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

PEDRO CARIGNATO BASILIO LEAL

Mapeamento de perigo de escorregamento na bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba - Ubatuba (SP): comparação dos métodos analítico e sintético

Versão Corrigida

**AGOSTO
2014**

PEDRO CARIGNATO BASILIO LEAL

Mapeamento de perigo de escorregamento na bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba - Ubatuba (SP): comparação dos métodos analítico e sintético

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

Área de Concentração: Geografia Física.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Pereira de Queiroz Filho.

Versão Corrigida

**AGOSTO
2014**

Nome: LEAL, Pedro Carignato Basilio

Título: Mapeamento de perigo de escorregamento na bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba - Ubatuba (SP): comparação dos métodos analítico e sintético

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

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Alfredo Pereira de Queiroz Filho Instituição: USP-FFLCH

Julgamento: _____ **Assinatura:** _____

Profa. Dra. Bianca Carvalho Vieira Instituição: USP-FFLCH

Julgamento: _____ **Assinatura:** _____

Prof. Dr. Cláudio José Ferreira Instituição: IG-SMA/SP

Julgamento: _____ **Assinatura:** _____

Aos soterrados!

À Mãe Educadora Lucirene Aparecida Carignato!

Ao Pai Educador Moisés Basilio Leal!

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos sempre ficam pro final e não conseguimos fazê-lo muito bem. Mas é a vida! Vou continuar os agradecimentos que fiz em minha monografia. Uma por acreditar que tudo na vida é um ciclo espiral, onde sempre voltamos pro mesmo lugar, mas de forma diferente. E duas, pois as pessoas que foram lembradas no passado continuam me apoiando de longa estrada da vida....

Sempre pensei comigo que não faria agradecimentos em meus trabalhos, pois não conseguiria colocar todas as pessoas que contribuíram de maneira relevante à elaboração do trabalho. Em uma dessas conversas que tive com a Paki (obrigada) ela me disse ser essa a parte mais gostosa do trabalho e, então, resolvi me atrever. Vou confiar na memória já debilitada pelo tempo.

Vou começar pelas pessoas que me ajudaram a “apanhar sem chorar e bater sem dar risada”. Agradeço a Lucirene e Moisés que me felizmente ou infelizmente me deram a luz. E a Luanda grande irmã e companheira de luta e festa. Essas pessoas apesar de distantes sempre estão próximas. É pra onde a gente corre quando tudo dá errado ou certo.

Aos meus avôs maternos Joaquina e José Alberto aqui em terra. E aos avôs paternos Seu Luis e Dona Terezinha que já não estão mais conosco. Dona Nair pela atenção sempre que visito meu pai. Seguindo os agradecimentos aos mais experientes um axé especial para Tia Dinha que em seus aniversários no dia 25 de dezembro sempre me fazia mais feliz com seus bolos gigantes e muitos sambas. Ali foi meu berço do samba.

Aos companheiros do meu pai e mãe por agüentar filhos de outro casamento: Fernando e Meire. Também entram aqui Mariana, Kauê, André, Tia Bel, Pita, Tia Rita, Thamires, Tamarã, Tio Paulinho, Tia Ligia, Márcio, Sophia, Vincenzo, Tio Calão, Yara, Gabriel. A outros da Espanha e Jaú: Luzia, Ricardo e Natália!

Para não esquecer as raízes agradeço aos amigos do Jardim Planalto, mas talvez pelo contexto histórico jamais cheguem ler tais agradecimentos. Amigos que já foram tantos e hoje não sei mais quantos, porém um salve pro Zé, Dinho, Maurinho, Bocão, Thiago, Pelezinho, Cláudio, Welintong, Wesley, Tite, entre outros. Salve perifa.

Agradecer também aos filhos de militantes que se não fosse isso não agüentariamos tanta reunião. Valeu Vinicius, Elis, Gabriel, Nara, Terezinha, Francisco, Leonardo, Ligia, Elis, Marina, André.

Aos companheiros da Juventude do PT pelos debates e construções de uma cidade mais democrática.

Agradecer a galera da Batuns Club C. Não vou citar nome porque vou falhar com certeza.

Agradeço também Ana e Marcelo, pelas discussões anárquicas e literárias.

Valeu também o pessoal do Samiar.

Aos amigos Leandro, Michael, Luis, Thiago, Igor, Doug, Fernando, Diego.

Agradeço a Thati e Bruno pelas dúvidas tiradas em estatísticas. Agradeço aos Degradados Filhos de Eva banda querida aonde podemos nos sentir um pouco mais nós mesmos. Valeu Viotera e Coto. Valeu também aos agregados Muñoz, Bruno Guilherme, Nessa, Thiago Bã, Coca, Milke, Denis, etc.

Falando em banda agradecer a galera da Velha Guarda do Centenário que de velha guarda só tem o nome!!! Bons sambas na praça do centenário!!

Aos companheiros de luta da FSA/ Escola Livre Fábio, Lúcia, Jenifer, Fabinho, Michel, Jú, Naiara Badú, Jú, Monge, Bruna, Digão, Ozzy, Mari Bento, Robertinho, Reinaldo, Gustavo, Fabi, Túlius, Alessandra, João, Júlia, Feba Soraia, Raul, Danubia, Matheuzinho, Dará Sofia, Nadimy, Thati, Mayara, Vinicinhos, vinicius camisa de força, Vitão, etc.

Aos estagiários do Instituto Geológico: João, Dani, Marta, Willian, André, Juliana. Aos pesquisadores Guedes, Dani e Jair. Essa foi o agradecimento que fiz quando ainda nem estava no IG. Olha como as coisas são. Bom vou começar com um agradecimento especial ao que é meu Co-orientador e companheiro de corridas tb: Cláudio José Ferreira, pois foi ele quem me incentivou a fazer o mestrado desde o começo, inclusive dando a idéia do que fazer. Meus colegas que estão todo dia comigo aqui no núcleo de geoprocessamento segurando a barra durante esses 3 anos de correria. Gratidão Guedes e Francis. O Guedes por aturar os vários contratempos e a Francis principalmente pelos lindos mapas que estão nesse trabalho!!! Agradecer tb o famoso Grupo de Desastre tão conhecido pelo mundo afora!!! Gratidão por compartilhar a experiência de vocês com a gente que está chegando. As práticas de campo com vocês não tem igual. Valeu: Célia, Dani, Denise pelas várias bibliografias, Eduardo A, Eduardo B, Gustavo pela grade de excedente hídrico, Grandíssimo Jair digo-lho, Lidia sua tese foi um excelente incentivo, maestro Paulinho, Ricardo pelas conversas sobre a nossa querida instituição e os ensinamentos sobre UBC, Rodolfo, Rogério pelos croquis ensinados em campo, Rosangela do Amaral por sempre estar de braços abertos pra resolver os problemas sem dizer não, Zezinha e Márcia Pressinotti.

Ainda pelo IG agradeço aos companheiros de corrida, pois sem ela não terminaria esse trabalho. Primeiramente o Eduardo pelo incentivo desde o início (já foram mais de 400 Km

esse ano hein!!!), incansável Katiane, Cláudio mais uma vez e ao professor das técnicas de corrida Paulinho. Eduardão tb entra aqui!

Aos amigos de happy hour Betinho, Tadeu, Gabriel, Rafael, Katiane. Aos companheiros antigos que já se foram Márcia Galina que me abriu as portas da USP. Ao Oswaldo Coutinho companheiro de geo. Aos estagiários que passaram por aqui. Aos assistentes pela luta em defesa da nossa carreira: Malu, Monica, Cris, Rodrigo, Vania, Lilian, Kezia, Ivete, Elaine, Arlete, Geovanni, Viviane.

As meninas da portaria Bel e Marta. Ao Ivanilson. A Maria Helena por disponibilizar as publicações. A subfrota pra levar a gente pra cima e pra baixo: Zé, Valentin, Ediney, Gilberto, Bo, Roberval, márcio

Marcinha e Sandrinha pelos café nas manhãs de frio do Alaska que faz aqui no IG. Vanessa, Drielle, Margareth, pelas folhas de sulfite.

A Zenilda e Nívea pelas despesas miúdas. A Débora por arrumar motoboy pra gente. Agradeço tb Willian, Vanda pelas danças na quadrilha, Valeria, Marisaz, Tarcisio por me fazer achar na mapoteca. Aos novos companheiros Sérgio. E a companheira de caminhada pra USP Kelly. Rosangela de carvalho nossa chefe mor. Ao sr. Roberto e Ao combatente Alves. Ao Nelson e Mirian rosa pelas boas prosas nos corredores. Ao pessoal do pessoal que faz sair nosso pagamento e ainda dá o vale refeição: Helena, Marisa, Marinês, Fátima!! Grande Hélio rei do vale do paraíba! Geraldo Magayver!! Chicão também por explicar os projetos perdidos em mapotecas. Eliane por me vender meu primeiro fusca. Grande mestre Diego. Vai curinthias, Vai Claudinha!!! Agradeço a Alethéa, Annabel, Debora Olivato e aos alunos que coordenamos nas orientações do PIBIC-EM do CNPQ.

Ao pessoal da biblioteca por deixar os livros com a gente por tempo indeterminado: Cida. A comunicação por nos manter informado com seus boletins e deixar eu encadernar de última hora meus trabalhos. Dona Lourdes, Daniel, Lucimara.

Ao Palito, Carol,

Aos companheiros de viagem no México Priscila, Tâmara, Gabriel, Queta, Sara, Moreno, Alan y a los compas del Isste.

Aos amigos do estágio em Ubatuba: Marianinho, Sara, Fernando, Marina, Helô, Xará, Coruja e Jesus me dá a luz!

Agradecer os amigos da República do Samba pelos momentos bons, ruins, tensos, complicados, amargos, doces e assim sucessivamente. Valeu Birú, Amanda, Leandro, Elvis, Lambari, Xumacher, Fernandinha, Ana Flávia, Geraldão, Lú e Marcelo.

Aos amigos feitos lá nas terras dos tropeiros: Pancinha, Camila, Luis, Vanessa, Mariza, Borbola, Geninho, Saulin, Paulo, Hermano, Vivian, Priscila.

E claro aos que sempre me acompanharam nas vitórias e derrotas do todo poderoso Timão: Flávio, Pai, Luanda, Duda, Toninho, Victor, Humberto, Neto, Careca, Thais. Salve nação corinthiana.

Agradecer em especial ao Laboratório de geomorfologia e Erosão dos Solos (LAGES) que sempre apoiou e deu estrutura para uma boa graduação. Agradeço as pessoas que aqui me ajudaram a crescer: Zé Fernando, Lísia, Thallita, Eduardo, Douglas, Paulinha, Pedro xará, Ricardo, Iron, Alcione, Josimar, Fausto, Carlos, Juliana, Lilian, Camila. Agradecer aos técnicos Malaquias e Rosângela pelo acolhimento e ensinamentos.

Agradeço também meu orientador Professor Dr. Silvio Carlos Rodrigues que desde o primeiro dia em que conversamos sempre me abriu as portas.

Como não agradecer as pessoas que mudaram o rumo de minha vida ao me apresentarem Augusto Boal e o mundo do teatro. Amo muito vocês. Kelly, Danizoka maloka, Max Um, Caldeira, Secco, Ulisses, Sergio, Leide, Cecilia, André.

Aos EE Victor Miguel Romano!

Aos alunos de Teatro do CEDECA e aos parceiros arte-educadores!!!

Aos que me reabriram as portas pra música: Mestre Renato Gama e Reinaldo Careca!!!

Salve toda Rapaziada do Pau Brasil e do samba!!!! Aldo, Kibe, Gustavo, Marisa, Glorissom, Francis Negrão, Dona Nilce, Sr. Cláudio, Juninho, Elena, Birruga, Nega Fleq., sempre vai faltar....

A galera que morou comigo nesses últimos quatro ano.... Leandro Maia, Luciana, Gabriel, Fernando, Kelly, Mari, Leo, Larica

A galera que vai morar comigo nos próximos quatro anos... Mayara, Baloo, Rogério e Dani.

Agradeço ao Instituto Geológico pelo apoio através do processo 5594/2012 e Ao programa de Geografia Física da USP pela oportunidade de estudar sem custos nesses últimos 3 anos.

Um agradecimento especial ao meu orientador Alfredo P. de Queiróz Filho por me aceitar no programa e aguentar diversos contratempos ao longo desses 3 anos. Gratidão pelo esforço professor.

Esqueci-me de muita gente, mas fica pra quando eu for fazer a correção!

Alguns dados. Nem todos. Sem conclusões. Para quem me aceita são inúteis ambos. Os curiosos terão prazer em descobrir minhas conclusões, confrontando obra e dados. Para quem me rejeita trabalho perdido explicar o que, antes de ler, já não aceitou.

Mário de Andrade

RESUMO

LEAL, Pedro Carignato Basilio. **Mapeamento de perigo de escorregamento na bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba - Ubatuba (SP): comparação dos métodos analítico e sintético**. 2014. 100f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas; Departamento de Geografia; Programa de Pós-Graduação em Geografia Física; Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

O perigo geológico de escorregamentos é a probabilidade da ocorrência de eventos ou fenômenos desta natureza, induzidos ou não pela atividade humana que podem causar danos humanos, socioeconômicos e ambientais. A cartografia de perigos geológicos de escorregamentos é um importante instrumento para gestão dos territórios para Estados Nacionais, setor privado, ONGs, comunidades locais, organizações científicas, etc. O desenvolvimento da ciência e das técnicas fez surgir diversos métodos de avaliação de perigos de escorregamento. No presente trabalho, o método sintético e o método analítico foram comparados com base em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), técnicas de geoprocessamento e modelagem de dados cartográficos. Os atributos utilizados, na forma de matrizes numéricas foram declividade do terreno, densidade de drenagem e de lineamentos, excedente hídrico e cobertura vegetal e uso da terra (índice NDVI). Por meio de procedimentos de álgebra de mapas foi obtido o índice de perigo e elaborados os mapas de perigo de escorregamento. No método analítico o mapa de perigo ficou com uma textura mais granulada e no método sintético aparentou uma textura mais homogênea. A comparação da medida de classes em m² dos métodos coincidiu em 92% na classe muito alto, 90% na classe alto, 89% na classe médio e 90% na classe baixo. Já na tabulação cruzada a porcentagem de intersecção foi de 50% para a classe muito alto, 41% para a classe alto, 52% para a classe médio e 68% para a classe baixo. Concluiu-se que ao invés de opostos, os métodos se mostram adequados para um uso complementar.

Palavras-chave: mapeamento de perigo, escorregamento, modelagem de dados, álgebra de mapas, método sintético, método analítico.

ABSTRACT

LEAL , Pedro Carignato Basilio . **Landslide Hazard Mapping in the basin of the Rio Grande Ubatuba - Ubatuba (SP) : comparison of analytical and synthetic methods** . 2014. 100f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas; Departamento de Geografia; Programa de Pós-Graduação em Geografia Física; Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Geological hazard due landslides is the likelihood of occurrence of such events or phenomena, either induced or not by human activities that can cause human, social-economic or environmental loss. Landslide hazard maps are important tools for territory management among government, private sector, Non-Governmental Organizations (NGO), local communities and academy. The development of science and techniques brought about many methods for landslide assessment. This work aims to compare two approaches: the syntethic and analytical methods based on Geographical Information Systems (GIS), geoprocessing and cartographic data modeling. The used attributes, organised in numeric rasters were declivity, drainage and lineaments density, water excess and vegetation cover and land use (NDVI). Procedures of map algebra resulted in the Landslide Hazard Indexes, from which the hazard maps were generated. The maps were compared and validated across previous risk and susceptibility maps with high correlation results. It was concluded that rather than opposites both methods are suitable for an complementary use.

Keywords: mapping of hazard, landslide, data modeling, map algebra, synthetic method, analytical method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Métodos analítico e sintético para mapeamentos geotécnicos e geoambientais. Fonte: modificado de Cendrero (2004).	27
Figura 02 - Geossistema, potencial ecológico, exploração biológica e ação antrópica. Fonte: Bertrand (1968).	29
Figura 03 - "Esquemas estruturais de geossistema e ecossistema, conforme S. Preobrajenski. Fonte: Christofolletti (1999) adaptado de Haase (1976), onde: C = Clima; A = Água; R = Relevo; B = Biosfera; S = Sociedade; PL = Pedosfera e Litosfera".	30
Figura 04 - Padrões de drenagem. Fonte: Howard (1967) apud Vedovello (2000).	32
Figura 05 - Conceito de Risco. Fonte: Ferreira (2011).	37
Figura 06 - Zona de risco sempre dentro da zona de perigo. Fonte: Ferreira (2011).	37
Figura 07 - Métodos de avaliação de perigo. Fonte: modificado de Aleotti & Chowdhury (1999).	43
Figura 08 – Exemplo de conjunto de camadas de mapas com seus respectivos modelo de dados. Fonte: Tomlin (1990).	44
Figura 09 - Paradigma dos quatro universos. Fonte: Gomes e Velho (1995).	45
Figura 10 - Relações das classes básicas do universo conceitual. Fonte: modificado de Câmara & Medeiros (1998); Worboys (1995).	47
Figura 11. - (A) Drenagem com representação matricial. (B) Drenagem com representação vetorial. (C) Vantagens e Desvantagens da representação matricial e vetorial. Fonte: modificado de Câmara e Medeiros (1998).	48
Figura 12 - (A) Estruturação de um processo de interpretação dos dados. (B) - Lógica estrutural do processo de interpretação dos dados e Típica expressão algébrica. Fonte: Tomlin (1990, p. 52 e 53).	49
Figura 13 – Operação (seta) em que mapa topográfico (única camada) gera grade irregular TIN (novos valores). Fonte: modificado de Tomlin (1990).	50
Figura 14 – Operações (setas) entre diversos mapas geram o mapa de perigo. Fonte: modificado de Tomlin (1990).	51
Figura 15 - Operações (setas) entre mapa topográfico (amarelo) e mapa zonal (vermelho) geram o mapa de médias topográficas (laranja). Fonte: modificado de Tomlin (1990).	51
Figura 16 - Estruturação do programa LEGAL.	53
Figura 17 - Localização de Ubatuba-SP.	54
Figura 18 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba. Perpectiva obliqua do relevo da área de estudo com hidrografia. Fonte: modificado Google Earth (2013).	55
Figura 19 – Mapa Geológico da área da bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba – SP. Fonte: modificado de Morais et al. (1999).	56

Figura 20 – Representação dos horizontes superficiais sujeitos a escorregamentos. Fonte: Wolle e Carvalho (1989).	57
Figura 21 - Mapa geomorfológico da porção centro-sul do município de Ubatuba-SP. Fonte: Tominaga (2006).	59
Figura 22 – Já utilizada na figura 20. Destaque para vegetação da Serra do Mar servindo como dispersor de energia cinética da precipitação. Fonte: Wolle e Carvalho (1989).	61
Figura 23 - Variação média mensal e total anual da pluviosidade (mm) no Município de Ubatuba, no período de 1971 a 1999. Fonte: Armani et al. (2007).	63
Figura 24 - (A) Tabela com dados populacionais de 1950 a 2010. (B) Gráfico mostrando População Total X População Urbana. (C) Gráfico mostrando porcentagem da população de Ubatuba entre 1950 e 2010. Fonte: modificado de SEADE (2013) e IBGE (2013).	65
Figura 25 - Mapa de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba. Fonte: modificado de Rossini-Penteado (2013).	67
Figura 26 - Abrir Bancos de dados no SPRING.	68
Figura 27 - Definição de projeto no SPRING.	69
Figura 28 - Criação de Modelo de dados no SPRING.	69
Figura 29 - Estruturação do procedimento operacional de dados do trabalho.	71
Figura 30 – (A)Lógica estrutural do procedimento operacional de dados do trabalho; (B)Expressões algébricas utilizadas no procedimento operacional de dados do trabalho.	72
Figura 31 - Mapa topográfico da BH do Rio Grande de Ubatuba (anexo 01).	73
Figura 32 - Operação para criação da Grade Irregular Triangular.	74
Figura 33 - Grade Irregular Triangular (anexo 02).	75
Figura 34 - Operação para declividade.	76
Figura 35 - Mapa de Drenagem (anexo 04).	76
Figura 36 - Procedimento para geração do mapa de Drenagem.	77
Figura 37 - Operação para geração de grade numérico reamostrada para 10m por 10m.	78
Figura 38 - Imagem LANDSAT 05 fusionada para 15 m (anexo 07).	79
Figura 39 - Operação para Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI).	79
Figura 40 - Mapa NDVI Numérico (cobertura vegetal) (anexo 08).	80
Figura 41 - Operação para inverter valores da grade numérica NDVI.	81
Figura 42 - Operação para mapa de densidade de lineamentos estruturais.	82
Figura 43 - Padronização dos dados utilizados para a modelagem e álgebra de mapas.	85
Figura 44 - Soma de mapas numéricos para obtenção do mapeamento de perigo.	86
Figura 45 - Processo de operações de média zonal	90
Figura 46 - Álgebra de mapa de perigo sintético.	91

Figura 47 - Recorte do mapa de suscetibilidade de escorregamento do IPT (1991) (anexo 17)	92
Figura 48 - Recorte do mapa de risco de escorregamento do IG (2006) (anexo 18)	93
Figura 49 - Configuração dos dados cartográficos e estruturação do BDG.	95
Figura 50 - Mapa numérico de Declividade (anexo 03).	96
Figura 51 - Mapa Densidade de Drenagem (anexo 05).	97
Figura 52 - Mapa Excedente Hídrico (anexo 06).	98
Figura 53 - Mapa NDVI numérico oposto (anexo 09).	99
Figura 54 - Mapa Lineamentos Estruturais (anexo 10).	100
Figura 55 - Mapa Densidade Lineamentos Estruturais (anexo 11).	100
Figura 56 - Mapa analítico de perigo numérico (anexo 12).	102
Figura 57 - Mapa analítico de perigo temático (anexo 13).	102
Figura 58 - Mapa de UBC (anexo 14).	103
Figura 59 - Mapa cadastral UBC com a tabela associada.	104
Figura 60 - Mapa de perigo sintético numérico (anexo 15).	105
Figura 61 - Mapa sintético de perigo temático (anexo 16).	106
Figura 62 - Gráfico com medida de classes entre os mapas sintético e analítico de perigo.	107
Figura 64 - Gráfico comparando cruzamento de perigo analítico com perigo sintético com área total da classe intersectada.	108
Figura 64 - Gráfico com medida de classes entre os mapas confeccionados em m ² .	109
Figura 65 - Gráfico com medida de classes entre os mapas confeccionados em %.	110
Figura 66 - Gráfico comparando cruzamento do mapa analítico de perigo com suscetibilidade IPT com área total da classe intersectada.	111
Figura 67 - Gráfico comparando cruzamento de mapa sintético de perigo com suscetibilidade IPT com área total da classe intersectada.	112
Figura 68 - Gráfico comparando cruzamento de mapa analítico de perigo com risco IG com área total da classe intersectada.	113
Figura 69 - Gráfico comparando cruzamento de mapa sintético de perigo com risco IG com área total da classe intersectada.	114
Figura 70 - porcentagem de intersecção entre o cruzamento do perigo analítico e sintético com suscetibilidade IPT.	115
Figura 71 - porcentagem de intersecção entre o cruzamento do perigo analítico e sintético com risco IG.	116
Figura 72 - (A) Área do mapa analítico de perigo com textura rugosa (mosaico granulado). (B) Mesma área do mapa sintético de perigo com textura lisa (mosaico de quebra-cabeças)	118
Figura 73 - Comparação de vetores de perigo.	119

Figura 74 – (A) Unidade sintética com perigo alto. (B) Fragmentos analíticos com perigo muito alto a baixo dentro da mesma unidade sintética. (C) Sobreposição dos mapas confeccionados através dos métodos sintético e analítico - Biopsia territorial. _____ 121

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - caracterização das propriedades texturais. Fonte: Vedovello (2000).	32
Tabela 02 - Graus de perigo e suas respectivas descrições. Fonte: Faria (2011).	38
Tabela 03 - Tipos de análise de perigo de escorregamentos de terra e suas principais características. Fonte: Van Westen (1993).	42
Tabela 04 - Modelos de dados e suas capacidades de uso.	44
Tabela 05 - Correspondência entre universos do modelo. Fonte: Câmara e Medeiros (1998).	45
Tabela 06 - Compartimentação geomorfológica de Ubatuba-SP. Fonte: modificado de Almeida (1964); Almeida (1991).	58
Tabela 07 - Área das classes do mapa de uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba.	67
Tabela 08 - Aplicações para geoprocessamento utilizadas no trabalho.	70
Tabela 09 - Pontos fundamentais antes de iniciar o tratamento dos dados.	83
Tabela 10 - Gradientes de origem e os padronizados.	85
Tabela 11 - Estatística descritiva do mapa de declividade analítica.	87
Tabela 12 - Estatística descritiva do mapa de declividade sintética.	91
Tabela 13 – Dados gerais das grades numéricas mapeadas no trabalho.	94
Tabela 14 - tabulação cruzada: perigo analítico X perigo sintético.	107
Tabela 15 - Tabulação cruzada: mapa analítico de perigo X suscetibilidade IPT.	111
Tabela 16 - Tabulação cruzada: mapa sintético de perigo X suscetibilidade IPT.	112
Tabela 17 - Tabulação cruzada: mapa analítico de perigo X risco IG.	113
Tabela 18 - Tabulação cruzada: mapa sintético de perigo X risco IG.	114

LISTA DE SIGLAS

SIG	Sistema de Informação Geográfica
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
SINPDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
MNT	Modelo Numérico de Terreno
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
PI	Plano de Informação
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
BDG	Banco de Dados Geográficos
LEGAL	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
CBH	Comitês de Bacia Hidrográfica
ONU	Organização das Nações Unidas
AHP	Analytic Hierarchy Process
HTML	HyperText Markup Language
APP	Área de Proteção Permanente
UC	Unidade de Conservação
SEADE	Sistema Estadual de Análise de Dados
TIN	Triangulated Irregular Network
UBC	Unidade Básica de Compartimentação
IG	Instituto Geológico
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CPLA	Coordenadoria de Planejamento Ambiental
EMPLASA	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano
GDEM	Global Digital Elevation Map
MDS	Modelo Digital de Superfície

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	19
2	OBJETIVOS	23
2.1	Objetivos específicos	23
3	BASE TEÓRICA	24
3.1	Método sintético e método analítico aplicado ao mapa de perigo	24
3.1.1	Unidades Sintéticas de Análise	28
3.2	Perigos e riscos	33
3.2.1	Avaliação de risco e perigo de escorregamentos	35
3.3	Modelagem de dados cartográficos	43
3.3.1	Procedimentos para definição de modelos cartográficos em geoprocessamento.	46
3.3.2	LEGAL – análise, consulta e operações cartográficas	52
3.3.2.1	Estrutura de um programa em LEGAL	53
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	54
4.1	Geologia	55
4.2	Pedologia	56
4.3	Geomorfologia	58
4.4	Cobertura Vegetal e Uso da terra	59
4.5	Climatologia	61
4.6	Uso do solo e ocupação da terra	63
5	MATERIAIS E MÉTODOS	68
5.1	Construção do banco de dados geográficos	68
5.2	Obtenção de atributos	73
5.2.1	Declividade	73
5.2.2	Densidade de drenagem	76
5.2.3	Excedente hídrico	77
5.2.4	NDVI (cobertura vegetal)	78
5.2.5	Lineamentos estruturais	81
5.3	Padronização dos dados	82
5.4	Mapa analítico de perigo	86

5.5	Mapa sintético de perigo	88
5.5.1	Obtenção das unidades sintéticas de análise (UBC)	88
5.5.2	Associação dos atributos com UBC – operação média zonal	89
5.5.3	operação do mapa de perigo sintético	90
5.6	Comparação com trabalhos anteriores	92
6	RESULTADOS	94
6.1	Modelagem de dados cartográficos	94
6.1.1	Banco de dados geográfico	94
6.2	Obtenção de atributos	96
6.2.1	Mapa de declividade	96
6.2.2	Mapa de densidade de drenagem	97
6.2.3	Mapa de excedente hídrico	97
6.2.4	Mapa NDVI oposto	98
6.2.5	Mapa de Lineamentos estruturais	99
6.3	Mapas de Perigo	101
6.3.1	Método analítico	101
6.3.2	Método sintético	103
6.3.3	Comparação: mapa sintético de perigo e mapa analítico de perigo	106
6.3.4	Comparação com trabalhos anteriores	108
7	DISCUSSÃO	117
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
9	BIBLIOGRAFIA	125
10	ANEXOS	137

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Os métodos sintético e analítico são duas abordagens distintas que trabalham com Sistema de Informação Geográfica (SIG) e modelagem e simulação da superfície terrestre. A diferença entre o método analítico e o método sintético está na visão que se tem da superfície terrestre, o primeiro método compartilha de uma visão mais fragmentada e o segundo de uma visão mais integrada. Muitas áreas que trabalham com ciências da terra têm utilizado tais métodos e ferramentas. Porém, “poucas disciplinas têm abraçado esta evolução com mais entusiasmo do que o estudo do risco [e perigo] de escorregamentos” (CARRARA e PIKE, 2008, p. 257).

Perigos e riscos estão intrinsecamente ligados. Um potencial perigo de escorregamentos só se torna risco se houver um grau de vulnerabilidade de algum elemento (vida ou equipamentos) exposto a determinada fonte desse mesmo perigo (VARNES e IAEG, 1984). Dessa forma, o mapeamento de perigo de escorregamentos modela dados cartográficos e identifica áreas geográficas com mais ou menos potencial de perigo e, assim, auxilia no processo de ocupação humana do território.

Dentre os vários temas que a modelagem cartográfica pode comunicar, um deles é o perigo de escorregamentos. O perigo geodinâmico de escorregamentos são potenciais eventos de grande movimentação de massa. O escorregamento estudado nesse trabalho é o translacional raso. A modelagem cartográfica revela cenários da realidade e contribui para uma melhor compreensão de tais fenômenos. Vários métodos são testados para melhor prever desastres naturais.

O presente trabalho compara os métodos sintético e analítico para fazer modelagens no computador através de álgebra de mapas utilizando a Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL). Esses métodos trabalham com sobreposição de diversos mapas que condicionam escorregamentos para identificar áreas de maior perigo e risco à vida. O LEGAL é uma linguagem de modelo cartográfico que pode realizar diversas operações de análise, consulta ou operações espaciais relacionadas aos geo-campos e geo-objetos.

Estabelecer uma comparação entre os métodos analítico e sintético pode melhorar o entendimento da cartografia de perigo e risco de escorregamentos, pois a confiabilidade dos métodos para modelagem e simulação da superfície terrestre, utilizados atualmente, ainda não é consistente. Essa é uma consideração frequente em estudos sobre o tema, pois há uma gama cada vez maior de ferramentas de análise, diferentes escalas de trabalho e grande variedade de dados de entrada. “Ainda é muito cedo [...] para identificar qualquer método ou conjunto de

técnicas que seja “melhor” (CARRARA e PIKE, 2008, p.259). Nesse sentido, a comparação do método sintético e analítico na avaliação de perigo e risco de escorregamentos traz contribuições importantes para essa área de estudo.

A avaliação de perigo e risco de escorregamentos faz parte de algo maior, que é a gestão do risco (pré-desastre, desastre e pós-desastre). A modelagem cartográfica do perigo de escorregamento serve como instrumento de gestão de territórios para Estados Nacionais, setores privados, ONGs, comunidades locais, organizações científicas, etc.

No Estado de São Paulo a instituição e regulamentação da Política Estadual de Mudanças Climáticas (lei 13.798/2009 e decreto 55.947/2010 respectivamente) tem como um dos objetivos e diretriz: promover o planejamento urbano com base em estudos de suscetibilidade e mobilizar a Defesa Civil do Estado, em resposta a eventuais desastres naturais. Ainda no Estado de SP, existe o Programa Estadual de Prevenção de Desastres Naturais e Redução de Riscos Geológicos (PDN – decreto 57.512/2011) que integra as políticas de diferentes secretarias do Estado e Municípios (FERREIRA; ROSSINI-PENTEADO; GUEDES, 2013).

A lei 12.608/2012 institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC. A PNPDEC abrange as ações de prevenção, mitigação, preparação, reposta e recuperação voltadas à proteção e defesa civil. Dentre as diretrizes e objetivos da lei estão: planejar com base em pesquisa e estudos sobre áreas de risco; reduzir riscos e desastres; promover a identificação e avaliação das ameaças (perigos), suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres; ordenar a ocupação do solo urbano e rural; integrar informações em sistema capaz de subsidiar os órgãos do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) na previsão e no controle dos efeitos negativos de eventos adversos sobre a população, os bens e serviços e o meio ambiente.

Todas essas diretrizes e objetivos estão ligados à redução de riscos e desastres no Brasil. A criação da lei pretende desenvolver uma cultura nacional de prevenção de desastres. A promoção e incentivo de pesquisas acerca do tema e a obrigatoriedade de União, Estados e Municípios em identificar e mapear áreas de perigos e riscos destaca a importância dos profissionais que trabalham com Geociências.

A intensa ocupação dos compartimentos de relevo mais suscetíveis a tais processos (planícies de inundação, as planícies costeiras, encostas íngremes, montes, escarpas, entre outros), sobretudo a partir da urbanização, no século XVIII, culminou no aparente aumento da frequência dos desastres naturais. Segundo Suguio (2008), com incremento populacional, locais de climas e relevos adequados serão superpovoados e tornar-se-á necessário ocupar outros lugares de condições inadequadas. Assim, o aparente aumento da frequência dos

desastres tem relação direta também com as ocupações em áreas inóspitas onde há ocorrências de eventos geodinâmicos extremos (escorregamento, inundação, terremoto etc.) e que anteriormente não era sentido por quem não morava nessas áreas.

É comum a ocorrência de desastres naturais. Em 2010, os casos mais famosos foram o escorregamento no Morro do Bumba em Niterói-RJ e a inundação de São Luiz do Paraitinga-SP (BBC BRASIL, 2010). No ano de 2011 a região Serrana do Rio de Janeiro foi severamente atingida por chuvas intensas, culminando em inúmeros escorregamentos e corridas de detritos nas áreas urbanas de Nova Friburgo, Teresópolis e Petrópolis. Tal processo foi comparado com o mesmo ocorrido em 1967 no município de Caraguatatuba-SP que até então o último mais catastrófico do país. No início de 2013, a combinação de terremoto com escorregamentos no sudoeste da China, matou quarenta e seis pessoas (FOLHA DE SÃO PAULO, 2013). Países ricos também sofrem. Em março desse ano ao menos vinte e quatro pessoas morreram no estado de Washington nos EUA. Um talude de mais de cinquenta metros rompeu e soterrou todo o vilarejo de Oso (BBC BRASIL, 2014).

Nesse contexto, não há dúvida de que a prevenção, preparação e mitigação dos riscos são o melhor caminho para combater os potenciais perigos geodinâmicos os quais estamos expostos. Para obtenção do tratamento do risco é necessário que se avalie os perigos e vulnerabilidades através da identificação, análise e apreciação do mesmo.

Como forma de contribuir para o debate teórico e para a prevenção de escorregamentos aplicou-se os métodos analítico e sintético na confecção de mapas de perigo geodinâmico em área geográfica da Serra do Mar na bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba no município de Ubatuba. A área foi escolhida, primeiro, por ser uma região serrana onde os riscos de escorregamentos se concentram no estado de São Paulo (VEDOVELLO, 2009; SOUZA et al 2009). Segundo, por haver diversos trabalhos ligados à temática nessa área (TATIZANA, 1987b; TOMINAGA, 2007; FERREIRA, 2005; LOPES, 2006; MENDES, 2008; VIEIRA e FERNANDES, 2004, 2007, 2010; NERY e VIEIRA, 2014; SOUZA, 2005) que podem servir de subsídio para o presente trabalho. E terceiro, pelo fato da bacia hidrográfica representar uma unidade de análise fundamental para a Geografia Física.

Inicia-se o trabalho com uma **Base Teórica**. Tal base elucida o que são e a diferenciação dos métodos sintético e analítico aplicados à sobreposição de mapas. Os Perigos e riscos são definidos em seguida e também descritos os métodos para avaliação de perigo de escorregamentos. Logo em seguida é discutida a modelagem cartográfica e os procedimentos para sua definição. Logo após é discriminada a **Área de Estudo** com uma caracterização da bacia hidrográfica do rio Grande de Ubatuba e também dos principais componentes que

condicionam os escorregamentos, a saber: geologia, pedologia, geomorfologia, cobertura vegetal, climatologia e uso do solo e ocupação da terra. Os **Materiais e Métodos** vêm a seguir com os procedimentos operacionais descrevendo a construção do banco de dados geográficos, as operações de álgebra de mapas realizada no trabalho e a padronização dos dados geoambientais. Na sequência, são definidas as fórmulas algébricas e classes de perigo que geram os mapas analítico e sintético de perigo. No **Resultado** é realizada a comparação com o mapa de suscetibilidade do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de 1991 e mapeamento de risco do Instituto Geológico (IG) de 2006. Também são comparadas e analisadas as medidas de classes de cada um dos métodos analítico e sintético. A **Discussão** se encarrega de aprofundar a comparação entre os dois métodos e falar de sua complementariedade. E por fim, as **Considerações Finais** sugere alguns ganhos e equívocos do trabalho e prevê novos caminhos na continuação do mesmo.

2 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é comparar os métodos analítico e sintético na confecção do mapeamento de perigo de escorregamentos na bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba, Ubatuba – SP.

2.1 Objetivos específicos

- Estruturar bancos de dados geográficos no Sistema de Informações Geográficas (SIG) SPRING;
- Definir e programar procedimentos operacionais em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico que permitam a geração de análises e mapeamento de perigo de escorregamento
- Definir e testar atributos indicadores de perigo de escorregamentos;

3 BASE TEÓRICA

3.1 Método sintético e método analítico aplicado ao mapa de perigo

Os métodos sintético e analítico trabalham com Sistema de Informação Geográfica (SIG) e modelagem e simulação da superfície terrestre. Muitas áreas que trabalham com ciências da terra têm utilizado tais ferramentas. Porém, “poucas disciplinas têm abraçado esta evolução com mais entusiasmo do que o estudo do risco [e perigo] de escorregamentos” (CARRARA e PIKE, 2008, p. 257).

A confiabilidade dos métodos para modelagem e simulação da superfície terrestre, utilizados atualmente, ainda não é consistente. Essa é uma consideração frequente em estudos sobre o tema, pois há uma gama cada vez maior de ferramentas de análise, diferentes escalas de trabalho e grande variedade de dados de entrada. “Ainda é muito cedo [...] para identificar qualquer método ou conjunto de técnicas que seja “melhor”” (CARRARA e PIKE, 2008, p.259). Nesse sentido, a comparação do método sintético e analítico na avaliação de perigo de escorregamentos pode trazer contribuições importantes para essa área de estudo.

Turrini e Visainter (1998, p.256), desenvolvem um método que “[...] consiste na construção de vários mapas temáticos, cada um representando um fator de predisposição a escorregamento de terra [...]”, após a construção todos os mapas são sobrepostos e as classificações dos mapas somadas. Depois de uma reclassificação o mapa final de perigo de escorregamentos é obtido. Turrini e Visainter (1998) utilizam o método analítico.

A avaliação de perigo de escorregamentos, utilizando-se de sobreposições de mapas com parâmetros que condicionam o mesmo, pode ser realizada pelos métodos sintético e analítico. A diferença entre o método analítico e o método sintético está na visão (critério) que se tem da superfície terrestre, o primeiro método compartilha de uma visão mais fragmentada e o segundo de uma visão mais integrada.

[...]o ambiente de qualquer porção da superfície da terra pode ser considerado como uma "cobertura" física de diferentes "camadas" ou "componentes" e as suas relações. Esses componentes incluem o solo, subsolo, cobertura do solo, fauna, água, ar, clima, desastres naturais, elementos humanos, componentes, etc. pode ser representado por meio de diferentes mapas temáticos (abordagem analítica) ou então ser considerada e incluída na definição e descrição de unidades geoambientais integrados (abordagem sintética) (CENDRERO, 2004, p. 528).

Os métodos analítico e sintético são “meios” diferentes para chegar a um mesmo “fim” (MITCHELL, 1973; ROSS, 1995; VEDOVELLO, 2000; CENDRERO, 2004). Mitchell (1973) denomina o método analítico e sintético como Paramétrico e Fisiográfico (ou de Paisagem) respectivamente. Já Ross (1995), fala em método multi-temático e análise integrada para se referir aos métodos analítico e sintético.

Mitchell (1973) demonstra a importante diferença entre os dois métodos. O método sintético (fisiográfico) considera o terreno como um todo e o classifica em unidades naturais de paisagem identificando áreas análogas. Utiliza-se de medidas não tão precisas. Dentro de uma unidade natural de paisagem utiliza médias numéricas para representar os parâmetros que condicionam o perigo de escorregamentos. Parte do princípio que áreas fisiográficas análogas apresentam comportamento semelhante. Já no método analítico (paramétrico) o terreno em si não é considerado e sim seus diversos atributos sobrepostos com medidas precisas, números absolutos. A unidade natural de paisagem do terreno não é considerada em tal método e sim os valores absolutos mensurados em cada parte do terreno (pixel ou conjunto de pixels).

Para Vedovello (2000), o método paramétrico (analítico) tem a desvantagem de trabalhar com uma multiplicidade de mapas (mapa geológico, mapa geomorfológico, mapa pedológico, etc.) que vêm carregados de diferentes concepções teóricas, metodológicas e técnico-operacionais que acarretam perda da visão integral da paisagem. Já no método fisiográfico ou de paisagem (sintético) identifica e analisa os elementos que compõem o terreno de forma mais integrada (substrato, relevo, solo, vegetação e uso do solo). A fotointerpretação é fundamental para identificar diferentes unidades de terreno. Observando os elementos ambientais (geologia, geomorfologia, topografia, vegetação e clima) nos produtos de sensores remotos, é possível reconhecer padrões morfoambientais recorrentes e distinguíveis. Tais padrões formam as unidades homogêneas de terreno e as unidades somadas formam um quebra-cabeça terrestre. Dessa forma, “[...] terrenos com aspectos fisiográficos similares e com história tectônica e climática parecidas, deveriam apresentar comportamento semelhante” (VEDOVELLO, 2000, p. 27).

O método analítico é a soma do inventário dos atributos (temas) selecionados para delimitar um zoneamento (SANTOS, 2004). É como se a visão da superfície terrestre fosse feita em camadas horizontais sobrepostas verticalmente e depois de identificadas as várias camadas, as mesmas se mesclassem para criar as zonas de interesse. O método sintético difere do anterior, pois integra desde o princípio os atributos (temas) de interesse, resulta numa síntese do conjunto de informações (SANTOS 2004). É um ponto de vista da superfície terrestre como uma integração horizontal, isto é, as informações não se separam e são tomadas em seu

conjunto para delimitação zonal. “Na representação de síntese, não há superposição ou justaposição das informações espaciais, mas a fusão delas em diferentes tipologias, classificadas em unidades taxonômicas” (ZACHARIAS, 2010, p.45).

Zacharias (2010) fala em cartografia analítica onde o planejador analisa de forma fragmentada os elementos (drenagem, geologia, geomorfologia, pedologia, uso e ocupação do solo) necessários para a construção de cenários representativos de sua realidade. Já a cartografia de síntese é uma análise dos elementos feita de forma integrada. Drenagem, geologia, geomorfologia, pedologia e uso do solo são analisados de forma integral através de produtos de sensoriamento remoto de forma a criar zonas homogêneas.

Cendrero (2004) trata o método analítico como uma sobreposição vertical de componentes diferentes, como: rochas, relevos, cobertura da terra, processos. A sobreposição dos diferentes componentes forma a superfície da terra. E através de avaliação de camadas individuais resultam em mapas de capacidade do terreno. O método sintético, por sua vez, parte da superfície terrestre e a transforma em um mosaico de unidades homogêneas. Tais unidades homogêneas são desenhadas a partir da descrição dos diversos atributos integrados (rochas, relevos, cobertura da terra, processos). Através de avaliação das unidades integradas (sintéticas) também resultam mapas de capacidade do terreno. Na figura 01 é possível observar as diferenças entre o método analítico e o método sintético proposto por Cendrero (2004):

Figura 01 - Métodos analítico e sintético para mapeamentos geotécnicos e geoambientais. Fonte: modificado de Cendrero (2004).

3.1.1 Unidades Sintéticas de Análise

As Unidades Sintéticas ou Unidades Integradas de análise são compartimentações fisiográficas do terreno. Tais compartimentações podem servir a diversos propósitos. No presente trabalho servirá como base para o desenvolvimento do método sintético.

A compartimentação fisiográfica do terreno pode ser entendida como a ordenação de “[...] zonas, com propósito de hierarquizar e identificar as áreas homogêneas da paisagem para o delineamento das potencialidades e restrições de seu território” (ZACHARIAS, 2010, p.25). Tal zoneamento é (re)formulado conforme “[...] inserção de novos temas ou informações específicas de interesse pontual” (SANTOS, 2004, p.133). Dentre os temas e informações específicas têm-se os perigos e riscos geodinâmicos como um dos parâmetros para criação de zonas. As zonas são polígonos desenhados por mapeamentos que geram unidades de terreno muito úteis para planejamento e tomada de decisões. Basicamente a compartimentação fisiográfica do terreno é o zoneamento do terreno feito através de parâmetros físicos do mundo real, como: geológico, geomorfológico, pedológico, climático e hidrológico. “Avaliação do terreno, portanto, tem uma base em todas as ciências puras envolvidas com a superfície da crosta terrestre, e todas as ciências aplicadas preocupadas com seus usos” (MITCHELL, 1973, p.5).

Dessa forma, a compartimentação fisiográfica de terrenos pode ser entendida como a diferenciação de áreas homogêneas através de aspectos geomórficos (VEDOVELLO, 2000). A definição de uma compartimentação fisiográfica do terreno se dá, portanto, em áreas geográficas. Entende-se tal compartimentação como atributos físicos do mundo real que interagem em um sistema aberto. A precipitação que umidifica o solo e abastece os lençóis freáticos, as drenagens e caminhos preferenciais da água que modelam a geomorfologia, que pode condicionar movimentos de massas, que assoreia os cursos d'água, etc.

Compartimentação fisiográfica do terreno é um estudo ambiental sobre homogeneização e limitações de áreas geográficas. Áreas geográficas podem ser representadas espacialmente e temporalmente através dos sistemas ambientais (LOMBARDO, 1985; CHRISTOFOLETTI, 1999). Tais sistemas permitem análises dinâmicas e globalizantes e, portanto, interdisciplinar com participação de diversos profissionais. Segundo Christofolletti (1999), tais sistemas ambientais estão distribuídos na paisagem do mundo real. “O conteúdo da paisagem é constituído pela combinação de elementos materiais e de recursos naturais, disponíveis em um lugar, com as obras humanas correspondendo ao uso que deles fizeram os grupos culturais que viveram nesse lugar” (SAUER, 1925 apud CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 39).

A Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy (1973) apud Christofolletti (1999) é precursora no que se refere a sistemas ambientais. Tal teoria engendra a análise de sistemas em uma perspectiva holística, dando condições para pensar a realidade como sistemas que se interrelacionam em diferentes escalas. Um sistema são fenômenos se interrelacionando através de fluxos de energia e matéria (apoiado em raciocínio aplicado na termodinâmica). Essas relações entre fenômenos são de dependência mútua. Christofolletti (1999, p.03) trata dos sistemas complexos onde “as bases encontram-se na concepção de que a maior parte da natureza é não linear, comportando-se como sistemas dinâmicos e caóticos”. Tricart (1977) ressalta ainda que o conceito de sistema é, em si mesmo, um conceito dinâmico, isto é, ideal para trabalhar com ambiente não estático.

Geossistema e ecossistema são categorias representativas dos sistemas ambientais. Sotchava e Bertrand na década de 1960 propuseram o geossistema como categoria de análise. Diferente do ecossistema existe uma localização no geossistema onde a conectividade é fator fundamental entre os componentes, a saber: biótico, abiótico e antrópico (figura 02).

Figura 02 - Geossistema, potencial ecológico, exploração biológica e ação antrópica.

Fonte: Bertrand (1968).

A grande discussão em torno do conceito de geossistema é a questão da escala. Tricart (1977) já enunciava essa problemática com a divisão de Unidades de Paisagem em Zonas, Domínio, Região Natural, Geossistema, Geofacie e Geotopo. Na década de 1960, no Brasil, vê-se a clara influência dessa geomorfologia climática na definição de domínios morfoclimáticos proposta por Ab'Saber (ROSS, 2005). Observa-se, na figura 03, a representação de um geossistema composto por diversos ecossistemas numa relação de escalas, localização geográfica e conexões de fluxos de energia e matéria representadas por setas.

Figura 03 - "Esquemas estruturais de geossistema e ecossistema, conforme S. Preobrajenski. Fonte: Christofolletti (1999) adaptado de Haase (1976), onde: C = Clima; A = Água; R = Relevo; B = Biosfera; S = Sociedade; PL = Pedosfera e Litosfera".

Nesse contexto, o sistema ambiental bacia hidrográfica pode ser considerada um geossistema para gestão e planejamento ambiental. O artigo V do capítulo I da lei das águas nº 9.433/1997 define a bacia hidrográfica como a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos através dos comitês de bacia hidrográfica (CBH). Os CBH tem como foco uma gestão descentralizada que conta com a participação do poder público, usuários e comunidades. Atualmente, planejamentos territoriais e ambientais trabalham com limites de sistemas de bacias hidrográficas (municipais, estaduais e federais) em detrimento dos limites puramente político-administrativo.

Os sistemas ambientais físicos representam a organização espacial resultante da interação dos elementos componentes físicos da natureza (clima, topografia, rochas, águas, vegetação, animais, solos) possuindo expressão espacial na superfície terrestre e representando uma organização (sistema) composta por elementos, funcionando através dos fluxos de energia e matéria, dominante numa interação areal. As combinações de massa e energia, no amplo controle energético ambiental, podem criar heterogeneidade interna no geossistema, expressando-se em mosaico paisagístico. Ao lado dos fluxos verticais de matéria e energia, em função dos diversos horizontes estruturais dos ecossistemas, há os fluxos na dimensão horizontal conectando as diversas combinações paisagísticas internas do geossistema. (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 42)

Com base no conceito de geossistema, Tricart (1977) formula o conceito de ecodinâmica. O conceito de Unidade Ecodinâmica pode ser entendido como uma área geográfica em determinada escala que se caracteriza pela dinâmica dos ecossistemas (ecótopos) influenciando em maior ou menor grau no conjunto de seres vivos do mesmo (biocenoses). Tal conceito utiliza-se da Teoria Geral dos Sistemas e aborda as relações mútuas entre os

diversos componentes da dinâmica e, também, os fluxos de energia e matéria em tal área geográfica (TRICART, 1977).

Contudo, a compartimentação fisiográfica do terreno pode ser iniciada pela unidade ecodinâmica bacias hidrográficas. A partir daí outras diferenciações no terreno podem ser aferidas. A diferenciação dessas áreas ocorre através de diversos atributos físicos do mundo real analisados de forma integrada.

As formas do terreno, padrão de drenagem, padrão de vegetação são claramente visíveis. Já a geologia, resistência do solo, materiais do substrato não são visíveis. “Qualquer definição de uma parte da paisagem deve, portanto, compreender a sua vasta gama de propriedades, visíveis e invisíveis, definitiva e vaga, em grande escala e em pequena escala” (MITCHELL, 1973, p.10). Os critérios e fatores de compartimentação dependem da escala e resolução em que a compartimentação fisiográfica do terreno é realizada. A escala e resolução determina o predomínio de determinados elementos fisiográficos sobre outros.

Os pesquisadores que tratam da ciência terra e que realizam a compartimentação fisiográfica de terreno “[...] estão tão preocupados com os processos do passado como com possibilidades futuras” (MITCHELL, 1973, p. 08). Em tal compartimentação não existe um único sistema de avaliação. É preciso levar em conta a necessidade do usuário. Nesse trabalho, por exemplo, a compartimentação do terreno tem objetivo de distinguir feições no terreno para o mapeamento de perigo de escorregamentos.

“Terreno é a expressão do caráter geológico, do solo, e da geometria da superfície da crosta terrestre [geomorfologia]” (MITCHELL, 1973, p.13). Portanto, a compartimentação do terreno deve levar em conta esses três aspectos. No que se refere à geologia é necessário, em princípio, distinguir sua origem ígnea, sedimentar ou metamórfica no processo de compartimentação. O solo pode ser distinguido a partir do clima, relevo, material de origem, organismos e tempo. Já a distinção da geomorfologia pode ser em colinas (picos, cordilheiras ou planaltos), encostas (comprimento, inclinação, convexa, côncava, ou retilínea) e vales (razão de bifurcação e comprimento do curso d’água).

A compartimentação, portanto, diferencia zonas homogêneas utilizando-se de interpretação de imagens de sensoriamento remoto através da diferença de homogeneidade, tropia e assimetria dos elementos texturais e de suas estruturas na imagem. A homogeneidade compreende propriedades texturais constantes ou não. A tropia compreende direções preferenciais ou multidirecionalidade das feições texturais. E assimetria compreende igualdade ou não das propriedades texturais. “A análise da homogeneidade, tropia e assimetria que condicionam a textura na imagem permite a compartimentação da cena em áreas que apresentem disposição

espacial de elementos texturais com propriedades comuns” (VEDOVELLO, 2000, p.33). A caracterização das propriedades texturais pode ser observada na tabela 01 a seguir, assim como, os padrões de drenagem básicos para as descrições das formas e arranjos texturais de elementos de drenagem em imagens (Figura 04):

Tabela 01 - caracterização das propriedades texturais. Fonte: Vedovello (2000).

Propriedade Textural	Caracterização
Tipo de elemento de textura	Define qual espécie de elemento textural está sendo analisado, se de relevo ou de drenagem ou tonal.
Densidade de textura	Refere-se a quantidade de elementos texturais (de um mesmo tipo) por unidade de área da imagem. Apesar de refletir uma propriedade quantitativa, a densidade textural normalmente é descrita em termos qualitativos e comparativos tais como alta, moderada, baixa, etc.
Arranjo de textura	Refere-se a maneira (ordenada ou não) como os elementos texturais se dispõem espacialmente. Assim, a análise desta propriedade permite classificar o modo de ocorrência dos elementos texturais segundo padrões que reflitam a disposição espacial desses elementos na imagem. Como exemplo, uma determinada forma ocasionada por elementos de drenagem pode refletir um padrão retangular ou dendrítico ou anelar, etc.
Grau de estruturação	Refere-se a maior ou menor evidência ou definição da organização espacial dos elementos texturais (em função do seu arranjo textural). Esta propriedade pode ser qualificada em classes tais como alto, médio, baixo, etc. ou ainda, mal definido, bem definido, etc.
Ordem de estruturação	Refere-se a complexidade de organização dos elementos texturais. Assim, sua classificação é dada em função da ocorrência (ou não) de uma ou mais estruturas sobrepostas, podendo ser de: ordem um (se ocorrer apenas um tipo de estrutura), ordem dois (se ocorrer dois tipos superimpostos), e assim por diante.

Figura 04 - Padrões de drenagem. Fonte: Howard (1967) apud Vedovello (2000).

3.2 Perigos e riscos

Nos próximos parágrafos passar-se-á por conceitualizações de risco e perigo. Desde a conceitualizações mais leigas até conceitualizações mais técnicas é possível observar que os riscos e perigos são uma construção social e vai modificando conforme a percepção de cada sociedade.

Perigos e riscos são conceitos concatenados. O perigo pode ser entendido como uma situação em que a existência ou integridade de uma pessoa ou coisa estão ameaçadas. Já o risco pode ser entendido como a possibilidade deste perigo ocorrer (FERREIRA, 1999). Um é a continuação do outro.

A ONU (2002) diz que risco é a probabilidade de consequências prejudiciais ou perdas esperadas (mortes, lesões, propriedades, meios de subsistência, interrupção de atividade econômica ou deterioração ambiental) que resultam da interação entre perigos naturais ou antropológicos e condições de vulnerabilidade.

O risco pode ser entendido como um possível perigo, algo que possa ser tirado parte (cortar), trazer perda ou dano. Os riscos e perigos se fazem presentes conforme a percepção que se tem deles. “Correm-se riscos, que são assumidos, recusados, estimados, avaliados, calculados. O risco é a tradução de uma ameaça, de um perigo para aquele que está sujeito a ele e o percebe como tal” (VEYRET, 2007, p.11).

Para haver risco tem que haver pessoas/bens que sofram o efeito de algum evento. Se há escorregamentos em determinado lugar, porém não há pessoas que possam ser afetadas não existe risco e sim a probabilidade de ocorrer um evento natural, ou seja, há perigo. Dessa maneira, o risco é objeto social e, além disso, exige que pessoas o percebam, exige que as mesmas reconheçam a ameaça ou perigo que possam vir a sofrer. Se assim não for, os desastres que sucedem o perigo ou ameaça podem até ser visto como “signos da danação” (VEYRET, 2007).

O risco necessita ser percebido para existir. Se for natural que todo ano chova e inunde casas ou que ocorram escorregamentos derrubando as mesmas não existe risco e sim fatalidade. Quando se fala na naturalidade de um evento ocorrer, quer-se dizer que o mesmo faz parte da vida daquelas pessoas e, nesse sentido, faz “[...] parte de uma mesma trama social e espacial [...]” (CARVALHO, 2003, pg. 15). Os “signos da danação” eram naturais em espaços primitivos e selvagens. Chove porque o Deus da chuva está feliz, se troveja é porque está zangado, se há seca é uma maldição, se o vulcão desperta é mau presságio.

A natureza, portanto, pelo menos no que diz respeito à sua origem para nós, não é algo natural, mas fruto do longo processo de superação de um espaço primitivo e selvagem, onde não havia lugar para qualquer produção excedente, pelo espaço de outra sociedade, onde as relações de poder estabelecidas entre os homens exigirão a produção de um número cada vez maior de “artifícios”. E quanto maior a produção destes artifícios, mais evidente a natureza se torna (CARVALHO, 2003, p.30).

Portanto, o risco e o perigo, assim como a natureza são construções desse mundo que também foi construído. Galeano (2002) escreve uma passagem sobre a criação do mundo:

- Mas papai – disse Josep, chorando – se Deus não existe, quem fez o mundo?

- Bobo – disse o operário, cabisbaixo, quase que segredando – Bobo. Quem fez o mundo fomos nós, os pedreiros.

Os pedreiros, os carpinteiros, os artesãos realmente fizeram esse novo mundo moderno. A construção dos “artifícios” por especialista fez com que cada vez mais esse mundo artificial se diferenciasse do “natural”. Segundo Veynet (2007), a percepção e definição de risco e perigo já são percebidos e definidos desde a Renascença na Itália, mas só recentemente ganhou lugar de destaque principalmente em países ricos. Com o aumento do nível de vida em tais países a demanda por segurança é cada vez maior em detrimento ao incerto, ao perigo e ao risco.

Nesse contexto, a concepção de natureza surge como um recurso a ser dominado e, isso, “[...] trouxe consigo uma radical separação entre espírito e matéria, entre o social e o natural” (VISENTINI, 1997, p.10). “Coisificando a natureza, com base em um pensamento economicista, o sistema antrópico, no processo de uso e ocupação das terras, modificou o meio físico ambiental, remodelando a paisagem e permitindo o estabelecimento de novas organizações espaciais” (PEREZ FILHO, 2008, p.362).

É possível, dessa forma, pensar o risco a partir dessa separação entre o social e o natural. A sociedade tem um modo de construir sua vida no planeta Terra, isto é, tem sua economia. Porém, esse modo de construir a vida está condicionado ao funcionamento do planeta Terra, ou seja, sua ecologia. A lógica econômica dissociada da lógica ecológica é o risco maior em última instância, pois é o risco de extinção de vida na Terra. Portanto, a decisão de construir artefatos, utilizar tecnologias e desenvolver a ciência sem considerar o sistema ambiental como um todo, pode nos levar a grandes desastres (DIAMOND, 2005).

Contudo, se é verdade que o mundo moderno trouxe a exacerbação da pura lógica econômica, também trouxe melhor conhecimento da lógica ecológica (afastamento dos signos da danação). Para uma efetiva gestão de perigos e riscos é necessário pensar em uma lógica universal.

3.2.1 Avaliação de risco e perigo de escorregamentos

Nesse tópico começa-se com a definição do tipo de escorregamento que está se avaliando. Depois discute-se que formas existem de serem avaliados perigos e riscos. E, por fim, onde o método sintético e analítico estão inseridos nessa contextualização.

No Brasil pode-se destacar uma classificação simplificada de movimentos de massa dividida em rastejos, corridas, subsidências, movimentos complexos, escorregamentos translacionais e rotacionais (FERNANDES, 2001). O tipo de movimento de massa que se trabalhará nessa dissertação são escorregamentos translacionais rasos, pois são os movimentos de massa mais frequentes em relevos íngremes em ambiente tropical úmido (AUGUSTO FILHO, 1992). Na área de estudo é predominante, “... nas porções alta e média das encostas, os escorregamentos translacionais (planares) que mobilizam apenas uma delgada capa superficial de solo que desliza ao longo de uma superfície essencialmente paralela a encosta” (WOLLE & CARVALHO, 1989, p.29). A seguir, figura de um escorregamento translacional (UNESP, 2013).

Aleotti e Chowdhury (1999), dizem que as terminologias mais adotadas para perigo de escorregamentos de terra são as definidas por Varnes e IAEG (1984). A ONU, que define a década de 1990 como a década para redução de risco de desastres naturais, tem diversos programas e escritórios pelo mundo sobre o tema que se utilizam das mesmas terminologias. Risco, zoneamento, escorregamento, perigo, vulnerabilidade, elemento em risco, dano potencial são terminologias utilizadas na avaliação de riscos. A seguir algumas definições desses termos extraídas de Varnes e IAEG (1984):

Zoneamento de perigo: o termo se aplica para a divisão da superfície da terra em áreas e a devida classificação dessas áreas de acordo com graus de perigo real ou potencial de escorregamento de terra ou outros movimentos de massa em encostas;

Perigo natural (P): significa a probabilidade de ocorrência dentro de um determinado período de tempo e numa determinada área de um fenômeno potencialmente prejudicial;

Vulnerabilidade(V): significa o quão vulnerável está um dado elemento ou conjunto de elementos em risco que resulta que resulta do grau de perda em decorrência de um fenômeno natural de uma determinada magnitude;

Risco específico (Re): trata-se do grau esperado de perda devido a um fenômeno natural particular. Ele pode ser expresso pelo produto de: $Re = P * V$;

Elemento em Risco (ER): pessoas, atividades econômicas, propriedades, serviços públicos que estão na área de risco;

Risco total (Rt): significa o número esperado de vidas perdidas, pessoas feridas, danos à propriedade, ou a interrupção da atividade econômica, devido a um fenômeno natural particular e, portanto, o produto de: $Rt = (ER) * (Re) = (ER) * (P * V)$.

Percebe-se aqui que o zoneamento de perigo é uma parte da fórmula para se obter o risco total. Tal zoneamento preconiza os elementos da superfície terrestre e é fundamental para obtenção do risco, pois avalia as possíveis ameaças advindas de eventos naturais. É a comparação dos métodos analítico e sintético para zoneamento de perigo que trata o presente trabalho.

Cerri (1993) e Fernandes e Amaral (1996), dizem que o risco pode ser expresso por $R = P * C$, onde R seria o risco de escorregamento, P a suscetibilidade e C as consequências do acidente. Tominaga et al (2009) descreve o risco de escorregamento (R) como resultado do Perigo (P) associado à Vulnerabilidade (V) mais Dano Potencial (DP). Portanto, $R = P * V * DP$. As diferentes abordagens se dão pela evolução dos estudos dessa área no Brasil. Cerri (1993, p.159) diz que “a incorporação de termos que expressam os conceitos de ameaça, de vulnerabilidade, de risco específico, dentre outros, ainda requer maior desenvolvimento da

área técnica no país”. Atualmente as avaliações de risco já trabalham com a vulnerabilidade e dano potencial além, é claro, do perigo. O presente trabalho trata do mapeamento de perigo geológico de escorregamentos, portanto um perigo natural.

O risco de escorregamento só existe na intersecção do perigo (susceptibilidade) com a ocupação (vulnerabilidade) como se pode observar na figura 05. Dessa forma, uma área perigosa nem sempre está em risco.

Figura 05 - Conceito de Risco. Fonte: Ferreira (2011).

Pode-se observar na figura 06 que uma zona de perigo precede a zona de risco. O risco só ocorre quando existe algum elemento em risco. Portanto, o perigo está associado ao planejamento regional e urbano, pois indica a viabilidade de uso e ocupação de diferentes trechos do território municipal. Por outro lado, o risco é mais aplicável ao planejamento local, às intervenções do poder público e às ações de defesa civil.

Figura 06 - Zona de risco sempre dentro da zona de perigo. Fonte: Ferreira (2011).

Nos mapeamentos de perigo de escorregamentos os graus de perigo são quase sempre divididos em quatro. Os mais fáceis de identificar são os graus que estão nos extremos. Se houver uma situação onde o terreno é plano e não há nenhuma elevação por perto, obviamente ali poderá ser classificado como um grau de perigo baixo. Já em uma situação onde houver “[...] presença de evidências de instabilidade expressivas e presentes em grande número ou magnitude [...]” (FARIA, 2011, p.139), obviamente essa situação irá ser classificada como um grau de perigo muito alto. Resta, então, a classificação entre esse intervalo. Faria (2011, p.179), trabalha em sua tese de doutoramento a hipótese de diminuição do nível de subjetividade na “[...] análise dos indicadores e na hierarquização dos setores de perigo de escorregamentos, incorporando o Processo de Análise Hierárquica (AHP) no mapeamento de risco de escorregamentos em encostas urbanas precárias [...]” e, mesmo assim, considera que ainda é necessária a sensibilidade e experiência do técnico que avalia o perigo. Portanto, mesmo com a quantificação e hierarquização de diversos fatores que condicionam o perigo, ainda assim a qualificação do perigo ainda segue um mínimo de subjetividade. No entanto, Faria (2011) descreve algumas situações objetivas para avaliação do perigo na Tabela 02.

Tabela 02 - Graus de perigo e suas respectivas descrições. Fonte: Faria (2011).

GRAU DE PERIGO	ÍNDICE DE PERIGO (IP)	DESCRIÇÃO
P1 Baixo	IP < 26,80	Os condicionantes geológicos- geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc) e o nível de intervalo no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, são muito reduzidas as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano.
P2 Médio	26,80 ≤ IP ≤ 37,99	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Mantidas as condições existentes, são médias as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
P3 Alto	IP > 37,99	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
P4 Muito Alto	Presença de feições de instabilidade	As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, etc) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, necessitando de intervenção imediata devido ao seu elevado estágio de desenvolvimento. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.

Varnes e IAEG (1984) estabelecem três princípios básicos que norteiam a avaliação e zoneamento de perigo: 1- passado e o presente são as chaves para o futuro; 2- as principais condições que causam escorregamento podem ser identificadas; 3- graus de perigo podem ser estimados.

A avaliação de perigo tem objetivo de estabelecer a probabilidade de que aconteça algum perigo específico em um determinado período do futuro, assim com sua intensidade e zona de impacto (ONU, 2004). Um mapa ideal de perigo de escorregamentos deve fornecer informações sobre a probabilidade espacial, a probabilidade temporal, tipo, magnitude, velocidade, distância do escorregamento, e o limite de retrocesso dos movimentos de massa previsto em uma determinada área (VAN WESTEN, 1993). Porém, tais informações dos eventos são difíceis de precisar com exatidão, justamente porque trabalha com eventos naturais muito dinâmicos. A magnitude, onde e quando irão ocorrer são os fundamentos para um mapeamento ideal, porém nenhum modelo atual de previsão de perigo de escorregamentos alcançou tal façanha (CARRARA e PIKE, 2008). Nesse caso, a probabilidade para avaliação de perigo de escorregamentos indica incertezas de maneiras úteis. “É melhor estar provavelmente certo, do que exatamente errado” (CARVAJAL, 2013, informação verbal)¹. E, além disso, é simples, pois parte de apenas quatro axiomas (BYRD e COTHERN, 2005 - modificado):

1. A probabilidade de um (1,0) implica que um evento é certo de ocorrer. Por exemplo, acreditamos que todos vão morrer. Assim, a probabilidade de que alguém vai morrer eventualmente é de 1,0;
2. A probabilidade de zero (0,0) indica um evento impossível. Como por exemplo, acreditamos que os cães não podem criar asas e voar. Assim, a probabilidade de ver um cachorro voando com suas próprias asas é 0,0;
3. Dois eventos aleatórios, rotulados de "P" (perigo) e "V" (vulnerabilidade), com probabilidades de $p(P)$ para o primeiro evento e $p(V)$ para o segundo evento, de modo que "P" não afeta $p(V)$ e "V" não afeta $p(P)$, e só podem ocorrer simultaneamente. Irá ocorrer com uma probabilidade do cálculo do produto de $p(P) * p(V)$;
4. Um ou outro dos dois acontecimentos aleatórios, um marcado "D" (declividade), e o outro "CV" (cobertura vegetal), com probabilidades $p(D)$, $p(CV)$, de tal modo que "D" não afeta $p(CV)$, "CV" não afeta $p(D)$, e há baixa probabilidade dos eventos ocorrerem

¹ Informação fornecida por Carvajal no V Seminário de Estratégias para Redução de Riscos e Desastres a Eventos Geodinâmicos no Estado de São Paulo, em 2013.

simultaneamente. Irá ocorrer com uma probabilidade aproximadamente igual à soma de $p(D) + p(CV)$.

Varnes e IAEG (1984); Aleotti e Chowdhury (1999) salientam para princípios básicos na avaliação de escorregamento de terra: a) escorregamento ocorrerá sempre nas mesmas condições geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas e climáticas que ocorreram no passado; b) as principais condições que causam escorregamento são controladas por fatores físicos identificáveis; c) o grau de perigo pode ser avaliado. A avaliação de perigo de escorregamento ideal deve responder as seguintes questões:

a) onde é que os escorregamentos de terra ocorrem?

b) que tipo de falhas irá ocorrer?

c) como é que os escorregamentos de terra ocorrem?

Aleotti e Chowdhury (1999), falam também do aspecto da escala de trabalho. Para escolher com que método de avaliação de perigo utilizar é necessário se atentar para o tamanho da área geográfica que irá se trabalhar, a escala de interptração de dados e disponibilização de dados para tal área. A seguir, é descrita uma extração do trabalho dos autores citados anteriormente:

1. Para planejamentos em escalas regionais são adotadas escalas de 1:500.000 até 1:100.000 e para planejamentos que exigem mais detalhe (ex. urbano) adota-se 1:25.000 até 1:50.000;

2. A extensão da área de estudo pode determinar o tipo de método de avaliação do perigo de escorregamento. Métodos estatísticos podem não ser adequados para vertentes individuais, enquanto que métodos baseados em cálculos de fator de segurança podem não ser adequados para escalas regionais;

3. A disponibilidade de dados está ligada à extensão da área. Em áreas grandes a avaliação de perigo pode se basear na análise e interpretação dos dados disponíveis, enquanto que para áreas menores a avaliação de perigo de escorregamentos poderia ser facilitada por investigações geotécnicas (monitoramento do subsolo, com inclinômetros e piezômetros).

Segundo Ferreira (2008) a escolha de critérios para escorregamentos translacionais na Serra do Mar tem pouca influencia litológica e grande peso da declividade. Outra constatação do autor é a grande incidência de áreas de muito alta suscetibilidade com declividades acima de 30°. Tal argumento mostra que apesar da escolha dos critérios e dados estar sujeita a disponibilidade dos mesmos, a declividade é essencial para avaliar esse tipo de evento geodinâmico.

Vieira e Fernandes (2010) trabalham com modelo TRIGRS para prever escorregamentos translacionais rasos na escala de uma bacia hidrográfica na Serra do Mar. Mais da metade das cicatrizes encontradas na bacia tinham menos de 300 m² de área. Os três cenários estudados

por Vieira e Fernandes (2010) mostraram que mais da metade da área da bacia hidrográfica obteve frequência de áreas estáveis em locais predominantemente de encostas suaves e convexas, com ângulos menores que 30°. Áreas instáveis se localizaram em altitudes mais elevadas (>400m) e encostas com mais de 40° de declividade. Dessa maneira, vê-se que encostas com alto gradiente de declividade condicionam eventos de escorregamento.

A declividade é um dado geoespacial muito importante nas modelagens ambientais. Câmara e Medeiros (1998), dizem que a declividade é a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. A utilização da declividade em áreas das geociências pode requerer áreas pouco acidentadas ou áreas de intensa incidência solar, por exemplo. No primeiro caso, tem-se o gradiente que é a taxa máxima de variação no valor da elevação e pode ser medido em grau (0° a 90°) ou porcentagem (%). Já no segundo caso, existe a exposição que é a direção da variação do gradiente e é medida em também em graus (0° a 360) (INPE, 2012).

A organização dos dados espaciais referente aos parâmetros selecionados deve ser homogênea, isto é, deve ter a mesma escala de trabalho e mesmo sistema de projeção geográfica. Além disso, todos estes dados devem ser organizados em planos de informação (camadas) monotemáticos (ALEOTTI e CHOWDHURY, 1999).

A avaliação de perigo é complexa, pois diversos fatores podem interferir na deflagração do escorregamento. Além disso, trabalha com diversos parâmetros e pode ser demorada e cara. O desenvolvimento da computação e dos Sistemas de Informação Geográficos tem ajudado no desenvolvimento de diversos métodos de avaliação do perigo de escorregamentos de terra. (VARNES e IAEG, 1984; VAN WESTEN, 1993; ALEOTTI e CHOWDHURY, 1999; SASSA e CANUTI, 2009).

Van Westen (1993) fala sobre métodos diretos que exigem trabalho de campo e métodos indiretos que trabalham com a combinação de parâmetros. Outra divisão de métodos feita pelo autor é: modelos de caixa branca (deterministas) que trabalham com modelos físicos (estabilidade de taludes e modelos hidrológicos); modelos de caixa preta que trabalham com análise estatística e; modelos de caixa cinza que trabalham com modelos físicos e análise estatística. A seguir os tipos de análise de perigo na qual são enquadrados os métodos (Tabela 03).

Tabela 03 - Tipos de análise de perigo de escorregamentos de terra e suas principais características. Fonte: Van Westen (1993).

Tipos de análise de perigo de escorregamentos de terra	Principais características
A. Análise de Distribuição	Mapeamento direto das cicatrizes dos movimentos de massa, resultando em um mapa que fornece informações apenas para os locais onde escorregamento de terra ocorreu no passado.
B. Análises Qualitativas	Métodos diretos ou semi-diretos onde o mapa geomorfológico é renumerado (reclassificado) para um mapa de perigo, ou em que vários mapas são combinados em um, usando regras de decisão subjetivas, com base na experiência do cientista da terra.
C. Análise Estatística	Métodos indiretos em que análises estatísticas são usadas para obter previsões do perigo de movimento de massa a partir de uma série de mapas parâmetros
D. Análise Determinística	Métodos indiretos onde os mapas de parâmetros são combinados em cálculos de estabilidade de taludes
E. Análise de frequência de escorregamento de terra	Métodos indiretos em que terremotos e / ou registros de chuva ou modelos hidrológicos são utilizados para correlação com datas de escorregamentos conhecidos, para obter valores de limiar com certa frequência

Aleotti e Chowdhury (1999), fazem uma compilação de vários métodos que foram desenvolvidos ao longo dos últimos anos. São divididos em métodos qualitativos e quantitativos. A figura 07 mostra onde estão localizados os métodos analítico e sintético dentre os métodos de avaliação de perigo existentes.

Por fim, a avaliação de perigo de escorregamentos “... não pode contar com uma metodologia única, mas deve levar em conta todos os campos e modelos de dados específicos do local disponíveis, em uma abordagem integrativa para abranger ambos os efeitos geomorfológicos iniciais e consequentes.” (KORUP, 2005, p.187).

Figura 07 - Métodos de avaliação de perigo. Fonte: modificado de Aleotti & Chowdhury (1999).

3.3 Modelagem de dados cartográficos

A modelagem de dados cartográficos para geoprocessamento é uma ferramenta conceitual que descreve a realidade geográfica em um Sistema de Informações Geográficas. Modelos de dados de imagem, temático, numérico, cadastral ou de rede auxiliam na descrição da realidade. A decisão da escolha do modelo deve se pautar por sua capacidade de uso (Tabela 04) (CÂMARA e MEDEIROS, 1998). Para um mapa de ruas se utiliza modelo de rede, para mapas topográficos modelo numérico, para mapa de vegetação modelo temático, para mapa de lotes modelo cadastral e imagens de sensoriamento remoto modelo de imagem. Além disso, a modelagem de dados cartográficos é “[...] essencialmente um conjunto de camadas de mapas (figura 08), [...] também pode incluir dados que indicam o tamanho, a posição geodésica, a história, ou outras características distintas de sua área de estudo” (TOMLIN, 1990, p.06) e exige certas convenções. Dentre as quais estão: aquisição dos dados e sua

estruturação, processamento desses dados e controle do processamento dos dados. Os modelos têm como contribuições principais:

- apresentar uma abordagem unificada para a modelagem em Geoprocessamento, combinando as ideias de campos e objetos;
- integrar imagens de Sensoriamento Remoto e Modelos Numéricos de Terreno com mapas temáticos, mapas cadastrais e redes;
- prover suporte para representações geométricas múltiplas de uma mesma entidade do mundo real e permitir a coexistência de representações vetorial, matricial e grades num mesmo sistema (CÂMARA e MEDEIROS, 1998, p.2-1).

Figura 08 – Exemplo de conjunto de camadas de mapas com seus respectivos modelo de dados. Fonte: Tomlin (1990).

Cada modelo de dados tem características que possibilitam a descrição da realidade no computador. Na tabela 04 são apresentadas tais características.

Tabela 04 - Modelos de dados e suas capacidades de uso.

Modelo de Dados	Tipo de Dados	Formato dos Dados	Capacidade de Uso
Imagem	sensoriamento remoto	matricial	Edições de imagens; segmentação; classificação; leitura de pixels
Temático	temas	matricial e vetorial	Medida de classes e distâncias; tabulação cruzada; geração de textos
Numérico (MNT)	valores contínuos	matricial e vetorial	Geração de grades regulares e irregulares; extração de volume e topos; configuração de processos hidrológicos
Cadastral	cadastro de objetos	vetorial	Armazenamento em tabela e associação de dados não espaciais a objetos georreferenciados
Rede	Fluxos de objetos conectados	vetorial	Caminhos com custo mínimo; melhor alocação de recursos; geocodificação de endereços

A figura 09 mostra de forma mais detalhada a passagem da realidade para sua representação no computador. Gomes e Velho (1995) utilizam níveis de abstração para descrever um paradigma de abstração unificador dos modelos matemáticos para a computação gráfica. Em tal figura observa-se ilustrada a abordagem “paradigma dos quatro universos” de Gomes e Velho (1995):

Figura 09 - Paradigma dos quatro universos. Fonte: Gomes e Velho (1995).

A partir do paradigma citado no trabalho anterior, Câmara e Medeiros (1998) trazem a aplicação desses modelos matemáticos para a computação gráfica voltada a estudos ambientais. A tabela 05 faz a correspondência entre universos do modelo.

Tabela 05 - Correspondência entre universos do modelo. Fonte: Câmara e Medeiros (1998).

<i>Universo do mundo real</i>	<i>Universo conceitual</i>	<i>Universo de representação</i>	<i>Universo de implementação</i>
Mapa de vegetação	Geo-campo Temático	Imagem temática Subdivisão Planar	Matriz 2D Linhas 2D (com R-Tree)
Mapa altimétrico	Geo-campo Numérico	Grade regular Grade triangular Conjunto Pontos 3D Conjunto Isolinhas	Matriz 2D Linhas 2D e Nós 3D Pontos 3D (KD-tree) Linhas 2D
Lotes urbanos	Geo-objetos		
Mapa de lotes	Cadastral	Subdivisão Planar	Linhas 2D (com R-Tree)
Rede elétrica	Rede	Grafo Orientado	Linhas 2D (com R-Tree)

Para entendimento do usuário que fará consultas ou pequenas análises, a interface deve ser amigável e ocultar as complexidades (operações e procedimentos) dos universos de representação e implementação. Assim, os universos do mundo real e conceitual surgem como conceitos mais próximos da realidade do usuário. É como um sítio em ambiente virtual onde podemos acessar diversos links, fazer consultas, mas não enxergamos a linguagem computacional por trás de tal sistema.

3.3.1 Procedimentos para definição de modelos cartográficos em geoprocessamento.

A escolha dos modelos de dados cartográficos é definida por sua capacidade de uso. Portanto, para definição, é preciso saber que aplicações serão realizadas, em que escala, que tipos de dados serão utilizados, com qual representação gráfica e que operações serão executadas. “Métodos de modelagem cartográfica podem ser implementados (com graus variados de sucesso) em qualquer um dos inúmeros sistemas de informação geográfica” (TOMLIN, 1990, p.02). Utilizou-se neste trabalho a modelagem de dados do software Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) que é um software de tecnologia inteiramente nacional e gratuito, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Suas principais características são:

- Operar como banco de dados geográfico sem fronteiras e suportar grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco;
- Administrar tanto dados vetoriais como dados matriciais (“raster”), e realiza integração de dados de Sensoriamento Remoto num SIG;
- Prover um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL – Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra);
- Conseguir escalonabilidade completa, isto é, é capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variem desde micro computadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho. (INPE, 2006, p. v).

Para definição de modelo de dados cartográfico no SPRING Câmara e Medeiros (1998) definem os seguintes passos:

1. definir as classes básicas do modelo e estabelecer as suas relações, dentro dos princípios de especialização, generalização e agregação;
2. a partir do modelo, estabelecer como definir um esquema conceitual para um banco de dados geográfico, por especialização das classes básicas.

As classes básicas são: geo-campo, geo-objeto, mapas cadastrais, objetos não-espaciais, plano de informação e banco de dados. Na figura 10, a seguir, um mapa conceitual das relações das classes básicas do universo conceitual.

Figura 10 - Relações das classes básicas do universo conceitual. Fonte: modificado de Câmara & Medeiros (1998); Worboys (1995).

Na sequência, o universo de representação, expressa geometricamente os modelos de dados do universo conceitual através da Representação Vetorial e Representação Matricial. Existe maior precisão no vetor que na matriz, porém operações algébricas são mais facilmente executadas por representação matricial (CÂMARA e MEDEIROS, 1998). Na figura 11A e 11B observa-se a diferença de representação matriz/vetor. Já na figura 11C é apresentado um quadro de vantagens e desvantagens de tais representações, porém apesar dessa literatura ser um clássico no que se refere a modelagem cartográfica e SIG, as temáticas tratadas são constantemente revistas por conta de novos produtos desenvolvidos. Um exemplo é a melhora na resolução de imagens rasters que podem chegar a detalhe de milímetros, portanto sendo adequado trabalhar em grandes escalas.

Figura 11. - (A) Drenagem com representação matricial. (B) Drenagem com representação vetorial. (C) Vantagens e Desvantagens da representação matricial e vetorial. Fonte: modificado de Câmara e Medeiros (1998).

Já no universo de implementação “[...] são tratadas as decisões concretas de programação [...] Estas decisões podem levar em conta as aplicações às quais o sistema é voltado, a disponibilidade de algoritmos para tratamento de dados geográficos e o desempenho do hardware” (CÂMARA e MEDEIROS, 1998, p. 2-29).

Para Tomlin (1990) o processamento de dados cartográficos (álgebra de mapas) pode ser dividido em operações e procedimentos. As operações contêm: programação, preparação dos dados, apresentação dos dados e interpretação dos dados. E, os procedimentos são onde a “[...] capacidade de combinar as operações de forma flexível torna possível a realização de um grande conjunto de tarefas [...]” (TOMLIN, 1990, p.52). Na figura 12, um exemplo de

estrutura de um processo de interpretação de dados, de lógica estrutural do processo e de expressão algébrica.

Figura 12 - (A) Estruturação de um processo de interpretação dos dados. (B) - Lógica estrutural do processo de interpretação dos dados e Típica expressão algébrica. Fonte: Tomlin (1990, p. 52 e 53).

O controle de processamento de dados cartográficos são detalhamentos de operações que indicam quais dados irão ser aplicados e em que ordem, formando uma notação uniforme. Essa notação uniforme são as declarações e as programações (TOMLIN, 1990).

As declarações são representações de notações de uma operação. “Cada instrução é uma sequência ordenada de letras, números, símbolos e / ou espaço em branco. As declarações são especificadas de forma que caracteres consecutivos sejam lidos da esquerda para a direita e continue a partir de cada linha de texto das linhas abaixo” (TOMLIN, 1990, p.57). A linguagem ou notação da declaração de uma modelagem cartográfica é muito parecida com uma linguagem de marcação na informática, por exemplo, HTML (Linguagem de Marcação de HiperTexto) . Assim como a linguagem de marcação, a linguagem de declaração omite os conjuntos de códigos no mapa que são disponibilizados para o usuário. A seguir um exemplo de uma declaração:

Risco Alto = declividade > 30° e solo exposto ou vegetacao rasteira / casa de alvenaria

Pode-se observar na declaração o tema (sujeito) da notação indicando que informação espacial quer-se achar (Risco Alto). Outro fator importante são os modificadores (símbolos) como +, -, /, *, >, <, (,), e, ou, de, etc. Finalmente são descritos também os objetos que compõe tal notação: *declividade*, *solo exposto*, *vegetação rasteira* e *casa de alvenaria*. Os objetos podem ser títulos de camadas (PI's), substantivos, advérbios ou numerais.

As programações são representações de notação de um procedimento. A programação é uma sequência de declarações em que a ordem da mesma define a ordem em que os procedimentos irão ser executados. Os títulos das camadas (PI's) fazem a estruturação lógica do programa (TOMLIN, 1990). Tome-se como exemplo:

cobertura do solo = -1 a -0.5 é solo exposto; -0.5 a 0 é urbano; 0 a 0.5 é vegetação rasteira; 0.5 a 1 é floresta;

declividade = 0-10 é baixa; 0-20 é média; 0-30 é alta; >30 é muito_alta;

casa de alvenaria = urbano - (casa de madeira + equipamentos + vias)

Risco Alto = declividade_alta e solo exposto ou vegetacao rasteira - casa de alvenaria/3

Dessa forma, *cobertura do solo*, *declividade* e *casa de alvenaria* serão classificadas para depois, na sequência da linguagem, encontrar o **Risco Alto**.

A linguagem de modelagem cartográfica descrita anteriormente tem a capacidade de trabalhar com caracterização de localizações individuais e caracterização de locais dentro de zonas, através de operações combinadas em procedimentos.

A caracterização de localizações individuais são operações que “[...] calculam um novo valor para cada local de uma camada [pixel] utilizando-se apenas funções dos dados existentes explicitamente associados a esse local” (TOMLIN, 1990, p.64). Os dados para cálculo dessas operações podem advir de uma camada ou mais. A caracterização de localizações individuais pode utilizar-se de:

- operações que geram novos valores com uma função entre valores existentes em uma única camada (figura 13);

Figura 13 – Operação (seta) em que mapa topográfico (única camada) gera grade irregular TIN (novos valores). Fonte: modificado de Tomlin (1990).

- operações onde os novos valores são gerados pela função entre valores existentes em duas ou mais camadas (figura 14).

Figura 14 – Operações (setas) entre diversos mapas geram o mapa de perigo. Fonte: modificado de Tomlin (1990).

Este último grupo de operações pode ser denominado como composição, sobreposição ou combinação de mapas. Tomlin (1990) utiliza o conceito álgebra de mapas para tais operações. Já a caracterização de locais dentro de zonas são operações que “[...] calculam um novo valor para cada local através de uma função de valores existentes associados a uma zona que contenha essa localização [...] Estas operações preveem a agregação de dados sobre as unidades de espaço cartográfico (zonas)” (TOMLIN, 1990, p.154). Ao contrário das operações por localização as operações por zona podem variar de forma e tamanho.

Na caracterização de locais dentro de zonas é calculado para cada local “[...] um novo valor que sintetiza um conjunto de valores existentes. Estes valores existentes são retirados de todos os locais que estão dentro da mesma zona” (TOMLIN, 1990, p.155). Tais valores podem ser sintetizados em máximo, mínimo, soma, média, etc (Figura 15).

Figura 15 - Operações (setas) entre mapa topográfico (amarelo) e mapa zonal (vermelho) geram o mapa de médias topográficas (laranja). Fonte: modificado de Tomlin (1990).

Para a geração de uma nova camada é necessária a sintetização dos valores de todos os locais “[...] de uma camada existente, que ocorram dentro de cada uma das zonas de uma segunda camada existente [...] Esta síntese é expressa como um novo valor para cada zona, e o mesmo é então atribuído para todos os locais dessa zona” (TOMLIN, 1990, p.155). Ainda segundo Tomlin (1990) é possível utilizar funções cumulativas entre os dois tipos de operação. Por exemplo, é possível fazer uma operação de localidade individual e com os valores obtidos desta fazer uma operação local dentro de zonas, sintetizando assim, dentro das zonas selecionadas tais valores.

As operações de álgebra de mapas trabalham com diversos níveis de medidas (qualitativo e quantitativo). Entre os níveis de medidas qualitativos (temáticos) estão o binário (0 e 1), nominal (0, 1, etc.) e ordinal (graus, tamanhos, etc.). Entre os níveis de medidas quantitativos (numéricos) estão o por intervalo (zero arbitrário) ou por razão (zero não arbitrário). Trabalham com números reais. (TOMLIN, 1990; WORBOYS, 1995; BARBOSA, 1997).

3.3.2 LEGAL – análise, consulta e operações cartográficas

A Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (**LEGAL**) está contida no programa SPRING. O programa LEGAL foi escolhido para realizar as operações algébricas nesse trabalho. Tal linguagem de modelo cartográfico permite programações (processos) que não estão pré-estabelecidos no programa.

O LEGAL pode realizar diversas operações de análise, consulta ou operações espaciais relacionadas aos geo-campos e geo-objetos. Tal linguagem faz interação direta com os dados espaciais contidos no SPRING. A modelagem de dados no SPRING é caracterizado por Categorias de modelos de dados que são: Temático, Numérico, Imagem, Cadastral e Objeto. (INPE, 2012).

Um **programa em LEGAL** consiste de uma sequência de **operações** descritas por **sentenças** organizadas segundo **regras gramaticais**, envolvendo **operadores, funções e dados espaciais**, categorizados segundo o modelo de dados SPRING, e representados em **planos de informação e mapas cadastrais** de um mesmo banco de dados / projeto SPRING. Planos das categorias Numérico e Imagem correspondem a representações em **formato matricial**. A maioria dos operadores sobre planos do modelo **Temático** também faz uso de representações matriciais. Mapas do modelo **Cadastral**, que representam espacialmente dados do modelo **Objeto**, fazem uso de representações no **formato vetorial** (INPE, 2012, sem página).

No presente trabalho basicamente são utilizadas operações envolvendo matrizes. A representação matricial para geo-campos é muito utilizada, mas nada impede a representação vetorial para essas situações. As operações disponíveis são as de: transformação, booleana, condicional, matemática, classificação, vizinhança, reclassificação.

3.3.2.1 Estrutura de um programa em LEGAL

O LEGAL trabalha com Declarações, Instanciações e Operações. **Declarações** consistem em definir as variáveis (parâmetros) que serão utilizados. As **Instanciações** consistem na associação efetiva dos planos de informação com as variáveis dos modelos temático, numérico e imagem. As **Operações** consistem em operações algébricas dos parâmetros declarados e instanciados.

Toda sentença em uma seção de programação do LEGAL deve ser iniciada e terminada em chaves ou chavetas ({e}). As palavras reservadas começam sempre com letra maiúscula (Temático, MNT, Res, Novo, etc.). E as categorias e planos de informação devem estar entre aspas (""). Os operadores usam símbolos (+, -, *, /, >, ee, etc.). Além disso, as sentenças envolvem nomes de variáveis. Na figura 16, uma seção do programa LEGAL com toda estruturação (Declarações, Instanciações e Operações).

Figura 16 - Estruturação do programa LEGAL.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Ubatuba se localiza na escarpa da Serra do Mar do Litoral Norte do Estado de São Paulo. Possui uma área total de 711 km², comporta aproximadamente 80.000 habitantes e é um dos 645 municípios do Estado de São Paulo. Faz divisa a sudoeste com o município de Caraguatatuba – SP; a nordeste com Parati-RJ; a divisa com o planalto é feita com os municípios de Natividade da Serra, São Luiz do Paraitinga e Cunha; na planície litorânea seu limite é o oceano Atlântico. É um município com forma alongada justamente pelo estreitamento causado pela escarpa da Serra do Mar que faz limite com o planalto. Na linha de costa é possível observar baías, sacos, enseadas, pontões, costões e praias de diversas formas com forte apelo turístico (figura 17).

Figura 17 - Localização de Ubatuba-SP.

As bacias hidrográficas de Ubatuba começam no planalto e seguem até a costa litorânea formando grandes anfiteatros. Tal característica faz com que o município seja formado por sequência de sucessivas bacias hidrográficas sem conectividade entre as mesmas e que desembocam no mar. A geologia do município é formada por coberturas sedimentares em suas planícies e os Charnockito, Granito e Gnaisses basicamente formam as rochas do complexo costeiro. Existem três grandes falhas: Indaiá, Bairro Alto e Quinhentos Réis. A

geomorfologia é formada por setores de planalto, escarpa e planície. Os solos residuais são relativamente rasos em muitas áreas da escarpa. No sopé dos morros e escarpa estão os solos coluviais. Oitenta por cento do município está em área de parque contribuindo para a conservação da abundante mata atlântica na região, principalmente nas cotas acima de 100 metros. Existe ainda um histórico de ocupação irregular nesse litoral, principalmente em áreas de proteção permanente (APP). Ubatuba é classificada como um clima tropical úmido com pluviosidade acima dos 2.000 mm por ano.

Para o estudo foi selecionada a bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba que possui uma área total de 105 km². Tal Bacia é onde se localiza a sede do município e, também, onde o uso e ocupação da terra se dão de forma mais intensa. É possível ver na figura 18 a mancha urbana (coloração branca) adentrando no anfiteatro e sendo barrado apenas pelas encostas vegetadas mais íngremes (coloração verde). Tal fato faz observar que a vegetação nas áreas urbanas é restrita enquanto que nas encostas íngremes ela é abundante.

Figura 18 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba. Perspectiva oblíqua do relevo da área de estudo com hidrografia. Fonte: modificado Google Earth (2013).

4.1 Geologia

A geologia de Ubatuba pode ser dividida entre litologias do pré-cambriano médio e superior e depósitos detríticos do quaternário. Três falhas principais cortam o embasamento rochoso da bacia estudada. Vindo do Planalto Atlântico até chegar às planícies, as falhas são: Indaiá,

Bairro Alto e Quinhentos Réis. Em contato com o Planalto e ao norte e sul da Falha de Indaiá predomina os Migmatitos homogêneos estromatíticos. Ao sul da Falha do Bairro Alto concentram os Migmatitos homogêneos embrechíticos, nebulíticos e anatexíticos e granitos gnaiss. Entre a Falha Quinhentos Réis e planície costeira há predomínio de ocorrência dos Granulitos parcialmente migmatizados, mas comumente chamados de Charnockitos. Mas também há Granitos. A cobertura detrítica é formada por sedimentos do quaternário de origem continental basicamente disposta nos sopés das encostas (sedimentos tem granulometria variada, de argila a matacões) e de origem marinha basicamente com ocorrência nas praias atuais e constituído de areia de granulação variável (ALMEIDA, 1991).

Figura 19 – Mapa Geológico da área da bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba – SP. Fonte: modificado de Morais et al. (1999).

4.2 Pedologia

Vargas (1994) faz uma excelente síntese das histórias dos conhecimentos pedológicos da Serra do Mar. O autor resgata os primeiros trabalhos geotécnicos da Serra do Mar da década

de 1870, inclusive um referente à construção da estrada de ferro Santos-Jundiaí. Muitos trabalhos que vieram em seguida tiveram essa característica de fazer estudos da pedogênese da escarpa litorânea utilizando-se de retro análises de escorregamentos ocorridos em construções de infraestrutura urbana. Após tais estudos é possível caracterizar as propriedades geotécnicas dos solos das encostas da Serra do Mar da seguinte forma:

Pode-se dividir em cinco zonas do perfil de intemperismo (figura 2): ZONA I- camada superficial de solo coluvial ou residual maduro; ZONA II- camada intermediária de argila rija ou dura; ZONA III- camada com estrutura reliquiar (herdada) da rocha mãe (granito-gneissica) – saprolito; ZONA IV- camada de rocha alterada e; ZONA V- Rocha sã. Por vezes, uma ou mais dessas camadas de solo podem estar faltando localmente. Segundo Wolle e Carvalho (1989), nas altas e médias encostas é onde mais ocorrem os escorregamentos. Nessas localidades as espessuras de solo, em sua maioria, tem espessura média de 1m. O solo é poroso, argilo-arenoso ou areno-argiloso, e sustenta a vegetação. Além disso, uma característica fundamental que inclui todo o pacote que vai do solo à rocha, “... é a presença de fraturas e fendas, abertas e intercomunicantes, que conferem grande capacidade de drenagem a estes horizontes. Devido a estas características, é generalizada nas encostas uma condição de condutividade hidráulica (K) crescente com a profundidade” (WOLLE e CARVALHO, 1989, p.28) (figura 20).

Figura 20 – Representação dos horizontes superficiais sujeitos a escorregamentos. Fonte: Wolle e Carvalho (1989).

Na base da escarpa ou lugares mais planos são encontrados os colúvios que são uma mistura de solo residual misturado a matações de rocha advindos de escorregamentos antigos.

4.3 Geomorfologia

Ubatuba faz parte da unidade geomorfológica Província Costeira que se divide em: Zonas Serrania Costeira, Zona Morraria Costeira, Zona Baixadas Litorâneas. A pequena parte associada ao Planalto Atlântico está na unidade Planalto do Paraitinga (ALMEIDA, 1964). Geomorfologicamente Ubatuba pode ser dividida em quatro grandes compartimentos principais: Planalto Atlântico, Serrania Costeira (Encostas), Morraria Costeira e Planícies (Tabela 06).

Tabela 06 - Compartimentação geomorfológica de Ubatuba-SP. Fonte: modificado de Almeida (1964); Almeida et al (1991).

COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA PROVÍNCIA COSTEIRA		
Zonas	Sub-Zonas	DESCRIÇÃO
Planalto Atlântico	I - setores de planalto com drenagem para o mar;	É a transição entre o planalto e a Serra do Mar. Se caracteriza por sistemas de relevo de Morros Paralelos e de Morrotes Baixos.
Serrania Costeira (Encostas)	II – escarpas festonadas;	Caracteriza-se por serem escarpas que são erodidas em anfiteatros separados por espigões de topos angulosos, vertentes retilíneas e drenagem subparalela a dendrítica de alta densidade com vales encaixados.
	III – escarpas com espigões digitados;	Está nos extremos do município e se diferencia das escarpas festonadas por compor grandes espigões lineares subparalelos e drenagem com padrão paralelo-pinulado com drenagens principais paralelas. As principais formas cenozoicas são: Encostas côncavas, convexas, retilíneas, paredes rochosas, vales em “V”, vales em “V” truncado (amplo e largo) e costões rochosos
Morraria Costeira	IV – serras alongadas e morros isolados;	Caracterizam-se pelas declividades médias, altas amplitudes locais de 300m, topo da serra anguloso, vertente abrupta ravinada com perfil retilíneo, drenagem paralelo-pinulado de alta densidade com vales fechados. Os morros isolados têm declividades médias e altas, amplitudes locais de 100 a 300m, morros com topos arredondados, vertente ravinada e perfis convexas a retilíneos (predominantemente convexas) e drenagem dendrítica de média a alta intensidade com vales fechados.
Baixadas Litorâneas	V – Planície Costeira.	Existem peculiaridades em cada anfiteatro onde as planícies costeiras avançam sobre a escarpa, porém basicamente são locais de sedimentação como: praias, planícies aluvionares, cones de dejeção, rampas de colúvio, corpos de tálus, depósitos alveolar, terraços

		marinhos, mangues, brejos, vales de fundo chato.
--	--	--

A geomorfologia mais detalhada (figura 21) da bacia do Rio Grande de Ubatuba é organizada no mapa geomorfológico da porção centro-sul do município de Ubatuba-SP (TOMINAGA et al, 2006). Na zona de planalto estão os morros baixos. Na zona escarpada da bacia encontram-se escarpas retilíneas e em espigão. Encontram-se também morros alongados de topos angulosos, rampas coluviais e morros de topos convexos. Já na zona de planície estão os depósitos lagunares e estuarinos, as planícies alúvio-coluviais e os terraços marinhos.

Figura 21 - Mapa geomorfológico da porção centro-sul do município de Ubatuba-SP. Fonte: Tominaga et al (2006).

4.4 Cobertura Vegetal e Uso da terra

Ubatuba se caracteriza por ter 80% do seu território em áreas de Unidades de Conservação que protegem a vegetação local. Esta característica ocorre por existirem grandes áreas escarpadas e montanhosas da Serra do Mar que impedem sua ocupação, pela dificuldade e alto risco de processos geodinâmicos. Mesmo com todos esses impedimentos, o processo de desmatamento ainda é presente no município tanto para a ocupação urbana como para a mineração. A forte influência topográfica em Ubatuba condiciona as principais coberturas

vegetais pertencentes às vertentes serranas (Mata atlântica, predominantemente secundária) e às planícies litorâneas (restingas e mangues). A vegetação se destaca na dinâmica superficial do terreno da seguinte forma:

Aspectos mecânicos: estruturação do solo, através do sistema radicular, retenção e dissipação do material deslocado, sobrecarga nos taludes;

Aspectos relativos ao balanço hídrico: efeitos de interceptação da água de chuva, influência na infiltração, escoamento hipodérmico [subsuperficial], ação da transpiração e evapotranspiração, e efeitos das variações de umidade e temperatura (SOARES et al, 1991, p.16).

O uso e ocupação do solo e da terra, como regra, requerem a retirada da cobertura vegetal. Assim, muitos problemas podem ser derivados da retirada da mesma. A aceleração do processo erosivo em áreas desmatadas podem gerar condições mais favoráveis de escorregamentos e assoreamento de outras áreas a jusante das mesmas (SOARES, 1991).

A cobertura vegetal pode ser vista também como condicionante negativo que acelera o processo de movimentação de massa. Nesse caso, ela serviria como uma sobrecarga/alavanca atuante no terreno que estão suscetíveis de escorregamentos. Porém, Wolle e Carvalho (1989) desconsideram o efeito negativo da vegetação nas encostas da Serra do Mar. Para tais autores, só há deflagração de um escorregamento se houver saturação total de água no solo. Dessa forma, a vegetação serve como um guarda-chuva para o solo onde, “[...] o impacto das gotas sobre as plantas tem como efeito a dispersão de energia cinética” (TRICART, 1977, p.24). Ainda segundo Tricart (1977), a vegetação acumula água que depois é evaporada de volta para a atmosfera, auxiliando o retardo no avanço das frentes de saturação do solo (figura 22).

Decorre daí a grande importância que tem a vegetação da encosta como fator estabilizante: além do reforço do solo oferecido pelas raízes, as copas das árvores produzem um efeito significativo de interceptação das águas das chuvas, reduzindo a quantidade de água que consegue atingir o solo e mantendo porções da encosta ao abrigo das chuvas, ou seja, submetidas a retardos significativos no avanço das frentes de saturação (Wolle e Carvalho, 1989, p.33).

Figura 22 – Já utilizada na figura 20. Destaque para vegetação da Serra do Mar servindo como dispersor de energia cinética da precipitação. Fonte: Wolle e Carvalho (1989).

4.5 Climatologia

Ubatuba se localiza numa região de clima tropical úmido com temperaturas altas ao longo de todo ano, pequena amplitude térmica e índices pluviais com médias anuais superiores a 2.000 mm. Está sob o domínio do sistema tropical atlântico, sujeito a incursões de outros sistemas como o equatorial e polar atlântico (IG/IPT, 1991). Esses diferentes sistemas atmosféricos, “... conjugado as condições geográficas do local, como a disposição da serra, a brusca variação altimétrica - que reforça o efeito orográfico - favorecem a ocorrência de chuvas intensas na primavera-verão” (ARMANI et al., 2007, p.119 e 120).

Os meses de verão são os mais chuvosos: dezembro, janeiro, fevereiro e março (figura 23). Os dados pluviométricos do estudo de Nunes et al. (1991) foram coletados de diferentes postos

próximos, porém com diferenças altimétricas variadas. O posto do Mato Dentro com 120 metros de altitude (o mais alto) foi o que apresentou totais mais elevados que os demais pelas condições morfológicas.

TATIZANA et al. (1987, p.225), diz que “...existe um consenso a respeito do papel da chuva como principal elemento na predisposição e deflagração dos escorregamentos”. Os autores nesse trabalho trataram de correlacionar pluviosidade e escorregamentos de forma menos subjetiva e mais operacionalizável. Na Serra do Mar, a maior parte dos escorregamentos está associada a frentes frias que estacionam na escarpa e chegam a permanecer por 2 a 4 dias com chuvas contínuas ou intermitentes.

Na caracterização pluviométrica da carta geotécnica do município de Ubatuba (NUNES et al., 1991) é realizada uma correlação entre pluviometria (dados de junho/1961 a maio/1978) e eventos de escorregamentos. Constatou-se que os escorregamentos registrados principalmente às margens da Rodovia BR-101, ocorreram em 76% dos casos com um registro pluviométrico entre 0 e 50 mm. Já quando considerado registro pluviométrico acumulado em quatro dias, 43% dos escorregamentos ocorreram no registro entre 50 e 200 mm. Os meses de janeiro e fevereiro foram os que mais registraram ocorrência de escorregamentos com 33,3% e 28,5% respectivamente.

Para Wolle e Carvalho (1989), há que se considerar dois fatores pluviométricos que condicionam a deflagração dos escorregamentos: o primeiro é a chuva no dia do evento (agente de ação instantânea (TATIZANA et al., 1987)); o segundo o acumulado de chuva que faz a frente de saturação (ou frente de oclusão – bolhas de ar oclusas/obstruídas) avançar (agente de ação progressiva (TATIZANA et al., 1987)). “Assim, é da ação combinada de chuva precedente e chuva intensa de curta ou média duração que resulta um escorregamento” (WOLLE e CARVALHO, 1989, p. 30).

Figura 23 - Variação média mensal e total anual da pluviosidade (mm) no Município de Ubatuba, no período de 1971 a 1999. Fonte: Armani et al. (2007).

4.6 Uso do solo e ocupação da terra

Atualmente, a Mata Atlântica do litoral norte paulista e sul fluminense é recortada por duas Unidades de Conservação (UCs) que se intersectam. O Parque Estadual da Serra do Mar

(PESM) e o Parque Nacional Serra da Bocaina são as duas UCs que estão garantidas pelo Estado/União e que passam por uma série de conflitos. Entre eles, está o fato de que essas reservas estão localizadas entre duas grandes metrópoles brasileiras (São Paulo e Rio de Janeiro), sofrendo assim, pressões urbanas. Além disso, a área é cortada pela BR-101 que facilita o acesso ao local. Não obstante a criação da rodovia Rio-Santos (BR-101), construída na década de 1970, se tornou um fato marcante, pois começou a mudar a relação de uso da terra das comunidades tradicionais ali existentes. As comunidades tradicionais rurais, que somavam quase metade do município, passam a sofrer com a especulação imobiliária. Muitos caixaras vendem suas terras para turistas ou empreiteiras e se mudam para a cidade. A formação da cidade caracterizou-se pela ocupação dos espaços de forma dispersa, espalhando-se a partir do pequeno núcleo urbano no centro do município e, ao norte e ao sul, por vários bairros rurais. A figura 24 mostra a evolução populacional do município com destaque para a população urbana que hoje predomina em Ubatuba.

A ocupação urbana e o uso do solo estão diretamente ligados às atividades econômicas. Desde o período colonial Ubatuba sempre esteve ligada às atividades econômicas portuárias de importador, exportador, estaleiros e atividades agrícolas. Com a construção da SP-99 (Rodovia dos Tamoios) na década de 1960, construção da BR-101 (Rio-Santos) e as melhorias no acesso via Taubaté com a SP-125 (Rodovia Oswaldo Cruz), houve um incremento enorme para o desenvolvimento do turismo no município. Ao observar os números vê-se uma duplicação da população fixa do município passando de 7.941 habitantes em 1950 para 14.176 habitantes em 1970. Em 1980, o número quase que dobra novamente. Em 2010, no último censo do IBGE, a população atinge a marca de 78.693 habitantes sendo que desses 97,6% são população urbana somando o total de 76.802 habitantes. A porcentagem da população urbana salta de 18,45% em 1950 para 90% no ano de 1980. Em 2010, está muito próxima dos 100%.

Segundo o Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Litoral Norte (CBHLN, 2013), a taxa geométrica de crescimento anual do município de Ubatuba de 2000-2012 é de 1,29 % a.a. Tal taxa é maior que a média de crescimento do Estado de São Paulo que tem 1,1% de crescimento ao ano. A densidade demográfica em 2012 é de 113,37 hab./Km², porém esse número pode ser maior já que 80% do município está em área de Unidade de Conservação que não pode ser ocupada. O índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M), elaborado pelo SEADE, utiliza três critérios (renda, longevidade e educação) e varia de 0 a 1, o IDH-M de Ubatuba é de 0,751.

são planejadas e bem localizadas reduzindo riscos geodinâmicos. O segundo tipo de ocupação estão nos limites dessas grandes ocupações de loteamento turístico. Geralmente esses limites coincidem no contato da planície com as encostas. Aqui as casas são construídas no sopé das encostas. É possível observar um planejamento nessas construções, porém com alterações significativas no terreno podendo causar instabilizações no mesmo. O terceiro tipo são ocupações que tem como características a habitação da população local de renda média e baixa. Essas moradias são construídas nas encostas mais interioranas ou em seus sopés. As construções sem auxílio de um técnico e com mutilações generalizadas no terreno podem comprometer as mesmas. Por fim, o quarto tipo são ocupações de hotéis que têm apartamentos escalonados em encostas. Podem servir para contenção de encosta, mas modificam a beleza da paisagem local (FARAH et al, 1991).

A figura 25 nos mostra o mapa de uso e ocupação da terra (ROSSINI-PENTEADO, 2013) da bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba com um 1 quilômetro de amortecimento. No mapa é possível observar dez usos e ocupações sobre o substrato da bacia hidrográfica. Na tabela 07 estão descritas as áreas das classes. A classe arbórea ocupa 115 Km² somando um total de 83,5% da área. Esta classe está nas áreas de encostas com mais declividade e sobre proteção do Parque Estadual da Serra do Mar (PESM). As classes de herbáceo-arbustiva e solo exposto somam 2,3% e 0,6% respectivamente. Basicamente são áreas de escorregamentos recentes e em regeneração (JÚNIOR et al, 2010). Uma classe significativa é a área urbana com: 11,6% da área de residências/comércios/serviços, 1,1% da área de grandes equipamentos, 0,65% da área de espaço verde urbano, 0,22% da área de comércio/serviço praia, 0,05% de loteamentos e 0,007 de área desocupada.

Figura 25 - Mapa de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba. Fonte: modificado de Rossini-Penteado (2013).

Tabela 07 - Área das classes do mapa de uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba.

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE DE UBATUBA (BUFFER 1KM)	
USO E OCUPAÇÃO DA TERRA	ÁREA (KM²)
Hebáceo_Arbustiva	3,20
Solo_Exposto	0,80
Arbórea	115,00
Residência/Comércio/Serviço	16,00
Grande_Equipamento	1,50
Espaço_Verde_Urbano	0,90
Comércio/Serviço_praia	0,30
Loteamento	0,07
Área_Desocupada	0,01
Total	137,78

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Em materiais e métodos inicia-se com o procedimento de construção do banco de dados do trabalho. Depois se apresenta a forma de obtenção dos atributos de declividade, densidade de drenagem e lineamentos estruturais, excedente hídrico e NDVI oposto. Logo em seguida, é apresentada também a padronização desses atributos. E, por fim, os métodos analítico e sintético são descritos para confecção dos mapas de perigo.

5.1 Construção do banco de dados geográficos

Para iniciar um BDG no SPRING 5.2.6 é necessária a escolha de um gerenciador de banco de dados e um lugar no disco para armazenamento dos dados (figura 26).

Figura 26 - Abrir Bancos de dados no SPRING.

Dentro de um mesmo BDG é possível criar vários projetos. Os projetos são localizações com sistema de coordenadas e DATUM de onde o trabalho está sendo realizado. Pode-se ter um BDG de Ubatuba com vários projetos em diferentes bacias hidrográficas ou um projeto rural e outro urbano. Para iniciar um projeto é fundamental descrever sua localização e projeção cartográfica (figura 27).

- a – Definir nome do projeto;
- b – Em projeções, definir sistema de coordenada, modelo da terra (DATUM), definir zona (caso UTM), origem da latitude e longitude e fator de escala;
- c – Definir retângulo envolvente indicando hemisfério;
- d – Ativar o projeto.

Figura 27 - Definição de projeto no SPRING.

A escolha da modelagem de dados utilizada é muito importante, pois indica quais operações poderão ser realizadas a posteriori. Sempre é possível remodelar um dado para se chegar num melhor resultado. Porém, escolhas certas facilitam na consistência e integridade do BDG. A seguir como definir um modelo de dados (figura 28).

- a – Nomear a categoria e associá-la a um modelo de dados ou tabela;
- b – Cria-se o plano;
- c – Ao executar é gerada uma tabela onde serão armazenados seus dados geográficos;
- d – Por fim, podem ainda ser criadas classes (especialização de geo-campo) ou atributos (especialização de geo-objeto).

Figura 28 - Criação de Modelo de dados no SPRING.

O modelo de dados é composto por categorias. Tais categorias podem ser divididas em Planos de Informações (PIs). Tais PIs são como shapefiles (Arcgis), camada (Quantum GIS), etc. A tabela 08, apresenta as possíveis aplicações do SIG. Na mesma tabela é possível observar as escalas, categorias, modelos, representações gráficas e operações que foram utilizadas no presente trabalho.

Tabela 08 - Aplicações para geoprocessamento utilizadas no trabalho.

Aplicações	Escalas	Categorias	Modelo	Representações gráficas	Operações
Vegetação e uso da terra	1:50.000	imagem IKONOS 1m (bandas IV e VM), NDVI	Imagem e Numérico	matricial, grade. (10x10metros)	consulta espacial, classificação de imagem, cálculos algébricos
Geologia - Geomorfologia	1:50.000 1:75.000	topográfico IBGE, MNT, declividade, LANDSAT 15m (RGB), Lineamento estrutural, UBCs	Temático, Imagem, Numérico, Cadastral, Objetos	matricial, vetorial, grade. (10x10metros)	consulta espacial, visualização 3D, declividade em graus, análise espacial (densidade), cálculos algébricos
Hidrografia	1:50.000	topográfico IBGE, drenagem, densidade drenagem	Temático, Numérico	matricial, vetorial, grade. (10x10metros)	consulta espacial, análise espacial (densidade), cálculos algébricos
Climatologia	1:1.000.000	pluviosidade, evotranspiração, excedente hídrico	numérico	matricial, grade. (10x10metros)	consulta espacial, cálculos algébricos

Os procedimentos operacionais da pesquisa estão expressos de três formas distintas. As figuras que seguem são adaptações da figura 12 deste trabalho (pag. 47). Na figura 29 observa-se a estruturação do procedimento operacional de dados do trabalho. Na figura 30A é mostrada a lógica estrutural do procedimento operacional e na figura 30B, as expressões algébricas desse trabalho. As três estruturações são bem parecidas quanto a sua forma (TONLIM, 1990).

5.2 Obtenção de atributos

Tratar-se-á aqui dos métodos para inserção e produção dos atributos que irão compor BDG do presente trabalho.

5.2.1 Declividade

Para confecção do mapa numérico de declividade foi utilizada a carta Ubatuba SF-23-Y-D-III-4. É uma carta topográfica do IBGE na escala de 1:50.000. O arquivo das curvas de nível em formato vetor foi baixado do sítio de downloads do IBGE. A importação de tais curvas para o SPRING gerou o PI curvas de nível (figura 31).

Figura 31 - Mapa topográfico da BH do Rio Grande de Ubatuba (anexo 01).

Para criação da declividade do terreno em um SIG é preciso gerar uma grade numérica (matriz) a partir da interpolação de dados providos das curvas de nível. Tal grade é chamada de Modelo Numérico de Terreno (MNT). Existe o modelo regular, que são quando os espaçamentos entre os pontos da grade têm o mesmo tamanho (por exemplo: 10 x 10 metros) ou modelos irregulares triangulares (TIN), no qual os espaçamentos são irregulares. Segundo Câmara e Medeiros (1998), para geração de declividades o modelo TIN é mais vantajoso, pois gera uma melhor representação de relevos complexos e também incorpora restrições como linha de crista e linha de drenagem. A partir das curvas de nível foi gerado o TIN (figuras 32 e 33).

- a – abrir na barra de menu o “MNT”;
- b – Selecionar “Geração de Grade Triangular”;
- c – Nomear um PI de saída e definir retângulo envolvente;
- d – Selecionar linha de quebra como cristas de morro e talvegues de drenagem;
- e – todos os parâmetros de “simplificação de linhas” podem ser alterados;
- f – a menor aresta também pode ser editada na área de “triangulação”;
- g – execute.

Figura 32 - Operação para criação da Grade Irregular Triangular.

Figura 33 - Grade Irregular Triangular (anexo 02).

Por fim, a partir do TIN é possível gerar a declividade na resolução desejada. O resultado da geração de declividade a partir de um TIN é também uma matriz, porém regular. Não é possível gerar matriz numérica de declividade irregular (INPE, , porém o MNT regular dessa matriz já representa a declividade advinda do modelo irregular. (figuras 34).

a - abrir na barra de menu o "MNT";

b - Selecionar "Declividade..."

c - Definir TIN como entrada, Declividade como saída e unidade em graus. Escolher categoria e

PI de saída; d – Definir Retângulo Envolvente e definir o tamanho do pixel (em metros); e – executar.	
$\text{Declividade - Gradiente } 0^\circ \text{ a } 90^\circ = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}$ <p>Onde z é a altitude e x e y as coordenadas.</p>

Figura 34 - Operação para declividade.

5.2.2 Densidade de drenagem

O modelo temático PI Drenagem, assim como o PI Declividade, também foi extraído da carta Ubatuba SF-23-Y-D-III-4 na escala de 1:50.000. O vetor da hidrografia foi baixado do sítio de downloads do IBGE e importado para o SPRING nos sistemas de coordenadas e DATUM do projeto (figura 35). Depois de obter o PI drenagem temático o mesmo foi utilizado para gerar a densidade da drenagem, que nada mais é, que o comprimento da drenagem dividido pela área do pixel (100m²) (figuras 37).

Figura 35 - Mapa de Drenagem (anexo 04).

a – Barra de Menu “Análise”;

b – Selecione “Lineamentos...”;

c – Selecione “Gerar MNT...”;

d – Selecione “Densidade” na entrada;

e – Na saída escolha um modelo e nome do novo PI. Aqui também o importante é definir a resolução;

f – Execute.

$$\text{Densidade Drena Matriz} = \frac{\text{Comprimento Drena}}{\text{Área BH}}$$

Densidade Drenagem Matriz

Drenagem Vetor

Figura 36 - Procedimento para geração do mapa de Drenagem.

5.2.3 Excedente hídrico

A grade numérica do PI Excedente Hídrico que foi processada foi adquirida de Armani et al. (2005). Para encontrar o excedente hídrico é necessário encontrar o resto da pluviosidade menos evapotranspiração. Para encontrar a evotranspiração é necessário conhecer as temperaturas da área estudada. Já para a pluviosidade são necessários pluviômetros. A quantidade de pluviômetros na área estudada vai definir a qualidade do dado de chuva. Armani et al. (2005) utilizaram oito pluviômetros como pontos amostrais para a confecção das grades numéricas de pluviosidade. Para generalizar as informações desses oito pontos foi utilizado o método de krigagem na interpolação dos dados pluviométricos. A grade numérica do PI Excedente Hídrico foi gerada em uma resolução de 200m por 200m. Para este trabalho, a grade numérica do PI em questão foi reamostrada no tamanho de pixel de 10m por 10m para possibilitar as operações de álgebra entre os mapas (figuras 37).

Figura 37 - Operação para geração de grade numérica reamostrada para 10m por 10m.

5.2.4 NDVI (cobertura vegetal)

Para o PI Cobertura Vegetal utilizou-se o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI). Tal índice utiliza uma razão entre banda vermelha e infravermelha para detectar maior ou menor presença de vegetação em uma área. Cada pixel da grade numérica indica um índice que tem um intervalo de -1 a 1. Quanto mais próximo estiver do -1 indica ausência de vegetação. Quanto mais próximo do 1 indica presença de vegetação. O NDVI indica ausência ou presença de vegetação em determinada área geográfica. Foram utilizadas as bandas vermelha e Infravermelha de uma imagem LANDSAT 05 do ano de 2000, fusionada para 15m (figuras 38 e 39).

Figura 38 - Imagem LANDSAT 05 fusionada para 15 m (anexo 07).

a – Barra de menu “Análise”;
 b – Seleccione “LEGAL...”
 c – Programação em LEGAL;
 d – “Executar programa LEGAL”.

$$NDVI = \frac{(bandaIV - bandaVM)}{(bandaIV + bandaVM)}$$

NDVI

LANDSAT 05 15m (Bandas IV e VM)

Figura 39 - Operação para Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI).

Na figura 40, observa-se o mapa numérico de NDVI. Tal mapa indica o gradiente de -1 a 1. Quando a grade numérica se aproxima de -1 indica ausência de vegetação. Quando se aproxima de 1 indica presença de vegetação. Portanto, numa relação inversamente proporcional, quanto maior o valor da grade menor se torna o perigo de escorregamentos. Porém, todos os outros condicionantes medidos para encontrar o perigo de escorregamentos nesse trabalho são diretamente proporcionais. Quanto maior a declividade, maior o excedente hídrico, maior a densidade de drenagem, maior a densidade de lineamentos, maior será o perigo de escorregamentos. Sendo assim, foi realizada uma operação de matriz oposta com a grade numérica NDVI, na qual para inverter os valores basta multiplicá-la por menos um (figura 41).

Figura 40 - Mapa NDVI Numérico (cobertura vegetal) (anexo 08).

Figura 42 - Operação para mapa de densidade de lineamentos estruturais.

5.3 Padronização dos dados

Os condicionantes que geram o perigo de escorregamentos são advindos da natureza. Como salienta Valentin (2012), a natureza é de característica multifatorial onde interagem numerosos processos bióticos e abióticos contribuindo para padrões estruturais espaciais e temporais. A identificação, mensuração, descrição, classificação da natureza, portanto, geram conjuntos de dados multidimensionais para realização de análises multivariadas. Essa área conhecida como Ecologia numérica trata de padronizar e normalizar tais dados auxiliando, assim, nos cálculos matriciais que tem grande afinidade com os dados ecológicos. “Os dados ecológicos apresentam-se geralmente sob forma de tabela de n linhas e p colunas” (VALENTIN, 2012, p.07). O mesmo autor adverte sobre três pontos fundamentais antes de iniciar o tratamento dos dados: a) ter sempre em mente o objetivo do trabalho, perguntando-se com que finalidade será aplicado tal tipo de tratamento. Do objetivo depende a escolha da técnica; b) definir a unidade amostral, no espaço e no tempo, seus descritores (ex. organismos, variáveis ambientais), e a natureza dos dados (qualitativos, quantitativos); c) estabelecer

claramente a tabela de dados, suas dimensões (n linhas, m colunas), quais os objetos e quais os descritores. Um matacão, por exemplo, pode ser considerado “descriptor²” da área onde ele foi coletado, mas torna-se “objeto” quando forem realizadas medições nele (ex. diâmetro, peso, composição química) (Tabela 09).

Tabela 09 - Pontos fundamentais antes de iniciar o tratamento dos dados.

Objeto	Descritores (parâmetros)	Unidades	Unidade Amostral		Natureza dos dados	Linha X Colunas
			Área km ²	Resolução m		
Bacia Hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba	Declividade	Graus	105	10x10	Quantitativo	1847 x 1628
	Densidade de drenagem	m/100m ²	105	10x10	Quantitativo	1847 x 1628
	Excedente hídrico	Mm	105	10x10	Quantitativo	1847 x 1628
	NDVI (Cobertura vegetal)	Adimensional	105	10x10	Quantitativo	1847 x 1628
	Densidade de lineamentos	m/100m ²	105	10x10	Quantitativo	1847 x 1628

Partindo dos dados multidimensionais descritos na tabela anterior foi realizada a padronização dos mesmos. A padronização se faz necessária, pois as unidades de medida dos dados são diferentes e para a realização de operações aritméticas entre os mesmos é fundamental que as grandezas físicas estejam na mesma escala. Partindo dessa explanação tem-se aqui o objetivo de fazer as somas de matrizes numéricas de dados multidimensionais em uma área de bacia hidrográfica. Para isso, houve uma padronização desses dados, a fim de que os gradientes adquirissem valores entre 0 e 1. No qual, 0 é sua grandeza mais baixa e 1 sua mais alta grandeza dentro desse gradiente (figura 43).

Utilizar-se-á a padronização quantitativa relativa que tem a seguinte fórmula:

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \text{ e quando } X_{\min} = 0, \text{ a equação torna-se } Y_{ij} = X_{ij} / X_{\max}.$$

² parâmetro de registros de dados que possibilita que todos os registros referentes a um mesmo assunto sejam recuperados conjuntamente.

```

LEGAL
Programa LEGAL  Editar  Executar

padroniza_decliv.alg

1
2 //1-Declaração
3
4 MNT Decliv ("declividade");
5 MNT Declivpadro ("declividade_padro");
6
7 //2-Instanciação
8
9 Declivpadro = Novo( Nome = "Declivpadro_50K", ResX = 10 , ResY = 10 , Escala = 50000 );
10
11 Decliv = Recupere( Nome = "50K_expandido10x10graus" );
12
13 //3-operação
14
15 Declivpadro = Decliv / 84.309326;
16
17 }
Valor
Máximo

```

Declividade Padronizado

$$Decliv\ Padro = X_{ij} / X_{máx}$$

```

LEGAL
Programa LEGAL  Editar  Executar

padroniza_drenagem.alg

1
2 {
3 //1-Declaração
4
5 MNT Drena ("Drenagem");
6 MNT Drenapadro ("Drenagem_padro");
7
8 //2-Instanciação
9
10 Drenapadro = Novo( Nome = "Drenapadro_50K", ResX = 10 , ResY = 10 , Escala = 50000 );
11
12 Drena = Recupere( Nome = "50K_IBGErec10x10" );
13
14 //3-operação
15
16 Drenapadro = Drena / 22.389650;
17
18 }
Valor
Máximo

```

Drenagem Padronizado

$$Densidade\ Drena\ Padro = X_{ij} / X_{máx}$$

```

LEGAL
Programa LEGAL  Editar  Executar

padroniza_exchidro.alg

1
2 {
3 //1-Declaração
4
5 MNT exchidro ("Exc_Hidrico");
6 MNT exchidropadro ("ExcHidrico_padro");
7
8 //2-Instanciação
9
10
11
12 exchidropadro = Novo( Nome = "NDVIpadro_50K", ResX = 10 , ResY = 10 , Escala = 50000 );
13
14
15 exchidro = Recupere( Nome = "50k_exchidricorec10x10" );
16
17 //3-operação
18
19 exchidropadro = (exchidro - 731.846222) / 1211.804588 - 731.846222 ;
20
21 }
Valor
Mínimo
Valor
Máximo

```

Excedente Hídrico Padronizado

$$Exchidro\ Padro = X_{ij} - X_{mín} / X_{máx} - X_{mín}$$

Figura 43 - Padronização dos dados utilizados para a modelagem e álgebra de mapas.

Na tabela 10, observam-se os gradientes iniciais e os padronizados.

Tabela 10 - Gradientes de origem e os padronizados.

Dados Matriciais (grade numérica 10X10m)	gradiente inicial	gradiente padronizado
Declividade	0 a 90°	0 a 1
Densidade Drenagem	0 a 22 m/100m ²	0 a 1
Excedente Hídrico	732 a 1212 mm/ano	0 a 1
NDVI (vegetação-uso da terra)	-1 a 1	0 a 1
Densidade Lineamento	0 a 24 m/100m ²	0 a 1

5.4 Mapa analítico de perigo

Após a obtenção e padronização dos atributos de interesse para o mapeamento de perigo de escorregamentos calcula-se diretamente o mapa analítico de perigo. Isso porque, não é preciso associar os atributos com unidades sintéticas de análise. Somente a sobreposição dos dados (PIs) confeccionados é o necessário para tal método. Michell (1973) chama tal método de paramétrico, isto é, os parâmetros do terreno são declarados, mas não sua forma. É um método multi-temático (ROSS, 1995) com diferentes mapas temáticos (CENDRERO, 2004) com medidas precisas, números absolutos. Os valores absolutos dos pixels já são suficientes para a análise espacial (álgebra de mapas) não necessitando compreender seu contexto geomórfico (VEDOVELLO, 2000). O método analítico trabalha com a soma do inventário dos atributos (temas) (SANTOS 2004).

Na figura 44, observa-se o processo da operação realizada em LEGAL resultado das somas das matrizes numéricas: declividade padronizada, densidade de drenagem padronizada, excedente hídrico padronizado, NDVI_oposto padronizado, lineamento estrutural padronizado e regra da declividade > 30°.

Figura 44 - Soma de mapas numéricos para obtenção do mapeamento de perigo.

A operação final é a regra de declividade. A partir dos trabalhos realizados na avaliação de áreas de perigo de escorregamentos (IPT, 1991; FERREIRA, 2008; VIEIRA e FERNANDES, 2010; FERREIRA, 2013; LOMBARDO, 2013) constatou-se que a declividade é uma variável

importante nessa análise. Porém se tratando de métodos diferentes a aplicação foi diferente em cada caso.

A regra de declividade consiste em classificar uma área de alto grau de perigo de escorregamentos partindo apenas da declividade. Independente de outras variáveis, se uma área é igual ou superior que uma declividade (X) a mesma já é considerada de alto perigo.

Ao analisar a tabela 11, observa-se o desvio padrão da declividade analítica com valor de 11,81°. Esse valor mostra grande variação do atributo que vai de 0° a 85.66°, alcançando valores extremos. Dessa forma, levou-se em conta o quartil superior para delimitar a regra de declividade. Para a declividade analítica com quartil superior de 27,35° a regra foi que toda a declividade acima de 30° no mapa analítico de perigo seria classificada como muito alto perigo de escorregamentos.

Tabela 11 - Estatística descritiva do mapa de declividade analítica.

Estatística Descritiva: Declividade Analítica	Valores
Número de Pontos	105579
Média	18.53 °
Desvio Padrão	11.81°
Valor Mínimo	0°
Quartil Inferior	08.43°
Mediana	19.42°
Quartil Superior	27.35°
Valor Máximo	85.66°

Por fim o mapa analítico de perigo numérico é fatiado e dividido em quatro classes através da operação quebras naturais. Conforme discutido no capítulo 3, a divisão em quatro classes ocorre, pois existe o perigo extremo que é o perigo de grau baixo no qual não existe perigo e, o perigo de grau muito alto aonde existe evidências de instabilidade com muita frequência e/ou magnitude. Entre esse intervalo surgem os níveis intermediários que são: o perigo de grau médio no qual a possibilidade de ocorrer um evento destrutivo não é baixa, mas também não é alta. E, perigo de grau alto a possibilidade de ocorrência não chega a ser eminente, porém está longe de ser média. Portanto, existem o perigo extremo mais definido (grau baixo e grau muito alto) e o perigo intermediário que se aproximam de um ou de outro extremo (grau médio e grau alto) (informação verbal)³.

³ Informação fornecida pelo Geólogo Doutor Jair Santoro.

5.5 Mapa sintético de perigo

Para confeccionar o mapa sintético de perigo é necessário obter as unidades sintéticas de análise para relacionar os atributos com as mesmas. Para obtenção de tais unidades básicas de compartimentação fisiográfica (UBC) é necessário estar atento, principalmente, para a textura do relevo e padrões de drenagem.

Logo em seguida, é necessário associar as matrizes numéricas dos atributos às unidades sintéticas de análise (UBC) através da operação média zonal. A associação irá gerar uma tabela com as médias dos atributos para cada UBC.

5.5.1 Obtenção das unidades sintéticas de análise (UBC)

Apesar de já se ter os parâmetros que condicionam os escorregamentos em matrizes numéricas, não é possível, ainda, realizar a operação para confecção do mapeamento sintético de perigo de escorregamentos. Esse método pressupõe uma análise mais integrada (ROSS, 1995), descrição de unidades geoambientais (CENDRERO, 2004), considera o terreno como um todo e classifica em unidades básicas de compartimentação (UBC) (VEDOVELLO, 2000). Mitchell (1973) chama de método Fisiográfico (ou de Paisagem) pela simbiose que tem com os aspectos geomórficos. Integra os atributos (temas) de interesse, resultando em uma síntese do conjunto de informações (SANTOS 2004).

Para o método sintético o contexto geomórfico é a base da análise de perigo de escorregamentos. Dentro das UBCs, previamente definidas, são realizadas operações para identificar a média dos valores dos pixels que estão dentro dessa unidade. Nesse contexto, o número absoluto dos pixels de cada parâmetro é dissolvido dentro das UBCs em forma de valores médios uniformes. A álgebra de mapas realizada com esse método traduz um mapeamento mais homogêneo (textura lisa, mosaico de quebra-cabeças), já que a operação realizada no pixel sofre influência direta de seus vizinhos que estão dentro da UBC.

A compartimentação fisiográfica do terreno irá dividir em compartimentos o terreno a fim de criar unidades básicas que sirvam a qualquer propósito dentro das Geociências. Pode servir para inventariar, compreender os processos e as dinâmicas geomorfológicas, fazer a gestão e proteção dos recursos geomorfológicos e monumentos geológicos, extração de recursos minerais, monitoramentos hidrogeológicos, compreensão da dinâmica de uso e ocupação do território. Enfim, é uma Unidade Básica de compartimentação (UBC) que entende que o

primeiro olhar tem que ser para simbiose dos aspectos geomórficos que podem ser observados principalmente em imagens de sensoriamento remoto.

Algumas propriedades texturais ajudam na identificação dessas UBCs. O tipo de elemento de textura (relevo/drenagens), densidade de textura (alta/moderada/baixa), arranjo textural (padrão retangular/dentrítico), grau de estruturação (bem definido/ mal definido) e ordem de estruturação (ordem 01/ordem 02). A figura 53 mostra as UBCs que foram delimitadas para realização do método sintético.

5.5.2 Associação dos atributos com UBC – operação média zonal

O próximo passo, após a delimitação das UBCs como modelo temático, é exportar do SIG e importar novamente como um modelo mapa cadastral que deverá ser associado uma tabela do modelo objeto. A partir daí, cada polígono criado na UBC terá uma linha correspondente na tabela gerada pelo SIG. Nessa tabela já aparecem alguns atributos como: ID, Nome, Rótulo, Área, Perímetro. Os outros atributos que interessar acrescentar na tabela tem que ser criados. A criação do atributo na edição de Objetos irá gerar uma coluna, com o nome do atributo, vazia na tabela.

Para fazer a associação dos atributos gerados em matrizes numéricas com a nova coluna da tabela utiliza-se o LEGAL. O LEGAL é necessário para tirar a média de cada matriz numérica dos atributos a partir dos limites das respectivas UBCs. Todas as outras operações realizadas em LEGAL, até então, eram pontuais. A partir de agora, as operações passam a ser zonais. A operação média zonal pode ser vista na figura 45.

Figura 45 - Processo de operações de média zonal

5.5.3 operação do mapa de perigo sintético

Agora cada UBC terá um único valor por atributo. Esse valor será a média de todos os pixels contidos dentro dos limites da UBC. O operador “média zonal” tem como referência o vetor (polígono) de cada UBC. A partir desses limites, ele calcula a média zonal de cada atributo e, todos os pixels de uma determinada UBC adquirem o valor dessa média. Perfazendo assim áreas bem homogêneas. Depois de todos os atributos passarem pelo operador “média zonal” e, já estiverem descritos na tabela, é possível espacializar os atributos com suas respectivas médias no formato de grades numéricas. Com essas grades numéricas é possível calcular agora o mapa sintético de perigo.

Aplicou-se aqui também a operação regra de declividade. Ao analisar a tabela 12, observa-se o desvio padrão da declividade sintética com valor de 08,47°. Esse valor mostra pequena variação do atributo que vai de 01,83° a 37,82°, alcançando valores medianos. Dessa forma, levou-se em conta o quartil superior para delimitar a regra de declividade. Para a declividade

sintética com quartil superior de 24,03° a regra foi que toda a declividade acima de 25° no mapa sintético de perigo seria classificada como alto risco (figura 46).

Tabela 12 - Estatística descritiva do mapa de declividade sintética.

Estatística Descritiva: Declividade Sintética	Valores
Número de Pontos	105579
Média	18.35 °
Desvio Padrão	08.47°
Valor Mínimo	1.83°
Quartil Inferior	12.16°
Mediana	21.34°
Quartil Superior	24.03°
Valor Máximo	37.82°

Figura 46 - Álgebra de mapa de perigo sintético.

5.6 Comparação com trabalhos anteriores

Também foram realizadas as comparações com outros mapas da mesma área geográfica. Para realizar as comparações dos resultados utilizou-se dos mapas de suscetibilidade do IPT (1991) com escala de 1:50.000 (figura 59) e do mapeamento de risco de risco do IG (2006) com escala de 1:5.000 (figura 60). As comparações consistiram em fazer uma tabulação cruzada entre os mapas citados anteriormente e os mapas analítico e sintético de perigo confeccionados nesse trabalho. O objetivo é saber a porcentagem de intersecção entre os respectivos mapas.

Figura 47 - Recorte do mapa de suscetibilidade de escorregamento do IPT (1991) (anexo 17)

Figura 48 - Recorte do mapa de risco de escorregamento do IG (2006) (anexo 18)

6 RESULTADOS

Os resultados compreendem a construção de um BDG e modelagem cartográfica, a definição e obtenção de atributos que condicionam os escorregamentos e a produção de mapas de perigos de escorregamentos. Para que a modelagem possa realizar as operações algébricas dos atributos (mapas) do BDG, com objetivo de produzir os mapas de perigo de escorregamentos, é importante que o número de linhas, colunas e pixels, assim como as resoluções horizontais (x) e verticais (y) sejam iguais e, estejam na mesma posição geográfica. Todos os mapas gerados nesse trabalho trabalham com os valores que estão na tabela 13.

Tabela 13 – Dados gerais das grades numéricas mapeadas no trabalho.

Dados Gerais da Área de Estudo	Valores
nº linhas	1847
nº colunas	1628
nº pixels	3006916
Resolucao h	10 m
Resolucao v	10 m

6.1 Modelagem de dados cartográficos

Para a realização da modelagem cartográfica é necessário aquisição dos dados e sua estruturação. Sendo assim, é fundamental montar um banco de dados consistente para que o processamento desses dados e controle do processamento dos mesmos seja possível.

6.1.1 Banco de dados geográfico

O nome do BDG deste trabalho é “Ubatuba” e o gerenciador de banco de dados é o DBase. O nome do projeto é “Maprisco_sintetico_analitico”. O sistema de coordenadas é o Universal Transversa de Mercator (UTM) e o modelo da terra é o DATUM SIRGAS 2000 na zona 23S. O retângulo envolvente é: X1: 605.390, Y1: 7.087.036, X2: 829.700 e Y2: 7.809.492 (hemisfério sul). Os métodos adotados no presente trabalho foram o sintético e o analítico. O tipo de escorregamento de terra que se está avaliando são os translacionais rasos (planares), pois é o evento geodinâmico de maior ocorrência na Serra do Mar. Na figura 49, observa-se o resultado final da configuração dos dados cartográficos e estruturação do BDG do trabalho.

Figura 49 - Configuração dos dados cartográficos e estruturação do BDG.

6.2 Obtenção de atributos

A obtenção de atributos que condicionam os escorregamentos geraram grades (matrizes) numéricas. As matrizes numéricas serviram como variáveis nas operações algébricas para confecção do mapa de perigo de escorregamentos. Cada matriz dessa é formada por pixels de dez por dez metros. Além disso, todas têm uma zona de amortecimento (buffer) de um quilômetro para evitar problemas operacionais nos limites da área de estudo (efeito de borda).

6.2.1 Mapa de declividade

O mapa de declividade é uma matriz numérica. A imagem que representa os valores de cada pixel é mais clara onde a declividade é maior e mais escura onde a declividade é menor. O noroeste da bacia hidrográfica apresenta declividades muito superiores do que o sudeste (figura 50).

Figura 50 - Mapa numérico de Declividade (anexo 03).

6.2.2 Mapa de densidade de drenagem

A partir da drenagem do IBGE foi realizada a operação densidade de drenagem que gerou o mapa de densidade de drenagem que é uma matriz numérica. A imagem que representa os números dos pixels apontam uma densidade menor nas áreas mais escuras e densidades maiores em áreas mais claras. É notório que a densidade segue o padrão de drenagem (figura 51).

Figura 51 - Mapa Densidade de Drenagem (anexo 05).

6.2.3 Mapa de excedente hídrico

O mapa de excedente hídrico também é uma matriz numérica. É possível observar que as áreas mais claras são onde o excedente hídrico é mais forte, podendo chegar a 1212 mm de excedente. Dois fatores que influenciam o excedente hídrico são as escarpas que geram o efeito orográfico provocando muita precipitação e a baixa temperatura (figura 52).

Figura 52 - Mapa Excedente Hídrico (anexo 06).

6.2.4 Mapa NDVI oposto

A figura 53 apresenta o mapa numérico de NDVI oposto com os valores da matriz numérica e imagem invertidos. Aqui a imagem com coloração mais clara tem baixo índice de vegetação, enquanto que a coloração mais escura indica alto índice de vegetação. Quanto maior o índice, maior proteção do terreno, menor chance de escorregamentos.

Figura 53 - Mapa NDVI numérico oposto (anexo 09).

6.2.5 Mapa de Lineamentos estruturais

O mapa de lineamentos estruturais primeiro foi confeccionado no modelo de dados temático no universo de representação vetor (linha). Foram identificadas, através de fotointerpretação, falhas e fraturas no terreno, pois as mesmas são atributos que condicionam escorregamentos. As falhas e fraturas grandes são facilmente recoinhecidas na fotointerpretação, porém as pequenas requerem maior trabalho para localização (figura 54). Na figura 55, observa-se o resultado da operação densidade de lineamentos estruturais no mapa de densidade de lineamentos estruturais. O mapa de lineamentos também é uma matriz numérica, no qual as áreas de maior densidade de lineamentos estão representadas com cor mais clara e as cores mais escuras são menos adensadas.

Figura 54 - Mapa Lineamentos Estruturais (anexo 10).

Figura 55 - Mapa Densidade Lineamentos Estruturais (anexo 11).

6.3 Mapas de Perigo

Foram confeccionados dois mapas de perigo de escorregamentos. O primeiro mapa foi realizado através do método analítico e o segundo através do método sintético. Para o fatiamento utilizou-se quebras naturais e a classificação utilizada foi muito alto, alto, médio e baixo perigo para escorregamentos translacionais. A seguir uma descrição dos mapas finais de perigo de escorregamento analítico e sintético.

6.3.1 Método analítico

O primeiro mapa gerado é o analítico de perigo, que é uma matriz numérica, resultado das operações realizadas entre os atributos descritos anteriormente. O nível de cinza mais claro são áreas potencialmente perigosas aos escorregamentos. Já as áreas mais escuras expressam áreas com mais estabilidade quanto aos mesmos. É interessante observar no mapa analítico de perigo numérico que as manchas das áreas não formam limites fixos e sim se espalham em um degradê contínuo. Isso ocorre, pois a passagem de áreas potencialmente perigosas aos escorregamentos para áreas mais estáveis ao mesmo se dá de forma gradual e não através de fatiamentos. Mesmo essa passagem entre áreas diferentes sendo gradual, já é possível observar que é um mapa com textura mais granulada (figura 56).

No mapa analítico de perigo temático a matriz numérica é dividida em quatro classes utilizando-se da operação, quebras naturais. Com a divisão em quatro classes os limites ficam mais evidentes. Já é possível identificar vetores de perigo no mapa. As áreas de borda da bacia hidrográfica aglutinam grande parte das áreas de muito alto e alto perigo da área. São áreas com mais excedente hídrico e com maiores declividades. Já o centro da bacia (planícies) e o seu contato com o mar aglutinam mais áreas de perigo médio e baixo. Áreas planas e com menos excedente hídrico.

É interessante perceber que apesar dessa aglutinação a aparência do mapa é de uma textura granulada. O fato de o método analítico fazer operações pixel a pixel lhe atribui tal característica. Por isso, o método analítico é mais fragmentado. Ele trabalha a soma dos pixels que são a menor parte da resolução de uma matriz. A álgebra de mapas realizada com esse método traduz um mapeamento mais heterogêneo (textura rugosa, mosaico granulado), já que a operação realizada no pixel não sofre influência direta de seus vizinhos mais próximos (figura 57).

Figura 56 - Mapa analítico de perigo numérico (anexo 12).

Figura 57 - Mapa analítico de perigo temático (anexo 13).

6.3.2 Método sintético

O método sintético trabalha com a associação dos atributos com as unidades de sintéticas de análises (UBC). Por isso, a identificação das UBC são muito importantes para esse método. Parte-se do princípio que terrenos com aspectos fisiográficos similares e com história tectônica e climática parecidas, deveriam apresentar comportamento semelhante. Dessa forma, quanto mais similares forem os aspectos fisiográficos do terreno e mais parecida sua história tectônica e climática, melhores serão os resultados do trabalho. Além dessa homogeneidade que o terreno necessita apresentar, é preciso estar atento também a escala de trabalho. A escala trabalhada no mapa de UBC foi de 1:50.000.

Observando o mapa (figura 58) pode-se perceber alguns problemas com sombras na imagem que dificultam a fotointerpretação. Porém, a unidade de análise primeira, que foi a bacia hidrográfica, se mostrou como ótimo ponto de partida. Depois pode-se passar para as encostas dessa bacia até chegar nos padrões de drenagem que tais encostas apresentam. A separação em grandes compartimentos, para depois ir delimitando outros menores ajuda bastante.

Figura 58 – Mapa de UBC (anexo 14).

A figura 59 apresenta a associação dos atributos (matrizes numéricas) com as unidades sintéticas de análises UBC. Cada UBC que está no mapa representa uma linha da tabela. Ao fazer a operação zonal todos os pixels contidos nos limites da UBC são utilizados para tirar a média que ficará armazenada em uma das colunas da tabela. Se a operação zonal foi feita com a matriz de declividade, a média ficará armazenada na coluna DECLIV da tabela e assim sucessivamente. O resultado é a tabela associada ao mapa de UBC. A partir dessa tabela com as médias é possível espacializar a média dos atributos para toda a UBC. Com todos os mapas espacializados, é possível realizar a operação para gerar o mapa analítico de perigo.

Figura 59 - Mapa cadastral UBC com a tabela associada.

O mapa sintético de perigo numérico também está representado em escala de nível de cinza. As cores mais claras são onde o potencial perigo de escorregamentos é maior. Já as cores mais escuras indicam áreas mais estáveis ao perigo de escorregamentos. Essas áreas, diferente do método analítico, são mais uniformes, pois os atributos estão associados às unidades sintéticas de análises (UBC). Apesar de mais uniformes, o padrão das áreas com maior potencial de perigo de escorregamento continua se concentrando nas bordas da bacia hidrográfica. Enquanto que áreas mais estáveis estão no centro da bacia e mais próximas ao

mar (áreas de planície). No mapa sintético de perigo numérico já é possível visualizar os limites das áreas mais ou menos perigosas num formato de mosaico de quebra-cabeças (figura 60).

O mapa de perigo sintético temático também foi fatiado e dividido em quatro classes por quebras naturais. O mapa sintético temático não muda muito seus limites quando comparado com o numérico. As áreas com muito alto e alto grau de perigo a escorregamento estão mais bem definidas, mas continuam a ocupar as bordas da bacia. As áreas de médio e baixo grau de perigo também estão melhor definidas e ocupam a planície da bacia. As UBC deixam o mapa com uma textura de aparência mais lisa.

Figura 60 - Mapa de perigo sintético numérico (anexo 15).

Figura 61 - Mapa sintético de perigo temático (anexo 16).

6.3.3 Comparação: mapa sintético de perigo e mapa analítico de perigo

Neste tópico fez-se a comparação das medidas de classes entre os mapas analítico e sintético de perigo de escorregamento temático. Além disso, também se fez a tabulação cruzada entre os mesmos para saber a porcentagem de intersecção entre eles.

A primeira comparação que se faz é a medida de classes de cada um dos mapas. Na figura 62, observa-se a quantidade de área que cada classe ocupa nos mapas. Existe uma variação de dois mil metros quadrados a três mil metros quadrados entre as classes de um mapa e outro. Apesar das classes terem áreas semelhantes em relação à quantidade, sua localização pode ser diferente.

No mapa analítico de perigo tem-se uma área total de 105.579 m². Em 21,5% (22.674 m²) da área predominam grau de perigo muito alto. O grau de perigo alto concentra 19,3% (20.421 m²) da área total. E as classes de médio e baixo perigo juntas somam 59,2% (62.483m²).

No mapa sintético de perigo a área total também é de 105.579 m². O grau de perigo muito alto ocupa 23,4% (24.730 m²) da área. Outros 17,5% (18.429 m²) consistem no grau alto de perigo. Por fim, o grau médio e baixo somam 59,1% (62.420 m²) da área.

Figura 62 - Gráfico com medida de classes entre os mapas sintético e analítico de perigo.

Interessa saber também quanto de intersecção houve na tabulação cruzada dos dois mapas confeccionados com métodos diferentes. A tabela 14 mostra que na zona estimada (verde) estão as maiores áreas dentro do universo da área total das classes de perigo. Isto é, apesar da classe “alto”, do mapa analítico de perigo, quando intersectado com classe “muito alta” do mapa sintético de perigo ser 8.366 m², o maior valor se concentra na intersecção das classes “muito alto” dos dois mapas (12.287 m²). No gráfico da figura 64, vê-se uma tendência da percentagem de intersecção ficar na média. No qual, as classes “muito alto”, “alto”, “médio” e “baixo” têm percentagem de intersecção de 50%, 41%, 52% e 68%, respectivamente.

Tabela 14 - tabulação cruzada: perigo analítico X perigo sintético.

cruzamento perigo analítico X perigo sintético (m²)					
PI analítico \ PI perigo sintético	Muito_Alto	Alto	Médio	Baixo	Porcentagem de intersecção
Muito Alto	12.287	5.348	3.954	1.062	50%
Alto	8.366	7.488	3.868	530	41%
Médio	3.063	4.099	14.467	9.378	52%
Baixo	786	1.271	5.614	23.078	68%
Área total perigos	24.502	18.206	27.903	34.048

Figura 63 - Gráfico comparadando cruzamento de perigo analítico com perigo sintético com área total da classe intersectada.

6.3.4 Comparação com trabalhos anteriores

Fez-se aqui uma comparação com mapas de trabalhos anteriores que utilizaram atributos semelhantes aos desse trabalho. Uma comparação é com um mapa do IPT (1991) da mesma escala do trabalho (1:50.000) e outra uma comparação com um mapa do IG (2006) de escala maior (1:5.000).

Além da confecção dos dois mapas de perigo de escorregamentos, também foram vetorizados os mapas de suscetibilidade de escorregamentos do IPT (1991) (figura 47). Os vetores do mapeamento de risco do IG (2006) (figura 48) foram cedidos para esse trabalho. Com base nestes mapas, montou-se o gráfico indicando a quantidade de classes, em metros quadrados e porcentagem, para grau de perigo/suscetibilidade/risco de escorregamentos respectivamente (figura 64 e 65).

No gráfico das figuras 64 e 65, percebe-se que as classes média e baixa para perigo de escorregamentos estão aglutinadas. Isso ocorre, pois o mapa do IPT (1991) dividiu os graus de suscetibilidade em três, a saber: muito alto, alto e médio/baixo. Para uma melhor

comparação agrupou-se também as classes de médio e baixo perigo dos mapas deste trabalho realizado e também o mapeamento de risco do IG (2006).

No mapa de suscetibilidade do IPT (1991) a área total das classes continua sendo 105.579 m². Sendo que deste total 4,2% (4.436 m²) é grau de suscetibilidade muito alto. Outros 5,8% (6.169 m²) é de grau de suscetibilidade alto. E os outros 90% (94.974 m²) de grau de suscetibilidade médio e baixo.

No mapa de risco do IG (2006) vê-se uma grande diferença na área total das classes. Isso se dá, pois no mapeamento de risco, não são todas as áreas mapeadas e sim aquelas que intersectam perigo com vulnerabilidade (moradias ou equipamentos urbanos). O mapeamento de risco do IG reflete o objetivo do mesmo, que é a atenção voltada aos riscos residenciais basicamente. Dessa forma, se se considerar somente a área total das classes, em 21,2% (107 m²) da área estão as de grau de risco muito alto. Já em 28,3% (143 m²) da área concentran-se alto grau de risco. E, por fim, 50,5% (255 m²) são de médio e baixo grau de perigo.

As áreas do mapa analítico de perigo e do mapa sintético de perigo já foram descritas no item anterior.

Figura 64 - Gráfico com medida de classes entre os mapas confeccionados em m².

Figura 65 - Gráfico com medida de classes entre os mapas confeccionados em %.

A comparação foi realizada com mapa de suscetibilidade do IPT (1991) com escala 1:50.000 e mapa de risco do IG (2006) com escala 1:5.000. Foram produzidas quatro tabelas a partir da tabulação cruzada dos mapas analítico e sintético de perigo com os mapas citados anteriormente. Cada uma das tabelas é preenchida com três cores. A cor verde é onde efetivamente houve a intersecção da mesma classe entre os dois mapas tabulados. A cor amarela é onde não houve intersecção da mesma classe, porém é uma zona de classificação superestimada onde ao invés da área ser classificada como “alta” entra na classe “muito alta”. Enfim, a cor vermelha indica a não intersecção entre as mesmas classes e também zona de classificação subestimada, aonde ao invés da área ser classificada como classe “alta” incorpora-se na classificação “médio/baixo”. Toda tabela vem acompanhada de um gráfico que compara a intersecção de classes iguais (zona verde) com a área total da classe cruzada.

A tabela 15 indica quais classes do mapa analítico de perigo intersectam com as mesmas classes de suscetibilidade do mapa do IPT. Ressalta-se aqui que os valores estimados (verdes) e superestimados (amarelos) somados são muito superiores aos subestimados (vermelhos). Na figura 66, o gráfico mostra que dentro do universo da classificação “muito alto” e “médio/baixo” houve uma intersecção maior entre os mapas (87% e 65% respectivamente). Já a classe “alto” teve baixa intersecção (18%) por motivo de superestimação.

Tabela 15 - Tabulação cruzada: mapa analítico de perigo X suscetibilidade IPT.

Cruzamento mapa analítico de perigo X mapa suscetibilidade IPT (m²)				
PI analítico perigo \ PI Suscetibilidade IPT	Muito_Alto	Alto	Médio/ Baixo	Porcentagem de intersecção
Muito Alto	3.822	4.324	14.499	87%
Alto	478	1.110	18.744	18%
Médio/ Baixo	136	735	61.496	65%
Área total suscetibilidade IPT	4.436	6.169	94.739

Figura 66 - Gráfico comparando cruzamento do mapa analítico de perigo com suscetibilidade IPT com área total da classe intersectada.

A tabela 16 mostra uma situação parecida com a anterior. A soma dos valores dos superestimados (amarelos) com os estimados (verdes) são superiores ao subestimado. Porém, nos salta aos olhos a intersecção subestimada entre a classe “médio/baixo” do mapa sintético de perigo e a classe “alto” da suscetibilidade IPT. Os 1.729 m² da subestimação ultrapassam os 1.607 m² do estimado (intersecção de mesma classe). Mais uma vez vê-se, no gráfico da figura 67, uma maior intersecção entre as classes “muito alto” e “médio/Baixo” (72% e 64% respectivamente). E, novamente, uma baixa intersecção na classe “alto” (26%). Diferente da

situação anterior existe intersecções significativas na zona de subestimação que já passam da casa do milhar.

Tabela 16 - Tabulação cruzada: mapa sintético de perigo X suscetibilidade IPT.

Cruzamento mapa sintético de perigo X suscetibilidade IPT (m²)				
PI Suscetibilidade IPT \ PI sintético perigo	Muito_Alto	Alto	Médio/ Baixo	Porcentagem de intersecção
Muito Alto	3.211	2.820	18.250	72%
Alto	730	1.607	15.659	26%
Médio/ Baixo	496	1.729	59.600	64%
Área total suscetibilidade IPT	4.437	6.156	93.509

Figura 67 - Gráfico comparadando cruzamento de mapa sintético de perigo com suscetibilidade IPT com área total da classe intersectada.

A tabela 17 compara o mapa analítico de perigo com o mapa de risco do IG, percebe-se uma inversão do que ocorreu na comparação com a suscetibilidade IPT. Outra situação nova é a possibilidade de desmembrar a classe “médio/baixo” em duas, fazendo uma tabulação cruzada mais detalhada. Ao analisar a tabela vê-se grande parte dos valores subestimados (vermelhos). No gráfico da figura 68, a única classe que intersecta mais que 50% é a “baixa” (59%). A

classe “médio” segue também com intersecção mediana (40%), enquanto que as classes “muito alto” e “alto” tem intersecção quase desprezível (1% e 8% respectivamente). Detalhe para a grande quantidade de intersecção das classes de risco IG com a classe “baixo” do mapa analítico de perigo.

Tabela 17 - Tabulação cruzada: mapa analítico de perigo X risco IG.

Cruzamento mapa analítico de perigo X risco IG (m²)					
PI Risco IG \ PI analítico perigo	Muito_Alto	Alto	Médio	Baixo	Porcentagem de intersecção
Muito Alto	1	5	2	-	1%
Alto	2	11	7	-	8%
Médio	46	59	68	35	40%
Baixo	59	68	92	51	59%
Área total risco IG	108	143	169	86

Figura 68 - Gráfico comparando cruzamento de mapa analítico de perigo com risco IG com área total da classe intersectada.

A tabulação cruzada do mapa sintético de perigo com o mapa de risco do IG da tabela 18 se enquadra na análise anterior. Existe grande parte dos valores subestimados (vermelhos), sendo que, grande parte das classes do mapa de risco do IG está intersectando com a classe “baixo” do mapa sintético de perigo. No gráfico da figura 69, pode-se observar uma diferença da análise anterior. A classe “baixo” continua numa intersecção mais consistente (62%).

Enquanto que a classe “alto” sai da condição de intersecção desprezível com uma intersecção de 18% se juntando a classe “médio” que intesecta 21%. Não há intersecção entre as classes “Muito alto”.

Tabela 18 - Tabulação cruzada: mapa sintético de perigo X risco IG.

Cruzamento mapa sintético de perigo X risco IG (m²)					
PI Risco IG \ PI sintético perigo	Muito_Alto	Alto	Médio	Baixo	Porcentagem de intersecção
Muito Alto	-	-	-	-	0%
Alto	-	26	17	17	18%
Médio	46	25	36	15	21%
Baixo	61	92	117	53	62%
Área total risco IG	107	143	170	85

Figura 69 - Gráfico comparando cruzamento de mapa sintético de perigo com risco IG com área total da classe intersectada.

É importante salientar aqui que a tabulação cruzada para comparação dos métodos com trabalhos anteriores utilizou-se de mapas de diferentes escalas e métodos diferentes. A primeira comparação foi realizada com o mapa de suscetibilidade do IPT da mesma escala desse trabalho de 1:50.000. Nessa escala a tabulação cruzada teve mais êxito na porcentagem de intersecção. Porém, ainda houve uma porcentagem baixa de intersecção com a classe “alto” tanto no mapa analítico de perigo (18%) como no mapa sintético de perigo (26%).

Lembra-se também que o método para confecção do mapa de suscetibilidade do IPT utiliza-se somente de grau de declividade e perfil de encostas.

A segunda comparação foi realizada com o mapa de risco do IG com escala de detalhe (1:5.000) diferente da desse trabalho. Na classe “baixo” houve uma porcentagem de intersecção satisfatória, com 59% para a tabulação realizada com mapa analítico de perigo e 62% para a tabulação feita com mapa sintético de perigo. É importante ressaltar que os mapas de risco são o resultado da multiplicação do perigo com a vulnerabilidade. Além das características físicas da área, o mapeamento consegue enxergar taludes de corte e de aterro, declividade real, paredes rochosas, matacões, evidências de movimentação, vegetação real e processos de instabilizações.

Outra comparação realizada foi a mostrada nos gráficos das figuras 70 e 71. Nos gráficos é possível comparar quais dos métodos atingiu maior porcentagem em relação à tabulação cruzada. Pode-se observar no gráfico da figura 70, que a tabulação cruzada entre perigo analítico e suscetibilidade IPT teve grande percentual de porcentagem de intersecção na classe “muito alto” e médio percentual da classe “médio/baixo” nos dois mapas. O grau de perigo da classe “alto” teve uma porcentagem baixa nos dois mapas, porém o pior percentual foi o do mapa analítico de perigo com 18%.

Figura 70 - porcentagem de intersecção entre o cruzamento do perigo analítico e sintético com suscetibilidade IPT.

No gráfico da figura 71, observa-se uma tendência de diminuição da porcentagem de intersecção à medida em que o grau de perigo aumenta. As porcentagens da classe “baixo”

estão na faixa dos 60% e vai caindo até 0% na classe “muito alto”. Tanto em um método quanto em outro as porcentagens de intersecção se equivalem.

Figura 71 - porcentagem de intersecção entre o cruzamento do perigo analítico e sintético com risco IG.

7 DISCUSSÃO

Inicia-se a discussão discutindo sobre a modelagem cartográfica e construção do banco de dados. Logo em seguida são feitas discussões a cerca da comparação entre os métodos analítico e sintético e suas implicações na análise de perigo de escorregamentos. Depois parte-se para a comparação com os trabalhos anteriores. E por fim são feitas algumas comparações entre base teórica consultada e resultados do trabalho.

O presente trabalho requeriu aquisição, estruturação e análise de diversos dados multidimensionais. Dessa forma, a montagem de um BDG consistente para os diversos processamentos de dados e controle dos mesmos foi fundamental para a execução das tarefas e operações algébricas aqui apresentadas. Seguindo o que Aleotti e Chowdhury (1999) falam, a organização dos dados espaciais referente aos parâmetros selecionados foi homogênea, isto é, tiveram a mesma escala de trabalho e o mesmo sistema de projeção geográfica. Além disso, todos estes dados foram organizados em planos de informação (camadas) monotemáticos. O único parâmetro selecionado que não estava na mesma escala de trabalho foi o excedente hídrico, conforme explicado no capítulo de caracterização da área de estudo.

Os métodos sintético e analítico são bem semelhantes na utilização dos dados. É possível utilizar a mesma fonte de dados para confeccionar os mapas de perigo de escorregamentos. Os dois trabalham com base em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), técnicas de geoprocessamento (álgebra de mapas) e modelagem de dados cartográficos (grades numéricas). A diferença está na hora de representar tais dados. O método analítico trabalha diretamente com os dados das grades numéricas geradas. Já o método sintético trabalha com as médias dessas grades numéricas que são associadas às unidades sintéticas de análise (UBC). Para Van Westen (1993) são métodos indiretos que trabalham com a combinação de parâmetros.

Ao comparar os mapas analítico e sintético de perigo de escorregamentos, observa-se que as áreas das classes são bem próximas. As classes “muito alto” e “alto” estão na faixa dos 20.000 m² e as classes “médio” e “baixo” estão na faixa dos 30.000m². Porém, ao fazer a tabulação cruzada percebe-se que as mesmas não estão na mesma localização espacial. A intersecção se dá em apenas 50% dos casos de forma geral. Tal constatação se deve ao fato haver uma maior distribuição de classes no mapa analítico de perigo. O mapa analítico classifica os graus de perigo de forma mais heterogênea, dando um aspecto de textura rugosa ao mapa, formando assim, mosaicos granulados. Já no mapa sintético de perigo, a classificação dos graus de

perigo é mais homogênea, dando um aspecto de textura mais lisa ao mapa, montando assim, um mosaico de quebra-cabeças. Na figura 72A e 72B são mostrados os recortes de uma mesma área dos dois mapas. É possível se localizar pelos rios.

Observando tais figuras, é possível perceber porque não há uma intersecção completa entre os dois mapas. A figura 72A, representa o pixel com valor absoluto em uma área do mapa analítico, no qual o mesmo não sofre influência de seus vizinhos. Nessa figura é possível observar a classificação de apenas um pixel de grau “alto” envolto de outros classificados como “médio” e “baixo” graus de perigo. Podemos chamar isso como ruído do mapa. A figura 97B, representa o pixel com valor médio em uma área do mapa sintético, aonde o mesmo sofre influência de seus vizinhos. Observa-se nessa figura unidades homogêneas.

Figura 72 - (A) Área do mapa analítico de perigo com textura rugosa (mosaico granulado). (B) Mesma área do mapa sintético de perigo com textura lisa (mosaico de quebra-cabeças)

Apesar desse aparente desajuste entre os mapas de perigo deste trabalho é interessante notar que existe uma interação entre os dois métodos. Ao comparar os mapas, percebe-se que as

áreas heterogêneas (mosaicos granulares) do método analítico, com determinado grau de perigo, estão sempre aglutinadas onde as áreas homogêneas (mosaico de quebra cabeças) do método sintético também estão. Pode-se falar em um direção, caminho ou vetor do perigo. Na figura 73 é possível comparar os dois mapas e identificar as concentrações de graus de perigo semelhantes.

Contudo, o mapeamento de perigo de escorregamentos confeccionado através do método sintético ou analítico, de forma geral, seleciona áreas com graus de perigo muito semelhantes. Tanto em um método como no outro as classes de diferentes graus de perigo coincidem em pelo menos 50% dos casos. Apesar de existir uma interação entre os métodos, o resultado se difere pelo princípio a que estão condicionados, a saber: unidades e fragmentos respectivamente.

Figura 73 - Comparação de vetores de perigo.

O método sintético generaliza áreas de perigo em unidades territoriais básicas. Tem como princípio a unificação de áreas geográficas homogêneas. Já o método analítico consegue

identificar áreas de perigo mais detalhadas, pois considera para a análise a menor parte da resolução de uma matriz (pixel), tendo como princípio o fragmento.

Ao sobrepor um mapa analítico de perigo sobre um mapa sintético de perigo pode-se observar uma unidade sintética (mapa sintético) com determinado grau de perigo, sobreposta por fragmentos analíticos (mapa analítico) que indicam maior ou menor concentração desse perigo. Dessa forma, uma unidade sintética poderá indicar perigo médio, mas com fragmentos analíticos de baixo a alto grau de perigo.

Contudo, o método sintético identifica quais unidades sintéticas estão com perigo “alto” ou “muito alto” e o método analítico faz o detalhamento de tais unidades sintéticas de análise (UBC) identificando maior ou menor concentração de fragmentos analíticos de graus de perigo nessas unidades. A discussão proposta aqui é que os métodos não se distinguem completamente. Eles interagem e se complementam.

Na figura 74A é possível identificar a unidade sintética (UBC) selecionada de azul indicando perigo alto. A figura 74B identifica os fragmentos analíticos desde o perigo muito alto até o baixo dentro da mesma unidade sintética (UBC) selecionada em azul. Por fim, a figura 74C é a sobreposição dos mapas de unidades sintéticas e fragmentos analíticos.

Na comparação do mapa do IPT (1991) com os mapas sintético e analítico de perigo houve maior intersecção de mesma classe nos graus de perigo extremos (muito alto e médio/baixo) do que no grau de perigo alto, que é um grau intermediário. É plausível, portanto, a afirmação de que os graus extremos são mais facilmente identificados. Por outro lado, quando não houve tal intersecção as classes do mapeamento de perigo foram superestimadas. Pode-se atribuir isso a diferença na escolha dos parâmetros, métodos e objetivo dos mapas comparados. O mapa de suscetibilidade de escorregamentos do IPT (1991) foi feito com base em dois parâmetros (declividade e perfil da encosta), enquanto que os mapas de perigo deste trabalho utilizaram cinco (declividade, excedente hídrico, densidade de lineamentos e drenagem e cobertura vegetal). Além disso, outros materiais e métodos foram utilizados, como por exemplo, álgebra de mapas. O objetivo do mapa do IPT (1991) era fazer a carta de suscetibilidade para a cartografia geotécnica de todo o município, enquanto que o objetivo deste trabalho era o mapeamento de perigo para o mapeamento de risco da bacia hidrográfica do Rio Grande de Ubatuba.

Isso nos leva a constatar o que Aleotti e Chowdhury (1999) disseram. No caso da comparação com o mapa do IPT, viu-se que a disponibilidade de dados está ligada à extensão da área. Em áreas grandes a avaliação de perigo pode se basear na análise e interpretação dos dados disponíveis, enquanto que para áreas menores a avaliação de perigo de escorregamentos

poderia ser facilitada por investigações geotécnicas (monitoramento do subsolo, com inclinômetros e piezômetros).

Figura 74 – (A) Unidade sintética com perigo alto. (B) Fragmentos analíticos com perigo muito alto a baixo dentro da mesma unidade sintética. (C) Sobreposição dos mapas confeccionados através dos métodos sintético e analítico - Biopsia territorial.

Já na comparação do mapa de risco do IG (2006) não houve muitas intersecções. Apesar de não ser um mapa de perigo, pressupõe-se que o risco esteja dentro de uma área perigosa. Houve intersecções somente com as classes “alto”, “médio” e “baixo” e, ainda assim, tiveram apenas uma porcentagem de intersecção mediana. Isso pode ser explicado pela área bem menor que as áreas de risco a escorregamento ocupam no mapa (505 m²) em comparação com o mapa de perigo (105.000 m²). Além disso, a escala de mapeamento de 1:5.000 influencia no detalhe do mapeamento, que tem como foco do mapeamento de risco de áreas residenciais.

Aqui se pode constatar outra afirmação de Aleotti e Chowdhury (1999). Na comparação com o mapeamento de risco do IG, viu-se que a extensão da área de estudo pode determinar o tipo de método de avaliação do perigo de escorregamento. Métodos estatísticos podem não ser adequados para vertentes individuais, enquanto que métodos baseados em cálculos de fator de segurança podem não ser adequados para escalas regionais.

A separação entre zonas superestimadas, interseccionadas (estimadas) e subestimadas foi utilizada para qualificar a comparação dos mapas de suscetibilidade e de risco com os mapas de perigo de escorregamentos. A zona ideal é a estimada, pois é quando as classes de mesmo grau de perigo se intersectam. Apesar de não ser ideal, a zona superestimada traz uma segurança maior quando se trabalha com perigos e riscos. Superestimar um perigo é melhor que subestimá-lo. Dessa forma valores estimados e superestimados são considerados válidos.

Como constatou Carrara e Pike (2008), ainda não existem modelagens que aglutinem a magnitude, quando e onde irão ocorrer um escorregamento. Dentro do que Van Westen (1993) considera como um mapa ideal de perigo de escorregamentos, os métodos aqui trabalhados conseguiram identificar a propabilidade espacial de ocorrência do escorregamento tipo translacional raso (planar) com magnitude localizada e velocidade alta e média. O deslocamento do escorregamento a partir da base é relativamente pequeno e com tempo de retorno de um ciclo hidrológico (chuvas de verão).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos se mostraram satisfatórios para mapeamento de perigo na Serra do Mar. A escolha dos atributos declividade, excedente hídrico, densidade de drenagem e lineamento e NDVI, foram feitas por entender que um escorregamento sempre ocorrerá nas mesmas condições geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e climatológicas do passado (VARNES e IAEG, 1984). Ao utilizar atributos que contemplem tais condições e organizando bem os dados em BDG é provável que os resultados sejam satisfatórios.

Os problemas encontrados no método analítico foram muitos ruídos no mapa. Já o método sintético o problema é a falta de detalhamento do mapa. Nesse sentido, não existe um método melhor, a utilização dos dois métodos, complementarmente, pode significar a anulação desses problemas. Porém, a utilização do mapa sintético de perigo de escorregamentos pode ser mais útil para definir onde fazer os trabalhos de campo, já que o mesmo delimita áreas homogêneas, facilitando o planejamento. Mas certamente são métodos que interagem.

A comparação com trabalhos anteriores mostrou que a avaliação de perigo de escorregamentos não deve contar com uma metodologia única, mas os métodos devem levar em conta todos os campos e modelos de dados específicos do local disponíveis, em uma abordagem integrativa para abranger ambos os efeitos geomorfológicos iniciais e consequentes (KORUP, 2005). Apesar das diversas evidências que levam a crer que os resultados foram satisfatórios, a validação através de um inventário de escorregamentos da área daria um peso mais consistente ao trabalho.

Outra consideração a se destacar sobre o trabalho foi que o SPRING, que é um programa de SIG nacional, se mostrou satisfatório na organização e estruturação do banco de dados e também no processamento dos dados através do seu aplicativo LEGAL, que trabalha muito bem com álgebra de mapas.

É importante ressaltar isso, pois se sabe que a avaliação de perigo é complexa, pois diversos fatores podem interferir na deflagração do escorregamento. Além disso, trabalha com diversos parâmetros e pode ser demorada e cara. O desenvolvimento da computação e dos Sistemas de Informação Geográficos tem ajudado no desenvolvimento de diversos métodos de avaliação do perigo de escorregamentos de terra. (ALEOTTI e CHOWDHURY, 1999; VAN WESTEN, 1993; VARNES e IAEG, 1984; SASSA e CANUTI, 2009).

Ainda é possível avistar alguns próximos passos que podem ser dados a partir do caminho já percorrido. Entre eles estão incluir na modelagem perfis de encosta. Pode-se testar também utilizar curvas de nível de escala 1:10.000 para geração de declividade, mesmo que o método

trabalhe em uma escala de 1:50.000. Considerando que a deflagração de escorregamentos ocorre principalmente nas chuvas de verão, outra alteração no modelo seria utilizar a média das grades numérica do excedente hídrico dos meses que comportam o verão (dezembro, janeiro, fevereiro e março) ao invés da média anual. Outra possibilidade seria trabalhar com orientação de vertentes e considerar onde ocorre maior ou menor incidência solar. Mapear a espessura do solo também ajudaria na construção da modelagem, porém esse é um dado difícil de obter.

Por fim, segundo Aristóteles: “o todo é mais do que a simples soma das partes”. Partindo dessa frase, sabe-se que o mapeamento de perigos e riscos é uma prevenção de um problema maior, que deve ser pensado dentro da gestão de risco. Sete bilhões de pessoas no mundo, a maioria vivendo em ambientes urbanos (artificiais), separação da sociedade e natureza, separação da economia e ecologia e lógica econômica indo de encontro com a lógica ecológica, aumentam em muito a potencialidade do risco maior: a extinção da vida na Terra. Resolver e avançar nos métodos de avaliação de perigos e riscos é só uma parte do problema.

9 BIBLIOGRAFIA

ABRANCHES, Sérgio. População Urbana Ultrapassou a Rural. Disponível em: <<http://www.oeco.com.br/eduardo-pegurier/17187-populacao-urbana-ultrapassou-a-rural>>.

Acesso em: 08/02/2011.

ALCÁNTARA-AYALA, Irasema. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, Cambridge, V. 47, p. 107–124, 2002.

ALEOTTI, P. e CHOWDHURY, R. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of international Association of Engineering Geology and Environmental*, n. 58. 1999. Pp. 21-44.

ALMEIDA, et al. Geologia e Geomorfologia. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Carta Geotécnica do Município de Ubatuba-SP. São Paulo (IPT. Relatório, 28.975). 1991.

ALMEIDA, F.F.M de. **Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista**. São Paulo: Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 1964. 99p.

ARMANI, G.; TAVARES, R.; BRIGATTI, N. Climatologia. In: FERREIRA, C. J. (coord.) 2005. Diretrizes para regeneração sócio-ambiental de áreas degradadas por mineração de saibro (caixas de empréstimo), Ubatuba, SP. 3º relatório técnico parcial, instituto geológico, São Paulo, 2005. FAPESP (processo 03/07182-5).

ARNT, Ricardo; WAINER, João. *As últimas praias: de Ubatuba a Paraty*. São Paulo: Terra Virgem, 2006.

ATLAS Mirador Internacional. Rio de Janeiro: Enciclopédia Britânica do Brasil, 1981. 1 atlas. Escalas variam.

BARBOSA, C. C. F. Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento – São José dos Campos: INPE, 1997.

BATISTELLA, Mateus; MORAN, Emilio F. Geoinformação e Ambiente: trazendo a ciência espacial para a Terra. In: BATISTELLA, Mateus, MORAN, Emilio F. (org.) Geoinformação e Monitoramento Ambiental na América Latina – São Paulo: Editora SENAC São Paulo, 2008.

BBC BRASIL, 2010. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2010/04/100408_niteroi_deslizamento_dg.shtml> . Acesso em: 01 ago. 2014.

BBC BRASIL, 2010. Disponível em: http://www.bbc.co.uk/portuguese/multimedia/2010/01/100108_ugc_chuvas_valeeste.shtml. Acesso em: 01 ago. 2014.

BBC BRASIL, 2011. Disponível em: http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2011/01/110113_chuvas_compilacao_cred_rw.shtml. Acesso em: 01 ago. 2014.

BBC BRASIL, 2011. Disponível em: http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2011/01/110112_galeria_nasa_jf.shtml. Acesso em: 01 ago. 2014.

BBC BRASIL, 2014. Disponível em: http://www.bbc.co.uk/portuguese/videos_e_fotos/2014/03/140324_deslizamento_eua_pai.shtml. Acesso em: 01 ago. 2014.

BBC BRASIL, 2014. Disponível em: http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2014/05/140503_afeganistao_mortos_atualiza_fl.shtml. Acesso em: 01 ago. 2014.

BERTALANFFY, L. V. Teoria Geral dos Sistemas. Rio de Janeiro: Vozes, 1973.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. Trad. Olga Cruz. Caderno de ciências da terra, IGEO-USP, São Paulo, n. 13, 1972, pp. 1-27.

BRASIL (República Federativa). Ministério das Cidades. Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: guia para elaboração de políticas municipais. CARVALHO, C. S; GALVÃO, T. (org.) – Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006. 111p.

BRASIL (República federativa). Ministério do Meio Ambiente. Programa Zoneamento Ecológico-Econômico. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.montaEidEstrutura=28>>. Acesso em: 08/02/2011.

BRASIL. [lei Nº 12.608, de 10 de abril de 2012.](#) Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC.

BROLLO, Maria J. A Atuação do Instituto Geológico na Prevenção de Desastres Naturais por Meio do Planejamento Territorial. In: BROLLO, Maria J. (org.) – O instituto Geológico na prevenção de desastres naturais. São Paulo: Instituto Geológico, 2009, p.13-21.

BYRD, D. M. e COTHERN, C. R. Introduction to risk analysis: a systematic approach to Science-based decision making – Toronto: Government Institutes, 2005.

CÂMARA, G. e MEDEIROS, J. S. Geoprocessamento para projetos ambientais. São José dos Campos: INPE, 1996.

CANIL, Kátia et al. Mapeamento de Risco em Assentamentos Precários nas Zonas Sul e parte do Oeste no Município de São Paulo (SP). In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 5, 2004. São Carlos. *Anais...* São Carlos: ABGE, 2004, p. 193-204.

CARRARA, A. et al. Use of GIS Technology in the Prediction and monitoring of landslide hazard. *Natural Hazards*, n.20. 1999. Pp. 117-135.

CARRARA, A.; PIKE, R. J. GIS technology and models for assessing landslide hazard and risk. *Geomorphology*. V. 94. P. 257-260. 2008.

CARVAJAL, Hernán E. M. Diferenças na análise de risco a instabilidade de taludes em solos tropicais e maciços rochosos: exemplos da Colômbia. Palestra proferida para o V Seminário de Estratégias para Redução de Riscos e Desastres a Eventos Geodinâmicos no Estado de São Paulo – São Paulo. 2013.

CARVALHO, C. S.; WOLLE, C. M. Considerações sobre o fluxo d'água em taludes de solos insaturados. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1987, São Paulo. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. São Paulo, 1987. v. 2. p. 121-133.

CARVALHO, Marcos de – O que é natureza? – São Paulo: Brasiliense, 2003.

CENDRERO, Antonio. Environmental quality índices; a tool for assessing and monitoring geoenvironmental map units. In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 5, 2004. São Carlos. *Anais...* São Carlos: ABGE, 2004, p. 525-564.

CERRI, Leandro E. S. et al. Mapeamento de Risco em Áreas de Ocupação Precária nas Zonas Norte, Leste e Oeste do Município de São Paulo (SP). In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 5, 2004. São Carlos. *Anais...* São Carlos: ABGE, 2004, p. 205-216.

CERRI, Leandro E. S. Riscos Geológicos Associados a Escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes. 1993. 197f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro. 1993.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. Modelagem de Sistemas Ambientais – São Paulo: Editora Blucher, 1999, 236p.

COMISSÃO TÉCNICA DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL (CTCG). Diagnóstico Preliminar da Cartografia Geotécnica e Geoambiental no Brasil. In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 5, 2004. São Carlos. *Anais...* São Carlos: ABGE, 2004, p.01-20.

DIAMOND, J. Colapso. Tradução: Alexandre Raposo. 7ª edição – Rio de Janeiro: Record, 2010.

FARAH, et al. Uso e ocupação. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Carta Geotécnica do Município de Ubatuba-SP. São Paulo (IPT. Relatório, 28.975). 1991.

FARIA, Daniela Girio Marchiori. Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do processo de análise de análise hierárquica (AHP) / Tese de doutorado. Orientador: Oswaldo Augusto Filho - São Carlos, 2011.

FERNANDES, N. F. et al. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: teoria, evidências de campo e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.

FERNANDES, Nelson F. AMARAL, Cláudio P. de. Movimentos de Massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, Antonio J. T. CUNHA, Sandra B. da (org.). Geomorfologia e Meio Ambiente – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1966, p. 123-194.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. Novo Aurélio século XXI: o dicionário da língua portuguesa. 3ª edição – Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

FERREIRA, C. J. (coord.) 2005. Diretrizes para regeneração sócio-ambiental de áreas degradadas por mineração de saibro (caixas de empréstimo), Ubatuba, SP. 2º relatório técnico parcial, instituto geológico, São Paulo, 2005. FAPESP (processo 03/07182-5).

FERREIRA, C. J. (coord.) 2011. Compartimentação fisiográfica e territorial aplicada ao zoneamento ambiental da UGRHI 2 Rio Paraíba do Sul. Relatório técnico parcial, Instituto Geológico, São Paulo, 2011. FAPESP

FERREIRA, C. J; ROSSINI-PENTEADO, D; GUEDES, A. C. M. O uso de sistema de informações geográficas na análise e mapeamento de risco a eventos geodinâmicos. In: LOMBARDO, M. A; FREITAS, M. I. C. Riscos e Vulnerabilidades: teoria e prática no contexto luso-brasileiro – São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013.

FERREIRA, M. V; RIEDEL, P. S; LOPES, E. S. S; MERINO, E. R. Comparação entre diferentes critérios para elaboração de mapas de suscetibilidade aos escorregamentos. Exemplo do município de Cubatão, serra do mar paulista. Revista Brasileira de Cartografia N 60/04, p. 385-400, 2008.

FOLHA DE SÃO PAULO, 2013. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2013/02/1235591-mulher-morre-apos-desabamento-de-terra-na-imigrantes.shtml>. Acesso em: 01 ago. 2014.

FOLHA DE SÃO PAULO, 2013. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2013/12/1389748-espirito-santo-enfrenta-a-maior-chuva-da-historia-afirma-governo.shtml>. Acesso em: 01 ago. 2014.

FOLHA DE SÃO PAULO, 2013. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/mundo/1214090-terremoto-ajudou-a-causar-deslizamento-na-china-diz-especialista.shtml>. Acesso em: 01 ago. 2014.

FOLHA DE SÃO PAULO, 2013. Disponível em:
<http://www1.folha.uol.com.br/mundo/2013/07/1308877-deslizamento-soterra-casas-e-deixa-40-desaparecidos-na-china.shtml>. Acesso em: 01 ago. 2014.

GOMES, J.; VELHO, L. Abstraction Paradigms for Computer Graphics. *The Visual Computer*, v. 11, n.5, p. 227-239, 1995

GOUDIE, A. S. *Encyclopedia of Geomorphology* – London and New York: Routledge, 2004.

GOUDIE, A. S. *Encyclopedia of Geomorphology* – volume 1 e 2. New York: Routledge, 2004.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. *Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

GUERRA, Antônio Texeira; GUERRA, Antônio José Texeira. *Novo dicionário geológico-geomorfológico*. 3ª edição – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

<http://www.oeco.com.br/eduardo-pegurier/17187-populacao-urbana-ultrapassou-a-rural>

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Carta Geotécnica do Município de Ubatuba-SP. São Paulo (IPT. Relatório, 28.975). 1991.

INSTITUTO GEOLÓGICO (IG). Mapeamento de áreas de risco a escorregamento e inundação – Relatório do município de Ubatuba – São Paulo: IG, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). – Introdução ao Sistema de Informações Geográficas – São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). - Manual do Spring: Noções de Geoprocessamento. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). 2012. Ajuda on-line do SPRING na barra conceitos. Disponível em:
file:///C:/Program%20Files%20%28x86%29/Spring526_Portugues_x86/helpport/legal.htm. Acesso em: 08/08/2014.

- JOLY, Fernand. A Cartografia. Tradução: Tânia Pellegrini – Campinas: Papirus, 1990, 136p.
- JUNIOR, Nelson A. dos S.; CARDOSO, Victor J. M.; BARBOSA, José M.; RODRIGUES, Maurício A. Colonização natural por espécies nativas e exóticas das encostas degradadas da Serra do Mar. Revista Árvore, Vol.34, Viçosa - MG, n.2, p. 267-276, 2010.
- KORUP, O. Geomorphic hazard assessment of landslide dams in South Westland, New Zealand: Fundamental problems and approaches. Geomorphology. V. 66. p. 167-188. 2005.
- LANG, Stefan; BLASCHKE, Thomas. Análise da Paisagem com SIG. Trad. KUX, Hermann. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 424p.
- LEINZ, V. e LEONARDOS, O. H. Glossário Geológico - São Paulo: Editora Nacional, 1982.
- LEINZ, V. e MENDES, J. C. Vocabulário Geológico – São Paulo: Editora Nacional, 1959.
- LEINZ, Viktor; MENDES, Josué Camargo. Vocabulo Geológico. 2ª edição – São Paulo: Companhia Editora Nacional. 1959.
- LOMBARDO, M. A. et al. Riscos Ambientais na Região Metropolitana de São Paulo decorrentes de urbanização e vulnerabilidades diante das mudanças climáticas. In: LOMBARDO, M. A; FREITAS, M. I. C. Riscos e Vulnerabilidades: teoria e prática no contexto luso-brasileiro – São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013.
- LOMBARDO, Magda Adelaide. Ilha de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo – São Paulo: Editora HUCITEC, 1985.
- LOPES, Eymar. Modelagem Espacial Dinâmica em Sistema de Informação Geográfica – uma aplicação ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista. 2006. 315f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro. 2006.
- MENDES, Rodolfo M. Estudo das Propriedades Geotécnicas de Solos Residuais Não Saturados de Ubatuba (SP). 2008. 255f. Tese (Doutorado em Engenharia Geotécnica) – Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo. 2008.
- MITCHELL, C. W. Terrain Evaluation. – London: LONGMAN, 1973.

MONICO, João F. Galera. Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações. 2ªed. – São Paulo: Editora UNESP, 2008.

MONKHOUSE, F. J. e SMALL, J. A dictionary of the Natural Environment – London: Edward Arnold, 1978.

MORAIS, S. M.; RODRIGUES, J. B.; SACHSI, L. L. B. DEHLER, N. M. Integração Geológica da Folha Santos 1:250.000 (SF-23-Y-D) Estado de São Paulo. Brasil. Ministério das Minas e Energia. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 1v e Mapa. 1999.

NERY, T.; VIEIRA, B. C. Susceptibility to shallow landslides in a drainage basin in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil, predicted using the SINMAP mathematical model. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol. , p. , 2014.

NUNES, et al. Clima. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Carta Geotécnica do Município de Ubatuba-SP. São Paulo (IPT. Relatório, 28.975). 1991.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). Resoluciones Aprobadas por la Asamblea General Durante su Cuadragésimo Cuarto Período de Sesiones. Disponível em: <http://www.un.org/spanish/documents/ga/res/44/list44.htm#Res>. Acesso em: 08/02/2011.

PEREZ FILHO, A. Sistemas Ambientais e Sociedade. In: OLIVEIRA, M. P. de; COELHO, M. C. N.; CORRÊA, A. de M. (org.) O Brasil, a América Latina e o Mundo: espacialidades contemporâneas – Rio de Janeiro: Lamparina: Anpege, Faperj, 2008.

QUEIROZ FILHO, A. P. Mapas virtuais? In: Lemos A.I.G.; Ross, J.L.S.; Luchiari, A.. (Org.). América Latina: sociedade e meio ambiente. São Paulo: Clacso Livros, 2008, p. 227-241.

QUEIROZ FILHO, Alfredo P. de; RODRIGUES, Marcos. A arte de Voar em Mundos Virtuais – São Paulo: Annablume, 2007, 162p.

ROSA, Roberto. Introdução ao Sensoriamento Remoto – 5ª edição. Uberlândia, MG: Edufu, 2003. 228p.

ROSS, Jurandyr L. S. Geomorfologia: ambiente e planejamento. 8ª Ed – São Paulo: Contexto, 2005.

ROSSINI-PENTEADO, Denise. Mapa de uso e ocupação do solo. In: SOUZA, Célia, R. de G.; RIBEIRO, Gilberto P. (coords.) Aplicação de Geotecnologias na Orientação do Uso da Terra com Base nos Impactos das Mudanças Climáticas Globais: Sub-Bacias Hidrográficas Litorâneas do Estado de São Paulo e do Estado do Rio de Janeiro. 2º Relatório Científico parcial, Instituto Geológico SMA-SP, UERJ e UFF, São Paulo e Rio de Janeiro, 2013. FAPESP e FAPERJ (processo nº 2011/50219-3).

SANTOS, M. Por uma geografia nova, HUCITEC-EDUSP, São Paulo, 1978 (5ª edição: 1996).

SANTOS, M. Técnica, Espaço, Tempo: Globalização e meio técnico-científico informacional, Hucitec, São Paulo, 2008.

SANTOS, M. Território e Sociedade. Entrevista com Milton Santos. Entrevistado por Odette Seabra, Mônica de Carvalho, José Corrêa Leite. Editora Fundação Perseu Abramo, São Paulo, 2000 (2ª edição: 2000).

SANTOS, Milton. [A Natureza do Espaço: técnica e tempo. Razão e emoção.](#) Edição 2. ed. Imprensa [São Paulo : HUCITEC, 1997.](#) 377p.

SANTOS, Rozely F. dos. Planejamento Ambiental: teoria e prática – São Paulo: Oficina de Textos, 2004, 184p.

SASSA, K. e CANUTI, PAOLO. Landslide: disaster risk reduction – Berlin: Springer, 2009.

SEABRA, Odette; CARVALHO, Mônica de; LEITE, José Corrêa. Território e Sociedade: entrevista com Milton Santos – São Paulo: Ed. Fund. Perseu Abramo, 2000 (2ª ed. 2001), 128 p.

SILVA, Ardemirio de B. Sistemas Informações Geo-referenciadas. Campinas, SP: Editora Unicamp, 2003.

SOARES, et al. Vegetação. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Carta Geotécnica do Município de Ubatuba-SP. São Paulo (IPT. Relatório, 28.975). 1991.

SOCHAVA, V. B. O estudo dos Geossistemas. Métodos em Questão, São Paulo, V.16, 1976, p. 1-52.

SOUZA, Célia R. (coord.) 2005. Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o Litoral do Estado de São Paulo (SIIGAL), aplicado ao gerenciamento costeiro. 4º relatório técnico, Instituto Geológico, São Paulo, 2005. FAPESP (processo 1998/14.277-2).

SOUZA, Célia R. de G. et al. Grupos de Pesquisa com Atuação em Desastres Naturais. In: BROLLO, Maria J. (org.) – O Instituto Geológico na prevenção de desastres naturais. São Paulo: Instituto Geológico, 2009, p.47-55.

SUGUIO, Kenitiro. Mudanças Ambientais da Terra – São Paulo: Instituto Geológico, 2008. 336p.

TATIZANA, C. ; OGURA, A.T. ; CERRI, L. E. S. ; ROCHA, M.C.M. . Modelamento numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar no município de Cubatão. In: V Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1987, São Paulo. Anais do V Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1987 (b). p. 237-248.

TATIZANA, C.; OGURA, A.T.; CERRI, L.E.S.; ROCHA, M.C.M. Análise da correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5, São Paulo, v.2, 1987(a). p. 225-236.

TOMINAGA, Lúcia K. Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP. 2007. 220f. Tese (Doutorado em Ciências – Geografia Física) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo. 2007.

TOMINAGA, Lúcia K. et al. Cartas de Perigo a Escorregamentos e de Risco a Pessoas e Bens do Litoral Norte de São Paulo: conceitos e técnicas. In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 5, 2004. São Carlos. Anais... São Carlos: ABGE, 2004, p. 205-216.

TOMINAGA, Lúcia K.; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela do (org.) Desastres Naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TOMLIN, C. D. Geographic information systems and Cartographic Modeling. Prentice Hall, New York, 1990.

TRICART, Jean. Ecodinâmica. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria técnica, SUPREN, 1977. 97p.

TRICART, Jean. Ecodinâmica. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria técnica, SUPREN, 1977. 97p.

TURRINI, Maria C.; VISINTAINER, Paola. Proposal of a method to define áreas of landslide hazard and application to na área of the Dolomites, Italy. Engineering geology. V. 50. P.255-265. 1998.

UNESP, 2013 – Disponível em:
<<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09b.html>>. Acesso em: 01 ago. 2014.

VALENTIN, J. L. Ecologia Numérica – Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012.

VAN WESTEN C. J. GISSIZ: Training Package for Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation – Netherlands: ITC Publication, 1993, 245p.

VARGAS, M. História dos Conhecimentos Geotécnicos: Serra do Mar. In: FALCONI, F.F.; NIGRO JUNIOR, A. (org.) *Solos do litoral de São Paulo*. Santos, SP: Mesa Redonda ABMS/ASSECOB, 1994. p. 01-16.

VARNES, D. J. Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice. UNESCO Press, Paris. 1984.

VEDOVELLO, Ricardo. Resgate Histórico da Atuação do Instituto Geológico na Prevenção de Desastres Naturais. In: BROLLO, Maria J. (org.) – O instituto Geológico na prevenção de desastres naturais. São Paulo: Instituto Geológico, 2009, p.1-7.

VEDOVELLO, Ricardo. Zoneamentos Geotécnicos Aplicados à Gestão Ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação - UBCs. 2000. 154f. Tese (Doutorado em Geociências – Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP de Rio Claro, Rio Claro. 2000.

VESENTINI, J. W. Geografia, Natureza e Sociedade. 4ed. – São Paulo: Contexto, 1997

VEYRET, Yvette (org.) Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. Trad. Dilson Ferreira da Cruz. 1ª Ed., 1ª reimpressão – São Paulo: Contexto, 2007. 320p.

VIEIRA, B. C.; FERNANDES, Nelson Ferreira; AUGUSTO FILHO, Oswaldo. Shallow landslide prediction in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. *Natural Hazards and Earth System Sciences (Print)*, v. 10, p. 1829-2010, 2010.

VIEIRA, B.C.; FERNANDES, N.F. (2004) Landslides in Rio de Janeiro: the role played by variations hydraulic conductivity in soil. *Hydrological Processes*, v. 18, p. 791-805, 2004. DOI: 10.1002/hyp.1363

VIEIRA, Bianca. Previsão de escorregamentos translacionais rasos na serra do mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas. 2007. 180f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro. 2007.

VILLAÇA, Flávio. Espaço Intra-Urbano no Brasil – São Paulo: Studio Nobel: FABESP: Lincoln Institute, 2001. 374p.

WOLLE, C. M.; CARVALHO, C. S.. Deslizamentos em encostas na Serra do Mar, Brazil. *Revista Solos e Rochas*, Vol.12, Colômbia, p. 27-36, 1989.

ZACHARIAS, Andrea Ap. A Representação Gráfica das Unidades – São Paulo: Editora UNESP, 2010, 211p.

ZUQUETTE, Lázaro V. GANDOLFI, Nilson. Cartografia Geotécnica – São Paulo: Oficina de Textos, 2004, 190p.

10 ANEXOS

MAPA DE DECLIVIDADE (NUMÉRICO)

MAPA DE DENSIDADE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS (NUMÉRICO)

MAPA DE DENSIDADE DRENAGEM (NUMÉRICO)

MAPA DE DRENAGEM

MAPA DE EXCEDENTE HÍDRICO (NUMÉRICO)

MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO À ESCORREGAMENTOS - IG

SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS - IPT

LANDSAT 05 Cobertura Vegetal e Uso da Terra

MAPA DE NDVI OPOSTO (NUMÉRICO)
Cobertura Vegetal e Uso da Terra

MAPA DE NDVI (NUMÉRICO)
Cobertura Vegetal e Uso da Terra

MAPA DE PERIGO ANALÍTICO

MAPA DE PERIGO ANALÍTICO (NUMÉRICO)

MAPA DE PERIGO SINTÉTICO

MAPA DE PERIGO SINTÉTICO (NUMÉRICO)

GRADE IRREGULAR TRIANGULAR - TIN

MAPA TOPOGRÁFICO

UNIDADES BÁSICA DE COMPARTIMENTAÇÃO - UBC