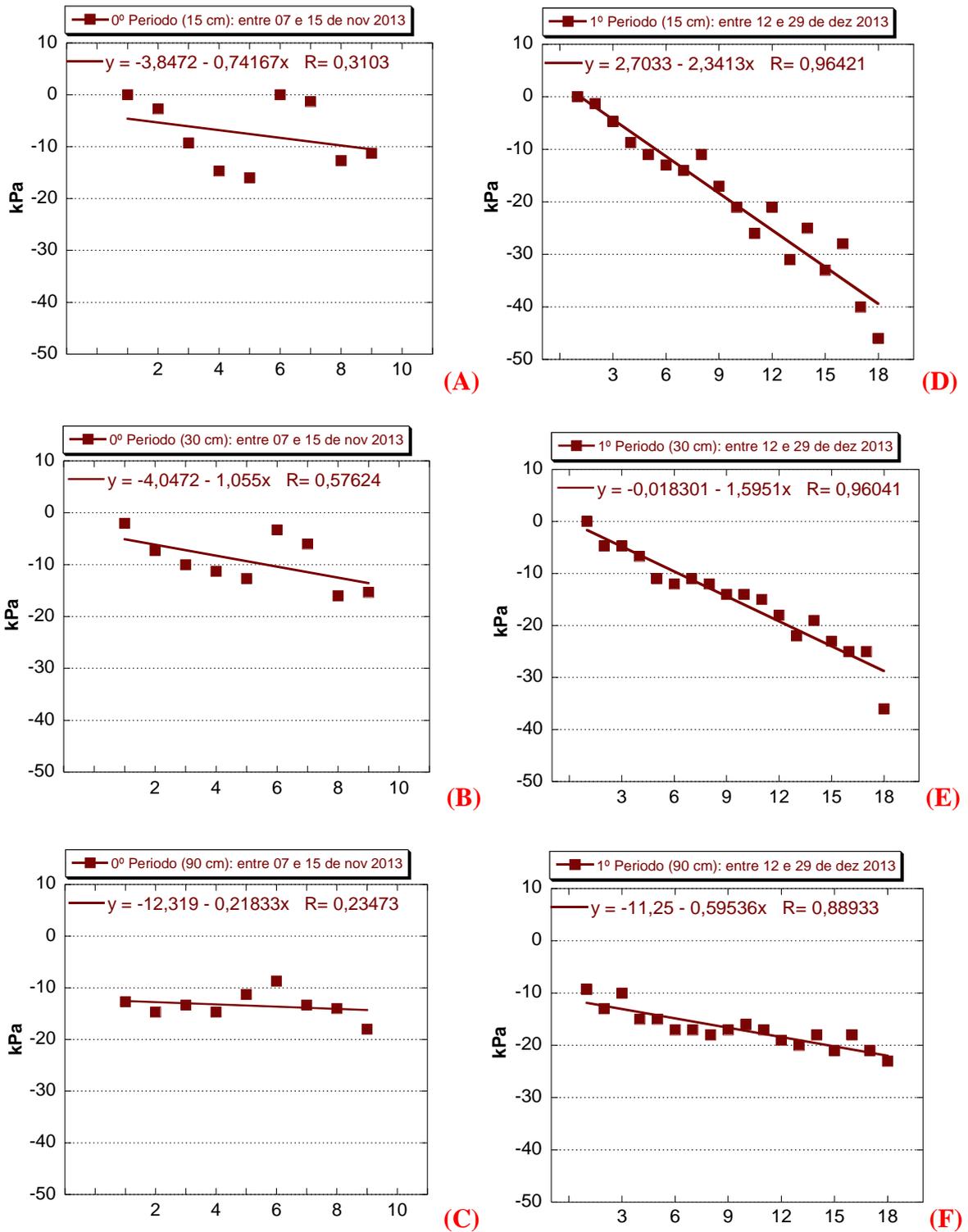


Figura 36: Drenagem da água no solo após evento/s de chuva em distintas profundidades (15, 30 e 90 cm) em diversos períodos de estiagem: 07 a 15 de novembro de 2013 (A, B e C); 12 a 29 de dezembro de 2013 (D, E e F).

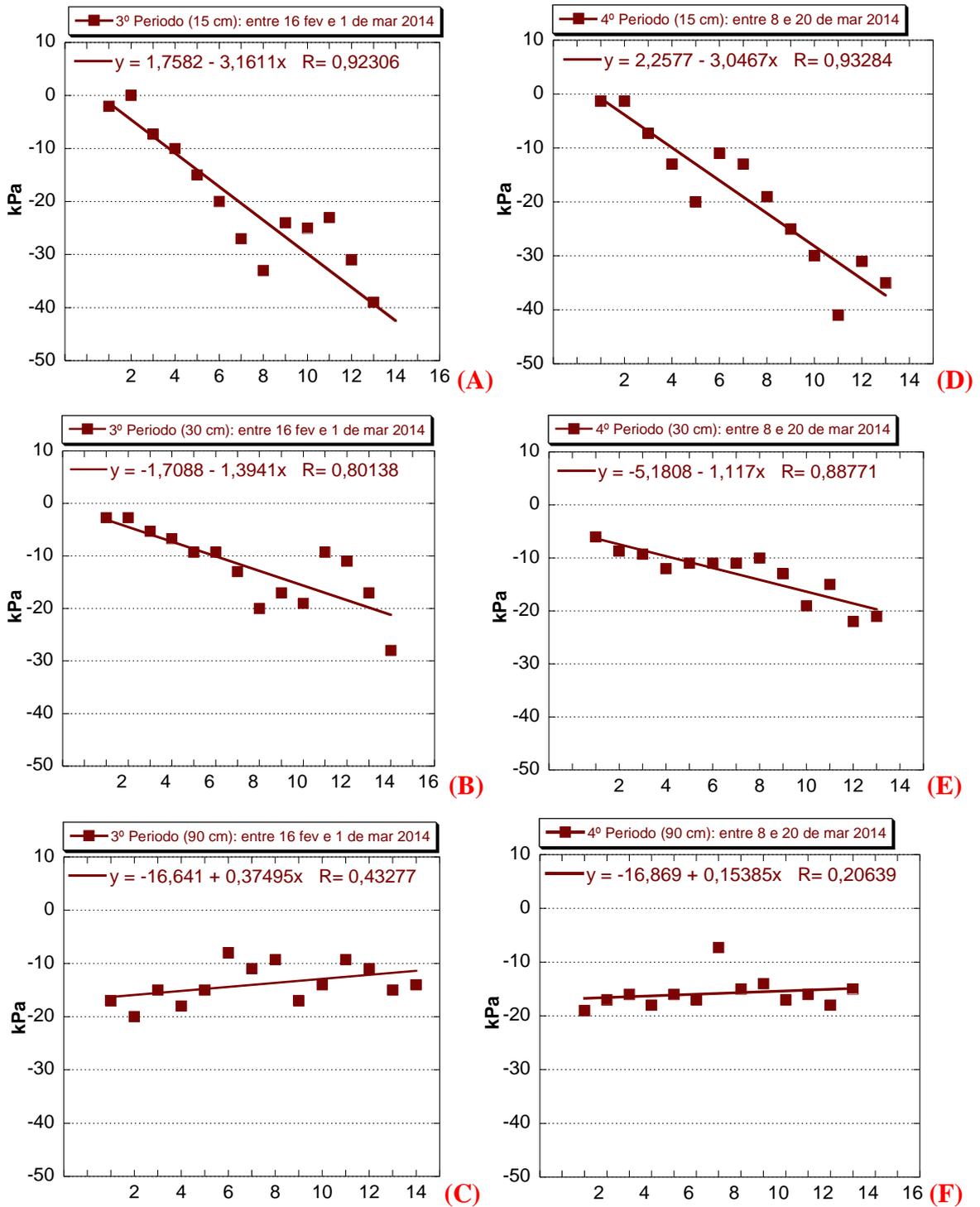


Figura 37: Drenagem da água no solo após evento/s de chuva em distintas profundidades (15, 30 e 90 cm) em diversos períodos de estiagem: 16 de fevereiro a 01 de março de 2014 (A, B e C); 08 a 20 de março de 2014 (D, E e F).

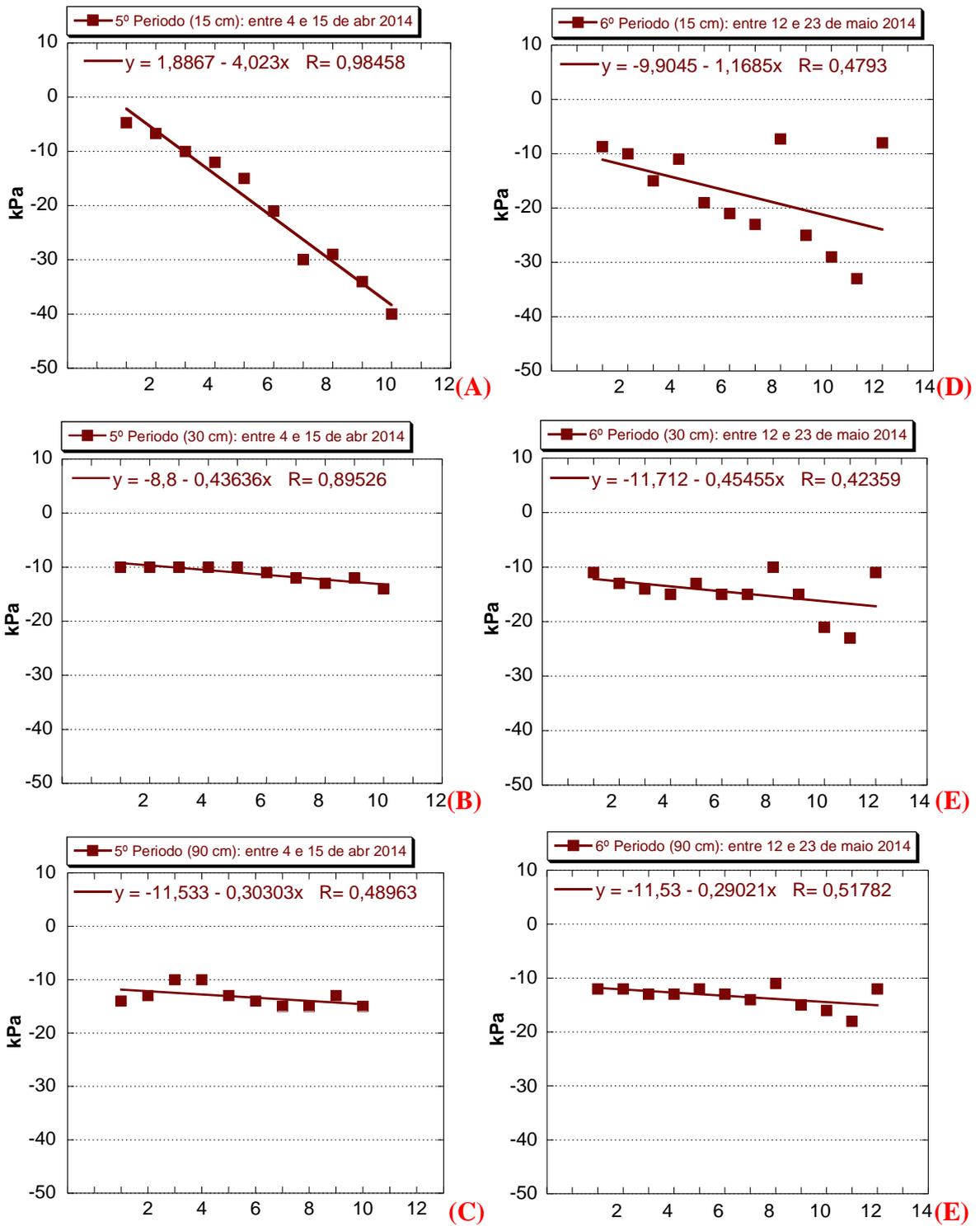


Figura 38: Drenagem da água no solo após evento/s de chuva em distintas profundidades (15, 30 e 90 cm) em diversos períodos de estiagem: 04 a 15 de abril de 2014 (A, B e C); 12 a 23 de maio de 2014 (D, E e F).

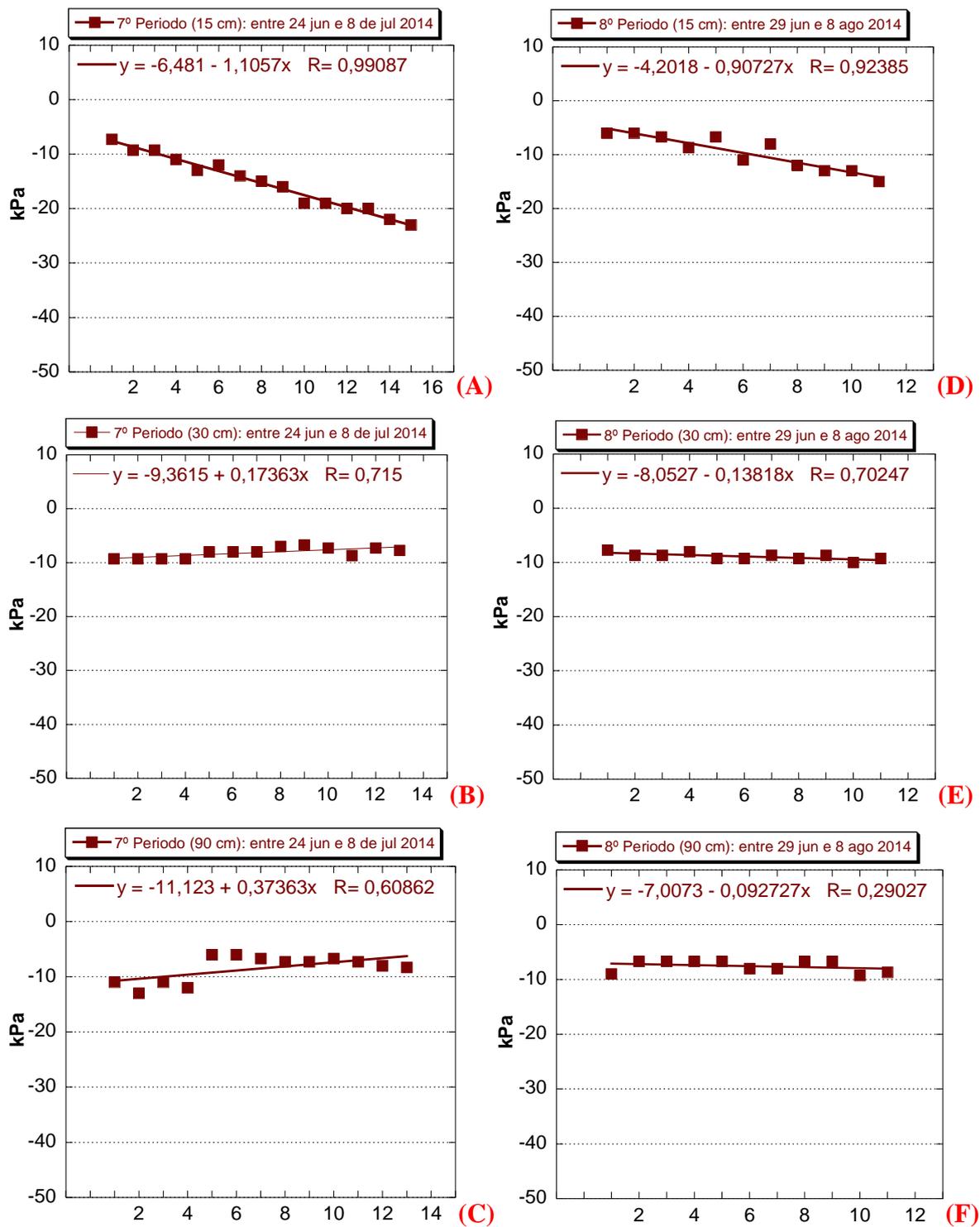


Figura 39: Drenagem da água no solo após evento/s de chuva em distintas profundidades (15, 30 e 90 cm) em diversos períodos de estiagem: 24 de junho a 08 de julho de 2014 (A, B e C); 29 de junho a 08 de agosto de 2014 (D, E e F).

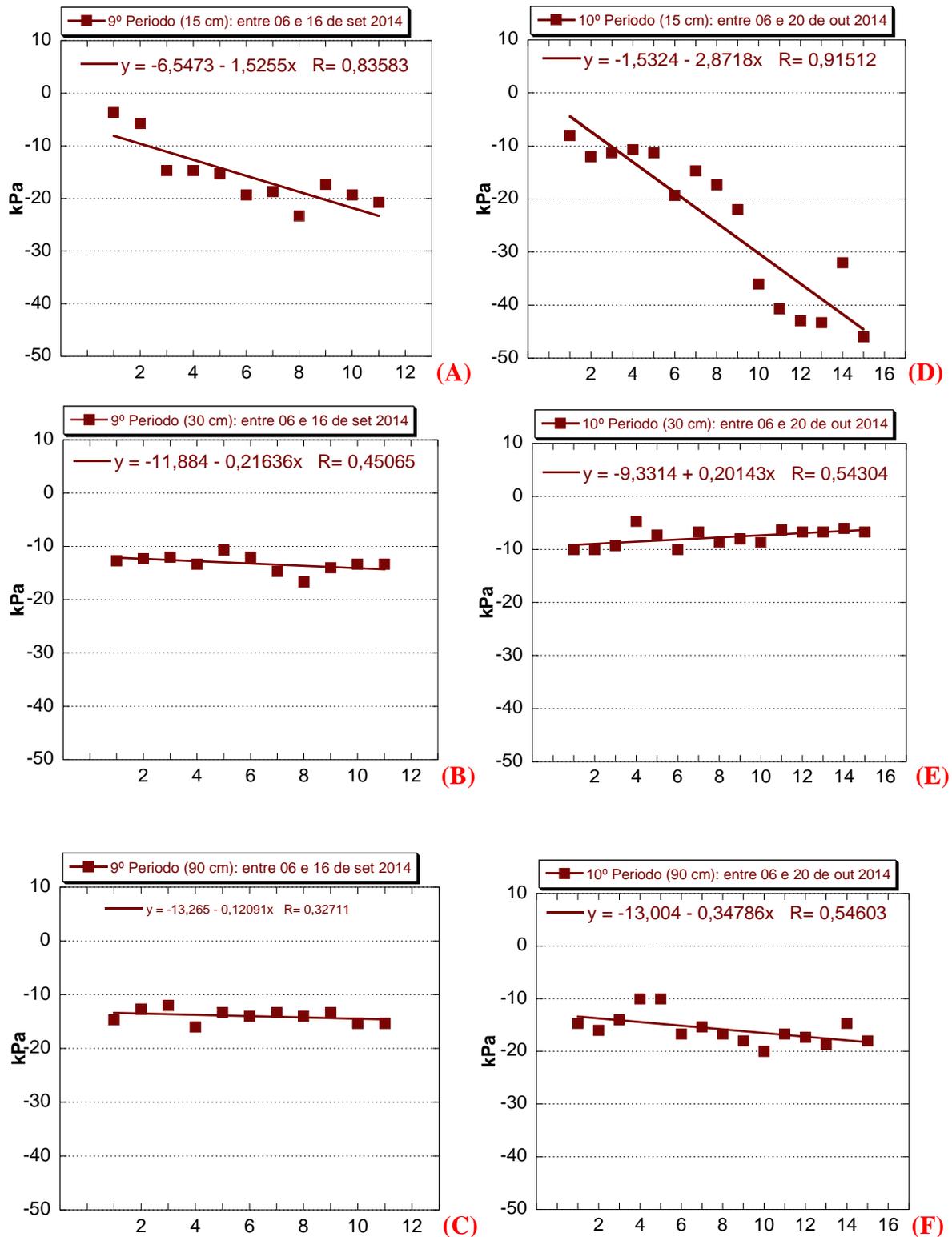


Figura 40: Drenagem da água no solo após evento/s de chuva em distintas profundidades (15, 30 e 90 cm) em diversos períodos de estiagem: 06 a 16 de setembro de 2014 (A, B e C); 06 a 20 de outubro de 2014 (D, E e F).

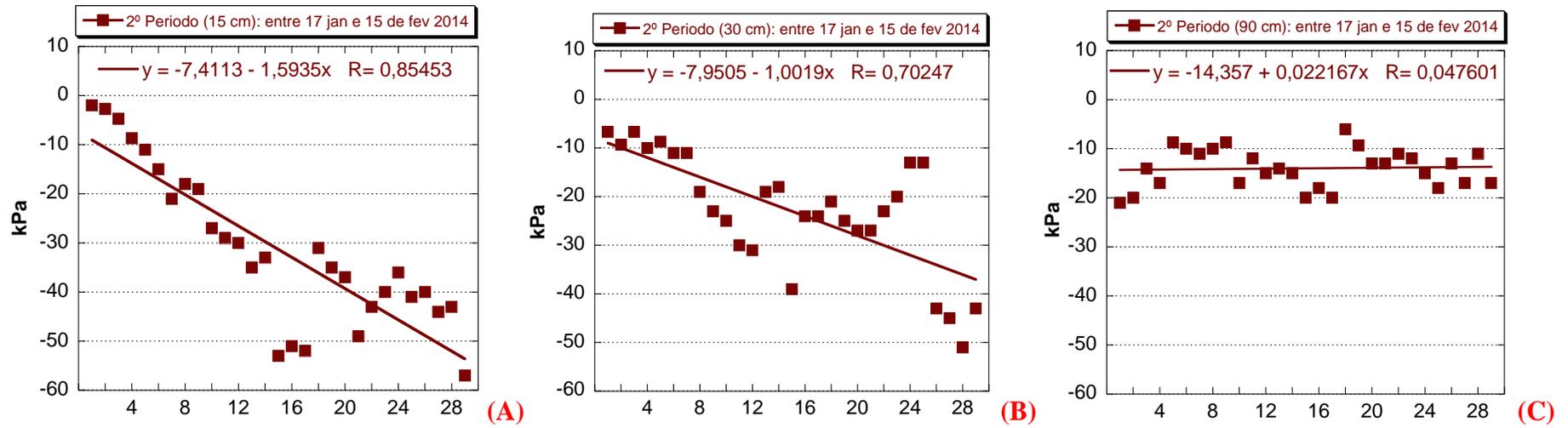


Figura 41: Drenagem da água no solo após evento de chuva em período de estiagem de 30 dias nas profundidades de 15 cm (A), 30 cm (B) e 90 cm (C).

## 6.6. Difusão do conhecimento para a população local

A elaboração dos *folders* representou uma resposta do saber científico para a comunidade local, pois os dados aqui adquiridos se tratam de um bem público. Desse modo, a abordagem didática do conhecimento simboliza o não confinamento do saber na academia.

A estação experimental de erosão de solo se destaca como método de aprendizagem, uma vez que visa ao entendimento dos fatores e processos atuantes no solo, bem como à análise da resistência do solo e sua capacidade de resiliência. Um método de análise de diagnóstico ambiental importante, pois representa as condições naturais do meio, sendo mais próximo da realidade.

Portanto, foi elaborado uma placa que está fixada na estação para o seu fácil reconhecimento e associação com os processos erosivos (Figura 43), como um *folder* com as principais informações adquiridas na pesquisa de dissertação ilustradas de forma didática. Os conteúdos e dados foram associados com palavras e objetos de fácil entendimento como: o solo comparado a esponja, caixas d'água para entender a perda de solo e carrinhos de “mão” para quantificar as perdas de solo e os seus impactos na sociedade e natureza.



Figura 42: Placa da estação experimental de erosão de solo fixada no local das parcelas com endereço do site do LAGESOLOS e e-mails de contato. Organizado por Leonardo S. Pereira (Agosto de 2013).

**Estação Experimental de Erosão de Solos de Ubatuba/SP**



Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza  
Instituto de Geociências  
Departamento de Geografia  
Programa de Pós-Graduação em Geografia



UFRRJ  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Antes vamos entender o que é o solo?**

O solo é um corpo inconsolidado que recobre a superfície da Terra. Mas o que isso significa? Uma parte do solo é composta por material sólido (Como grãos de areia e matéria orgânica); outra parte é constituída por poros, que as raízes da vegetação e as minhocas ajudam a formar (Que são os espaços vazios); e uma terceira é composta pela presença de água nesses poros.

Os solos sem cobertura vegetal do município perdeu ao longo de 2014 mais de 4.185.000 litros de água em um hectare proveniente da chuva.

Encheria mais de 4.185 caixas d'água no ano



1000L

**Vamos entender a erosão de solos do nosso município?**

São diversos tipos de erosão, mas a erosão laminar é a mais comum. Se caracteriza pela água que o solo não absorveu, deslizando sobre a sua superfície, o que gera um fluxo de água concentrado. Esse fluxo de água é chamado de escoamento superficial, que pode ter força o suficiente para arrastar partículas de solo, além de nutrientes que alimentam as plantas.

Os nutrientes presentes no solo são representados por materiais orgânicos, que se acumulam na superfície do solo por meio da decomposição das folhas que caem das árvores, ou de animais e insetos mortos. Esses nutrientes ajudam a fixar uma partícula de solo a outras partículas, como se fosse um "cimento", ajudando na resistência do solo, dificultando que ele seja arrastado pela força da água escoada. Na figura 1, abaixo, observa-se um experimento que ajudou a entender como ocorre o escoamento superficial no município de Ubatuba em áreas degradadas, ambientes que não tem mais a vegetação sobre o solo.

Foi possível saber quanto de solo e água foi perdido através do escoamento. As setas em azul representam a direção do fluxo de água. Esse é um método chamado de parcelas de erosão, que armazenam os escoamentos em reservatórios. Neste caso são caixas d'água que comportam até 100 litros.



**Figura 1.** Estação experimental de erosão de solo. Foto: Pereira, L. S. (Agosto/2013).

Um grande problema dos solos degradados de Ubatuba está na baixa capacidade dos poros em absorver a água das chuvas. Isso porque é uma área que chove muito, uma das 10 cidades mais chuvosas no Brasil, com 2.519 mm de chuva, em média, no acumulado de um ano. Portanto, boa parte dos poros do solo já ficam preenchidos de água até a próxima chuva, como não consegue absorver mais a água, ela escoar pela superfície.

**Exemplo:** Vamos imaginar que o solo fosse como uma esponja, que absorve a água. Imagina que a torneira aberta é a chuva que cai no solo. A esponja quando preenche todos os seus espaços vazios (Poros), faz com que a água escoar (Figura 2).



Os solos degradados do município estão ficando muito desprotegidos, pois as árvores da floresta estão sendo desmatadas. Contudo, nós devemos cuidar dos nossos recursos naturais, pois é fundamental para a nossa sobrevivência, principalmente a mata Atlântica, que está ameaçada de extinção.

**Figura 2.** Ilustração de escoamento superficial ao comparar o solo com a esponja. Organizado por Pereira, L. S. (Janeiro/2015).

As perdas de solo de 2014 chegaram a mais de 5,5 toneladas em um hectare.

Encheria quase 139 carrinhos de mão com capacidade para 40 kg de terra.



Concluimos, portanto, que deixar os solos sem a proteção vegetal, como desmatando as florestas, pode provocar perdas de solo e água que serão escoados para os rios do município, principalmente. Como o rio Maranduba, onde se elaborou o estudo. Os sedimentos que chegam aos rios por meio da erosão, podem ser prejudicial para o meio ambiente e para a qualidade de vida dos seres vivos, pois poluem as águas, antes próprias para o consumo, além de assorear os rios, causando problemas de inundações e enchentes na cidade. Portanto, a erosão afeta o meio ambiente, bem como a qualidade de vida da população e a economia do município, pois representaria na diminuição da atividade turística.

**Organizado por:** Leonardo dos Santos Pereira ([leospgeo@gmail.com](mailto:leospgeo@gmail.com)); Antonio José Teixeira Guerra ([antoniotguerra@gmail.com](mailto:antoniotguerra@gmail.com))  
Técnico de aferição da estação: Sebastião Jorge de Oliveira  
Site de divulgação do trabalho: [www.lagesolos.ufrrj.br](http://www.lagesolos.ufrrj.br)

**Agradecimentos:**

Sítio Recanto da Paz  
Gengibre de Ubatuba



CNPq  
Comitê Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CAPES

Estrada do Araribá, 300 – Maranduba – Ubatuba – SP. CEP 11680-000

Figura 43: Folder com conceitos e ilustrações sobre erosão.

## 7. CONCLUSÕES

Desse modo, foram elaborados diversos trabalhos de campo para reconhecimento da área, bem como para coleta de amostras de solo e das coletas de escoamentos e chuvas, o que valida a importância do método empírico, principalmente nas pesquisas com abordagens de cunho ambiental e espacial. Este método corrobora em uma melhor análise dos processos geomorfológicos, pois permite entender a relação dos elementos ambientais com a sociedade.

Portanto, a metodologia empregada das análises físicas, químicas e hidrológica do solo foi eficiente, pois se constatou que os ambientes expostos da área de estudo apresentam baixa complexidade de fluxos de energias e matérias, dificultando o crescimento de vegetação nessas áreas, apesar do elevado excedente hídrico propiciado pela precipitação.

Desse modo, as alterações de ordem ambiental do município são agravadas pela pressão da população local nas florestas, com obras irregulares e em locais não adequados para moradia, agravando o depauperamento dos solos, deixando-os expostos sem nenhuma ação de recuperação dos mesmos. Constatou-se a dificuldade de resiliência desses ambientes pela baixa concentração de matéria orgânica, o que dificulta o crescimento de vegetação espontânea, a curto prazo, principalmente de vegetação menos resistente a ambientes incipientes. Logo, são áreas que necessitam de intervenção para restabelecer as estruturas físicas e químicas da matriz do solo, essenciais para a sua reabilitação.

Os problemas com os processos erosivos acelerados causam prejuízos que vão além da esfera ambiental, uma vez que a alteração da dinâmica do solo pode culminar em perturbação nos sistemas fluviais, como o assoreamento dos rios, podendo afetar a qualidade da água, devido à elevada carga de sedimentos, que tem sua origem no escoamento em ambientes degradados. Logo, os prejuízos também são de ordem social e econômica, pois a sociedade sofre as consequências dos efeitos *offsite*.

Foi evidenciado que áreas sem cobertura vegetal em baixas declividades sofrem com intenso processo hidroerosivo, e necessitam de atenção específica, pois muito contribuem com as perdas de solo e água de uma bacia hidrográfica. Portanto, Ubatuba representa um território com grandes potencialidades a eventos pluviais extremos, que aceleram e facilitam a detonação de diversos tipos de movimentos de massa. Um agravante dessa problemática se explica quando se associa as características da chuva, peculiares do município, com o relevo íngreme.

Salienta-se a importância da identificação das substâncias orgânicas no solo, uma vez que áreas de floresta podem apresentar maior diversidade desses compostos. O presente

estudo pode ser mais uma variável para o diagnóstico ambiental ao levar em consideração uma abordagem sistêmica dos fatores e processos atuantes no solo. Nessa perspectiva, por meio dessa análise, pode-se diferenciar áreas com mesmas taxas de matéria orgânica, mas com diversidade de substâncias orgânicas em diferentes concentrações e quantidades. Como diferenciar áreas agrícolas das de florestas, onde as taxas de matéria orgânica podem ser equivalentes, mas na agricultura, dependendo do manejo do solo, pode ter grande concentração de poucas substâncias orgânicas para beneficiar determinado plantio, enquanto que na floresta existe grande diversidade de substâncias que suprem a necessidade de distintas espécies vegetais.

As análises utilizando a fibra de SPME de polaridade mista possibilitou a detecção de grande quantidade de substâncias. No entanto, com base nos resultados aqui apresentados e na análise da literatura, verificou-se que a combinação de uma fibra de polaridade polar e análise em cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) resultaria em uma melhor extração e identificação dos ácidos orgânicos de baixa massa molecular. Estes ácidos possuem natureza polar e baixa pressão de vapor, o que dificultou a sua extração pela metodologia aqui empregada (SPME/CG). Portanto, os ácidos e outras substâncias orgânicas detectadas na presente pesquisa possuem relativa alta pressão de vapor.

Nessa perspectiva, a análise da concentração das substâncias orgânicas não foi priorizada na dissertação, mas a sua identificação foi fundamental para ser mais um indicativo da qualidade do solo.

Os resultados de potenciais matriciais indicam solos com características de saturação prolongada, salientando a contribuição da umidade antecedente na região para a aceleração dos fluxos de escoamento superficial. A maior capacidade de armazenamento da água é devido à baixa declividade do terreno, culminando na menor sucção do solo.

A pouca variação dos potenciais matriciais, principalmente nas zonas subsuperficiais, associada com a baixa concentração de substâncias orgânicas e, conseqüentemente, a falta da estruturação do solo, corrobora para a diminuição da coesão entre as partículas do mesmo, o que explica as altas perdas de solo e água.

As distintas profundidades analisadas do solo degradado apresentam propriedades químicas e físicas semelhantes, pois essa região se trata de um ambiente de retirada de material de empréstimo, com corte de encosta, logo, os tensiômetros das três profundidades estão instalados no mesmo horizonte. Contudo, o comportamento hidrológico na profundidade de 15 cm é a que mais se diferencia, com maior verticalização da reta, pois sofre

com maior intensidade dos efeitos da evaporação, devido a sua proximidade superficial. Enquanto que 30 e 90 cm não apresentam condições para drenagem da água, pela falta da vegetação para ajudar na formação dos poros, o que ajudaria na movimentação da água dentro do sistema.

Ao analisar os totais de perda de água e solo, observa-se a expressividade de volume perdido superficialmente. Desde o início do monitoramento, foram analisados 17 meses, todos com ocorrências de escoamento, culminando com perdas de sedimentos. O mês de abril foi o de maiores perdas (644.000 L/ha de água e 1,64 t/ha de solo), pois foi precipitado próximo ao esperado na média de 30 anos (226 mm em 2014 e 241 mm na média de 30 anos). A contribuição anual em porcentagem de chuva desse mês para a ocorrência do escoamento foi de 14%, acima do esperado da média histórica de 9,6%.

Nessa perspectiva, conclui-se que os últimos três anos estão ficando abaixo da média histórica de chuva, principalmente 2014, mas o volume de perda de solo e água são significativamente elevados, principalmente por se tratar de uma área com pouco declividade. Logo, com as precipitações alcançando as médias mensais ao longo de um ano, pode-se induzir a fluxos de escoamentos superficiais mais intensos do que os encontrados na pesquisa, bem como a maiores perdas de água e solo.

Os *folders* representam a difusão do conhecimento científico para a população local, sendo um instrumento de fácil leitura e interpretação, para que os indivíduos conheçam melhor o meio físico no qual habitam, principalmente as áreas de florestas, que estão perdendo espaço para a urbanização desordenada.

O material elaborado didaticamente também poderá ser utilizado pelo poder público local para ajudar na aprendizagem dos alunos, bem como na conscientização dos turistas que, em muitos casos, contribuem na degradação ambiental de Ubatuba pelas atividades turísticas predatórias.

Portanto, a presente dissertação se mostrou satisfatória ao fazer uma abordagem integrada dos processos que atual no solo. O aporte técnico-metodológico e teórico-conceitual utilizado na pesquisa viabilizou entender as relações entre os principais fatores e elementos responsáveis pela degradação ambiental.

A pesquisa de diagnóstico de áreas degradadas da dissertação servirá de respaldo para auxiliar no planejamento de recuperação e reabilitação de outros ambientes com características semelhantes ao de Ubatuba.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A. N. Paisagens e problemas rurais da região de Santa Isabel. Boletim Paulista de Geografia, São Paulo, n. 10, p. 45-70. 1951.

ADAMS, R.P. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry. 4 th ed. Allured Publ. Corp, Carol Stream, IL. 2007.

ALVES, C. C. E.; BEZERRA, L. M. A. M.; COSTA, A. C. A Importância da Conservação/Preservação Ambiental da Floresta nacional do Araripe para a Região do Cariri – Ceará. Revista Geográfica de América Central Número Especial EGAL, 2011- Costa Rica II. pgs. 1-10. 2011.

ANDRADE, A. G; COSTA, G. S.; FARIA, S. M. Deposição e Decomposição da Serapilheira em Povoamentos de Mimosa Caesalpiniifolia, Acacia Mangium e Acacia Holosericea com Quatro Anos de Idade em Planossolo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, V. 24, p.777-785. 2000.

AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, A. L.; LACERDA, W. A.; BECKER, L. B; MENDONÇA, M. B. Mechanisms of the recent catastrophic landslides in the mountainous range of Rio de Janeiro, Brazil. Proceedings of the Second World Landslide Forum – 3-7 October 2011.

BANCO DE DADOS CLIMÁTICOS DO BRASIL. Disponível em <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/balanco.php?UF=&COD=492>>. Data: 10/01/2015.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 155-163. 2004.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Rio de Janeiro: Ed. Ícone, 7ª edição. 2010.

BERTONI, J. Sistemas coletores para determinação de perdas por erosão. Bragantia, 9:147-155. 1959.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. R. RA'E GA, Curitiba, n.8, p. 141-152. 2004.

BEZERRA, F. R. Reabilitação de Áreas Degradadas por Erosão em São Luís/MA. In: Processos Erosivos e Recuperação de Áreas Degradadas. Editora: Oficina de Textos. São Paulo. 2013.

BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T.; RODRIGUES, S. C. Análise do potencial matricial relacionada à recuperação de processos erosivos com técnicas de bioengenharia, Uberlândia – MG. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Goiânia-GO, 6 a 10 de set. 2006.

BOARDMAN, J. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. *Catena*, volume 68, 73-86. 2006.

BOIX-FAYOS, C.; MARTÍNEZ-MENA; ARNAU-ROSALÉN, M.; E.; CALVO-CASES, A.; CASTILLO, V.; ALBALADEJO J. Measuring soil erosion by field plots: Understanding the sources of variation. *Earth-Science Reviews* Volume 78, 267-285. 2006.

BOUDOT, J. P. Relative efficiency of complexed aluminum noncrystalline Al hydroxide, allophane and imogolite in retarding the biodegradation of citric acid. *Geoderma*. 39-52. 1992.

BRADY N. C. e WEILL, R. R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. Editora FUNEP, 4ª edição. 2013.

BRADY, N. C. Natureza e propriedades dos solos. Rio de Janeiro: Freitas Bastos. 1989.

BRIGATI, N. & SANT'ANNA NETO, J. L. Dinâmica Climática E Variações Do Nível Do Mar Na Geração De Enchentes, Inundações e Ressacas no Litoral Norte Paulista. *Revista Formação*, n.15 volume 2 – p. 25-36. 2011.

BRIGATTI, N & SANT'ANNA NETO, J. L. Dinâmica climática e variações do nível do mar na geração de enchentes, inundações e ressacas no litoral norte paulista. *Revista Formação*, n.15 volume 2 – p. 25-36. 2011.

BRYAN, R. B. Soil erodibility and processs of water erosion on hillslope. *Geomorphology*, v.32, p.385-415, 2000.

BUZATO, E. Avaliação de impactos ambientais no município de Ubatuba: uma proposta a partir dos geoindicadores. Tese (doutorado) – Universidade de São Paulo, 2012.

CARVALHO, D. F. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. In: *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V.13, Nº1, p. 3 – 9. 2009.

CASTRO, F. C.; LOURENÇO, A., GUIMARÃES, M. F. e FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Paraná, Brazil. *Soil an Tillage Reserch*, v. 65, p. 45-51, 2002.

CASTRO, G. C. Carbono orgânico nas frações granulométricas e húmicas em solos de diferentes texturas sob floresta da região noroeste mato-grossense. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambiental, 2008.

CHANG, D. S.; and ZHANG, L. M. A Stress-controlled Erosion Apparatus for Studying Internal Erosion in Soils. *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 34, No. 6 Paper ID GTJ103889. 2011.

CHAPLOT, V., COADOU LE BROZEC, E., SILVERA, N., VALENTIN, C. Spatial and temporal assessment of linear erosion in catchments under sloping lands of northern Laos. *Catena* 63, 167–184. 2005.

CHENG, B.T. Soil organic matter as a plant nutrient. In: Symposium on soil organic matter studies, 1997, Vienna. Soil organic matter studies. Austria: IEA, 31-39. 1997.

CHRISTENSEN, B.T. Organic matter in soil – structure, function and turnover. Tjele: DIAS Report N. 30 Plant Production, p.95. 2000.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos, 6ª edição, Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, p.415-441, 2003.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. Sistemas Dinâmicos: as Abordagens da Teoria do Caos e da Geometria Fractal em Geografia. Livro: Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil. VITTE, A. C. & GUERRA, A. J. T. 5<sup>o</sup> ed. - Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. SP. Edgard Blücher Ltda, p.236, 1999.

CHRISTOPHERSON, R. W. Geossistemas: uma introdução à geografia física. 1º capítulo. 7ª edição. Editora Bookman. Porto Alegre. 2012.

COELHO NETTO, A. L. & AVELAR, A. S., 1996. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. in: Cunha, S. B. & Guerra, A.J.T. (org.) “Geomorfologia. Exercícios, técnicas e aplicações”, Ed. Bertrand, Rio de Janeiro. 1996.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encostas na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da. (Orgs.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil. 7ª edição, 2007.

COELHO NETTO, A. L., AVELAR, A. S., FERNANDES, M. C., COUTINHO, B., FREITAS, L. Technical Report on Environmental Quality of Rio de Janeiro State (1:100,000): subsidies for the economic - ecological zoning, Environmental Secretariat of Rio de Janeiro State Government. 2008.

COELHO NETTO, A. L.; SATO, A. M.; AVELAR, A. S.; VIANNA, L. G. G.; ARAÚJO, I.; FERREIRA, D. L. C.; LIMA, P. H.; SILVA, A. P.; SILVA, R. P. January 2011: the extreme landslide disaster in Brazil. Proceedings of the Second World Landslide Forum – 3-7 October 2011.

COELHO, S. L. & TEIXEIRA A. dos S. Avaliação do tensiômetro eletrônico no monitoramento do potencial matricial de água no solo. In: Engenharia. Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.3, 356-545. 2004

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/qualidade-da-praia/saosebastiao>>. Data: 13/01/2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos – 2. ed. Ver. Atual. – Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA. Manual de Análises Químicas, Plantas e Fertilizantes. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999.

ESTRINGANA P. G.; BLÁZQUEZ, N. A.; MARQUES, M.J.; BIENES, R.; GONZÁLEZ-ANDRÉS, F.; ALEGRE, J. Use of Mediterranean legume shrubs to control soil erosion and runoff in central Spain. A large-plot assessment under natural rainfall conducted during the stages of shrub establishment and subsequent colonization. *Catena* 102: 3–12. 2013.

FERNANDES, J. Percepção ambiental: as transformações no cotidiano de caiçaras de Ubatuba – SP na década de 1960 e na primeira década do século XXI. Dissertação (mestrado) - Universidade de Taubaté, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, 2009.

FERNANDES, N. F., COELHO NETTO, A. L. & DEUS, C. E. Monitoramento dos Fluxos D'água no Solo: Instrução Alternativa. III Simpósio de Geografia Física Aplicada, Nova Friburgo. P. 71- 97. 1989.

FIBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro: FIBGE. (Dados preliminares). 2001.

FOLLET, R. F; KIMBLE, J. M; LAL, R. The Potential of U.S. grazing lands to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. Boca Raton: Lewis Publishers.2001.

FULLEN, M. A. e CATT, J. A. (2004). Soil Management – problems and solutions. Oxford: Oxford University Press. 2004.

GARCIA-ESTRINGANA, P.; ALONSO-BLÁZQUEZ, N; MARQUES, M. J.; BIENES, R; GONZÁLEZ-ANDRÉS, F;ALEGRE, J. Use of Mediterranean legume shrubs to control soil erosion and runoff in central. *Catena* 102: 3-12. 2013.

GRANGEIRO, C. M. M. Meio ambiente litorâneo e urbanização: o ambiente produzido na costa leste da cidade de Fortaleza – Ceará. Tese de Doutorado. Centro de Ciências e Tecnologias, Programa de pós-Graduação em Geografia. Fortaleza. 2012.

GREGORICH, E. G., CARTER, M.R.; ANGERS, D.A., MONREAL, C. M. E ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Sciences*, v. 74, p. 367-385, 1994.

GUERRA, A. J. T. e MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: VITTE, A.C. e GUERRA, A.J.T. (Orgs). Reflexões sobre a geografia física no Brasil – 5° ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, A. J. T. Experimentos e Monitoramentos em Erosão dos Solos. *Revista do Departamento de Geografia*, 16, 32-37. Rio de Janeiro/ RJ, 2005.

GUERRA, A. J. T., Encostas e a Questão Ambiental. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da. (Orgs). *A Questão Ambiental: Diferentes Abordagens*. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, p. 191 – 217. 6° edição, 2010.

GUERRA, A. J. T., Processos Erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da. (Orgs.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, p. 149 - 207. 7ª edição, 2009.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia e Meio Ambiente. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p.372, 2001.

GUERRA, A. J. T.; DA SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org.); Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1999.

GUERRA, A.J.T e JORGE, M. Mapping hazard risk. Geography Review, v.22, n.3, p.11-13. 2009.

GUERRA, ANTONIO JOSÉ TEIXEIRA. Processos Erosivos nas Encostas. In: Geomorfologia - Exercícios, Técnicas e Aplicações. Orgs. S.B. Cunha e A.J.T. Guerra. Ed. Bertrand Brasil, 2.ed. p. 139-155. Rio de Janeiro/ RJ, 2002.

GUO, T.; WANG, Q.; LI, D.; ZHUANG, J.; WU, L. Flow hydraulic characteristic effect on sediment and solute transport on slope erosion. Catena 107: 145–153. 2013.

HARMON, ALAN D. Solid- Phase Microextraction for the Analysis of Aromas and Flavors. In.: Marsili, R. (Ed.) Flavor, Fragrance and Odor Analysis). Editora Marcel Dekker Inc. p. 75-106. 2002.

HASUI, Y.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. O Embasamento pré-cambriano e o Eopaleozóico em São Paulo. In: IPT. Mapa geológico do estado de São Paulo: escala 1:5000.000. São Paulo, IPT, V1, p.12-45. 1981.

HASUI, Y.; MIOTO J. A; MORALES, N. Geologia do Pré-cambriano. In: Falconi, F. F.; NEGRO JR., A. (eds). Solos do litoral de São Paulo, ABMS. P 41-68. 1994.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <[http://www.censo2010.ibge.gov.br/resultados\\_do\\_censo2010.php](http://www.censo2010.ibge.gov.br/resultados_do_censo2010.php)>. Data: 20/12/2010.

JENNY, H. Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. Dover Publications, INC. New York. 1994.

JOHNSO, M. S.; LEHMANN, J.; NOVAES FILHO, E. G. C. J. P.; RIHA, S. J. DOC and DIC in flow paths of Amazonian headwater catchments with hydrologically contrasting soils. Revista Biogeochemistry, 81:45-57. 2006.

JOHNSON, S.E.; ANGELES, O.R.; BRAR, D.S. & BURESH, R.J. Faster anaerobic decomposition of a brittle straw rice mutant: implications for residue management. Soil Biology & Biochemistry 38. 2006.

JONES, D. L.; DENNIS, P. G.; OWEN, A.G.; HEES, P. A. W. Organic acid behavior in soils – misconceptions and knowledge gaps. Plant and soil. 248: 31-41. 2003.

JORGE, M. C. O. & GUERRA, A. J. T. Erosão dos Solos e Movimentos de Massa-Recuperação de áreas degradadas com Técnicas de Bioengenharia e Prevenção de Acidentes.

In: Processos Erosivos e Recuperação de Áreas Degradadas. Editora: Oficina de Textos. São Paulo, 2013.

JORGE, M. C. O. Degradação dos Solos no Litoral Norte Paulista. In: GUERRA, A. J. T. & JORGE, M. C. O. (Orgs). Degradação dos Solos no Brasil. 1. Ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

JORGE, M. C. O.; MENDES, I. A.; GUERRA, A. J. T. Técnicas Cartográficas Aplicadas ao Zoneamento Ambiental no Município de Ubatuba-SP. In: Contribuições Teórico Metodológicas da Geografia Física. Organização: Adoréa Rebello. Editora: Universidade Federal do Amazonas. 2010.

JORGE, M. C. O.; PEREIRA, L. S.; GUERRA, A. J. T.; MOREIRA, R. L. Potencial geoturístico em unidades de conservação: um estudo da trilha Cachoeira da Água Branca situada no Parque Estadual da Serra do Mar, município de Ubatuba-SP. 10 SINAGEO, Manaus/AM. 2014.

JORGE, M.C.O. Zoneamento ambiental do município de Ubatuba – SP. Dissertação de Mestrado em Organização do Espaço. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP). 2004.

JUNIOR, U. O. B. & RIZZO, F. A. Diagnóstico ambiental e recuperação de áreas degradadas: proposta de utilização da nucleação na recuperação de um trecho da mata ciliar da Lagoa do Joaquim, em Açailândia-MA. VII CONNEPI. Palmas- TO, 2012.

KIEHL, E. J. Manual de edafologia – relação solo-planta. São Paulo, Editora agrônômica Ceres, 1979.

KLAR, A.E. A água no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo: Nobel. 1984.

KOPP, M. M.; LUZ, V. K; COIMBRA, J. L. M.; SOUZA, R. O; CARVALHO, F. I. F; OLIVEIRA, A. C. O. Níveis críticos dos ácidos acético, propiônico e butírico para estudos de toxicidade em arroz em solução nutritiva. Acta bot. bras. 21(1): 147-154. 2007.

LAL, R.; BRUCE, J. P. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. Environmental Science & Policy 2:177-185. 1999.

LELES, C.M.D. Caracterização das propriedades físicas dos solos da Estação Experimental do Departamento de Geografia – FFP. (Monografia) São Gonçalo: Departamento de Geografia da UERJ/FFP. 2003.

LENGOASA, J. Disponível em <<http://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-estado/2014/10/28/seca-em-sp-deve-continuar-em-2015-diz-cientista.htm>>. Data: 10/01/2015.

LEPSCH, I. F., Solos: Formação e Conservação. 5 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

LI, Y., POESEN, J., VALENTIN, C. Gully Erosion Under Global Change. Sichuan Science Technology Press, Chengu, China. 2004.

LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba, São Paulo: ESALQ/USP. 1995.

LIMA e SILVA, P. P. Sistema Holístico de Avaliação de Impactos Ambientais de Projetos Industriais. Tese de Doutorado submetida ao PPGG-UFRJ, Rio de Janeiro. 2003.

LOOS, M; ELSENBEER, H. Topographic controls on overland flow generation in a forest – An ensemble tree approach. *Journal of Hydrology* 409: 94–103. 2011.

LOPES, A. S., SOUZA, A. P., JARDIM, H. L., BERTOLINO, A. V. F. A., MIRANDA, J. P., SOUZA, F. M. S. & FERNANDES, N. F. Comparação entre o Índice de Erosividade e a Perda do Solo Medida em Campo no Momento do Evento Pluviométrico para Diferentes Formas de Manejo- Paty do Alferes/ RJ. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física, Universidade de São Paulo, 2005.

LUCARELLI, J.R.F. Alterações em características de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas, 1997.

MALAVOLTA, E. - ABC da Adubação. Editora Agronômica CERES Ltda. São Paulo (SP), 1979.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola. Nutrição de plantas e fertilidade do solo, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1976.

MARQUELLI, W. A. Tensiômetros para o Controle de Irrigação em Hortaliças. In: Circular técnico, Embrapa Hortaliças. 1ª edição 1ª impressão. 2008.

MARTINS, S. G.; SILVA, M; L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S; MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em Sistemas florestais na região de Aracruz (ES). Seção I - Física do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 27:395-403. 2003.

MELO, K. C. Geoecologia da Paisagem do Município de Ubatuba – SP. *Revista GEONORTE, Edição Especial, V.3, N.4, p. 997-1009, 2012.*

MENDES, C. A. R. Erosão Superficial Em Encosta Íngreme Sob Cultivo Perene E Com Pousio No Município De Bom Jardim – RJ. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ – Engenharia Civil. Rio de Janeiro, 2006.

MORGAN, R. P. C. *Soil Erosion and Conservation*. England: Blackwell, 2005.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853-858. 2000.

NAGLE, G.N. & RITCHIE, J.C. Wheat field erosion rates and channel bottom sediment sources in an intensively cropped north-eastern Oregon drainage basin. *Land Degradation and Development* 15 (1), 15– 26. 2005.

NIST Chemistry Webbook, edited by P. J. Linstrom and W. G. Mallard, <http://webbook.nist.gov>. Data: 02/05/ 2013.

NUNES, L.H. Jornal Maranduba News. Ano I, edição 12. Agosto de 2010. Disponível em <<http://issuu.com/maranduba/docs/jornalmarandubanews12web/6>>. Data: 10/01/2015.

OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: Mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*. v. 76, p. 319-337, 1984.

OLDEMAN, L.R., HAKKELING, R.T.A. E SOMBROEK, W.G. World map of the status of human-induced soil degradation. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC)/UNEP in cooperation with Winand Staring Centre-International Soil Science Society (ISSS)-FAO-ITC (The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation). 1990.

PEREIRA, L.; RODRIGUES, A. Sistemas de Manejo de Cultivo Mínimo e Convencional: Análise Temporal da Dinâmica Hidrológica do Solo e da Variação Produtiva em Ambiente Serrano. *Revista Brasileira de Geografia Física*. Volume 6, número 6. 2013.

PERROTTA, M.M.; SALVADOR, E.D.; LOPES, R.C.; D'AGOSTINHO, 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, CPMR, São Paulo. 2005.

PIMENTEL, D. Soil Erosion: A Food And Environmental Threat. *Environmental Development and Sustainability*, V. 8. 119-137. 2006.

PINHEIRO, G. L.; SILVA, C. A.; LIMA, J. M.; COSTA, A. L. Ácidos orgânicos de baixa massa molar em solos e materiais orgânicos. *Quim. Nova*, Vol. 36, No. 3, 413-418, 2013.

PODWOJEWSKI, P.; POULENARD, J. NGUYET, M. L.; ROUW, A.; NGUYEN, V. T.; HA PHAM, Q.; TRAN, D. C. Climate and vegetation determine soil organic matter status in an alpine inner-tropical soil catena in the Fan Si Pan Mountain, Vietnam. *Catena*, v. 87 p. 226–239, 2011.

PONÇANO, V. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M.; PRANDINI, F. L. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo (escala 1:1.000.000). São Paulo, 2º volume. Monografias, IPT/DMGA. 1981.

PRIMAVESI, A.A. Matéria orgânica. In: *Manejo ecológico do solo*. 7º ed. São Paulo: Nobel, 1984.

RAO, D.N. & MIKKELSEN, D.S. Effect of acetic, propionic, and butyric acids on young rice seedlings growth. *Agronomy Journal* 69(6): 923-928. 1977.

RAWLS, W. J.; PACHEPSKY, Y. A.; RITCHIE, J. C.; SOBECKI, T.M. E BLOODWORTH, H. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*. v. 116, p. 61-76, 2003.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole. 1987.

RESENDE, M. & ALBUQUERQUE, P. E. P. Métodos e Estratégias de Manejo de Irrigação. Circular Técnica 19, EMBRAPA, Sete Lagoas, 2002.

RIBEIRO, A. I.; PERUSSO, F. C.; MEDEIROS, G. A.; LONGO, R. M.; PECHE FILHO, A. Proposta de diagnóstico ambiental de uma área degradada no parque estadual do juquery, franco da rocha – SP. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Goiânia/GO, 2012.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, Boston, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

RIENZI, E. A.; FOX, J.F.; GROVE, J. H. GROVE, C. J. Interrill erosion in soils with different land uses: The kinetic energy wetting effect on temporal particle size distribution. *Catena* 107: 130–138. 2013.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. *Geoecologia das Paisagens, uma visão geossistêmica da análise ambiental*. Editora: UFC – 3º edição, 2010.

ROSA, A. H. & ROCHA, J. C. Fluxos de Matéria e Energia no Reservatório Solo: da origem à Importância para a Vida. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*. Nº 5 – Novembro 2003.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. 2002.

ROSS, J. (org.). *Geografia do Brasil*. São Paulo: EDUSP, p.115-117. 1995.

SALGADO, C. M. Erodibilidade de coberturas sedimentares pedológicas e variabilidade espacial de propriedades pedológicas físicas em cabeceiras de drenagem em anfiteatro – Bananal (SP/RJ). Dissertação de Mestrado, UFRJ - Rio de Janeiro, 1995.

SALOMÃO, F. X. de T. S., Controle e Prevenção dos Processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S. da. & BOTELHO, R. G. M. (Org.). *Erosão e Conservação dos solos – Conceitos, Temas e Aplicações*. Rio de Janeiro, Ed. Bertrand Brasil, 3º Edição, 2007.

SANT'ANNA NETO, J. L. Ritmo climático e a gênese das chuvas na zona costeira paulista. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1990.

SANT'ANNA NETO, J. L. Tipologia dos sistemas naturais costeiros do Estado de São Paulo. São Paulo. In: *Revista de Geografia* nº12, páginas 47-86. 1993.

SCHAETZL, R. J. e ANDERSON, S. *Soil: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University press. 2005.

SENE, E. de, MOREIRA, J. C. A urbanização brasileira. In: *Geografia Geral e do Brasil* São Paulo: Scipione, p. 321-326. Cap. 4. 1998.

SHAMRIKOVA, E. V.; GRUZDEV, I. V.; PUNEGOV, V.V.; KHABIBULLINA, F. M.; KUBIK, O. S. Water-soluble low-molecular-weight organic acids in automorphic loamy soils of the Tundra and Taiga zones. *Eurasian Soil Science*. Volume 46, nº6, 645-659. 2013.

SHOCK, C. C.; AKIN, A. I; UNLENEN, L. A. Precise irrigation scheduling using soil moisture sensors. In: International Irrigation Show, 2003, San Diego: The Irrigation Association, 2003.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 58, n. 5, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, A.S. da. Análise morfológica dos solos e erosão. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Orgs). *Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações*. – 6° ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

SINGH, C. P. & AMBERGER, A. Organic acids and phosphorus solubilization in straw composted with rock phosphate. *Bioresource Technology*. 63: 13-16. 1998.

SOUSA, A. T. & CORRECHEL, V. Voçoroca Em Borda De Relevo Tabular Residual Sobre Cobertura Latossólica, Quirinópolis (GO). *Bol. Goia. Geogr. (Online)*. Goiânia, v. 33, n. 3, p. 509-527. 2013.

SOUSA, R.O. & BORTOLON, L. Crescimento radicular e da parte aérea do arroz (*Oryza sativa* L.) e absorção de nutrientes em solução nutritiva com diferentes concentrações de ácido acético. *Revista Brasileira de Agrociência* 8 (3): 231-235. 2002.

SOUZA, C. R. G. e SUGUIO, K. The coastal erosion risk zoning and the São Paulo state for coastal management. In: *Journal of Coastal Research*, special issue n° 35, pg. 530-547. *Proceeding of the Brazilian sandy beaches: Morphodynamics, ecology, uses, hazards and management*, 2003.

SOUZA, C. R. G. Flooding in the São Sebastião region, northern coast of São Paulo state, Brazil. In: *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, n°70 (2): 353-366. 1998.

STEMPNIAK, A.; BATISTA, G. T.; MORELLI, A. F. Avaliação da transformação da paisagem na bacia do ribeirão Vidoca, São José dos Campos, SP, Brasil. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 2, n. 3: 83-97. 2007.

STEVENSON, F. J. *Humus chemistry: genesis, composition and reaction*. New York: John Wiley & Sons. 1994.

STROBEL, B.W. Influence of vegetation on low-molecular-weight carboxylic acids in soil solution—a review. *Geoderma*. 2001.

STROOSNIJDER, L. Measurement of erosion: Is it possible? *Catena*, Volume 64, 162-173. 2005.

TAVARES, R.; SANT'ANNA NETO, J. L. e SANTORO, J. Chuvas e escorregamentos no Litoral Norte Paulista entre 1988 e 2001. In: *Anais do Encontro de Geógrafos Brasileiros*. João Pessoa: AGB-DER. 2002.

TEIXEIRA, L.L.F. M. & ROMÃO, P. de A. Análise integrada do meio físico como subsídio ao diagnóstico de processos erosivos na bacia do ribeirão extrema em Anápolis (go). *B. Goiano. Geogr.* Volume. 6, número 2, 127-142. 2009.

TEIXEIRA, LEIDE LAURA F. M. & ROMÃO, PATRÍCIA DE ARAÚJO. Análise Integrada Do Meio Físico Como Subsídio Ao Diagnóstico De Processos Erosivos Na Bacia Do Ribeirão Extrema Em Anápolis (GO). *B.goiano.geogr*, Goiânia, v. 29, n. 2, p. 127-142. 2009.

TELLES, T. S. A erosão do solo no Brasil: histórico da pesquisa e custos das perdas de nutrientes. Tese de doutorado. Londrina Universidade Estadual de Londrina. Centro de ciências agrárias. Programa de pós-graduação em agronomia. 2012.

THOMAZ, E. L. & VESTENA, L.R. Measurement of runoff and soil loss from two differently sized plots in a subtropical environment (Brazil). *Earth Surf. Process. Landforms*, Vol. 37, 363-373. 2012.

TOMINAGA, L. K. Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP. Tese (doutorado) – Universidade de São Paulo. 2007.

TROEH, F. R. e THOMPSON, L. M. Solos e Fertilidade do solo. Tradução: Durval Dourado Neto e Manuella Nóbrega Dourado. São Paulo: Organização Andrei Editora. 2007.

USDA (United States Department of Agriculture). [http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2\\_054167](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167). Acesso em 05/12/2014.

VALENTIN, C; POESEN, J; LI, YONG. Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*, V. 63 132–153. 2005.

VAN DEN DOOL, H.; KRATZ, P.D.J.A. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. *J. Chromatogr.* v. 2, p. 463-471. 1963.

VEZZANI, F. M. & MIELNICZUK, J. O Solo como Sistema. 1º edição. Ed.: Curitiba, 2011.

VITTE, A. C. O desenvolvimento do conceito de paisagem e a sua inserção na geografia física. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, ano 06, nº 11. 2007.

WILEY REGISTRY OF MASS SPECTRAL DATA, 6th edn. Wiley Interscience, New York. 1994.

ZAUÍ, A. S. Fragmentação de Mata Atlântica: Aspectos Teóricos. *Floresta e Ambiente*, n.5, v.1, 60-170, 1998.