

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

JULIANA DA COSTA MANTOVANI

**Geomorfologia Aplicada aos Estudos de Impacto Ambiental de
empreendimentos rodoviários: subsídios aos órgãos ambientais
brasileiros**

São Paulo
2015

JULIANA DA COSTA MANTOVANI

Geomorfologia Aplicada aos Estudos de Impacto Ambiental de empreendimentos rodoviários: subsídios aos órgãos ambientais brasileiros

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

Área de concentração: Geomorfologia

Orientadora: Profa. Dra. Cleide Rodrigues

De acordo: ____/____/____

Assinatura da orientadora:

São Paulo
2015

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

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

Mg Mantovani, Juliana da Costa
Geomorfologia Aplicada aos Estudos de Impacto Ambiental de Empreendimentos Rodoviários: subsídios aos órgãos ambientais brasileiros. / Juliana da Costa Mantovani ; orientadora Cleide Rodrigues. - São Paulo, 2015.
203 f.

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

1. Geomorfologia Antropogênica. 2. Geoindicadores. 3. Geologia de Engenharia para construção de estradas. 4. Rodoanel Mário Covas (SP-021). 5. Região Metropolitana de São Paulo. I. Rodrigues, Cleide, orient. II. Título.

Nome: Mantovani, Juliana da Costa.

Título: Geomorfologia Aplicada aos Estudos de Impacto Ambiental de empreendimentos rodoviários: subsídios aos órgãos ambientais brasileiros.

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

Área de concentração: Geomorfologia

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição _____

Julgamento _____

Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____

Julgamento _____

Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____

Julgamento _____

Assinatura _____

Aos avós Seu José, Dona Raimunda, Seu Canela e Dona Noca
E ao meu tio José Carlos (Carlito)
Pela ajuda lá de cima

AGRADECIMENTOS

A tarefa de escrever um agradecimento após três anos de trabalho, ao longo dos quais diversas pessoas contribuíram, de uma forma, ou de outra, com maior ou menor grau de intensidade; é algo complexo e de grande responsabilidade, para não deixar ninguém de fora.

Ainda assim, o processo de elaboração deste tópico indispensável de qualquer pesquisa, mostra-se sempre muito prazeroso e satisfatório, por realizarmos um exercício de recapitulação de tudo que passamos e de todas as pessoas que nos auxiliaram ao longo deste período.

Neste processo, surgiram alguns nomes e grupos de amigos, mentores e familiares que se mostraram indispensáveis e de grande inspiração. Assim, gostaria de agradecer:

À toda a minha família, em especial aos meus pais Marilene e Mário Mantovani, pelo apoio, paciência nos momentos de maior estresse e pelas constantes conversas sobre temas relacionados à pesquisa.

À Professora Doutora Cleide Rodrigues, pelas grandes contribuições, orientações e paciência ao longo destes três anos de pesquisa, mas também pela confiança e parceria neste trajeto, que remonta aos tempos de graduação, com a participação em projetos de extensão.

Aos amigos Meríssea Prioste, Clarisse Romeiro, Ellen Mainardes, Luiza Delamari, Ana Gebrim, Camila Higa, Marcelo Brizzotti, Alane Lima e Alexandre Ortolani, que apoiaram o desenvolvimento e superação desta etapa, aconselharam com base em experiências similares e relevaram os diversos desaparecimentos súbitos e recusas a compromissos e programas coletivos.

Aos amigos do Laboratório de Geomorfologia do DG/USP e do estágio supervisionado em Hidrografia, pelo apoio e pelos bate-papos acompanhados de muito café.

Ao pessoal do Grupo de Estudos do Laboratório de Geomorfologia (Gelgeo), pelas discussões e leituras realizadas, de grande relevância e contribuição para esta pesquisa.

Aos amigos de equipe de Geomorfologia Fluvial do Plano de Manejo dos Parques Naturais Municipais do Rodoanel Trecho Sul, pelos ensinamentos e pela amizade, que extrapolou o contexto do projeto e permanece nos dias atuais.

Aos Professores Doutores Jurandyr Luciano Sanches Ross e Isabel Cristina Moroz Caccia-Gouveia, pelas diversas contribuições durante o exame de qualificação, auxiliando por meio de seus comentários e dicas, no direcionamento da pesquisa e na definição de seus objetivos.

Aos Professores Doutores Lylian Coltrinari, Alfredo Pereira de Queiroz Filho, Sidneide Manfredini e Fernando Nadal Junqueira Villela, pelas contribuições com leituras e dicas fundamentais à elaboração desta pesquisa, no contexto das disciplinas de pós-graduação, ingresso no Programa e participação em projetos.

Aos amigos de pós-graduação Helga Grigorowitschs, Rodolfo Luz, Bárbara Berges, Yuri Tadashi e Gizele Prado, pelas dicas, troca de materiais e companheirismo.

Aos amigos do Departamento de Geoprocessamento da CPEA, que acompanharam, ainda que à distância, grande parte das etapas de execução desta pesquisa, auxiliando na obtenção de materiais e base cartográfica, e com conselhos diversos.

Aos alunos, professores e coordenadores do Curso Técnico de Geoprocessamento do Senac, pelas conversas, dicas, compreensão e alívios nos momentos de maior tensão e correria.

À Capes pelo fomento financeiro e apoio à realização desta pesquisa.

E, finalmente, ao Yuri Veneziani, pelo companheirismo nos momentos cruciais desta pesquisa, pelas discussões sobre temas relevantes ao seu desenvolvimentos, pela compreensão neste período e pela parceria ao longo de todos esses anos.

RESUMO

MANTOVANI, J. C. **Geomorfologia Aplicada aos Estudos de Impacto Ambiental de empreendimentos rodoviários: subsídios aos órgãos ambientais brasileiros**. 2015. 203 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

O crescimento constante no número de empreendimentos rodoviários licenciados em âmbito federal desde a instituição da Resolução Conama nº 001 de 1986, que estabeleceu a obrigatoriedade de elaboração de EIA e RIMA para implantação de empreendimentos com significativo impacto ambiental, demonstra a importância deste tipo de intervenção no território, particularmente contexto nacional. Tendo em vista suas características de construção e expressão espacial, os impactos associados à sua implantação e operação são extremamente relevantes em termos espaciais e de volume de material mobilizado. Contraditoriamente, os EIAs e demais estudos ambientais de avaliação e monitoramento do impacto de rodovias apresentam, usualmente, abordagens genéricas e introdutórias, no que tange ao meio físico e, mais especificamente, à geomorfologia, negligenciando a magnitude e expressão espacial e temporal das mudanças, efeitos e impactos deste tipo de intervenção. A presente pesquisa objetivou identificar e caracterizar, qualitativa e quantitativamente, com base nos referenciais da ciência geomorfológica, a natureza das mudanças, efeitos e impactos potenciais de rodovias no meio físico, em relação às formas, materiais e processos afetados por sua implantação. Realizou-se pesquisa bibliográfica abrangendo a Geomorfologia Aplicada, Geomorfologia Antropogênica, Cartografia Geomorfológica, Geologia de Engenharia, Geotecnia e manuais de avaliação de impactos no meio físico, levantando conceitos-chave destas disciplinas, as diferentes abordagens ao tema e sistematizando os principais efeitos e impactos no sistema geomorfológico. Esta sistematização subsidiou a seleção e proposição de geoindicadores para avaliação de impactos, estruturada em quadro síntese apresentado como resultado metodológico. Para validação dos geoindicadores propostos, selecionou-se como universo de análise, bacia hidrográfica localizada em São Bernardo do Campo, segmentada pelo Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas (SP-021). Diante das características de sua intervenção e da disponibilidade de insumos para análise, selecionou-se seis recortes temporais, representativos das fases pré-intervenção, intervenção ativa e intervenção consolidada. Obtiveram-se como resultados, valores e descrições derivadas da aplicação dos geoindicadores em cada fase, bem como quadro síntese, com os resultados de todos os períodos, possibilitando a comparação e análise dos geoindicadores para avaliação da magnitude dos efeitos e impactos geomorfológicos da implantação e operação da rodovia na área de estudo. Ao final realizou-se considerações sobre a metodologia empregada, apontando suas vantagens, limitações e encaminhamentos para pesquisas futuras. De modo geral, os resultados contribuíram para o conhecimento geomorfológico dos efeitos e impactos no meio físico associados a esta categoria de intervenções, para o aprimoramento e maior inserção da Geomorfologia Antropogênica e da proposta dos geoindicadores nesta discussão, assim como, para as possibilidades de complementação e adoção de novas abordagens nas avaliações de impactos e estudos do meio físico.

Palavras- Chave: Geomorfologia Antropogênica, Geoindicadores, Geologia de Engenharia, Sistema Rodoviário, Impacto Ambiental, Rodoanel, Região Metropolitana de São Paulo.

ABSTRACT

MANTOVANI, J. C. **Applied Geomorphology to Environmental Impact Assessment of Road Structures: aiding for Brazilian environmental organs.** 2015. 203 f. Dissertation (Master's Degree) – Department of Geography, University of São Paulo, São Paulo, 2015.

The constant growth of licensed road projects, at the national level, since CONAMA's established the obligation of EIA/RIMA for the implementation of projects with significant environmental impact (Resolution 001/86), demonstrates the importance of these interventions in the territory, particularly in the Brazilian context and its landscape. Given their building technical features and spatial expression, the impacts associated with its implementation and operation are extremely relevant in spatial terms and related to the volume of material. Incoherently, EIAs and other environmental assessments (e.g. monitoring projects of the impact of roadways), regarding the physical environment - more specifically, concerned with geomorphology - usually analyze this issue with generic and introductory approaches, neglecting the magnitude, spatial and temporal expressions of changes derived from this type of intervention. This research intended to identify and characterize (qualitatively and quantitatively), based on the conceptual tools of geomorphological science, the nature of changes, effects and impacts of highways on geomorphological systems (forms, materials and processes) produced by its implementation. A great literature research was made covering Applied Geomorphology, Anthropogenic Geomorphology, Geomorphological Mapping, Engineering Geology, Geotechnical and Impact Assessment Manuals. Key concepts of these disciplines were raised and an important effort was made to identify different approaches of the subject and to systematize the main effects and impacts on geomorphological systems. This systematization supported the selection and proposition of geoindicators for impact assessment, which was structured in a summary table presented as a methodological result. In order to validate the geoindicators proposed, we applied them on a watershed located in São Bernardo do Campo (São Paulo, Brazil), segmented by the Southern Section of Mário Covas beltway (SP-021). Considering the characteristics of the intervention and the availability of inputs for analysis, we selected six temporal scenarios which are representative of the phases of roadways implementation: pre-intervention, active intervention and consolidated intervention. As a result, values and descriptions derived from the application of geoindicators at each phase were explored, as well as summary table with the results achieved for all periods was formulated, allowing comparison and analysis of geoindicators to assess the magnitude of geomorphic effects and impacts in the study area. Finally, discussions on the methodology applied, were developed, pointing its advantages, limitations and possibilities for future research. Generally, we considered that the results obtained were important and contributed to the geomorphological knowledge of the effects and impacts on the physical environment associated with this category of interventions. They were also valuable for improvement and greater inclusion of Anthropogenic Geomorphology and the proposal of geoindicators, as well as for supplementary possibilities and adopting of new approaches in impact assessments and studies of the physical environment.

KEY-WORDS: Anthropogenic Geomorphology, Geoindicators, Engineering Geology, Road System, Environmental Impacts, Rodoanel, Metropolitan Region of São Paulo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA.....	19
3. METODOLOGIA	24
3.1. Referencial Teórico-Metodológico	24
3.1.1. Geomorfologia Antropogênica	24
3.1.2. Cartografia Geomorfológica.....	32
3.1.3. Cartografia Geomorfológica Evolutiva	33
3.1.4. Previsão em Geomorfologia	37
3.1.5. Geomorfologia Aplicada ao Gerenciamento Ambiental.....	39
3.1.5.a. Geomorfologia e Planejamento Ambiental	43
3.1.6. Avaliação de Impacto Ambiental.....	44
3.9.1.a. Definição e Histórico Internacional.....	44
3.9.2.b. Histórico no Brasil.....	48
3.1.7. Engenharia de Estradas	52
3.1.8. Geomorfologia e Engenharia de Estradas	54
3.1.8.a. Impacto Geomorfológico de Estradas	62
3.1.8.b. Efeitos do Meio Físico nas Estruturas Rodoviárias	66
3.1.9. Mudanças Ambientais e Geoindicadores.....	75
3.2. Caracterização da Área de Estudo	80
3.2.1. Meio Físico	82
3.2.2. Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas	112
3.3. Procedimentos	120
4. RESULTADOS	140
4.1. Resultado Metodológico: Quadro de Geoindicadores.....	141
3.1.Resultados aplicados à bacia hidrográfica.....	150
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	194
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	199

APÊNDICES

Apêndice A – Mapa de Uso da Terra – 1962

Apêndice B – Mapa de Uso da Terra – 2007

Apêndice C – Mapa de Uso da Terra – 1º semestre de 2009

Apêndice D – Mapa de Uso da Terra – 2º semestre de 2009

Apêndice E – Mapa de Uso da Terra – 2010

Apêndice F – Mapa de Uso da Terra – 2012

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Total de licenças emitidas pelo Ibama durante o período de 1988 a 2013.....	12
Figura 2 – Licenças expedidas pelo Ibama para empreendimentos lineares entre 1993 e 2014	13
Figura 3 – Localização da bacia hidrográfica em estudo.....	22
Figura 4 – Posição do impacto ambiental em relação aos cenários considerados na aia	45
Figura 5 – Estrutura básica do eixo viário de uma estrada.....	53
Figura 6 – Localização da área de estudo	81
Figura 7 – Geologia da área de estudo.....	83
Figura 8 – Inserção da área de estudo em relação à seção geológica da Serra da Cantareira ao Maciço de Santos (Ab’Saber, 1957).....	84
Figura 9 – Área de estudo e mapa geomorfológico de São Paulo (Ross; Moroz, 1997)	86
Figura 10 – Inserção da área de estudo em relação às unidades geomorfológicas da RMSP.....	87
Figura 11 – Mapa hipsométrico.....	88
Figura 12 – Perfil topográfico a-a’	89
Figura 13 – Perfil topográfico b-b’	89
Figura 14 – Perfil topográfico c-c’.....	89
Figura 15 – Perfil topográfico do eixo do rodoanel	91
Figura 16 – Perfil topográfico da interligação rodoanel/rodovia anchieta	91
Figura 17 – Mapa clinográfico	93
Figura 18 – Morfologias semi-preservadas.....	95
Figura 19 – Hidrografia na área de estudo	104
Figura 20 – Macrounidades pedológicas abrangidas pela área de estudo.	107
Figura 21 – Localização dos postos pluviométricos analisados	109
Figura 22 – Localização do Rodoanel Mário Covas (SP-021).....	113
Figura 23 – Localização do Trecho Sul do Rodoanel	114
Figura 24 – Localização e visada das fotografias aéreas oblíquas obtidas a partir de sobrevoo de helicóptero realizado pela Emplasa. A enumeração está conforme os títulos das figuras que seguem abaixo.....	118
Figura 25 – Perspectiva aérea oblíqua 1 do eixo do Rodoanel Mário Covas Trecho Sul na área de estudo.	118
Figura 26 - Perspectiva aérea oblíqua 2 do Jardim Jussara.	119
Figura 27 - Perspectiva aérea oblíqua 3 do canteiro de obra principal do Rodoanel.....	119
Figura 28 - Perspectiva aérea oblíqua 4 da área de estudo.....	120
Figura 29 – Fluxograma contendo as principais etapas de realização da pesquisa.	122
Figura 30 – Mapa de evolução dos usos da terra.....	163
Figura 31 – Evolução da faixa com os usos da terra diretamente associados à implantação da rodovia	169
Figura 32 - Visão dispositivos de drenagem 1	176
Figura 33 - Visão dispositivos de drenagem 2	176
Figura 34 - Visão dispositivos de drenagem 3.....	176
Figura 35 - Visão dispositivos de drenagem 4	176
Figura 36 – Visão dispositivos de drenagem 5	178
Figura 37 – Visão dispositivos de drenagem 6	178
Figura 38 - Registro de processos erosivos 1	186
Figura 39 - Registro de processos erosivos 2.....	186
Figura 40 – Registro de processos erosivos 3.....	186
Figura 41 – Registro da planície fluvial do curso d’água principal.....	187

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantificação das áreas relativas às morfologias semi-preservedas.....	99
Tabela 2 – Quantificação dos perímetros das morfologias semi-preservedas.....	99
Tabela 3 – Perímetros das morfologias semi-preservedas lineares.....	100
Tabela 4 – Quantificações de terraplenagem e demais aspectos na intersecção entre o Trecho Sul do Rodoanel e a Rodovia Anchieta.....	117
TABELA 5 – Áreas (ha) e percentuais ocupado por cada categoria de uso da terra mapeados nos recortes temporais na bacia hidrográfica estudada.....	165

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Recortes temporais e matérias utilizados.....	23
Quadro 2 – Síntese dos impactos potenciais nos sistemas geomorfológicos associados às intervenções de rodovias.....	70
Quadro 3 – Legenda empregada no mapeamento das morfologias semi-preservedas, apresentando unidade, descrição, simbologia e visão vertical.....	96
Quadro 4 – Parâmetros morfométricos obtidos à bacia hidrográfica em estudo.....	105
Quadro 5 – Postos pluviométricos analisados e informações pertinentes.....	110
Quadro 6 – Síntese dos dados pluviométricos das estações selecionadas para análise.....	110
Quadro 7 – Bases cartográficas utilizadas para elaboração dos mapeamentos.....	125
Quadro 8 – Legenda empregada nos mapeamento de uso da terra, apresentando a categoria, descrição, simbologia e visão vertical.....	131
Quadro 9 - Detalhamento dos usos da terra no Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas inserido na área de estudo.....	134
Quadro 10 - Geoindicadores de avaliação de impactos e mudanças ambientais aplicáveis a cada fase de implantação de rodovias.....	142
Quadro 11 – Geoindicadores aplicados à fase pré-intervenção - Morfologias Semi-preservedas (1962).....	152
Quadro 12 – Geoindicadores aplicados à fase pré-intervenção - Morfologias Antropogênicas Pré-Intervenção (2007).....	158
Quadro 13 – Geoindicadores aplicados à fase de Intervenção Ativa - Morfologias Antropogênicas (2009 e 2010).....	171
Quadro 14 – Geoindicadores aplicados à fase de Intervenção Consolidada - Morfologias Antropogênicas (2012).....	181
Quadro 15 – Valores obtidos os geoindicadores aplicados para cada fase de intervenção do empreendimento na bacia hidrográfica estudada.....	189

SIGLAS

AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CEQ	Conselho de Qualidade Ambiental
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
COGEOENVIRONMENT	Comissão de Ciências Geológicas para o Planejamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente

CONSEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DERSA	Desenvolvimento Rodoviário S.A.
DNIT	Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte
EIA	Estudos de Impacto Ambiental
EAS	Estudo Ambiental Simplificado
EIS	<i>Environmental Impact Statement</i>
EMPLASA	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ITC	International Training Centre for Aerial Survey (atual Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, da Universidade de Twente, Holanda)
IUGS	<i>International Union of Geological Sciences</i>
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Previa
LiDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
MDT	Modelo Digital de Terreno
NEPA	<i>National Environmental Policy Act</i>
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PBA	Plano Básico Ambiental
RAP	Relatório Ambiental Preliminar
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
UGI	União Geográfica Internacional
UE	União Europeia
UHE	Usina Hidrelétrica

1. INTRODUÇÃO

O licenciamento ambiental de empreendimentos no Brasil, necessário à construção, implantação e operação de infraestruturas e atividades com relevantes impactos no ambiente, remonta ao final da década de 80, com a instituição da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) nº 001 de 23 de janeiro de 1986, que estabelece a obrigatoriedade de elaboração e apresentação de Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) à implantação de tais empreendimentos.

Desde então, o número de processos de licenciamento tem aumentado significativamente, em escala nacional, estadual e na esfera dos municípios, tendo sido acompanhado pelo incremento de consultorias ambientais e profissionais relacionados.

Empreendimentos industriais, portuários, retroportuários, lineares (dutos, rodovias, linhas de transmissão e ferrovias), aterros sanitários, entre outros; são exemplos de atividades para as quais é exigida a elaboração de estudos ambientais, com conteúdo mínimo definido de acordo com as características do empreendimento, conforme estabelecido pela Resolução Conama 001/1986 e demais legislações vigentes.

De modo geral, o processo de licenciamento ambiental envolve a concessão de licenças, pelo órgão ambiental, para cada fase do empreendimento – projeto, implantação e operação – e demais atividades associadas, como supressão da cobertura vegetal, captura de fauna, pedidos de prorrogação das licenças, estabelecimento de programas diversos de monitoramento e mitigação dos impactos associados ao empreendimento.

Durante o ano de 2014, apenas no âmbito federal de licenciamento ambiental e sob responsabilidade do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), foram expedidas 813 licenças ambientais, abrangendo desde autorizações para projeto, construção e operação, até autorizações específicas, como para pesquisas sísmicas, abertura de picadas e captura, coleta e transporte de material biológico, dentre outros (IBAMA, 2015).

Desde a publicação da Resolução Conama nº 001/1986, o número de licenças emitidas cresceu nove vezes entre 1998¹ e 2014, variando de um total de 91 a 813 licenças, para os respectivos anos, totalizando 6.656 licenças desde a instituição desta base legal. O gráfico abaixo (Figura 1) apresenta a evolução do número de licenças emitidas pelo órgão neste período.

¹ Nos anos anteriores, de 1988 a 1998, o número de licenças anuais emitidas pelo Ibama foi abaixo de 5, sendo considerado um dado pouco significativo para efeito de comparação. Cabe destacar que o Registro de Licenças Emitidas não apresenta dados para os anos de 1990 e 1995, e que a primeira licença expedida pelo órgão remonta a data de 1988, referente à Licença Prévia da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio, atualmente em implantação do rio Madeira, em Rondônia.

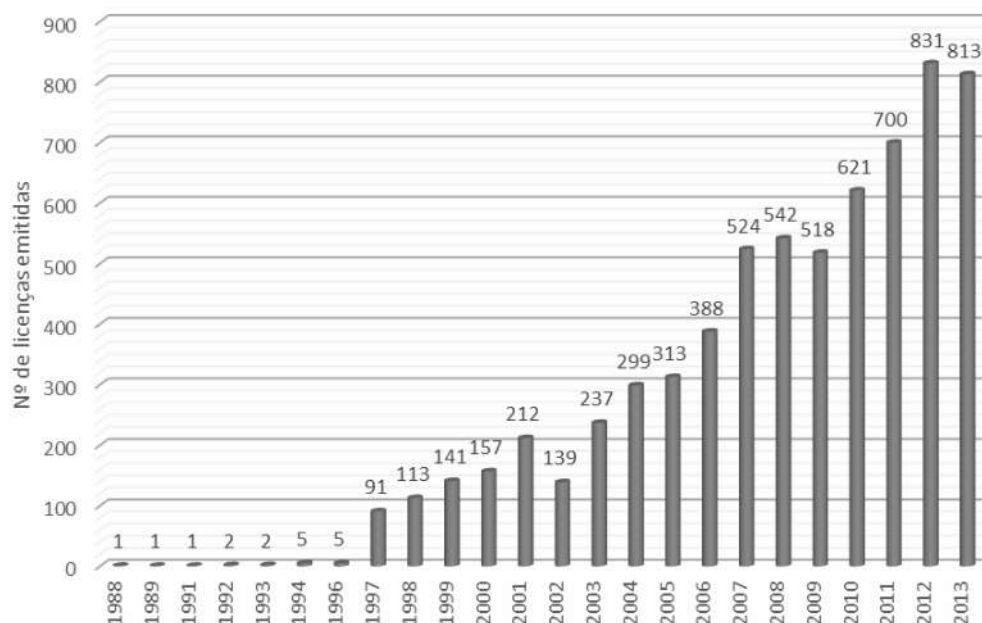


Figura 1 – Total de licenças emitidas pelo Ibama entre 1988 e 2014

Observações: O total de licenças envolve todas as categorias de empreendimentos e todos os tipos de licenças emitidas no período.

Fonte: IBAMA, 2015

Organização: MANTOVANI, J. C. (2015)

Tal crescimento está principalmente associado ao próprio incremento no número de empreendimentos implantados e em projeto no país desde 1986 e também devido à necessidade de cumprimento das exigências crescentes dos órgãos licenciadores, com a implantação de instrumentos mais rigorosos de fiscalização e penalidades, assim como dos mercados consumidores, que passaram a exigir maiores compromissos ambientais por parte das empresas.

Neste período, os empreendimentos lineares (rodovias, ferrovias, dutos e linhas de transmissão) obtiveram um crescimento igualmente expressivo, da ordem de onze vezes o valor observado no ano de 1998, em que foram emitidas 29 licenças, em comparação com as 344 licenças emitidas em 2014. Ainda com base no histórico de licenças emitidas, é possível verificar a representatividade deste setor em relação às demais categorias envolvidas nas licenças, uma vez que desde 1998 os empreendimentos lineares representaram, em média, 40,5% do total de licenças emitidas no ano, demonstrando sua importância e recorrência nos projetos em desenvolvimento no país.

Em termos espaciais, tais empreendimentos merecem igual destaque, tendo em vista sua extensão e área ocupada no território, podendo abranger diversos municípios ou mesmo mais de um Estado; e também, devido à expressão espacial dos impactos diretos e indiretos resultantes de sua implantação. Como exemplos da exportação de impactos, é possível citar os processos erosivos deflagrados a partir de diversas ações diretas na fase construtiva, com a abertura de cortes e aterros e a consequente produção de novas

morfologias. Outros efeitos das ações diretas são, ainda, o aumento dos fluxos superficiais, a contaminação dos recursos hídricos, entre outros, cuja magnitude e extensão os tornam relevantes em relação aos demais tipos de empreendimentos, com impactos espacialmente mais restritos.

Dentre os empreendimentos lineares, podem ser ressaltadas as rodovias, cujo número de licenças emitidas entre 1998 e 2014 cresceu aproximadamente dez vezes, saltando de 12 para 128 licenças, respectivamente. Em relação aos empreendimentos lineares, as rodovias representaram, em média, 32% do total de licenças emitidas para o setor ao longo do período analisado.

A Figura 2, apresenta a evolução do número de licenças expedidas pelo Ibama entre 1993 e 2014, destacando a representatividade de cada tipo de empreendimento que compõe este grupo de intervenções.

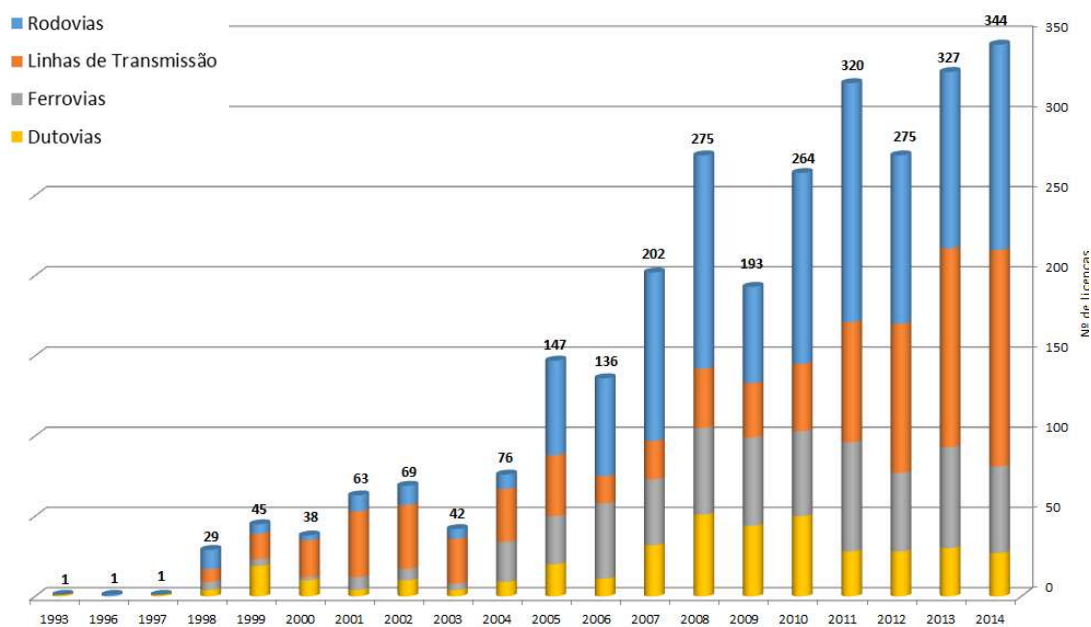


Figura 2 – Licenças expedidas pelo Ibama para empreendimentos lineares entre 1993 e 2014

Observações: Os anos de 1995 e 1992 não foram incluídos, pois não constam no Relatório de Licenças Emitidas pelo Ibama. Excluíram-se, ainda, os anos de 1991 a 1988, por não apresentarem licenças referentes aos empreendimentos lineares

Fonte: IBAMA, 2015

Organização: MANTOVANI, J. C. (2015)

Dentre as licenças para empreendimentos rodoviários emitidas em 2014, tem-se a seguinte distribuição regional: 42% para a região sul (54 licenças), 24% para a região

sudeste (30 licenças); com 22% para a centro-oeste (28 licenças); 5,5% para a nordeste (7 licenças); e, por fim, 5% para a região norte (6 licenças)².

Por fim, verificou-se uma concentração maior nas rodovias BR-116 e BR-101, correspondendo a cerca de 15% e 18% do total de licenças emitidas no período. Tal situação pode ser atribuída à extensão destas duas rodovias federais, com obras diversas em vários trechos.

A emissão de licenças ambientais e o conjunto de ações envolvendo sua análise e expedição pelo órgão ambiental competente integram a esfera do licenciamento ambiental que, por sua vez, está inserido nos processos mais amplos de planejamento e gerenciamento do meio ambiente.

O gerenciamento ambiental envolve uma série de fases, escalas, agentes, instituições e instrumentos técnicos, como as Avaliações de Impacto Ambiental, as Análises de Risco Ambiental, planos e programas de manejo e recuperação de áreas degradadas, auditorias ambientais, investigação de passivos ambientais, entre outros.

Em todos estes aspectos e fases do gerenciamento ambiental, a Geografia, enquanto ciência dedicada ao estudo da interação entre sociedade e natureza, apresenta possibilidades de contribuição ainda não plenamente exploradas, podendo oferecer significativo enriquecimento do processo como um todo e, sobretudo, na elaboração e avaliação de instrumentos técnicos específicos.

Da mesma forma, a geomorfologia, ciência dedicada ao estudo das formas, processos e materiais existentes na superfície terrestre e sua dinâmica atual e pretérita, pode desempenhar um papel de destaque no processo de planejamento e gerenciamento ambiental, principalmente quanto à avaliação do meio físico. De acordo com Rodrigues (1997), autores como Tricart (1962, 1965, 1970), Hart (1986) e Hooke (1988), entre outros, apontam possibilidades de contribuição do geomorfólogo neste processo, atuando em colaboração com outras ciências afins, como a geologia, pedologia, hidrologia e biologia; e em etapas diversas, por meio dos conhecimentos e técnicas da geomorfologia pura e aplicada.

Alguns autores, inclusive, apontam a participação da geomorfologia como uma forma de redução dos altos investimentos de tempo e dinheiro na realização deste processo de avaliação e gerenciamento ambiental, podendo atuar como uma forma de reconhecimento do território, de inventário dos recursos naturais, de estudo de alternativas, entre outros; e, principalmente, como uma base para planejamento das futuras etapas e da necessidade de levantamentos mais precisos, como no caso dos mapeamentos pedológicos e prospecções

² Foram observadas três licenças expedidas para empreendimento abrangendo mais de uma região, referente à BR-163, estendendo-se do município de Guarantã, no Estado de São Paulo, à Rurópolis, no Pará.

geotécnicas (RODRIGUES, 1997; ROSS, 1990, 1995; RODRIGUES; CACCIA-GOUVEIA, 2013; TRICART, 1962, 1965, 1970; COOKE e DOORNKAMP, 1990).

Neste sentido, a cartografia geomorfológica, por apresentar informações sobre as formas do relevo, em relação à sua configuração (morfografia), medidas (morfometria), origem (morfogênese), idade (morfochronologia), materiais e processos atuantes (morfodinâmica); possui grande potencial de contribuição, sobretudo na interface com o planejamento ambiental, a engenharia civil e, mais especificamente, a engenharia de estradas.

Apesar de sua reconhecida importância na literatura em relação ao diálogo com o gerenciamento ambiental, em termos práticos, nos instrumentos técnicos e estudos ambientais que integram a fase de planejamento, a geomorfologia e a geografia física, de modo geral, desempenham papel reduzido diante de sua potencial contribuição (RODRIGUES, 1997).

Dentre os documentos de análise para licenciamento ambiental, destacam-se os Estudos de Impacto Ambiental (EIA), os quais possuem como objetivo realizar a previsão dos impactos ambientais associados à implantação de usos com significativas consequências ao meio ambiente, bem como propor medidas para prevenção e mitigação de tais impactos. Nos EIAs, a geomorfologia e as demais disciplinas que se dedicam ao estudo do sistema ambiental físico, são abordadas em capítulos específicos do diagnóstico ambiental e consideradas na avaliação dos impactos, na proposição dos programas e medidas, e em demais capítulos, como o estudo de alternativas locacionais dos empreendimentos abordados.

Ainda assim, seu conteúdo mostra-se, por vezes, limitado a abordagens descritivas e caracterizações introdutórias dos estudos, em grande parte, orientadas por Termos de Referência genéricos elaborados pelos órgãos ambientais que conduzem o processo de licenciamento.

Evidentemente, neste cenário, são encontradas exceções, sobretudo no contexto internacional ou associadas a conjunturas favoráveis circunstanciais, que promovem outro tipo de inserção do conteúdo geomorfológico, mais aprofundada e completa.

No que tange à geomorfologia, os diagnósticos ambientais, a avaliação de impactos e as demais análises que compõem estes estudos, limitam-se, em sua maioria, a capítulos genéricos, de contextualização, e ao uso de dados secundários produzidos usualmente em escalas mais abrangentes e pouco compatíveis às necessidades de análise e identificação dos impactos associados à implantação dos empreendimentos.

A falta de conhecimento territorial substantivo, incluindo a carência e deficiência de cartas, mapas temáticos e experimentos em diferentes escalas espaciais e temporais, fornecidos pela academia ou por instâncias governamentais de planejamento, constituem-se

como fator limitante na elaboração e aprofundamento do conteúdo em tais estudos ambientais (RODRIGUES, 1997).

Quando elaboradas em escalas locais e na produção de dados primários, tais estudos se restringem, basicamente, à descrição dos aspectos morfométricos de hipsometria e declividade do sistema geomorfológico abrangido pelo empreendimento; e por vezes, a descrições e análises introdutórias acerca de processos superficiais de vertente, associados ao escoamento, à erodibilidade do solo ou outras variáveis com maior importância nas pesquisas conduzidas em áreas com características semi-preservedas ou naturais.

Neste sentido, a abordagem da geomorfologia antropogênica apresenta-se como potencial pouco explorado de contribuição nestes estudos, oferecendo bases para a compreensão e interpretação da natureza das intervenções associadas aos diferentes empreendimentos, considerando as características e aspectos particulares de cada um. Desta forma, ela pode subsidiar na previsão e projeção de impactos no sistema geomorfológico e no meio físico, na elaboração de estudos ambientais e instrumentos técnicos, bem como, no planejamento físico-territorial e ambiental no todo (RODRIGUES, 1997, 1999, 2004, 2005 e 2010; RODRIGUES; CACCIA-GOUVEIA, 2013).

O meio físico desempenha papel fundamental para empreendimentos rodoviários, desde sua fase de prospecção e planejamento de traçado, na avaliação de rotas com características geométricas mais favoráveis, investimentos efetivos e impactos mais restritos; ao longo da fase de implantação, com as movimentações de terra, a instalação de dispositivos de drenagem e de proteção superficial, entre outras; até o efetivo funcionamento da estrutura viária, englobando ações preventivas e remediadoras dos impactos nos sistemas geomorfológico e físico.

Contudo, ainda que as componentes físicas e a geomorfologia em específico, apresentem um papel importante nos estudos de impacto que avaliam a implantação de tais empreendimentos, nem sempre são abordadas em sua complexidade e contendo o nível de detalhe necessário à uma previsão mais completa e aplicada à realidade do local de implantação.

Diversos autores da ciência geomorfológica e de disciplinas afins, abordam a interação entre a geomorfologia, ou o sistema físico como um todo, e a engenharia civil, compondo áreas específicas dedicadas ao assunto, como a geologia de engenharia e, até mesmo, a geomorfologia de engenharia, conforme termo proposto por Hutchinson (1979, p. 01, apud Cooke; Doornkamp, 1990, p. 11).

As alterações e impactos no sistema geomorfológico associadas à implantação de estradas e rodovias, compõem tal bibliografia, sendo abordadas por importantes autores da disciplina desde meados da década de 70, como o trabalho de Brunnsden et al. (1975)

poucos anos após a instituição das primeiras legislações prevendo a realização de Avaliações de Impacto Ambiental, iniciadas com o *National Environment Policy Act* (NEPA), em 1969, nos Estados Unidos.

Embasados pela abordagem da geomorfologia antropogênica, alguns destes autores, como Nir (1983), ainda considerado um dos fundadores deste campo; apresentam e detalham as principais mudanças e impactos ocasionados por rodovias no sistema geomorfológico e físico, como as mudanças nas morfologias, ocorrência de processos erosivos na interface entre o pavimento e as faixas marginais, transporte de material e contaminação dos cursos d'água no entorno, com materiais provenientes dos canteiros de obra e da rodovia, entre outros.

São abordados, ainda, em bibliografias específicas, formas de previsão e dimensionamento destes impactos, utilizando-se de abordagens e propostas metodológicas, como a dos geoindicadores de mudanças ambientais rápidas e a cartografia geomorfológica retrospectiva (RODRIGUES, 2004, 2005, 2010; RODRIGUES; CACCIA-GOUVEIA, 2013; CLARO, 2013; entre outros).

A presente pesquisa se insere neste cenário, possuindo como objetivo central, identificar e caracterizar a natureza das mudanças, efeitos e impactos³ potenciais que este tipo de intervenção no meio físico e, mais especificamente, no meio tropical úmido, pode ocasionar na paisagem. Para tal, são utilizadas as referências da ciência geomorfológica, principalmente no âmbito das formas, materiais e processos dos sistemas geomorfológicos, direta ou indiretamente afetados pela implantação de tais empreendimentos, e a leitura da antropogeomorfologia, voltada especialmente às ações diretas envolvidas em cada fase de construção e de operação de rodovias.

Para atender estes objetivos amplos, são destacados os seguintes objetivos secundários da presente pesquisa:

- (i) A **proposição de matriz**, com sequência lógica baseada nos sistemas afetados, contendo as principais mudanças, efeitos e impactos no sistema geomorfológico e físico, associadas à implantação da rodovia;
- (ii) Com base nas ações diretas, efeitos e impactos identificados, **proposição de geoindicadores** com contribuições e passíveis de serem utilizados na elaboração de EIAs e RIMAs;

³ Estes três conceitos são compreendidos de forma distinta na presente pesquisa. As mudanças apresentam-se com definição mais abrangente, envolvendo modificações na paisagem em geral. Por sua vez, os efeitos referem-se às mudanças associadas direta ou indiretamente à alguma ação antrópica, no caso, a implantação da rodovia. E, finalmente, os impactos possuem definição similar ao conceito anterior, porém estão associados à sua compreensão enquanto positivos ou negativos. Evitou-se utilizar o termo alteração, por este estar mais relacionado às modificações das propriedades físicas e químicas dos solos, rochas, etc., não previstos nos objetivos da pesquisa.

A fim de atingi-los, a pesquisa dividiu-se nas seguintes etapas: primeiramente realizou-se pesquisa bibliográfica abrangendo campos específicos da ciência geomorfológica e de disciplinas correlatas, selecionados para auxiliar na apropriação de conceitos básicos para compreensão das diferentes abordagens apresentadas por cada área do conhecimento em relação ao tema, e para contato com sistematizações já existentes dos efeitos e impactos associados à implantação de rodovias.

Os campos acessados neste resgate bibliográfico, apresentados no capítulo dos referenciais teórico-metodológicos, referem-se, basicamente, a Geomorfologia Aplicada, Geomorfologia Antropogênica, Cartografia Geomorfológica, Cartografia Geomorfológica Evolutiva, Geotecnia, e Roteiros e Manuais de impactos no meio físico decorrentes de rodovias e de obras da engenharia civil (órgão de licenciamento e órgãos técnicos).

Com base nesta etapa, foram sistematizados em matriz, as principais mudanças, efeitos e impactos de rodovias nos sistemas geomorfológico e físico, organizados segundo lógica específica, baseada nos diferentes subsistemas geomorfológicos afetados.

A elaboração da matriz e os insumos resultantes da pesquisa bibliográfica em especial nos campos da Geomorfologia Aplicada e da Geomorfologia Antropogênica, possibilitaram a elaboração de quadros com geoindicadores passíveis de serem utilizados na avaliação e monitoramento dos efeitos e impactos de rodovias nos sistemas geomorfológicos, organizados de acordo com os subsistemas envolvidos e as diferentes fases de ocorrência (pré, durante e após a intervenção).

Para validação e complementação dos quadros de geoindicadores, selecionou-se como universo de análise, bacia hidrográfica localizada no município de São Bernardo do Campo, na Região Metropolitana de São Paulo, impactada pela implantação de parte do Trecho Sul do anel viário Rodoanel Mário Covas (SP-021) e por alça de acesso à Rodovia Anchieta (SP-150).

Foram selecionados seis recortes temporais (1962, 2007, 1º e 2º semestre de 2009, 2010 e 2012) e mapeadas a morfologia semi-preservada da bacia hidrográfica em estudo e a evolução dos usos da terra ao longo do período. Tais mapeamentos possibilitaram a extração de algumas informações sobre as mudanças ocorridas na área de estudo durante e após a implantação da rodovia, e a aplicação de alguns dos geoindicadores levantados e sistematizados nos quadros.

Ao final, realizou-se avaliação sobre:

- (i) A magnitude dos efeitos e impactos promovidos pela implantação da rodovia nos sistemas geomorfológico e físico da bacia hidrográfica em estudo;
- (ii) E a metodologia utilizada, refletindo sobre a adequação dos recortes espaciais e temporais, bem como dos geoindicadores aplicados.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

Diante do contexto de crescente realização de estudos e avaliações ambientais para licenciamento de empreendimentos do setor rodoviário em território nacional, e das possibilidades de contribuição da geomorfologia neste processo, principalmente se incorporada a variável antrópica e sua dinâmica na paisagem; faz-se de fundamental importância, a realização de estudos e avaliações acerca:

- (i) Das mudanças, efeitos e impactos ambientais associados à implantação destes empreendimentos, nas formas, materiais e processos dos sistemas geomorfológico e físico;
- (ii) Das metodologias, procedimentos e técnicas empregados na avaliação de tais impactos, em especial, nos EIAs e RIMAs;
- (iii) Das escalas espaciais e temporais mais indicadas para sua avaliação e monitoramento
- (iv) Das potencialidades e contribuições da abordagem da Geomorfologia Antropogênica, apoiando-se, em especial, na Cartografia Geomorfológica Evolutiva;
- (v) Da sistematização e aplicação de geoindicadores na avaliação e previsão de efeitos e impactos, com vistas ao enriquecimento destes estudos.

Desta forma, a presente pesquisa possui como objetivo principal: identificar e caracterizar a natureza das mudanças, efeitos e impactos que este tipo de intervenção no meio físico e, mais especificamente, no sistema geomorfológico no meio tropical úmido, acarreta na paisagem, utilizando-se dos referenciais da ciência geomorfológica, principalmente em relação às formas, materiais e processos dos sistemas afetados (fluvial, lacustre, flúvio-lacustre, conjunto e unidades de vertente e bacia hidrográfica) e quanto à leitura das ações diretas envolvidas nas diversas fases de construção de rodovias.

Para tal, a pesquisa se dividiu em três etapas: a primeira dedicada ao levantamento bibliográfico nos campos da Geomorfologia Aplicada, da Geomorfologia Antropogênica, da Cartografia Geomorfológica e Geomorfológica Evolutiva, da Geotecnia e dos roteiros e manuais de orientação às avaliações de impacto de obras de engenharia e, em especial, de rodovias no meio físico.

Os campos abordados na pesquisa bibliográfica possibilitaram, de modo geral:

- (i) A apropriação de conceitos básicos relacionados ao tema;
- (ii) Contato com abordagens e perspectivas de diferentes áreas do conhecimento, e com propostas e sistematizações dos efeitos e impactos nos sistemas físicos associados à implantação de rodovias e de obras de engenharia.

(iii) A proposição de matriz com os principais efeitos e impactos nos sistemas geomorfológicos decorrentes da implantação e operação de rodovias, organizados com base nos diferentes subsistemas geomorfológicos afetados.

A elaboração de tal matriz, associada às apropriações de conceitos-chave, técnicas e procedimentos resultantes da pesquisa bibliográfica, em especial, dos campos da Geomorfologia Antropogênica e da abordagem dos geoindicadores; possibilitou a sistematização, em formato de quadros, de indicadores para avaliação e monitoramento dos efeitos e impactos de rodovias no sistema físico e geomorfológico em geral, e em cada subsistema específico (fluvial, lacustre, flúvio-lacustre, conjunto e unidades de vertente, e na bacia hidrográfica como um todo).

Distinguidos por subsistemas, os geoindicadores foram sistematizados conforme a fase de implantação da rodovia: anterior (pré-intervenção), durante (intervenção ativa) e após (intervenção consolidada), buscando abranger, especificamente, a dinâmica das formas, materiais e processos característicos de cada período.

Para validação e complementação dos geoindicadores inventariados, selecionou-se como universo de análise, bacia hidrográfica localizada no município de São Bernardo do Campo, tributária do reservatório Billings e segmentada transversalmente pelo Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas (SP-021) e pela interligação deste com a Rodovia Anchieta (SP-160).

Além desta finalidade e de subsidiar o objetivo principal, a aplicação na bacia hidrográfica teve como objetivos secundários:

- Refletir se os Estudos de Impacto Ambiental de empreendimentos rodoviários, com base nas metodologias atuais empregadas para diagnóstico e avaliação de impactos no sistema geomorfológico, satisfazem sua complexidade;
- Avaliar as possibilidades de contribuição da geomorfologia antropogênica, da cartografia geomorfológica evolutiva e da abordagem dos geoindicadores na obtenção de resultados mais aderentes à realidade da interação entre os sistemas ambientais físicos e empreendimentos rodoviários.
- Avaliar, apontar e sistematizar os geoindicadores de interesse à avaliação e ao monitoramento dos efeitos e impactos de rodovias nos sistemas geomorfológico e físico.

Diante de tais objetivos, é possível afirmar que, do ponto de vista legal, a pesquisa se justifica enquanto subsídio e orientação à inserção da geomorfologia aplicada nos Estudos de Impacto Ambiental e instrumentos técnicos de planejamento e gestão físico-territorial, apontando suas potencialidades de contribuição à previsão de impactos e mudanças nos sistemas físicos.

Apesar das possibilidades de diálogo da ciência geomorfológica no processo de gerenciamento ambiental, com destaque à área da engenharia civil; a ausência de metodologias específicas para participação do geomorfólogo em tais estudos, problematizada por muitos autores, como Cooke e Doornkamp (1990), resultou, entre outras conseqüências: (i) em sua substituição, por profissionais de outras ciências afins, como geólogos, engenheiros, agrônomos e etc; e (ii) na ausência de legislações específicas e completas sobre os sistemas, processos e parâmetros geomorfológicos a serem abordados em tais estudos, com destaque para os EIAs, estendendo-se à todo o meio físico, cujo conteúdo para as fases de diagnóstico, avaliação de impactos e proposição de medidas e programas ambientais, encontra-se apenas implícito na legislação ambiental do país, conforme destacado por Rodrigues (1997).

Neste sentido, a presente pesquisa também poderá contribuir no aprimoramento das políticas relacionadas à elaboração dos Estudos de Impacto Ambiental e de planejamento e gestão físico-territorial; no estabelecimento de metodologias mais claras, atuais e, eventualmente, aplicadas à ambientes e sistemas geomorfológicos específicos; bem como, no esclarecimento acerca do papel da geomorfologia neste processo e da natureza dos problemas que se colocam diante dos pesquisadores, incrementando a perícia geomorfológica em tais estudos.

Do ponto de vista científico, a pesquisa se justifica enquanto possibilidade de desenvolvimento da ciência geomorfológica e, mais especificamente, da geomorfologia aplicada, sobretudo no que tange à seu diálogo com o planejamento físico-territorial, o gerenciamento ambiental, a engenharia civil e, principalmente, a engenharia de estradas, propondo geoindicadores, parâmetros e recortes temporais, que possibilitem uma completa avaliação e previsão dos impactos e mudanças nos sistemas físicos, associadas à implantação e operação de tais estruturas.

Por fim, à medida em que este estudo pode atuar na esfera legal, no âmbito social se justifica diante das possibilidades de contribuição no processo de gerenciamento ambiental, com destaque ao planejamento físico-territorial e aos Estudos de Impacto Ambiental. Desta forma, pode auxiliar no aprimoramento das etapas de caracterização geomorfológica e do meio físico, na avaliação e previsão dos impactos ambientais nestas duas áreas, na elaboração e monitoramento de medidas preventivas, mitigadoras e compensatórias de tais impactos; assim como, nas bases teóricas, metodológicas e legais que regem a realização de tais estudos e o processo de planejamento e gerenciamento ambiental.

2.1. UNIVERSO DE ANÁLISE

A seleção da bacia hidrográfica em estudo teve como base diversos critérios. Primeiramente, optou-se por abordar área diretamente afetada pela implantação e operação

do Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas, tendo em vista o conhecimento prévio em relação às características do empreendimento e a facilidade na obtenção de material.

Limitada a escolha às áreas localizadas ao longo de seu eixo, buscou-se local com diversidade significativa de intervenções no meio físico, englobando 'Obras de Arte Especiais' (pontes, viadutos, travessias, etc.) e importante volume de movimentação de terra, em cortes e aterros; bem como, área com variedade de morfologias, identificadas visualmente por meio de imagem de satélite no *software Google Earth* e cartas topográficas 1:10.000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A. (Emplasa).

A Figura 3, abaixo, apresenta a localização da bacia hidrográfica em estudo, em relação à RMSP, ao município de São Bernardo do Campo e às cidades do entorno; bem como, sobreposta à imagem de satélite de 2012, utilizada como um dos recortes temporais.

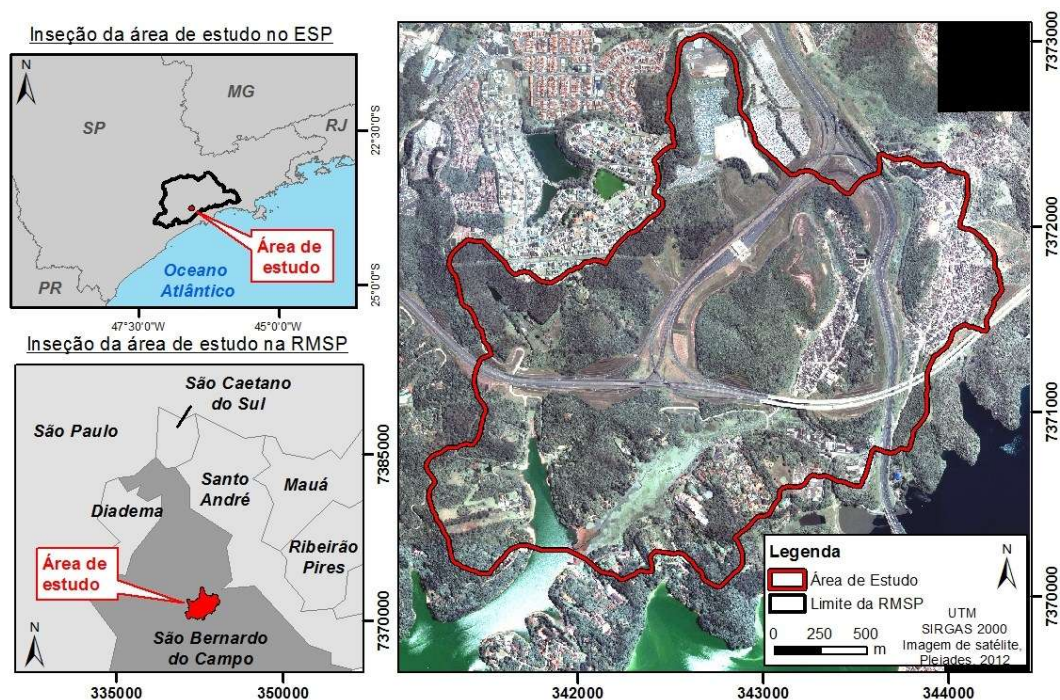


Figura 3 – Localização da bacia hidrográfica em estudo

A área da bacia hidrográfica de 494 hectares (ou 4,94 km²) e sua localização no município de São Bernardo do Campo, no interior da área de proteção aos mananciais da Represa Billings, auxiliou, no detalhamento da avaliação multi-temporal, possibilitada pela dimensão da área de estudo; e na obtenção de bases cartográficas e dados, por tratar-se de local de interesse na Região Metropolitana de São Paulo.

Com base em algumas das principais obras referentes à Geomorfologia Antropogênica e à cartografia geomorfológica evolutiva (LIMA, 1990; RODRIGUES, 2004; RODRIGUES, 2010; RODRIGUES; CACCIA-GOUVEIA, 2013, entre outras), optou-se por trabalhar com

diferentes recortes temporais envolvendo as fases pré-intervenção, intervenção ativa, e pós-intervenção.

Por se tratar de empreendimento rodoviário, com significativas alterações e impactos ao longo da fase de implantação, envolvendo movimentação de terra, instalação dos dispositivos de drenagem e de proteção superficial, entre outras (IPT / FORNASARI FILHO et al., 1992; NIR, 1983), selecionou-se maior número possível de recortes temporais abrangendo esta fase. No entanto, limitações na disponibilidade de imagens (fotografias aéreas e de satélite) e dados, resultaram na redução do número de datas utilizadas para mapeamento e análise desta fase em específico.

Assim, foram adotados seis recortes temporais, sistematizados no Quadro 1, a seguir:

Quadro 1 – Recortes temporais e materiais utilizados.

Ano	Material	Fase
1962	Fotografia aérea, P&B, escala 1:25.000	Morfologia semi-preservada / Pré-intervenção
2007	Fotografia aérea, colorida, escala 1:30.000	Pré-intervenção
1º sem/2009	Imagem de satélite, resolução espacial de 50cm.	Intervenção ativa
2º sem/2009	Imagem de satélite, resolução espacial de 50cm.	Intervenção ativa
2010	Fotografia aérea, colorida, escala 1:15.000	Intervenção ativa
2012	Imagem de satélite, resolução espacial de 1m.	Pós-intervenção

Após a seleção dos recortes, referentes às fases pré-intervenção, intervenção ativa e intervenção consolidada ou de operação da rodovia, foram elaborados mapeamentos dos usos da terra e das morfologias semi-preservadas, estas últimas a partir da fotografia aérea de 1962 e utilizando como base combinação de propostas de legenda de cartografia geomorfológicas.

Os produtos cartográficos subsidiaram a aplicação de parcela dos geoindicadores propostos, tendo em vista as características da área de estudo, do empreendimento e dos materiais disponíveis para elaboração das análises. Realizou-se, também, trabalho de campo para checagem morfologias e categorias de uso da terra, bem como para validação de alguns geoindicadores com maior complexidade e restrições de escala.

As características da bacia hidrográfica em estudo, da intervenção rodoviária avaliada e os procedimentos adotados em cada etapa, são descritos de forma detalhada em capítulo posterior.

3. METODOLOGIA

As etapas realizadas ao longo da pesquisa para derivação dos resultados e alcance de seus objetivos são apresentadas no presente capítulo, envolvendo a pesquisa bibliográfica, universo de análise, caracterização da área de estudo e procedimentos técnicos adotados.

Primeiramente, são abordados os principais campos acessados no resgate bibliográfico, apresentando as obras e autores utilizados como referência em cada tópico e sua contribuição no contexto da pesquisa. O sub-capítulo seguinte dedica-se à definição do universo de análise, detalhando os critérios de seleção da área de estudo e das escalas espaço-temporais utilizadas.

Na seqüência, realiza-se caracterização da área de estudo, apresentando seus aspectos do meio físico, breve descrição sobre o processo de ocupação urbana do entorno e análise mais detalhada sobre a interação com o Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas, destacando as principais características desta rodovia e o Estudo de Impacto Ambiental desenvolvido para seu licenciamento.

Por último, são abordados os procedimentos técnicos utilizados para obtenção e análise dos resultados, apresentando fluxograma com as principais etapas da pesquisa, materiais e base cartográfica, legendas adotadas, entre outros aspectos.

3.1. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

A seleção e definição dos principais conceitos, procedimentos e técnicas, escalas espaciais e temporais, área de estudo e sistemas geomorfológicos enfocados, tiveram como base a realização de ampla pesquisa bibliográfica nos campos da Geomorfologia Aplicada, da Geomorfologia Antropogênica, da Cartografia Geomorfológica e Geomorfológica Evolutiva, da Geologia de Engenharia e da Geotecnia, bem como em roteiros e manuais dedicados à avaliação dos impactos da engenharia civil e, em especial, de empreendimentos rodoviários, no meio físico.

Os principais tópicos acessados são abordados resumidamente nos sub-capítulos a seguir, apresentando as contribuições das obras e autores, e procurando relacioná-las aos objetivos da pesquisa.

3.1.1. Geomorfologia Antropogênica

De acordo com Nir (1983), a inserção do fator antrópico na geomorfologia remonta o fim do século XIX e início do século XX, por meio da contribuição de importantes obras e autores que, por uma série de razões, associadas aos debates e tendências da ciência

geomorfológica de então, foram negligenciadas e deixadas em segundo plano, mantendo a abordagem de forma embrionária.

Conforme levantamentos históricos realizados por Gregory e Walling (1981)⁴, Gregory (1992)⁵ e Nir (1983), e sistematizados por Rodrigues (1997), a obra "*Man and Nature*" ou "*Physical Geography as Modified by Human Action*", escrita por George Perkins Marsh, em 1864, pode ser considerada a primeira referência a reconhecer a atuação do Homem como um fator de intervenção na natureza. Apesar de seu interesse maior no aspecto biológico, o autor se debruça sobre conteúdos associados à geomorfologia, discorrendo a respeito da magnitude das ações humanas sobre os diversos ambientes da superfície, enfocando as influências do desmatamento em diferentes tipos de clima; defendendo a importância de se considerar a intervenção humana nos aspectos relativos à declividade de encostas e intensidade de chuvas; introduzindo uma abordagem quantitativa da atividade geomorfológica humana e, por fim, atuando como uma das bases para o posterior surgimento e evolução do movimento conservacionista, sobretudo nos Estados Unidos (RODRIGUES, 1997; NIR, 1983).

Em segundo lugar, Nir (1983) aponta a obra "De l'influence de l'homme sur la nature" de A. Woeikof, publicada em 1901, como outra importante contribuição, embora menos conhecida. Seguindo as bases inseridas por G. P. Marsh, Woeikof enfocou os efeitos do desmatamento, da drenagem artificial e da irrigação nos processos superficiais da superfície, como a formação de ravinas..

Nir (op. cit) ressalta que, a Grã-Bretanha do início do século XX, marcada pelas inúmeras e vultuosas modificações realizadas por ações antrópicas, observadas nas diversas minerações, ferrovias, estradas, obras de drenagem e áreas urbanizadas, resultaram em avanço na consolidação das bases da geomorfologia ambiental e da, então, incipiente inserção do aspecto antrópico na ciência geomorfológica.

Tal cenário culminou nas contribuições de dois autores de referência no assunto: Ernst Fischer ("Der Mensch als geologischer Faktor"), em 1915, no qual condenou o desinteresse dos geólogos pela intervenção humana e buscou quantificar os materiais utilizados em algumas atividades antrópicas, como nas edificações urbanas; e Robert Lionel Sherlock, em 1922, através da obra "*Man as a Geological Agent*", considerada a mais importante contribuição escrita sobre o assunto e o primeiro tratado a abordar a atividade humana enquanto ação geomorfológica, com esforço de quantificar taxas de materiais e processos em diversas categorias de intervenção antrópica.

⁴ GREGORY, Kenneth John; WALLING, D. E. **Human activity and environmental processes**. New York: Wiley, 1981.

⁵ GREGORY, Kenneth John. **A Natureza da Geografia Física**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand-Brasil, 1992.

Em meados da década de 1930, de acordo com Nir (1983), a questão das intervenções do Homem no ambiente natural havia adquirido maior visibilidade, sobretudo em relação às influências no solo e as conseqüentes medidas de conservação. No entanto, segundo o autor, apesar deste avanço, o excessivo enfoque no solo fez com que outros aspectos da intervenção antrópica permanecessem pouco abordados, com destaque para a geomorfologia urbana.

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, a geomorfologia antropogênica começa a se protagonizar, culminando na obra "*Man's Role in Changing the Face of the Earth*", de William L. Thomas, publicada em 1956. De acordo com Rodrigues (1997) e Nir (1983), tal referência é apontada como um marco histórico na abordagem da geomorfologia antropogênica, ainda que seu reconhecimento tenha ocorrido igualmente de forma tardia. Na obra, Thomas realiza uma retrospectiva das alterações humanas sobre a superfície terrestre, distinguindo, ainda, as modificações em curso e possíveis limites para a intervenção antrópica.

De acordo com Nir (1983), ainda que o número de trabalhos publicados a partir deste período fosse considerado pouco significativo, as principais bases e conceitos da geomorfologia antropogênica haviam sido estabelecidas, resultando na publicação de importantes referências, como Zapletal (1960), Cailleux e Hamelin (1969), Jennings (1965). A década de 1960 foi caracterizada pela reativação de tópicos e assuntos então negligenciados, sobretudo relacionados à influência do desenvolvimento urbano no ambiente, como representado pelo artigo "*Man shapes the Earth*" de E. H. Brown (1970).

Por fim, Nir (1983) destaca que, ao final da década de 70, as bases teóricas e conceituais da geomorfologia antropogênica encontravam-se bem definidas, fazendo com que a abordagem passasse a ser considerada uma disciplina ou braço próprio da ciência geomorfológica. No entanto, de acordo com Rodrigues (1997), a plena compreensão do papel do antrópico no sistema geomorfológico e a previsão dos processos a ele associados, exigia, ainda, o desenvolvimento de abordagens mais complexas e integradas.

A crescente consciência das influências das ações humanas no meio ambiente e da finitude dos recursos naturais, colocaram, durante a década de 60 e 70, a questão ambiental como uma das principais pautas mundiais, resultando na ampliação dos estudos nesta linha, no desenvolvimento de abordagens metodológicas complexas e diversificadas, e na criação de programas internacionais, responsáveis pela padronização de procedimentos de pesquisa, levantamentos de dados e monitoramentos de processos, como exemplificado

pelo grupo de trabalho sobre geoindicadores de mudanças rápidas (COGEOENVIRONMENT⁶).

Neste cenário, a geografia física e a geomorfologia foram gradativamente inseridas no debate, diante da importância atribuída à ação antrópica e à magnitude de seus impactos no ambiente, associadas à noção de risco e à possibilidade de ocorrência de acidentes ambientais. Desta forma, a inserção efetiva da ação antrópica na geomorfologia e seu desenvolvimento enquanto disciplina remonta este período.

Rodrigues destaca (1997), ainda, outras obras fundamentais para a edificação da geomorfologia antropogênica, como “*A Cycle of Sedimentation and Erosion in Urban River Channels*” de Wolman (1967); “*The Mediterranean Valleys*” de Vita-Finzi (1969); “*Man, Vegetation and the Sediment yield of Rivers*” de Douglas (1969); “*Quaternary Relief Development and Man*” de Demék (1973); “*Accelerated Soil Erosion: a problem of man-land relationships*” de Butzer (1974); e “*River Channels*” de Gregory (1981).

De acordo com a autora, além do significativo levantamento histórico da formação da disciplina, a obra de Nir (1983) pode ser considerada como uma das bases da geomorfologia antropogênica, por apresentar orientações elementares sobre a abordagem, considerações metodológicas complementares, pesquisas e dados relevantes a respeito de diversas modalidades de intervenção antrópica, assim como orientações adicionais.

De modo geral, em sua obra, Nir (1983) apresenta a geomorfologia antropogênica (ou geomorfologia antrópica, conforme o termo utilizado pelo autor) enquanto abordagem dedicada à investigação das influências do Homem, concebido enquanto agente geomorfológico, nos sistemas geomorfológico e físico, em suas diversas formas de intervenção. O autor a contrapõe com outras abordagens, muito desenvolvidas na época da publicação da obra, que consideram apenas a influência dos processos geomorfológicos sobre o Homem, como um fluxo unidirecional. O excerto a seguir ilustra parte das ideias defendidas pelo autor.

[...] All these social, technological, and demographical trends govern the intensity of the geomorphological development. We cannot deal successfully with the latter without taking into account the former; in fact, every human activity on (and below) the Earth's surface causes a reaction in the natural environment. Mankind is part of a system in which changes in the geomorphology play a dominant role. Our task is to evaluate his role in the system. (NIR, 1983, p. 10).

Nir (1983) considera o desmatamento como modalidade básica de intervenção antrópica, com base nas colocações e propostas de outros autores, como Tricart (1977),

⁶ *Comission on Geological Science for Environmental Planning* (COGEOENVIRONMENT): Grupo de trabalho da *International Union of Geological Sciences* (IUGS), formado em 1992, com o objetivo de sistematizar e tornar de conhecimento público, indicadores geológicos e geomorfológicos de mudanças ambientais rápidas.

Teller (1968), Birot (1966), Demék (1969), Steinbrenner e Oessel (1955), Menshing (1951) e Douglas (1967), abordando diferentes efeitos e interações entre os sistemas físicos e esta ação antrópica.

Nir (1983) também realiza considerações sobre as diversas modalidades de intervenção antrópica, como a relação entre a geomorfologia e a agricultura, mineração, intervenções nos leitos fluviais, implantação de barragens, efeitos sísmicos, processos costeiros, urbanização e, principalmente, diante dos objetivos da presente pesquisa, a relação entre a geomorfologia e a implantação de infraestrutura de transporte, como rodovias, ferrovias, pontos, hidrovias e dutovias.

As reflexões deste autor sobre o diálogo entre a geomorfologia e as rodovias, em específico, serão exploradas em capítulo posterior, dedicado à interação entre geomorfologia e engenharia.

Além das contribuições de Nir (1983) na consolidação das bases da Geomorfologia Antropogênica, cujo conteúdo permanece sendo utilizado pelos pesquisadores associados a este campo do conhecimento; outros importantes autores se dedicaram à sistematização dos principais conceitos, metodologias e técnicas da disciplina, bem como de seu resgate histórico.

A obra de Szabó, Dávid e Lóczy (2006), por exemplo, procura apresentar o objeto de estudo da Geomorfologia Antropogênica e seu potencial de contribuição à ciência geomorfológica, ao gerenciamento ambiental, e demais áreas, debruçando-se também sobre os principais efeitos de diferentes intervenções antrópicas sobre o sistema físico.

Szabó e Sütő (2011) realizam esforço similar, sistematizando as principais contribuições para a edificação da disciplina e apresentando os mais importantes impactos geomorfológicos associados a diferentes atividades antrópicas, com destaque à mineração. Para os autores, o objeto de estudo da antropogemorfologia poderia ser sintetizado como a investigação das formas e processos modificados ou criados diretamente pelas ações humanas.

Com objetivo de abordar a historiografia das ações antrópicas na superfície terrestre, considerando os diferentes sistemas afetados, Goudie e Viles (1997) apresentam um resgate histórico dos impactos humanos ao longo das diferentes fases de evolução do Homem, perpassando as atividades dos caçadores-coletores, as conseqüências das revoluções agrícolas e industriais, até o cenário atual, com os novos impactos associados ao avanço tecnológicos e às mudanças ambientais em uma escala global.

Para estes autores, a interação entre fatores naturais e antropogênicos influenciando de forma simultânea e constante o ambiente, resultam em uma complexidade para sua compreensão, que deve ser acessada por meio de perspectiva sistêmica das mudanças e da identificação de suas diferentes causas.

No que tange o diálogo entre geomorfologia e urbanização, apontado por Rodrigues (1997) como um dos tópicos mais desenvolvidos da Geomorfologia Antropogênica atual, importantes autores podem ser citados, no contexto internacional e nacional.

São exemplos, as obras de Toy e Hadley (1987), que defendem a compreensão das intervenções humana como perturbações e a adoção de diferentes escalas temporais e espaciais para investigação, de acordo com o processo e o sistema envolvido; Verstappen (1968), Douglas (1983, 1998) e Gupta (1984), Goudie (2006), no contexto internacional.

No cenário nacional, destaca-se as contribuições de Lima (1990) que, debruçada sobre as mudanças e efeitos geomorfológicos resultantes da ocupação urbana na bacia hidrográfica do Ribeirão Guavirutuba, contribuinte da Represa Guarapiranga, no município de São Paulo, e a obtenção de indicadores e taxas de processos superficiais associados à urbanização.

Silva (2005) realizou investigações nesta mesma bacia hidrográfica, abordando os efeitos morfológicos da urbanização no sistema de remanso da Represa, durante período de cerca de 100 anos, e comparando com os resultados obtidos para outra bacia hidrográfica, com ocupação urbana incipiente e características mais preservadas.

No Brasil, a abordagem geomorfológica antropogênica foi explorada particularmente em ambientes urbanos na Região Metropolitana de São Paulo, fazendo com que o reconhecimento dos impactos diversos derivados de modalidades urbanas e diferentes parâmetros de análise de perturbação desta ocupação fossem esmiuçados. Dentre as principais contribuições recentes, deve-se destacar as publicações de Rodrigues (2004, 2005 e 2010) Moroz-Caccia Gouveia (2010), Estaiano (2007), Luz (2010, 2014), Berges (2013), Claro (2014) e Veneziani (2014).

Rodrigues (2004) insere a discussão sobre o processo de urbanização como agente geomorfológico específico, caracterizando-o como primeira ordem de intervenções, devido à magnitude das alterações, diretas e indiretas, no sistema e nas possibilidades de levantamento de situações de instabilidade associadas. Rodrigues (2005) avança nos desdobramentos destas discussões e aprofunda, significativamente, os aspectos relativos à metodologia e procedimentos técnicos da geomorfologia antropogênica, destacando a cartografia geomorfológica evolutiva.

Respalhada em um amplo arcabouço teórico, Rodrigues (2010) realizou proposta metodológica de indicadores hidromorfológico de mudanças, inspirada em Contrinari e McCall (1995) e Berger e lans (1996), na qual buscou oferecer objetivamente, parâmetros, indicadores e medidas ao monitoramento de taxas alteradas pela ação antrópicas sobre o sistema hidromorfológico.

Moroz-Caccia Gouveia (2010) realiza um dos esforços mais vultosos e notáveis no que concerne à aplicação da geomorfologia antropogênica e da cartografia geomorfológica

retrospectiva-evolutiva em ambiente urbano. Estudando a bacia do rio Tamanduateí, desde os primórdios da ocupação do sítio urbano de São Paulo até o estágio atual de urbanização, esta autora explorou de forma exemplar todas as potencialidades de análise em escala regional e sub-regional que a abordagem permite, recorrendo a informações históricas com materiais em plantas, elementos iconográficos, descrições minuciosas, etc. Pode-se afirmar que este esforço auxiliou, inegavelmente, na maturidade da proposta de Rodrigues (2005) para abordagem geomorfológica antropogênica.

Os trabalhos de Luz (2010), Berges (2013), Claro (2014) e Veneziani (2014) constituem importantes aplicações da abordagem, explorando, sobremaneira, os parâmetros e os resultados gerados em cada um dos diferentes estudos de casos, favorecendo a consolidação desta linha de raciocínio e demonstrando o quão promissora pode ser para o amadurecimento moderno da geomorfologia aplicada e para campos correlatos.

Claro (2014), abordando uma sub-bacia do rio Tamanduateí, preocupou-se em definir as linhas gerais para o mapeamento de unidades complexas urbanas em escala de detalhe, derivadas da combinação entre as morfologias originais e as morfologias antropogênicas, dirimindo quaisquer dúvidas de sua aplicabilidade e consolidando o conceito em função do grau de perturbação morfológica.

Também debruçada em canal urbano da Cidade de São Paulo, Berges (2013) estudou a bacia do córrego da Mooca, no qual realizou investigação voltada à análise de eventos de inundação e sua correlação com extremos de precipitação e com o histórico de intervenções hidráulicas e urbanas na bacia. Em suma, seus resultados demonstraram que intervenções hidráulicas não planejadas, mitigadoras (e não preventivas), descontínuas no espaço e no tempo, e defasadas da realidade de uso da terra da bacia hidrográfica podem produzir cenários de inundação indesejados e extremamente agravados.

Objetivando realizar discussões relativas às inundações urbanas, Veneziani (2014) também explorou a abordagem Geomorfológica Antropogênica em bacia urbana. Estudo o córrego Três Pontes na Zona Leste de São Paulo, o autor preocupou-se em realizar mapeamento de vulnerabilidade às inundações, a partir da identificação de unidades morfológicas complexas, com o intuito principal de comparar e identificar potenciais de correlação e complementação metodológica com modelagens hidráulicas.

Luz (2014), prosseguindo com suas investigações relativas à planície do rio Pinheiros feitas em 2010, elaborou análises morfológicas, sedimentológicas e estratigráficas desta planície a partir da perspectiva antropogênica, estruturando novas hipóteses para explicar a evolução geológica de formação de seus pacotes de sedimentos.

Dos estudos mencionados, apenas Estaiano (2007) aplicou análises fora de ambiente urbano, detalhando, a partir da geomorfologia antropogênica, as formas

antropizadas produzidas por impactos de mineração, estudando, para tanto, um porto de areia localizado na zona sul da cidade de São Paulo.

Apesar do incremento no número de pesquisas e obras produzidas com base nos conceitos e recursos da Geomorfologia Antropogênica, ainda existem alguns aspectos a serem desenvolvidos para suprir aspectos de desenvolvimento e sofisticação da metodologia e de seus parâmetros, de modo a viabilizar a (i) consolidação da geomorfologia antropogênica enquanto ciência; (ii) utilização da abordagem sistêmica ou, como alternativa à esta, da abordagem morfodinâmica proposta por Tricart (1977); (iii) utilização das noções de equilíbrio dinâmico, estabilidade, limiares, magnitude e frequência, primeiramente em áreas preservadas para posterior investigação em áreas antropizadas e com possíveis rompimento de limiares; (iv) utilização preferencial de escalas espaciais de grande detalhe, como 1:10.000 ou superiores; (v) aprofundamento das investigações e conhecimento sobre as interferências antrópicas em suas diversas modalidades e seus efeitos nas formas, materiais e processos; (vi) identificação e estudo dos estágios de intervenção antrópica com instabilidade significativa, como as etapas de preparação de terreno para edificações; (vii) comparação entre as informações sobre a dinâmica geomorfológica obtidas nas áreas preservadas, com aquelas obtidas em áreas pós-intervenção; e finalmente, (viii) necessidade de monitoramento contínuo e sistematizado dos processos geomorfológicos e intervenções em áreas preservadas e já alteradas.

Para concluir, a autora afirma que a inserção do antrópico na abordagem geomorfológica se caracterizou por reunir conjunto das principais orientações metodológicas existentes na geomorfologia, algumas das quais descritas nos sub-capítulos anteriores; fundamentando-se nas abordagens sistêmica e morfodinâmica, nas noções de equilíbrio, magnitude e frequência, de limiares geomorfológicos; assim como, na importância da escala temporal e dos processos geomorfológicos. Apesar de apoiar-se em todo este arcabouço teórico-metodológico da geomorfologia pura, a geomorfologia antropogênica possui objetivos aplicados, buscando, em última instância, conduzir ações da ocupação humana, priorizando a conservação ambiental, conforme ressaltado pela autora no excerto a seguir.

A aplicação do conhecimento da geomorfologia antropogênica se dá na prevenção, controle e recuperação de situações de risco de degradação; na orientação para manutenção de benfeitorias de infra-estruturas e tipos de uso, bem como na orientação para formas de manejo de conservação ambiental. (RODRIGUES, 1997, p. 124).

Considerando, portanto, este breve histórico e as proposições feitas por meio da abordagem antropogênica para a geomorfologia aplicada, presume-se, a geomorfologia antropogênica, ser uma aproximação teoricamente, metodologicamente e tecnicamente convergente aos objetivos do presente estudo, particularmente, no que concerne ao

estabelecimento do raciocínio sistêmico, ao aproveitamento de abordagens temporalmente multiescalares e à utilização de técnicas cartográficas de mapeamento geomorfológico, genuínas da disciplina.

3.1.2. Cartografia Geomorfológica

A Cartografia Geomorfológica pode ser considerada como um dos principais métodos e produtos da pesquisa geomorfológica, e principalmente da geomorfologia aplicada, dado seus fins econômicos, sociais e ambientais (RODRIGUES, 1997).

Dentre os principais aspectos da cartografia geomorfológica, a autora destaca o foco nas relações espaciais e na questão da escala, de forma que, segundo seu ponto de vista, os principais objetivos da geomorfologia estão incorporados e são contemplados na elaboração do mapeamento geomorfológico.

No entanto, Rodrigues (1997) destaca ainda que, diante destas características, por vezes a cartografia geomorfológica é confundida com o próprio objeto de estudo da geomorfologia, sendo necessário, portanto, observá-la enquanto método e produto da pesquisa geomorfológica aplicada, inserida em estudos com objetivos mais abrangentes, como o conhecimento e representação das características e evolução do relevo de um recorte espacial.

O desenvolvimento da cartografia geomorfológica está grandemente associado, conforme descrito por Coltrinari (2011), ao surgimento da preocupação do geomorfólogo em descrever, classificar e representar, pela cartografia temática específica, o relevo da superfície terrestre, diante de sua enorme diversidade espacial, temporal, de formas, materiais e gênese.

Assim, desde a publicação dos primeiros mapas geomorfológicos atribuídos à Passarge, em 1914, apresentados em seu “Atlas Morfológico” composto por oito cartas em escala 1:50.000, até os dias atuais, a cartografia geomorfológica foi objeto de intenso debate e passou por constantes evoluções.

Apesar de divergências relativas, entre outros aspectos, à simbologia e aos fatores preponderantes nos mapeamentos, o conteúdo básico da cartografia geomorfológica foi um dos pontos de acordo entre os pesquisadores envolvidos em seu desenvolvimento, que afirmavam a necessidade de abranger a geometria das formas (morfologia e morfometria), a sua origem (morfogênese) e idade (morfocronologia), assim como a natureza do material presente nestas formações (RODRIGUES, 1997; TRICART, 1979).

A ausência da totalidade destes elementos caracterizaria, assim, cartografias geomorfológicas parciais, como mapeamentos morfológicos, morfométricos e etc., denominados de acordo com os fatores analisados.

Apesar da concordância geral entre os principais teóricos da cartografia geomorfológica quanto ao conteúdo mínimo do mapeamento, outros importantes aspectos mantiveram discordâncias entre as principais escolas, tais como: a importância atribuída a cada elemento, sua forma de abordagem, a escala de levantamento das informações e de representação no mapa, a generalização cartográfica e, finalmente, a legenda adotada.

Neste sentido, para Rodrigues (1997), a cartografia geomorfológica, assim como a própria geomorfologia, possui grande complexidade, ao integrar todos estes elementos e representar informações de natureza diversa, tanto descritivas e interpretativas, quanto de natureza estatística, dinâmica e evolutiva, pontual e linear.

Diante desta grande complexidade, sobretudo no que tange à simbologia de representação, o desenvolvimento da cartografia geomorfológica foi pautado pela busca de uma padronização e universalidade na forma de confecção e apresentação do produto final, objetivando possibilitar o diálogo entre as informações produzidas pelas diferentes escolas e nas várias áreas em estudo.

Em seu aspecto mais atual, as discussões em torno desta disciplina têm analisado o diálogo entre os Sistemas de Informação Geográfica e demais geotecnologias, com os conceitos, procedimentos e rigor atrelados à sua execução. Autores como Gustavsson, Kolstrup e Seijmonsbergen (2006), dedicaram-se à adequar e aprimorar a conversão de mapas geomorfológicos analógicos para o formato do SIG, permitindo a inserção de informações adicionais, como a localização das áreas de coleta de amostras, de realização de perfis litoestratigráficos, etc.

No entanto, ressalvas são apontadas pelos autores, como, por exemplo, a limitação dos SIGs em armazenar e processar grande quantidade de dados (vértices, por exemplo), fazendo com que estes sistemas tenham uma tendência à homogeneização das formas, muito numerosas e detalhadas no caso dos mapeamentos geomorfológicos.

Assim, para os autores são grandes as possibilidades de contribuição dos SIGs à cartografia geomorfológica de detalhe, desde que consideradas suas limitações e que se busque superá-las através de diferentes estratégias, sobretudo com o avanço e aprimoramento destas tecnologias.

3.1.3. Cartografia Geomorfológica Evolutiva

A partir das definições da geomorfologia antropogênica, e utilizando dos pressupostos, conteúdos e procedimentos da cartografia geomorfológica, foi concebida uma proposta metodológica para estudo do meio físico em seus diversos graus de intervenção antrópica. Tal proposta possui como base teórico-conceitual a abordagem da geomorfologia antropogênica, e como principal instrumento de pesquisa, uma cartografia geomorfológica

específica, denominada cartografia geomorfológica evolutiva ou geocartografia geomorfológica retrospectiva, conforme exposto por Rodrigues (2005). Ao longo deste item serão descritos os princípios da Cartografia Geomorfológica Evolutiva aplicada à Abordagem Geomorfológica Antropogênica e seus principais procedimentos.

De acordo com a autora, esta proposta metodológica possui como principais premissas: (i) o entendimento da intervenção humana como ação geomorfológica, passível de ser entendida e estudada enquanto interferência no sistema geomorfológico como um todo, em seu tripé de formas, materiais e processos; (ii) a compreensão de que morfologias originais de uma determinada área que apresentem semelhanças entre si podem resultar em morfologias antropogênicas diversas quando da intervenção antrópica; (iii) os processos geomorfológicos atuais de uma determinada área estão relacionados, e são dependentes, de seu histórico de desenvolvimento; e (iv) o tratamento simultâneo e sistemático das intervenções antrópicas no relevo e na paisagem como um todo, são de fundamental importância.

Deriva da abordagem geomorfológica antropogênica o entendimento de que a ação antrópica redundando em uma série de alterações no sistema geomorfológico, cujos resultados principais estão usualmente associados a alterações nas propriedades e localização dos materiais superficiais, em interferências nas taxas e balanços de processos, e na alteração das morfologias originais gerando, diretamente ou indiretamente, novas formas, denominadas morfologias antropogênicas.

Para o estudo da ação antrópica no relevo e no meio físico como um todo, a autora sistematiza e enumera princípios que devem integrar estudos geomorfológicos antropogênicos:

- a) observar as ações humanas como ações geomorfológicas na superfície terrestre;
- b) investigar nas ações humanas padrões significativos para a morfodinâmica;
- c) investigar a dinâmica e a história cumulativa das intervenções humanas, iniciando com os estágios pré-perturbação;
- d) empregar diversas e complementares escalas espaço-temporais;
- e) empregar e investigar as possibilidades da cartografia geomorfológica de detalhe;
- f) explorar a abordagem sistêmica;
- g) usar a noção de limiar geomorfológico e a análise de magnitude e frequência;
- h) dar ênfase à análise integrada em sistemas geomorfológicos;
- i) levar em consideração as particularidades dos contextos morfoclimáticos e morfoestruturais;
- j) ampliar o monitoramento de balanços, taxas e geografia dos processos derivados e não derivados de ações antrópicas. (RODRIGUES, 2005, p. 102 – 103)

Segundo a autora, estes fundamentos baseiam-se em conceitos e definições de referências da geomorfologia pura e aplicada, sobretudo, daquela produzida pela escola contemporânea inglesa. Dentre as diversas referências, a autora destaca as contribuições de Tricart (1978), Nir (1983), Verstappen (1983), Hart (1986) e Toy e Hadley (1987).

Para aplicação desta metodologia em diversos pontos e escalas da Região Metropolitana de São Paulo, a autora se apoiou, ainda, nos conhecimentos acumulados ao longo de sua trajetória profissional relacionados ao planejamento territorial e urbano, na revisão da leitura referente às avaliações de impacto ambiental do meio físico, como relatórios técnicos e material bibliográfico existente fora do meio acadêmico; e, por fim, na revisão de estudos geomorfológicos e geológicos aplicados às áreas urbanas, com destaque para aqueles utilizados em instrumentos de gestão e planejamento territorial, como cartas geotécnicas e zoneamentos.

A aplicação e o desenvolvimento da Cartografia Geomorfológica Evolutiva partem, segundo Rodrigues (2005), da identificação e representação da **morfologia original**, ou seja, da morfologia isenta de intervenção antrópica (estado pré-intervenção), detalhada, de forma exímia, no excerto a seguir:

Entende-se por morfologia original, ou pré-intervenção, aquela morfologia cujos atributos como extensão, declividades, rupturas e mudanças de declives, dentre outros, não sofreram alterações significativas por intervenção antrópica direta ou indireta. Modificação significativa é aquela que já implica em dimensões métricas nos atributos mencionados. [...] Assim, a morfologia original é a que não sofreu intervenção direta nas formas originais, ou seja, os sistemas geomorfológicos podem ter sido objeto de interferências importantes do ponto de vista dos processos, como no caso da ação do desmatamento, mas não sofreram remanejamentos diretos significativos de material como aqueles que ocorrem em áreas com aragem, pastagem intensiva e uso de trator (superfícies agrícolas) ou cones, aterros e substituição por materiais tecnogênicos (superfícies urbanas). (RODRIGUES, 2005, p. 103 e 104)

A etapa seguinte refere-se à identificação e representação da morfologia existente na área de estudo durante os diferentes estágios de intervenção antrópica, caracterizando as transformações ocorridas durante os estágios de perturbação ativa até sua consolidação, no último estágio, de perturbação consolidada.

A identificação da morfologia em suas diversas fases, realizada nestas duas primeiras etapas, apoia-se na utilização de cartas topográficas oficiais da área em estudo, mapas e registros históricos, fotografias aéreas e outros produtos de sensoriamento remoto, entre outros.

Por fim, a última etapa consiste da correlação entre os conteúdos cartográficos produzidos – sobreposição dos produtos obtidos nas etapas anteriores -, referentes às morfologias originais e antropogênicas, derivando unidades espaciais de maior

complexidade, denominadas unidades morfológicas complexas, que identificam níveis de perturbação morfológica.

A aplicação desta metodologia nos estudos conduzidos pela autora na RMSP seguiu as etapas e procedimentos descritos acima. Para a identificação da morfologia original, foram mapeados por fotointerpretação, documentos históricos e checagem de campo: a geometria (reto, côncavo, convexo), posição, extensão e unidades de vertentes, a litologia (com destaque para as áreas de contato ou transição entre diferentes litologias), declividades, rupturas e os parâmetros morfológicos de materiais superficiais e dos solos (profundidade, textura e estrutura).

Para a identificação da morfologia antropogênica, nos diversos estágios de perturbação, a autora utilizou como base a proposta elaborada por Lima (1990), de hierarquização de classes de intervenção morfológica resultantes das ações antrópicas. Tal classificação estabelece a urbanização, e suas diversas formas associadas, como integrantes da primeira ordem de intervenções. De acordo com a autora, cada categoria possui um detalhamento próprio dos tipos de intervenção morfológica passíveis de serem identificados, como tipos de arruamento, de edificação, entre muitos outros.

Outras categorias de intervenções como a mineração, obras lineares do sistema viário e etc, caracterizadas também como de primeira ordem, possuem tipos próprios de intervenção que devem ser investigados caso seja este o objeto da pesquisa. Os tipos de intervenção associados ao sistema rodoviário e demais empreendimentos lineares serão apresentados e detalhados adiante na dissertação.

Assim, para realização do mapeamento da morfologia antropogênica nas aplicações na RMSP, assumindo tal classificação, a autora procurou distinguir: padrão de arruamento, densidade de edificações, estágio de consolidação urbana, distribuição e densidade de materiais superficiais, profundidade e extensão de cortes e aterros, volume de materiais remanejados *in loco* ou importados.

Concluídas estas duas primeiras etapas, de mapeamento das morfologias originais e antropogênicas, foi realizada correlação cartográfica entre elas, procurando identificar as unidades geomorfológicas mais preservadas ou mais transgredidas ao longo do período estudado. Como resultado, foram definidas as unidades morfológicas complexas, também denominadas no estudo de unidades espaciais de planejamento, através da identificação e delimitação de áreas com morfologias homogêneas em termos da combinação entre as formas originais e a sequência de intervenções.

Por fim, a autora apresenta vantagens e possibilidades de aplicação desta metodologia no planejamento físico-territorial. Para ela, o mapeamento de unidades morfológicas complexas classificadas a partir de níveis de perturbação, permite individualizar locais mais suscetíveis a processos de instabilidade superficial, como

movimentos de massa, conferindo, assim, maior rigor à proposição e avaliação de medidas preventivas e mitigadoras de impactos ambientais e riscos nestas áreas.

A autora destaca, ainda, que a possibilidade de espacializar tais informações, apresentando-as através de produtos cartográficos, é mais adequado e oferece benefício para utilização desta metodologia como instrumento de planejamento físico-territorial.

Na avaliação dos impactos da instalação e operação de sistemas viários, a cartografia geomorfológica evolutiva demonstra-se particularmente promissora como abordagem metodológica, uma vez que, ao recorrer à sequência retrospectiva de intervenções antrópicas sobre o sistema geomorfológico original, permite singularizar espacialmente as ações da obra e categorizar os níveis de perturbação empreendidos, principalmente, sobre os processos superficiais.

Além da investigação histórica cumulativa, a aplicação da cartografia geomorfológica evolutiva para o estudo de estruturas viárias caracteriza-se, pelo uso de diversas escalas espaço-temporais, em especial da cartografia de detalhe, dada a dimensão local de impacto direto da obra, convergindo, assim para os princípios listados por Rodrigues (2005).

Por fim, sua aplicação nestes estudos pode permitir: a identificação de padrões de estabelecimento condições morfodinâmicas específicas e, tanto para o período de intervenção ativa quanto para o estágio consolidado, o monitoramento das taxas de processos derivados da obra.

3.1.4. Previsão em Geomorfologia

A previsão de processos geomorfológicos, sobretudo extremos, é considerada uma das principais metas da ciência geomorfológica, apesar de sua complexidade, atuando na interface entre os sistemas naturais e o cenário humano (RODRIGUES, 1997).

O papel da previsão em geomorfologia é igualmente destacado por Haff (2003) que utiliza o termo “neogeomorfologia” para designar um novo campo da disciplina, compromissado em identificar e prever os impactos da ação antrópica sobre o ambiente, com implicações práticas para o gerenciamento ambiental e a engenharia de paisagens.

Surgida como demanda da sociedade, com objetivos diversos, dentre os quais, a manutenção de infraestruturas, exploração dos recursos naturais e prevenção de catástrofes; a previsão na geomorfologia envolve uma complexidade maior, de não apenas adiantar-se no tempo em relação aos processos geomorfológicos, mas também fornecer noções sobre o local e a duração de ocorrência do evento, sua frequência e magnitude (RODRIGUES, 1997).

Da mesma forma, a previsão pode ter como objetivo a avaliação dos impactos ambientais de um determinado uso antrópico, como a implantação de infraestruturas. Neste caso, assim como descrito em relação ao objetivo anterior, a avaliação de impacto envolve

também a antecipação de respostas e do comportamento do ambiente às modificações específicas causadas pela intervenção humana, sendo necessária para antever as consequências futuras da área em estudo, durante as fases de implantação, operação e desativação do uso pretendido, assim como para a definição da área diretamente afetada e das áreas de influência, direta e indireta, necessárias para a elaboração de tais avaliações.

A carência de um conjunto significativo de dados sobre determinado território, torna necessário um reforço no aporte teórico utilizado na pesquisa, como forma de subsidiar extrapolações e explicações, e assegurar a qualidade de previsão. A inexistência de conhecimento territorial sistemático, no entanto, e em escalas adequadas, sobretudo para determinadas zonas morfoclimáticas, é apontada como uma das atuais limitações ao desenvolvimento de previsões no âmbito da geomorfologia (RODRIGUES, 1997).

Tais limitações e a necessidade de pesquisas de base ajudam a justificar a sub-utilização de aportes teóricos e instrumentais fornecidos pela geomorfologia para previsões, e sua substituição por novas técnicas e metodologias, por vezes consideradas menos profissionais, sobretudo diante da urgência de aplicação e objetividade com que tais previsões são usualmente exigidas.

A despeito disso, para Rodrigues (1997), a geomorfologia possui enorme potencial de contribuição à realização de previsões e, conseqüentemente, para o planejamento físico-territorial e ambiental, sobretudo diante de sua propriedade generalizadora da ciência, agregando conhecimentos da geografia física, da geografia no geral e de outras ciências para compreender a complexidade da superfície terrestre, conforme destacado na citação a seguir.

A vantagem da geomorfologia está na perseguição constante de sínteses e no compromisso do reconhecimento espacial. Esta última meta, melhor conquistada pela cartografia geomorfológica de detalhe, permite em muitos casos, errar pouco a respeito da expressão espacial de processos morfogênicos futuros. Algo valioso para os propósitos de planejamento. (RODRIGUES, 1997, p. 131).

Para a autora, a cartografia geomorfológica de detalhe é elementar no exercício da previsão geomorfológica. Da mesma forma, ao viabilizar a compreensão das interações entre ações e atributos antrópicos com os sistemas geomorfológico e físico envolvidos, a abordagem antropogênica debruça-se, não apenas sobre as relações de causa e efeito entre ambos, mas também, atribuindo foco à ação antrópica enquanto intervenção geomorfológica, permitindo uma previsão detalhada.

Na presente pesquisa, os conceitos e técnicas associados à previsão geomorfológica desempenham importante papel, tendo em vista que os Estudos de Impacto Ambiental e, em específico, de impacto de empreendimentos rodoviários, visam, entre outros objetivos,

prever, avaliar e propor formas de mitigação ou compensação de possíveis impactos associados à implantação e operação destas infraestruturas.

Posto o problema inicial sobre a realização de investigações geomorfológicas predominantemente genéricas e introdutórias em tais estudos, mostrou-se fundamental na presente pesquisa, o resgate do papel da previsão em geomorfologia, das dificuldades enfrentadas para sua realização e das possibilidades de superação por meio de abordagens como a Geomorfologia Antropogênica e a Cartografia Geomorfológica, utilizadas no universo de análise da pesquisa, em conjunto com a proposta dos geoindicadores, como forma de obter e avaliar a magnitude dos impactos no sistema geomorfológico associado à implantação da rodovia.

3.1.5. Geomorfologia Aplicada ao Gerenciamento Ambiental

De acordo com Cooke e Doornkamp (1990), antes mesmo de a geomorfologia ser considerada como disciplina científica, importantes autores, como Leonardo da Vinci e G. K. Gilbert, já elaboravam estudos aplicando seus conhecimentos de geomorfologia, e de áreas correlatas, à resolução de problemas cotidianos, como inundações e processos fluviais, no caso do primeiro; e efeitos da mineração hidráulica em rios norte-americanos, no caso do segundo.

No entanto, para os autores, até a década de 60 a geomorfologia aplicada, permaneceu pouco discutida, com esparsos capítulos a ela dedicados em obras de geomorfólogos de referência. Com a revolução teórico-quantitativa, ocorrida ao longo das décadas de 60 e 70, não apenas a geografia como um todo, mas também a geomorfologia sofreu fortes repercussões, tornando-se mais científica, quantitativa, dinâmica e sistêmica, voltando seu olhar para as inter-relações entre seus componentes, as diferentes escalas espaciais e temporais, e ao reconhecimento das possibilidades de diálogo com outras disciplinas.

Tal renovação foi acompanhada pelo aumento do interesse nas pesquisas dedicadas ao estudo de processos e mudanças atuais na superfície terrestre; assim como, pelo desenvolvimento de técnicas mais sofisticadas de mapeamento e monitoramento; e de métodos e abordagens mais precisas e rigorosas, como a análise sistêmica. De acordo com os autores, tais alterações foram, também, resultado de um movimento de descontentamento e contraposição ao predomínio de uma geomorfologia demasiado histórica, focada unicamente na investigação da evolução das formas do relevo, independente das características climáticas, dos processos e materiais envolvidos.

Este período de mudanças na ciência geográfica e, mais especificamente na geomorfologia, foi também caracterizado por uma nova fase de interesse nas questões ambientais e no planejamento territorial, associada a diversos fatores, como o contexto

político e econômico de então, marcado pelo desmantelamento da era colonial e a independência de muitos países, interessados na distribuição e exploração de seus recursos naturais; e, principalmente, às crescentes preocupações ambientais, apoiadas em questões como a possibilidade de esgotamento dos recursos naturais, os riscos associados às atividades humanas e a efetividade dos processos geomorfológicos na deflagração de catástrofes, como observado nos emblemáticos casos, citados pelos autores, dos desastres de Aberfan, Yungay e Armero, em 1966, 1970 e 1985, respectivamente.

A resposta a tais catástrofes e preocupações, de acordo com os autores, foi profunda, envolvendo amplos segmentos da sociedade e estando acompanhada, na maior parte dos casos, de importantes alterações na legislação, como exemplificado pela aprovação em 1969, do *National Environmental Policy Act*, nos Estados Unidos, que instaurava a necessidade de realização de Estudos de Impacto Ambiental previamente à implantação e expansão de usos da terra com significativo impacto ambiental.

Tal cenário contribuiu para a aproximação entre a geomorfologia aplicada e o gerenciamento ambiental, sobretudo nas fases de planejamento e monitoramento, resultando em um aumento significativo da participação e da parceria entre geomorfólogos e profissionais de ciências correlatas nas pesquisas conduzidas neste campo. De acordo com os autores, as transformações ocorridas na geomorfologia durante este período, resultaram em um maior rigor e precisão nos estudos por ela desenvolvidos, tornando-a mais compreensível e confiável aos profissionais exteriores à disciplina, que passaram a concebê-la, inclusive, como uma das possíveis chaves para solução dos problemas colocados no processo de gerenciamento ambiental, considerando-a, em alguns casos, como uma forma mais econômica e rápida, quando comparada às investigações geotécnicas, por exemplo. A citação, a seguir, apresenta a visão dos autores:

As a result, a wide range of planners and engineers – most of whom are hard task-masters – have been successfully persuaded that geomorphologists can contribute effectively to the solutions of their problems, and often cheaply and at relatively short notice. Although applied geomorphological work has become technically much more sophisticated and more expensive in recent years, it is still often relatively cheap by comparison with, for example, some types of geotechnical surveys, also low technology research based on low-cost field-mapping and the analysis of available data is seen as being efficient, quick, and adequate in many developing countries with limited funds for environmental appraisals.
(COOKE; DOORNKAMP, 1990, p. 04)

A contribuição da geomorfologia no processo de gerenciamento ambiental pode variar de acordo com a natureza do projeto ou problema em estudo, assim como com base nas características e responsabilidades das organizações e/ou indivíduos envolvidos.

Independente do contexto e etapa de inserção da geomorfologia no gerenciamento ambiental, Cooke e Doornkamp (1990) apresentam algumas recomendações consideradas fundamentais para orientar a participação do geomorfólogo neste processo. Primeiramente, os autores indicam a importância de se ter clareza do contexto com o qual se está trabalhando, ou seja, reconhecer quais são as necessidades e interesses envolvidos, os limites financeiros e as restrições de tempo, de recursos técnicos, e etc.

Em segundo lugar é fundamental que o geomorfólogo apresente uma linguagem inteligível e amigável aos demais profissionais envolvidos no estudo e às organizações ou indivíduos promotoras da pesquisa. Assim, de acordo com os autores, apesar do corpo teórico-metodológico utilizado no estudo ser próprio da ciência geomorfológica, ele deve ser, preferencialmente, apresentado, ou traduzido, em uma linguagem comum aos diversos profissionais envolvidos na sua elaboração, considerando, sobretudo, os requerentes do projeto.

Apesar de mais numerosa nos últimos anos, a inserção do geomorfólogo neste processo, requer uma comunicação constante e efetiva entre o pesquisador e os profissionais parceiros ou futuros colaboradores. É necessário, ainda, de acordo com os autores, que o geomorfólogo procure se destacar constantemente diante dos gestores ambientais, apresentando os resultados de suas pesquisas ou da aplicação de metodologias, através de publicações e debates, procurando demonstrar o potencial de contribuição da geomorfologia aos estudos ambientais em geral.

Os autores ressaltam, no entanto, que o envolvimento do geomorfólogo no processo de gerenciamento ambiental é temporário, predominando nas fases de planejamento e de implantação de projetos ou políticas, onde seu potencial de contribuição é fundamental, sobretudo na interface com a engenharia.

As principais áreas de contribuição da geomorfologia no gerenciamento ambiental estão relacionadas, principalmente, à elaboração de análises de riscos e de vulnerabilidades ambientais, auditorias ambientais, avaliações de recursos naturais e de impacto ambiental, bem como monitoramento e avaliações retrospectivas, ou pós-auditorias ambientais, nas fases subsequentes à implantação de projetos.

Atualmente o geomorfólogo tem se destacado, sobretudo, nos estudos de viabilidade ambiental, precedentes ao planejamento e à implantação de determinados usos. Nestas situações, o geomorfólogo pode auxiliar, por exemplo, na redução dos custos e aumento da eficiência do projeto.

Dentre o leque de técnicas e habilidades utilizadas frequentemente pelos geomorfólogos, os autores destacam algumas consideradas fundamentais no processo de gerenciamento ambiental. A primeira refere-se ao trabalho de campo, que concede precisão no registro do dado geomorfológico representado em mapa. A interpretação da paisagem

em campo, apesar de ser menos praticada em comparação aos primórdios da ciência geomorfológica, é considerada uma habilidade fundamental e notável no processo de gerenciamento, conforme defendido pelos autores, principalmente por ser praticada por um número restrito de profissionais que atuam nesta área.

Relacionada ao trabalho de campo e ao próprio objeto de estudo da geomorfologia, a identificação de mudanças e processos com base na interpretação de evidências contidas nas formas do relevo, e em seus materiais, é também uma habilidade muito requisitada pelos gestores ambientais que, segundo os autores, frequentemente necessitam de informações sobre mudanças passadas, presentes e tendências para cenários futuros de um determinado território. Tais interpretações se apoiam, principalmente, na utilização de fotografias aéreas, produtos de sensores remotos e outras tecnologias correlatas, que compõem um conjunto de técnicas empregado pelos geomorfólogos.

Os autores citam, ainda, o uso de softwares e modelagens computacionais, de técnicas de medição em campo, de simulações e modelagem em laboratório, bem como a utilização de imagens e arquivos históricos para monitoramento e interpretação de mudanças ambientais, como outros conjuntos de técnicas fundamentais da geomorfologia ao gerenciamento.

Apesar de todas as contribuições e potencialidades da participação do geomorfólogo no gerenciamento ambiental, os autores ressaltam alguns conflitos que podem surgir envolvendo a realização de um estudo. Primeiramente, sua elaboração usualmente envolve profissionais de ciências distintas, dotados de concepções que podem, igualmente, não coincidir; da mesma forma, as recomendações apresentadas pelo geomorfólogo ao longo do estudo podem não estar de acordo com as preferências financeiras e políticas dos agentes promotores do projeto.

A velocidade necessária à elaboração e o custo demandado pelo estudo pode, também, representar um conflito, não possibilitando que o geomorfólogo realize uma pesquisa, por exemplo, com os mesmos moldes e rigores de um estudo acadêmico, sendo necessário adaptá-la aos objetivos e recursos disponíveis.

Durante a realização do trabalho, as demandas do cliente podem se alterar, envolvendo novas etapas e percursos metodológicos, principalmente nos estudos envolvendo maior grau de complexidade ou considerados mais controversos. De acordo com os autores, a ocorrência destes problemas está associada, principalmente, à inexistência de uma orientação específica ou um código de conduta do geomorfólogo no processo de gerenciamento ambiental, devido, entre outras razões, à sua inserção recente no campo.

Da mesma forma, a articulação entre as informações produzidas pela geomorfologia e aquelas provenientes de outras ciências da terra, como a geologia, a pedologia, a geotecnia

e etc., não apresenta uma metodologia única, ou um protocolo, com os procedimentos necessários para a realização do diálogo entre elas, sobretudo nas etapas de elaboração dos produtos escritos e do relatório final.

Nestes casos, de acordo com os autores, a geomorfologia costuma atuar como base para as demais disciplinas e para a elaboração do relatório do meio físico com um todo. A articulação geralmente é elaborada através de sobreposições (*overlays*) entre os mapeamentos e as informações produzidas por cada campo de atuação, com base em abordagens integradas da paisagem, como o sistema *land-systems*.

A relação entre o custo e a efetividade da contribuição geomorfológica tampouco apresenta medidas e números específicos, diante das inúmeras dificuldades atreladas à aquisição de tais informações, que costumam permanecer restritas aos agentes diretamente envolvidos no estudo; da ausência de coletas e medições sistemáticas ou, ainda, da dificuldade de individualizá-la dentre as demais disciplinas que compõe a pesquisa.

Ainda assim, no julgamento dos autores, a contribuição geomorfológica possui, aparentemente, uma relação custo/efetividade proporcional às demais disciplinas, ao custo total do projeto e, inclusive, aos benefícios proporcionados ao ambiente e às sociedades nele inseridas, sendo, desta forma, de grande interesse no processo de gerenciamento ambiental. A citação, abaixo, apresenta a conclusão dos autores sobre as potencialidades da contribuição geomorfológica neste processo.

In general there seems little doubt that geomorphological contributions are relatively cheap and rapid compared with other methods of terrain appraisal, and they are in general cost-effective. (COOKE, DOORNKAMP, 1990, p. 18)

3.1.5.a. Geomorfologia e o Planejamento Ambiental

A etapa de planejamento ambiental pode exigir a elaboração de diferentes tipos de estudo, variando conforme os objetivos da pesquisa, os materiais disponíveis, as escalas de análise, entre outros fatores, e influenciando, igualmente, em diferentes participações e contribuições do geomorfólogo.

Com o propósito de apresentar um panorama geral das possibilidades de inserção e contribuição do geomorfólogo nesta etapa específica do processo de gerenciamento ambiental, Cooke e Doornkamp (1990) enumeram alguns dos principais estudos promovidos na atualidade, agrupando-os de acordo com a escala de análise envolvida em cada um.

Os estudos promovidos em escalas internacionais ou nacionais consistem, usualmente, em pesquisas de reconhecimento do território, inventários dos recursos naturais disponíveis e mapeamentos gerais de pequena escala.

Por sua vez, na escala regional, as análises são costumeiramente promovidas com um propósito específico, como a avaliação de determinados locais para a instalação de

empreendimentos, de alternativas locacionais ou para reconhecimento da configuração do relevo. Apesar de atuar intensamente em todas as escalas de análise do gerenciamento ambiental, para os autores, é na escala regional onde o geomorfólogo adquire maior destaque.

A escala local é mais caracterizada pela realização de avaliações de risco e levantamentos dos recursos naturais disponíveis em propriedades ou territórios de menor dimensão, sendo muito utilizada, por exemplo, para a agricultura, a irrigação e etc. Por fim, os autores apontam, ainda, a existência de uma escala de análise pontual, designada pelo termo *site investigation*, cujos estudos estão, geralmente, mais relacionados à avaliação de problemas específicos, como a dinâmica das vertentes, processos erosivos e movimentos de massa, riscos e vulnerabilidades, a relação entre o acúmulo de sedimentos e o tempo de vida de reservatórios, entre outros.

Nestas escalas, as contribuições do geomorfólogo podem variar em tipo e importância, abrangendo etapas de levantamento de dados secundários, produção e aquisição de dados primários e análise deste conjunto de informações.

3.1.6. Avaliação de Impacto Ambiental

3.1.6.a. Definição e Histórico Internacional

De acordo com Sánchez (2008), a consolidação do conceito de impacto ambiental remonta a década de 1970. Até esta data, o termo “poluição” era utilizado, de modo geral, para representar qualquer processo de alteração dos recursos naturais, confundindo-se, muitas vezes, com a ideia de degradação ambiental.

A partir da década de 70, o conceito de impacto ambiental passou a vigorar, porém com diversas definições, algumas das quais, mais simplificadas e, muitas vezes, confusas. Para Sánchez (2008) e alguns outros renomados autores, a definição deste conceito envolve a ideia de impacto enquanto processo dinâmico de alteração da qualidade ambiental de uma paisagem, por meio da modificação de seus atributos naturais ou socioeconômicos, resultantes de uma determinada ação humana.

Outras definições mais simplificadas, como aquela apresentada pela NBR ISO 14.001, de 2004, referem-se ao impacto ambiental, como qualquer espécie de mudança no ambiente em relação às suas condições prévias.

A Resolução Conama nº 01/1986, caracterizada como a primeira legislação de âmbito federal a estabelecer diretrizes gerais para implantação da Avaliação de Impactos Ambientais, enquanto instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente; segue raciocínio similar na definição de impacto ambiental, considerando-o como:

Art. 1º. Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I. a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II. as atividades sociais e econômicas;
- III. a biota;
- IV. as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V. a qualidade dos recursos ambientais. (BRASIL, 1986).

Para Sánchez (2008) esta definição pode ser considerada limitada, aproximando-se mais dos conceitos de poluição ou degradação ambiental, ao focar apenas os impactos ambientais negativos, omitindo os efeitos positivos da implantação de determinados usos, que devem ser igualmente considerados nas avaliações de impacto.

Um aspecto importante é a diferenciação entre impacto ambiental e causa. O primeiro é considerado como resultado de uma ação ou atividade impactante, não podendo ser confundido com a atividade em si. De acordo com o autor, este erro é frequente, conforme evidenciado no trecho abaixo.

Impacto ambiental é, claramente, o resultado de uma ação humana, que é a sua causa. Não se deve, portanto, confundir a causa com a consequência. [...] Há que se tomar cuidado com a noção de impacto ambiental como resultado de uma determinada ação ou atividade, não o confundindo com ela. Uma leitura medianamente atenta de muitos EIAs revelará que este erro básico é frequente. Evidentemente, tal erro conceitual compromete a qualidade do estudo ambiental (p.32)

A Avaliação de Impacto Ambiental, segundo Sánchez (2008), envolve, idealmente, a consideração de dois cenários futuros: o primeiro baseado na indagação sobre o comportamento da paisagem com a instalação do novo uso; e o segundo, dedicado à simulação da dinâmica da paisagem caso tal atividade não seja implantada. O impacto ambiental consistiria na diferença de intervalo entre estes dois cenários, conforme exemplificado na figura a seguir (Figura 4).

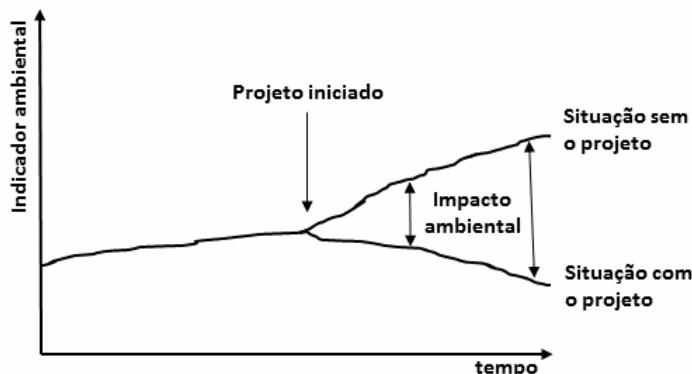


Figura 4 – Posição do impacto ambiental em relação aos cenários considerados na AIA.

Retirado de: Sánchez (2008), p. 29

Na prática, no entanto, prever a evolução da qualidade ambiental de uma paisagem é uma tarefa extremamente complexa, árdua e incipiente, de forma que, segundo o autor, o conceito operacional de impacto ambiental acaba se reduzindo à investigação e comparação entre o estado atual da paisagem e o cenário futuro resultante da implantação do empreendimento.

O surgimento e consolidação do conceito de impacto ambiental está fortemente associado com o histórico das Avaliações de Impacto Ambiental, consideradas como o instrumento responsável pela avaliação das possíveis consequências, negativas ou não, de ações antrópicas atuais e futuras.

A primeira menção das AIAs como atividade obrigatória para a tomada de decisão referente à implantação de usos potencialmente modificadores dos recursos naturais, remonta a aprovação do *National Environmental Policy Act* (NEPA), em 1969, nos Estados Unidos. Considerada legislação pioneira no contexto internacional, esta política previa a utilização da AIA como principal mecanismo para implementação e êxito da NEPA, assegurada e avaliada pelo órgão federal Conselho de Qualidade Ambiental (CEQ).

No ano de 1973, o CEQ publicou algumas diretrizes para a elaboração do *Environmental Impact Statement* (EIS)⁷, estudo dedicado ao diagnóstico dos aspectos atuais das áreas objeto de implantação de novas atividades e à apresentação da Avaliação de Impactos Ambientais. Consideradas insatisfatórias, tais diretrizes foram substituídas em 1978, por novo regulamento destinado à uniformizar os procedimentos para elaboração e análise dos EIS.

Com o avanço desta legislação, as agências ambientais dos diferentes Estados norte-americanos gradativamente aprovaram suas próprias leis envolvendo a AIA e a elaboração de estudos de impacto, muitas das quais inspiradas na redação da NEPA. Apesar da aceitação deste aparato legal ter sido ampla, ainda que demorada, o número de ações judiciais questionando as determinações apresentadas nos estudos foi proporcionalmente significativo, alertando os demais países para alguns aspectos problemáticos, com base nesta experiência.

Após um breve período de aplicação nos Estados Unidos, a AIA difundiu-se rapidamente para outros países, dentre os quais, Canadá, Austrália e Nova Zelândia foram os primeiros a implementá-la, tendo em vista a semelhança das estruturas políticas e jurídicas entre os países, conforme explicação apresentada por Sánchez (2008).

Na Europa, no entanto, o processo de implantação da AIA foi mais demorado, com as primeiras discussões iniciadas em 1975 e consolidadas apenas em 1985, com a Diretiva

⁷ Na língua inglesa, os termos “Environmental Impact Assessment” e “Environmental Impact Statement”, se referem, respectivamente, à Avaliação de Impacto Ambiental e Estudo de Impacto Ambiental, conforme exposto por Sánchez (2008).

85/337/EEC, que tornava a realização da AIA compulsória para todos os Estados membros da União Europeia (UE). Com exceção da França, grande parte dos países da UE não possuíam, até então, instrumentos similares à AIA em suas políticas de planejamento territorial.

A França é destacada pelo autor, como pioneira em relação aos demais países europeus, por possuir desde 1917 um sistema bem estruturado de licenciamento de novos usos e atividades em seu território. A aprovação e incorporação, em 1976, das AIAs em sua legislação de planejamento físico-territorial ocorreu, assim, de forma menos complexa, não envolvendo a criação de novos órgãos responsáveis por seu cumprimento.

Apesar disto, tanto na França, quanto na Europa, de modo geral, a implantação da AIA mostrou-se polêmica, gerando intensos debates entre os diversos setores da sociedade e resultando em um longo processo entre sua incorporação nos textos legais e sua aplicação na prática.

Para Sánchez (2008), tal situação pode ser atribuída a diversos fatores, dentre os quais destacam-se: (i) as diferentes estruturas políticas dos países componentes do bloco, com leis mais, ou menos, complexas de planejamento ambiental; (ii) um receio diante da participação da sociedade civil e do movimento ambientalista na elaboração e aprovação dos estudos de impacto, tornando-os, em alguns países, excessivamente burocráticos; e (iii) uma tentativa de não repetir as deficiências observadas na legislação norte-americana, que enfrentou uma série de processos jurídicos após a aprovação da NEPA.

Nos países em desenvolvimento, a AIA se consolidou apenas a partir dos anos 90, muito influenciada por pressões e determinações exercidas por organizações bilaterais e multilaterais, como os bancos de desenvolvimento, dentre os quais destacam-se a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e o Banco Mundial.

A Colômbia pode ser considerada como a pioneira, dentre estes países, a incorporar a AIA como instrumento obrigatório, em seu Código Nacional de Recursos Naturais Renováveis e de Proteção do Meio Ambiente, de dezembro de 1974; seguida do México, em 1982; Brasil, em 1986; Bolívia, em 1992; Chile, Uruguai e Nicarágua, em 1994; Equador, em 1999; entre outros.

Nos países sul-americanos, em especial no Brasil, o Banco Mundial exerceu importante papel na consolidação da AIA. Impulsionado por mobilizações de grupos ambientalistas, que condenaram alguns dos projetos financiados por esta instituição e que ocasionaram significativos impactos ambientais, como a pavimentação da rodovia BR-364, durante os anos 80; o Banco passou a exigir a elaboração de estudos de impacto ambiental, como no caso dos primeiros EIAs realizados no Brasil, para as barragens de Sobradinho, no rio São Francisco, em 1972; e de Tucuruí, no rio Tocantins, em 1977 (Sánchez, 2008).

Porém, a incorporação da AIA e dos Estudos de Impacto Ambiental e Relatórios de Impacto Ambiental, enquanto instrumentos obrigatórios previstos na legislação federal, ocorreu apenas na década de 1980, conforme será abordado no item a seguir.

Por fim, a consolidação da AIA no plano internacional se deu, também, por meio de diversos tratados internacionais, nos quais este instrumento foi gradativamente incorporado. De acordo com Sánchez (2008), destacam-se a Declaração do Rio e a Agenda 21, ambas redigidas durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD)⁸, realizada no Rio de Janeiro, em 1992. Uma das consequências da publicação deste documento foi a formulação de diversas leis ambientais e de planejamento territorial nos países participantes, incluindo a AIA como um de seus principais instrumentos.

Alguns outros tratados internacionais são destacados pelo autor: a Convenção sobre Diversidade Biológica e a Convenção sobre a Mudança do Clima, inicialmente realizadas durante a Rio-92 e complementadas nas diversas reuniões periódicas promovidas entre as partes contratantes, denominadas Conferências das Partes Contratantes (COP); a Convenção de Ramsar para a Proteção de Áreas Úmidas de Importância Internacional, firmada no Irã, em 1971; a Convenção sobre a Conservação de Espécies Migratórias de Animais Selvagens, promovida em 1979, na cidade alemã de Bonn; e, por fim, a Convenção sobre AIA em um Contexto Transfronteiriço⁹, também conhecida como Convenção de Espoo, por ter sido realizada em tal cidade finlandesa, no ano de 1991.

3.1.6.b. Histórico no Brasil

O desenvolvimento do licenciamento ambiental no Brasil e da utilização de estudos ambientais, a exemplo dos EIAs, como subsídio para a aprovação e emissão de licenças, remonta a década de 1960, período a partir do qual este processo e seus instrumentos técnicos de planejamento e gestão, passaram a adquirir maior força, sobretudo com a promulgação do primeiro código florestal, em 15 de setembro de 1965 (Lei Federal nº 4.771). Até então, acompanhada do Código das Águas, de 1934 (Decreto nº 24.643), esta legislação era responsável por fornecer as bases legais para a administração do uso dos recursos naturais, em especial madeireiros e hídricos, bem como os critérios para sua exploração, conforme exposto por Ross (1995).

O fortalecimento dos movimentos ambientalistas ao redor do mundo e em território nacional, durante as décadas de 60 e 70, auxiliou no fortalecimento da questão ambiental na

⁸ Também denominada de Rio-92.

⁹ Promovida pela Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa, mas aberta à todos os países interessados, esta Convenção teve como objetivo auxiliar nos possíveis conflitos atrelados à instalação e funcionamento de empreendimentos transfronteiriços, bem como estimular a cooperação internacional em relação às AIAs (Sánchez, 2008).

pauta política e acadêmica, culminando em 1973, com a criação da Secretaria de Meio Ambiente em nível federal e da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), na esfera estadual.

Sánchez (2008), igualmente aponta o importante papel das conjunturas internas ao país durante este período, dentre as quais, destaca a participação da sociedade civil e do movimento ambientalista, que reivindicavam a redução dos impactos ambientais e a adoção de alternativas de desenvolvimento, auxiliando na incorporação da Avaliação de Impactos Ambientais à legislação brasileira, apesar da importância exercida também pelos bancos de desenvolvimento e organizações internacionais, conforme destacado anteriormente.

A inexperiência na implantação de projetos de engenharia de grande porte no Meio Tropical Úmido, e a influência exercida pelas agências de desenvolvimento internacionais, são outros fatores que podem ser apontados como de grande influência na inserção da AIA e do licenciamento ambiental no país, de acordo com Monowski (1994, apud Sánchez, 2008).

Desta forma, em 1977 foi publicado o primeiro EIA-RIMA no país, referente à Usina Hidrelétrica (UHE) de Tucuruí. Tal estudo, no entanto, foi redigido por um único profissional¹⁰ e entregue apenas um ano após o início das obras, não possuindo o caráter de planejamento e prevenção, usualmente associado à elaboração de tais documentos. De acordo com Sánchez (2008), o estudo consistia, na prática, em um inventário dos recursos naturais da região e na identificação dos principais impactos potenciais da obra.

No ano seguinte, em complementação ao EIA, foi publicado Plano de Trabalho Integrado para Controle Ambiental, que previa o aprofundamento dos estudos ambientais em Tucuruí e a mitigação de alguns dos impactos negativos associados à implantação da UHE.

Apesar da publicação destes estudos, no plano da legislação ambiental, poucas foram as iniciativas de incorporação deste instrumento, restritas à esfera de alguns Estados pioneiros, como o Rio de Janeiro e Minas Gerais, que procuraram se adiantar na inserção das Avaliações de Impacto Ambiental em seus dispositivos, enquanto instrumento de subsídio ao planejamento territorial (SÁNCHEZ, 2008).

Na escala federal, o licenciamento e a Avaliação de Impactos Ambientais foram gradativamente incorporados na legislação a partir da década de 1980, caracterizada pela: (i) instituição de novas bases legais à questão ambiental no país; (ii) consolidação dos Estudos de Impacto Ambiental, através da instituição da Política Nacional de Meio Ambiente

¹⁰ Segundo Sánchez (2008) este EIA foi elaborado por Robert Goodland (1939-2013), ecólogo inglês, com grande experiência nos domínios do Cerrado e da Amazônia. Convidado, em 1974, para compor o corpo docente da Universidade de Brasília (UnB), integrou, a partir de 1978, o Departamento de Meio Ambiente do Banco Mundial, desenvolvendo diversos projetos e políticas ambientais implementadas pela esta agência e por outras agências de desenvolvimento. Cabe destacar, ainda, sua posição enquanto presidente da Associação Internacional de Avaliação de Impactos, no período de 1994 a 1995.

(Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981); (iii) criação do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), com os objetivos principais de estabelecer normas e critérios para o licenciamento de atividades poluidoras, e determinar a elaboração de estudos ambientais de alternativas e de impactos associados à implantação de empreendimentos públicos e privados em território nacional; e (iv), por fim, pela promulgação da Resolução Conama nº 001, em 23 de janeiro de 1986, que regulamentou a elaboração de EIA-RIMAs, estabelecendo critérios e normas para o licenciamento e implantação de empreendimentos com significativo impacto ambiental.

Ross (1995) destaca, ainda, que com o reconhecimento da existência do Conama e o reforço da necessidade de desenvolvimento dos EIA-RIMAs pela Constituição Brasileira de 1988, passa a ser exigido dos Estados o estabelecimento de legislação própria, através da incorporação da questão ambiental e dos EIA-RIMAs em sua base legal e da criação dos Conselhos Estaduais de Meio Ambiente (Consema).

O licenciamento ambiental assumiu assim, através da apresentação de EIA-RIMAs ou de estudos ambientais mais simplificados, *status* de obrigatoriedade para a implantação ou expansão de empreendimentos no território brasileiro, enquanto instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente.

Os tópicos, abaixo, apresentam sistematização das principais leis que compõem o histórico de inserção da AIA no Brasil, bem como dos estudos ambientais previstos neste instrumento, dentre os quais, são destacados os EIAs, tendo em vista os objetivos da presente pesquisa.

Resolução Conama nº 001 de 23 de janeiro de 1986

Esta Resolução, instituída pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, é considerada como o marco legal da implantação das Avaliações de Impacto Ambiental no país. Ao longo de seus doze artigos, ela:

- (i) Prevê a adoção da AIA como instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente;
- (ii) Estabelece quais intervenções antrópicas estão sujeitas à realização de EIAs-RIMAs e os itens mínimos que devem ser apresentados em cada um;
- (iii) Cita a equipe envolvida na realização de tais estudos;
- (iv) E versa sobre prazos de análise, o papel dos diferentes órgãos e níveis governamentais, entre outros aspectos.

O artigo 1º, que define o conceito de impacto ambiental, encontra-se transcrito a seguir, acompanhado do caput e do inciso I, do Artigo 2º, que dispõe sobre a obrigatoriedade de realização de EIA e RIMA para empreendimentos rodoviários de maiores dimensões, tendo em vista o objetivo da presente pesquisa.

Artigo 1º - Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II – as atividades sociais e econômicas;

III – a biota;

IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V – a qualidade dos recursos ambientais.

Artigo 2º - Dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental – RIMA, a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e do IBAMA em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como:

I – Estradas de rodagem com duas ou mais faixas de rolamento; [...]

Em relação aos Estudos de Impacto Ambiental, a Resolução cita, nos artigos 5º e 6º, a necessidade de apresentar:

- (i) As alternativas locacionais e tecnológicas do projeto, comparando-as com a possibilidade de não implantação do empreendimento;
- (ii) As áreas de influência direta ou indiretamente afetadas pelo projeto, considerando, de preferência, a bacia hidrográfica envolvida;
- (iii) Diagnóstico ambiental contemplando a situação das áreas de influência anterior à implantação do empreendimento, descrevendo e analisando as características e interações entre os meios físico¹¹, biológico e socioeconômico;
- (iv) Avaliação dos Impactos Ambientais, descrevendo e interpretando sua magnitude, a relação direta ou indireta com o projeto, seu tempo de permanência, e outros aspectos importantes¹²;
- (v) As medidas mitigadoras dos impactos identificados como negativos;
- (vi) E, por fim, os programas de acompanhamento e monitoramento de tais impactos, definindo parâmetros para sua avaliação ao longo do tempo.

Resolução Conama nº 237, de 19 de dezembro de 1997

Instituída quase doze anos depois da Resolução Conama 001, esta legislação foi elaborada com o objetivo de atualizar, revisar e tornar mais claros os critérios e procedimentos utilizados no processo de licenciamento ambiental, entendido enquanto instrumento de gestão da Política Nacional de Meio Ambiente.

¹¹ “[...] a) o meio físico – o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d’água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas.” (BRASIL, 1986, Artigo 6º, inciso I, a).

¹² “[...] II – Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, através da identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando: os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazos, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a distribuição dos ônus e benefícios sociais.” (BRASIL, 1986, Artigo 6º, inciso II).

Para tal, são primeiro definidos os significados dos termos e conceitos utilizados neste processo, acompanhados das competências e responsabilidades de cada órgão ambiental nas esferas governamentais (federal, representado pelo Ibama, estadual e municipal), e das principais etapas do processo de licenciamento, descrevendo as ações à cargo do empreendedor e do órgão ambiental, bem como os prazos e licenças emitidas em cada etapa.

Em comparação com a anterior, esta Resolução apresenta maior detalhamento das etapas, agentes e parâmetros envolvidos, demonstrando maior maturidade do processo desde seu início efetivo, com a Resolução 001/1986. Por exemplo, o artigo 3º atribui a elaboração de EIAs e RIMAs para os empreendimentos com significativo impacto ambiental, detalhado no Anexo 1 da legislação, apresentando, no artigo seguinte, outros tipos de estudos ambientais, mais simplificados e indicados para projetos com menor interferência na paisagem.

No Anexo 1 da Resolução são apresentadas como atividades ou empreendimentos sujeitos ao processo de licenciamento, obras civis diversas, dentre as quais, as rodovias, bem como a fabricação de cimento e as usinas para produção de concreto e asfalto, envolvidas na implantação de empreendimentos rodoviários e usualmente localizadas em seu canteiro de obras.

Esta perspectiva panorâmica da evolução e consolidação das bases da Avaliação de Impactos Ambientais, tema que integra uma das discussões basilares desta dissertação, contextualizou historicamente e circunscreveu aspectos e conceitos elementares ao entendimento dos impactos de obras viárias, que serão explorados nos itens subsequentes.

Considerando a importância histórica do sistema viário para o Brasil, tanto em relação à ocupação territorial, quanto a estruturação da economia, os conceitos gerais, a consolidação das AIAs e a incorporação delas como principal ferramenta para implementação de numerosas leis ambientais, são itens fundamentais para o entendimento do contexto geral que tornou iminente a necessidade de se enfatizar, inventariar e caracterizar detalhadamente os impactos de estruturas viárias no sistema geomorfológico.

3.1.7. Engenharia de Estradas

Segundo Chiossi (2013), os elementos básicos do corpo estradal de uma rodovia são: o pavimento, composto por duas ou mais camadas, o leito e o sub-leito, conforme ilustrado pela Figura 5, a seguir:

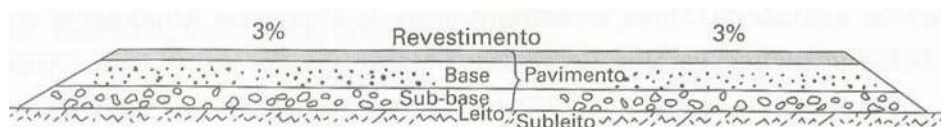


Figura 5 – Estrutura básica do eixo viário de uma estrada

Retirado de: Chioffi (2013), p. 332

O pavimento pode ser definido como a estrutura que suporta diretamente o tráfego de veículos e o distribui para a fundação, dividindo-se entre: (i) o revestimento, definido como a camada superior e mais impermeável, sobre a qual transitam os veículos, sofrendo a ação direta de seus rolamentos. Desta forma, seu material e estrutura objetivam facilitar a circulação e suportar os esforços resultantes de seu peso; (ii) a base, responsável pela sustentação da camada do revestimento e pela distribuição dos esforços verticais aplicados no primeiro; (iii) a sub-base, camada opcional destinada a auxiliar o nível superior, no suporte e distribuição da carga.

Na sequência, o leito consiste na superfície resultante da terraplenagem, caracterizado por separar o pavimento da camada imediatamente inferior, denominada sub-leito. Este se refere ao terreno de fundação da estrutura, abrangendo os aterros e cortes realizados na superfície para preparação e assentamento da obra (CHIOSSI, 2013).

Em relação às fases de implantação de uma rodovia, Fornasari Filho (1992), na publicação “Alterações no Meio Físico Decorrentes de Obras de Engenharia”, da qual é coordenador, destaca sete etapas principais, organizadas de forma sequencial:

- Realização de investigações geológico-geotécnicas, para obtenção de dados que subsidiem o estudo do traçado e de implantação da estrutura. Associadas a esta fase, estão ações como o desmatamento e abertura de picadas, de poços e trincheiras, a realização de sondagens mecânicas e de levantamentos geofísicos.
- Na sequência, destacam-se as movimentações de solos e rochas, que consistem na abertura de cortes, obtenção de materiais de empréstimo, realização de aterros, colocação das fundações de pontes e viadutos, escavação de túneis, disposição de materiais excedentes e abertura de estradas de serviço.
- A execução de obras de contenção dos cortes e taludes refere-se à próxima etapa, envolvendo a instalação de muros convencionais de gravidade, que utilizam o próprio peso da obra para suporte (compostos, por exemplo, de pedra-seca, pedra-argamassada, gabião-caixa e concreto armado); de mecanismos estabilizadores de blocos, como chumbadores, tirantes e cortinas atirantadas, para conter massas de solo e blocos de rochas; e a realização de aterros reforçados, dentro dos quais são introduzidos elementos que auxiliam e trabalham em conjunto com o solo compactado, como mantas e armaduras metálicas.

- A próxima etapa consiste na execução das obras de drenagem, com a finalidade de captar e redirecionar os fluxos superficiais e subsuperficiais de cortes, aterros e da pista de rolamento. Para tal, são implantadas valas, canaletas, guias e sarjetas, tubos de concreto, escadas d'água, caixas de dissipação e transição, bem como, trincheiras drenantes e drenos horizontais profundos, para os fluxos de subsuperfície.
- Integradas à drenagem artificial, por evitarem processos erosivos e reduzir a infiltração da água na estrutura, as obras de proteção superficial envolvem esta próxima etapa, com a implantação de cobertura vegetal, selagem com solo argiloso, cobertura com gabião-manta e pano de pedra, ou mesmo a utilização de materiais artificiais, como a impermeabilização asfáltica, e a utilização de telas metálicas e argamassa.
- O tratamento do corpo estradal e dos acostamentos é desenvolvido na etapa seguinte, com o objetivo de criar uma superfície de rolamento uniforme e segura. Esta fase abrange desde as atividades de pavimentação em si, até a produção deste material, em usinas geralmente localizadas no canteiro de obras, dotadas estrutura própria, como a existência de silos, correias transportadoras, sistemas coletores e misturadores.
- Por fim, a última etapa consiste na instalação dos equipamentos e dispositivos de segurança, como sinalização, proteção dos canteiros centrais e acostamentos, etc.

Cabe ressaltar que, a fase de operação da rodovia envolve, ainda, a manutenção preventiva e corretiva de todas suas estruturas, incluindo a drenagem, a proteção de cortes e aterros, a conservação do pavimento, entre outras (FORNASARI FILHO, 1992).

Cada uma dessas etapas possuem impactos sobre as formas, materiais e processos do relevo local, alterando, de forma mais ou menos significativa, as taxas e os balanços de fluxos do sistema geomorfológico. A impermeabilização, os redirecionamento dos fluxos superficiais, a criação de superfícies íngremes nas bermas de cortes e aterros, etc. redefinem os processos superficiais, alterando, por exemplo, a energia e velocidade de fluxos hidráulicos e as cargas de sedimentos. Assim, compreender os pormenores técnicos de obras viárias e suas especificidades em cada caso são indispensáveis à avaliação de seus impactos no meio físico e na identificação de riscos.

3.1.8. Geomorfologia e Engenharia de Estradas

Uma grande área de contribuição dos geomorfólogos, de acordo com Cooke e Doornkamp (1990) é a engenharia civil, onde estes profissionais são, inclusive, muito procurados e exigidos durante as fases de planejamento e implantação de projetos e em parceria com outras ciências, como a geologia de engenharia e a mecânica dos solos.

A utilização do termo geomorfologia de engenharia (*engineering geomorphology*), por autores como Hutchinson (1979), demonstra a importância e o potencial de contribuição atribuído ao diálogo entre estas duas áreas do conhecimento, conforme definição do autor, transcrita abaixo.

The purpose of engineering geomorphology is to achieve an understanding of the nature of landscapes sufficient for engineering works to be carried out safely, predictably and economically within them. It starts with the premise that the earth's surface is, in general, a sensitive indicator of the more recent geological events, and that its morphology thus constitutes a most valuable source of information. (HUTCHINSON, 1979, p. 01 apud COOKE, DOORNKAMP, 1990, p. 11)¹³

Assim, o diálogo e as contribuições da geomorfologia podem ocorrer em diversos setores da engenharia, em especial, no desenvolvimento urbano, no setor de transporte (rodovias, ferrovias, aeroportos e canais hidroviários), de utilidades (como dutovias), de barragens e obras hidráulicas, de drenagem urbana e controle de enchentes, entre outros.

Tal contribuição, segundo os autores, apresenta maior potencial e efetividade na fase de planejamento, sendo, no entanto, de fundamental importância o acompanhamento contínuo do geomorfólogo ao longo das etapas subsequentes, sobretudo nos casos envolvendo acidentes ou problemas específicos, como a ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa.

Diante dos objetivos propostos na presente pesquisa, especial enfoque é atribuído à interação entre a geomorfologia e o setor específico da engenharia dedicado à implantação e manutenção de estradas e rodovias, denominado de engenharia de estradas. Apesar das grandes possibilidades de diálogo e contribuição entre estes dois campos, sobretudo em relação aos aspectos geotécnicos, à estabilidade do terreno e das vertentes, às condições da drenagem e etc., os estudos cooperativos e interdisciplinares entre estas duas ciências são pouco numerosos e pouco reconhecidos.

Para Brunnsden et. al. (1975), tal situação pode ser atribuída, basicamente, ao pequeno número de geomorfólogos treinados para tal aplicação e ao relativo desconhecimento das possibilidades de contribuição da pesquisa geomorfológica para a avaliação e planejamento destes usos, tanto por parte dos engenheiros, quanto da própria geomorfologia.

Para estes autores, do ponto de vista do geomorfólogo, o reduzido reconhecimento das possibilidades de diálogo e contribuição entre estas duas áreas do conhecimento, pode

¹³ [Tradução nossa] O propósito da geomorfologia de engenharia é obter um entendimento sobre a natureza das paisagens, suficiente para que as obras de engenharia sejam conduzidas de forma segura, previsível e econômica, em seu interior. Se inicia com a premissa de que a superfície terrestre é, em geral, um indicador sensível dos eventos geológicos recentes, e que a sua morfologia, portanto, constitui uma fonte muito valiosa de informação.

estar relacionado ao desconhecimento das atribuições da engenharia; ao passo que, os engenheiros, apesar de terem se apercebido das possibilidades de tal interação, não são ainda capazes, porém, de enxergá-la em todo seu potencial para a investigação científica e de avaliá-la de forma adequada.

Com o objetivo de ressaltar as possibilidades de interação e contribuição entre a pesquisa geomorfológica e a engenharia de estradas, utilizando-se de estudos de caso promovidos no Reino Unido e no Nepal, Brunnsden et al. (1975) apresentam em seu artigo, uma série de considerações a respeito do diálogo entre as duas disciplinas e do papel desempenhado pelo mapeamento geomorfológico como principal instrumento e produto da pesquisa geomorfológica.

Dentre as possibilidades de contribuição dos mapas geomorfológicos, os autores destacam que tais produtos podem fornecer um panorama completo das relações gerais existentes em um determinado ambiente, possuindo, desta forma, um grande potencial para auxiliar no planejamento e implantação de rodovias, sobretudo em áreas de maior fragilidade e onde as técnicas tradicionais são pouco adequadas.

São destacadas, pelos autores, como principais vantagens à utilização dos mapas geomorfológicos pela engenharia de estradas: (i) a velocidade e o reduzido custo com o qual tais produtos cartográficos podem ser realizados, em comparação com os mapeamentos e pesquisas geotécnicas; (ii) a grande experiência do geomorfólogo na identificação das formas existentes na paisagem e sua evolução; e (iii) a inclusão no mapa de características de grande interesse aos engenheiros, como a ocorrência de processos atuais ou antigos de vertente, características da rede de drenagem superficial ou subterrânea, a presença de depósitos superficiais, e etc.

Desta forma, de acordo com Brunnsden et al. (1975), os mapas geomorfológicos podem fornecer uma série de orientações à engenharia de estradas, subsidiando principalmente na fase de planejamento ambiental, através de estudos de viabilidade e de investigação local, por exemplo; mas podendo atuar, também, em todo o processo de implantação da rodovia. Dentre as principais contribuições dos mapeamentos geomorfológicos, os autores destacam as seguintes funções:

- identificar, em escala ampla, as características gerais do terreno, como base para avaliação de alternativas à localização do empreendimento, evitando, sempre que possível, áreas de maior fragilidade ou risco;
- identificar as possíveis influências de processos ocorrendo em áreas vizinhas e exteriores ao limite da rodovia;
- fornecer uma síntese do desenvolvimento geomorfológico da área, apresentando informações específicas sobre a existência local de materiais de construção, como

areias, por exemplo; e a ocorrência de processos que possam afetar a implantação e operação da estrada;

- definição dos riscos existentes no corredor e na área de influência da rodovia;
- descrição das características da drenagem superficial e sub-superficial, auxiliando nas estimativas iniciais de possíveis obras e programas de drenagem;
- apresentar classificação das vertentes, de acordo com sua declividade, composição, desenvolvimento e estabilidade, atuando como subsídio para estimativas de corte e aterro e ações associadas à estabilidade;
- apresentar as características e a suscetibilidade da área ao intemperismo;
- definir unidades geomorfológicas, auxiliando em futuras investigações detalhadas da área escolhida; subsidiando, por exemplo, a seleção de pontos de amostragem e de pesquisas geotécnicas; e possibilitando, assim, a redução dos custos do projeto.

Segundo Brunnsden et al. (1975), os mapeamentos produzidos para a engenharia de estradas, no âmbito do planejamento ou da implantação de uma determinada via, podem ser divididos em dois grupos: (i) os mapas geomorfológicos de pequena escala, inferiores à 1:10.000, com menor nível de detalhe e maiores generalizações, utilizados predominantemente para estudos de viabilidade e de planejamento dos empreendimentos; e (ii) os mapas geomorfológicos de detalhe, com escala de até 1:10.000, com precisão significativa e geralmente focados em uma determinada área do projeto ou ao longo de toda sua extensão, denominados também de plano geomorfológico, segundo termo utilizado pelos autores.

Os primeiros são caracterizados por fornecer uma visão geral de uma determinada área, através, por exemplo, da identificação de formas homogêneas do terreno, sendo, portanto, mais indicados para a etapa de seleção e planejamento de possíveis rotas e locais para implantação da rodovia.

De acordo com os autores, os estudos geomorfológicos promovidos nesta escala podem ser complementados, ainda, por análises integradas da paisagem, apresentando informações mais completas sobre as características do relevo, da geologia, do solo, da vegetação e da interação entre estes elementos. No entanto, eles podem apresentar algumas limitações, como por exemplo, na identificação de formas mais detalhadas da paisagem, consideradas necessárias para o desenvolvimento de análises mais aprofundadas promovidas no decorrer da implantação da rodovia.

Ainda assim, a possibilidade de realização de grande parte do mapeamento através de fotografias aéreas e sensores remotos, é apontada como uma grande vantagem dos produtos cartográficos realizados nestas escalas, reduzindo-lhes o custo e o tempo investido em sua elaboração.

Os mapas geomorfológicos de detalhe, por sua vez, são indicados para investigações em rotas já definidas ou em locais específicos, onde é necessária descrição mais detalhada sobre a área a ser ocupada pelo empreendimento e seu entorno. De acordo com Brunsten et al. (1975), tais planos geomorfológicos podem ser divididos em três grupos, segundo sua etapa de aplicação: estágio de reconhecimento, estágio de investigação e estágio de construção.

Concebido enquanto subsídio para a rápida avaliação de uma determinada rota e de suas alternativas locais, o estágio de reconhecimento, envolve a análise da estabilidade das vertentes e do terreno em geral, bem como de suas declividades, das características da litologia, da condição da drenagem, dos solos e da cobertura vegetal, possuindo igualmente como objetivo auxiliar na preparação de investigações geotécnicas e pedológicas detalhadas, apontando, por exemplo, os locais para realização de amostragens e possibilitando a redução dos custos de viabilidade da obra.

Dedicado à análise dos mesmos elementos da etapa anterior, porém variando em relação ao detalhamento e à intensidade de observação; os mapas geomorfológicos elaborados no estágio de investigação possuem como objetivo avaliar as características geomorfológicas de uma rota já determinada seja em sua total extensão ou apenas em locais com problemas específicos. Como principais contribuições desta etapa à engenharia de estrada, os autores destacam: a redução das investigações e de problemas geotécnicos, através do subsídio à elaboração de programas de investigação geotécnica aprofundada em locais específicos apontados como potencialmente problemáticos; o subsídio ao desenvolvimento de projetos preliminares de sistemas de drenagem, cortes e aterros, e à elaboração dos respectivos orçamentos preliminares destes setores.

Apesar de mais raros, os mapeamentos geomorfológicos realizados durante o estágio de construção estão usualmente associados à necessidade de investigações e ações remediadoras de eventuais problemas e falhas durante a implantação da rodovia, dividindo-se, basicamente, em três situações: (i) diagnóstico e subsequente resolução do determinado problema; (ii) enquanto registro das características geomorfológicas do local para futuras obras de melhoria da estrada, como duplicações; e (iii) como registro para subsidiar possíveis ações contratuais e judiciais, como problemas em propriedades vizinhas e alterações nas condições do terreno e drenagem após a implantação do empreendimento.

De acordo com Brunsten et al. (1975), a realização de tais produtos envolve a utilização de técnicas de mapeamento geomorfológico, abarcando a manipulação de fotografias aéreas e/ou imagens orbitais e a checagem de campo, aplicadas de acordo com os objetivos específicos do estudo e da área de interesse, sendo recomendada a apresentação do produto final sobre o projeto básico do empreendimento preparado pela engenharia.

Com base nos argumentos apresentados no artigo, descritos brevemente acima, os autores concluem assinalando as vantagens da utilização da cartografia geomorfológica como instrumento, comparativamente de baixo custo e tempo, para obtenção de evidências sobre as formas e processos atuais do relevo e sua evolução. No entanto, ressaltam que tal mapeamento não representa uma alternativa às investigações geológicas e geotécnicas, tratando-se, na realidade, de um subsídio e uma orientação aos estudos realizados por estas áreas do conhecimento.

Por fim, os Brunsten et al. (1975) destacam, ainda, a necessidade de uma conscientização e acordo mútuo entre geomorfólogos e engenheiros de estradas, por meio da qual os primeiros se comprometam a realizar análises e preparar mapas geomorfológicos mais relevantes e dialogáveis com o campo da engenharia; e os segundos busquem maior conhecimento das potencialidades de contribuição oferecidas pela a geomorfologia; conforme exposto na citação abaixo:

There is a need for the geomorphologist to gain experience in preparing plans in a form relevant to the engineer, and for engineers to acquire a greater awareness of what a geomorphologist can provide. [...] The initial success of the applications of geomorphological mapping suggests, however, that there exists a fruitful field for interdisciplinary co-operation. (BRUNSDEN et al., 1975, p. 252)¹⁴.

Nir (1983), cujas contribuições para geomorfologia antropogênica foram exploradas em capítulos anteriores, tece considerações a respeito: da história da construção e implantação de rodovias, desde a Antiguidade; dos principais efeitos geomorfológicos associados à sua implantação, com destaque para estruturas específicas, como a utilização de pontes; e das possíveis soluções para prevenção e reversão dos processos deflagrados. O autor descreve, ainda, a quantidade de material mobilizado e os efeitos geomorfológicos referentes a outros meios de transporte, como as ferrovias, dutovias e canais hidroviários, cujas características e conseqüências não serão abordadas nesta dissertação, diante de seus objetivos.

Outra disciplina preocupada com a interação entre as componentes dos sistemas físicos, em especial a litologia, e as estruturas resultantes das aplicações da engenharia civil, consiste na Geologia de Engenharia.

Representante da vertente aplicada da Geologia e, mais especificamente conectada, em termos curriculares, à Mecânica dos Solos (CHIOSSI, 2013), a Geologia de Engenharia objetiva o diálogo entre estas duas áreas do conhecimento, buscando prever e solucionar

¹⁴ [Tradução nossa] Há uma necessidade de que os geomorfólogos ganhem experiência na preparação de planos de uma forma relevante aos engenheiros, e de que engenheiros adquiram uma maior consciência daquilo que o geomorfólogo pode fornecer. [...] O sucesso inicial das aplicações dos mapeamentos geomorfológicos sugere, no entanto, que existe um frutífero campo para a cooperação interdisciplinar.

problemas e respostas que possam surgir da interação entre os aspectos litológicos e estruturais da superfície terrestre e as intervenções antrópicas promovidas pela engenharia civil.

No âmbito dos materiais, esta disciplina se dedica, por exemplo, à investigação das influências de algumas propriedades físicas, químicas, mecânicas e, sobretudo, geotécnicas, das rochas, voltada à conservação e durabilidade das estruturas de engenharia.

Dentre as propriedades citadas por Chiossi (2013), cabe destacar, em relação às obras viárias e ao setor de transportes em geral, as seguintes propriedades:

- **Reatividade:** Propriedade química que expressa a possibilidade de uma rocha reagir, quimicamente, ao entrar em contato com outro composto, podendo ocasionar efeitos adversos.
 - Por exemplo, alguns minerais, como a sílica mineral, silicatos, feldspatos, piroxênios, anfibólios, micas, quartzos, entre outros; reagem com um composto específico, denominado álcalis, presente em alguns cimentos (como o cimento Portland¹⁵), podendo contribuir para a deterioração do concreto e da argamassa, utilizados na estrutura.
 - A presença de sulfato de cálcio nos fluxos de subsuperfície, pode reagir e atacar o concreto do revestimento de túneis e outras estruturas subterrâneas, uma vez em contato com seu interior.
- **Durabilidade:** Propriedade química referente à resistência da rocha ao intemperismo.
- **Elasticidade:** Propriedade física relacionada à deformação da rocha e a capacidade desta de retornar às dimensões originais, quando pressionada por uma determinada carga.
- **Coefficiente de Poisson:** A maior parte das rochas deforma-se de modo desigual em relação às suas quatro dimensões, sendo, assim, denominadas anisotrópicas. Esta propriedade física consiste na proporção entre as deformações verticais e as longitudinais. Em conjunto com a variável anterior, seu resultado é fundamental para a construção de túneis e galerias subterrâneas.

¹⁵ Tipo de cimento muito utilizado na construção civil por conta de sua alta durabilidade e resistência à aplicação de carga e variação de temperatura, bem como por sua grande facilidade em ser moldado, quando em estado fresco, tornando-o indicado para aplicação em praticamente qualquer obra da engenharia civil. Criado em 1824, pelo químico britânico Joseph Aspdin, como homenagem à ilha britânica de Portland, devido à similaridade entre as propriedades de sua criação e as rochas do local; este cimento, que combina calcário, argilas, gipsitas, margas, britas de rocha e gesso; passou a ser produzido no Brasil de forma sistemática a partir de 1924, com a implantação da Companhia Brasileira de Cimento Portland, em Perus (município de São Paulo, SP), considerada um marco histórico na indústria brasileira de cimentos. Atualmente produzido em 56 fábricas espalhadas pelo país, sua utilização nas obras de engenharia civil em território nacional é bastante frequente, conforme descrição disponível na página eletrônica da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Endereço eletrônico: www.abcp.org.br. Acesso em: jan/2015.

As propriedades mecânicas referentes à resistência da rocha a diversas situações e tipos de choque, também são fundamentais aos estudos e implantação de obras viárias, tais como:

- Resistência à compressão: Propriedade que expressa a tensão por compressão que uma rocha é capaz de suportar até romper-se, denominada tensão de ruptura.
- Resistência ao choque: Resistência ao impacto do choque de um corpo caindo em queda livre, com um determinado peso e altura. Em conjunto com a variável anterior, é considerada fundamental em relação à tensão exercida pelo peso do tráfego no pavimento e nas estruturas implantadas.
- Resistência ao desgaste: Propriedade expressa pela resistência de uma rocha ao atrito entre seus próprios fragmentos ou ao desgaste pelo atrito com materiais abrasivos, como pedaços de aço. Considerada propriedade fundamental para pavimentação com paralelepípedos, por permitir determinar a suscetibilidade do piso à perda de suas ranhuras.
- Resistência à britagem: Referente à suscetibilidade da rocha a fragmentar-se quando submetida à ação de um britador. De grande importância na fase do projeto de engenharia e, mais especificamente, no chamado projeto de cálculo de concreto, documento no qual o técnico responsável determina o tipo de britador a ser utilizado, o fator e os estágios de redução do concreto, e outras variáveis necessárias ao controle dos fragmentos de rocha.

Em relação às características geotécnicas das rochas, a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE) considera quatro propriedades geotécnicas fundamentais à implantação e conservação das obras de engenharia (CHIOSSI, 2013). São elas:

- Grau de alteração: dividido entre as categorias “rocha praticamente sã”, “rocha alterada” e “rocha muito alterada”.
- Grau de resistência à compressão simples: Equivalente à propriedade mecânica de resistência à compressão, porém calculada de forma mais simples, com menor número de amostras, e expressa em quatro categorias, variando de muito resistente a muito branda.
- Grau de consistência: Propriedade que sintetiza a resistência ao choque (via uso do martelo), a dureza (risco e corte por canivete de aço) e a friabilidade (esfarelamento), em quatro categorias, de muito consistente à friável.
- Grau de faturamento: Refere-se ao número de fraturas presentes naturalmente na rocha, ou seja, sem a interferência de instrumentos, expressa em fraturas por metro linear e dividida em seis intervalos, de acordo com o número de fraturas.

A utilização de rochas e materiais localizados nas proximidades da área de implantação de uma obra de engenharia civil é considerada prática comum e preferencial, reduzindo os custos de transporte do material, bem como limitando os impactos de extração e construção de canteiros de obra e acessos à área de influência dos empreendimentos.

Chiossi (2013) destaca a importância de serem observadas três variáveis: (i) a qualidade do material, no que tange à ação do intemperismo e à presença de falhas, variando os níveis aceitáveis conforme a finalidade de uso; (ii) o volume de material útil e disponível, estimado via prospecção geológica, por meio de sondagens, perfis e métodos geofísicos¹⁶; e (iii) a localização geográfica da jazida e acesso à área de realização da obra de engenharia.

Outro aspecto ressaltado por Chiossi (2013) consiste nos elementos e variáveis estruturais das rochas, como a presença de dobras, falhas e fraturas, consideradas fundamentais para as diversas etapas do processo de planejamento, implantação e operação de obras de engenharia. De acordo com o autor:

:

Nunca é demais insistir na importância dos elementos estruturais numa obra de engenharia, pois túneis, barragens ou cortes rodoviários podem encontrar zonas de fraqueza ou ruptura causadas por falhas, dobras ou fraturas, dificultando e encarecendo as obras (CHIOSSI, 2013, p. 95).

Com base nas colocações de Chiossi (2013) acerca dos objetivos da geologia de engenharia e das principais propriedades e elementos estruturais das rochas investigados por esta disciplina, é possível destacar o papel fundamental dos estudos e diagnósticos do meio físico, nas diversas fases de implantação de empreendimentos rodoviários, e de engenharia de modo geral; em especial nas etapas de seleção de traçados, frente aos materiais existentes no local; e na construção e operação da obra, considerando a interação entre os materiais e a estrutura construída.

3.1.8.a. Impacto Geomorfológico de Estradas

De acordo com Nir (1983), a história da intervenção antrópica associada à implantação de eixos viários, assim como outras atividades humanas, como a agricultura e a mineração; remonta desde a Antiguidade. Como exemplo, o autor cita os seguintes casos emblemáticos: (i) eixo viário construído por civilização pré-incaica, com cerca de 6.400 km de extensão, abrangendo desde Quito (Equador) à Tucumán (Perú), aproximadamente 7 metros de largura e pavimentada com espécie de asfalto natural; (ii) estradas e vias

¹⁶ Métodos indiretos para investigação do subsolo, com o objetivo de identificar os tipos e profundidades das rochas, bem como a presença de descontinuidades e elementos estruturais como falhas, dobras e fraturas. Mais rápidos e econômicos em comparação com os métodos diretos (abertura de poços e trincheiras, tradagem, sondagem a percussão e sondagem rotativa), por obterem medidas por meio de aproximações, os métodos geofísicos são basicamente representados por: métodos gravimétricos, magnéticos, elétricos e sísmicos.

construídas pelo Império Romano, conectando diversos locais de seu território, e somando, ao total, cerca de 80.000 km de extensão, a maior parte das quais com largura de 5 metros e pavimentos de até um metro de espessura; e, por fim (iii) estrada construída pela civilização babilônica, interligando as regiões do rio Eufrates e o Egito, através de via pavimentada com mistura de blocos de argila e rochas, unida por argamassa de asfalto natural.

Passando por períodos de menor utilização, durante o século XVIII e frente à expansão ferroviária, as estradas ressurgiram e se firmaram no cenário mundial a partir do século XIX, diante dos novos desenvolvimentos tecnológicos do setor, associados, sobretudo, às novas técnicas de pavimentação. No entanto, para o autor, o período atual da engenharia de estradas destaca-se dos demais, por mobilizar grandes quantidades de material e por utilizar equipamentos e técnicas modernas, que permitem implantação de estruturas anteriormente de difícil execução.

De acordo com Nir (1983), o período considerado mais crítico para alteração e deflagração de processos geomorfológicos associados à implantação de estradas e rodovias, ocorre durante as fases de construção, envolvendo a remoção da cobertura vegetal e a estabilização da nova superfície. No entanto, o autor destaca que, mesmo após sua implantação, as estruturas rodoviárias acarretam em mudanças permanentes na dinâmica geomorfológica da região onde estão localizadas.

Dentre os principais efeitos relacionados à sua implantação, o autor destaca as influências na drenagem, no escoamento e, principalmente, aqueles associados à impermeabilização do solo, promovida pela pavimentação da superfície.

Em relação a este último, o autor aponta a interface e as interações existentes entre a superfície pavimentada e a camada vizinha de solo (exposto ou com vegetação) como o ponto principal de fragilidade das estruturas rodoviárias, sob a perspectiva geomorfológica, promovendo importantes alterações nas taxas dos processos superficiais, com destaque para a erosão. O retorno e adensamento da vegetação nas áreas vizinhas ao pavimento possuem papel fundamental na redução de tais efeitos, no entanto, a velocidade de seu restabelecimento está associada às características climáticas da região onde a obra está localizada.

A impermeabilização apresenta, ainda, importantes efeitos no equilíbrio termal do solo que, devido à implantação da nova camada, passa a não receber incidência da radiação solar, resultando na destruição gradativa de sua cobertura natural, e na concentração do escoamento superficial, sobretudo nas obras e mecanismos de drenagem implantados ao longo da rodovia, resultando em uma descarga concentrada e acelerada nos cursos d'água, superior aquela que os canais naturais recebiam anteriormente, podendo resultar na deflagração de processos de retirada de material e em formas erosivas.

Tal escoamento concentrado proveniente da rodovia, pode igualmente prejudicar a qualidade da água que passa a receber fluxos com materiais emitidos pelo tráfego em circulação na estrutura, como óleos, graxas, sujeira e cinzas; e materiais provenientes da erosão e dissolução dos materiais utilizados em sua construção.

Além do papel de destaque atribuído pelo autor à impermeabilização do solo, Nir (1983) enumera outras importantes influências e efeitos geomorfológicos da implantação de rodovias, como as influências de cortes e aterros, mudanças no escoamento superficial, deposição e assoreamento de canais e efeitos em ambientes com condições de *permafrost*, não detalhados na presente pesquisa, apesar de sua relevância à engenharia de estradas.

Primeiramente, o autor ressalta a influência da realização de movimentações de terra, como cortes nas vertentes, seja para implantação da via ou para empréstimo de materiais, podendo alterar significativamente o equilíbrio hidrológico e ocasionar movimentos de massa em tais locais, devido a fragilização da vertente.

O conjunto de processos denominados pelo autor de efeito cascata é apontado como outro aspecto de fundamental importância na dinâmica geomorfológica das regiões afetadas pelas rodovias e na manutenção de tais estruturas. De acordo com o autor, tal efeito é resultado de processo erosivo inicial causado no contato entre o pavimento e o solo existente imediatamente na sua lateral, criando um espaço entre estas duas superfícies. Seu aprofundamento, somado à ação da gravidade, faz com que o escoamento superficial flua em forma de cascata, podendo, em casos extremos, erodir toda a parte inferior e lateral do pavimento. O autor destaca, ainda, a ocorrência deste mesmo efeito no interior de canais de drenagem artificiais, associado, sobretudo, ao material utilizado na construção destas estruturas.

Os processos de deposição de sedimentos e assoreamento de canais são igualmente destacados por Nir (1983) em sua obra, estando relacionados, de acordo com o autor, à intensidade dos processos erosivos deflagrados pela implantação das rodovias, como pelas influências exercidas pelo tipo e tamanho de pontes existentes ao longo de sua extensão.

Em relação aos efeitos geomorfológicos associados à implantação de pontes, o autor destaca: (i) a diminuição da área da seção transversal do canal pela implantação dos pilares, podendo induzir turbulências e remoção de materiais de fundo. Caso a estrutura seja de grande dimensão, a velocidade do fluxo pode aumentar nestes pontos, resultando na elevação do nível d'água. A combinação do fluxo turbulento e do aumento de sua velocidade pode causar distúrbios no equilíbrio do material existente no fundo do canal, resultando em sua remoção e em possíveis danos à estrutura; (ii) alagamentos à montante da ponte e acúmulo de sedimentos, associados à ocorrência de uma descarga no canal superior à vazão média com base na qual a estrutura foi construída, fazendo com que esta

atue como uma barragem de parte do fluxo. Neste caso, o autor ressalta, também, a possibilidade de ocorrência do efeito cascata em sua porção de jusante; e (iii) erosão das margens e bancos laterais de sustentação destas estruturas, durante ocasiões de cheia, conforme descrito no item anterior, caso estas estejam desprotegidas das adequadas medidas de estabilização.

Desta forma, o autor defende que estruturas como canais artificiais, dutos e pontes construídas com capacidade insuficiente para escoamento do fluxo em períodos de cheia, podem atuar como importantes agentes indutores de processos geomorfológicos, sobretudo erosivos, apesar de terem sido concebidas como forma de proteção e manutenção das rodovias.

A superação de tais problemas envolve uma série de ações e medidas, que perpassam os aspectos econômicos e de engenharia destas estruturas. Neste sentido, Nir (1983) enfatiza primeiramente a questão econômica, afirmando que o cerne de grande parte destes efeitos geomorfológicos reside nos altos custos associados à construção de tais estruturas considerando a vazão máxima dos cursos d'água envolvidos. Assim, o autor destaca a importância da caracterização hidrológica da área objeto de implantação da rodovia e da obtenção de dados sobre seu potencial de inundação.

Nir (1983) sugere, ainda, como possibilidades de atenuação de tais efeitos: (i) a construção de pontes alinhadas à altura das margens do canal sobreposto (e não suspensas por pilares) possibilitando que o nível d'água em situações de cheia a ultrapasse, interrompendo o tráfego momentaneamente em tais ocasiões, porém não acarretando em maiores prejuízos; (ii) aumento da extensão das pontes; e (iii) pavimentação das estruturas com materiais que permitam a permeabilidade da água.

Diante de tais efeitos geomorfológicos e com base nas perspectivas e proposições da geomorfologia antropogênica, o autor destaca as taxas e quantidade de materiais envolvidos na construção de tais estruturas rodoviárias como parâmetro fundamental para análise de seus efeitos no sistema geomorfológico, sobretudo nos dias atuais, com a mobilização de grande volume de material para adoção de um gradiente adequado de declividade, conforme as demandas da rodovia e as características do local de implantação.

Ao final, Nir (1983) propõe a adoção de algumas medidas básicas para redução dos efeitos geomorfológicos a partir da implantação de rodovias, com destaque para os processos erosivos, conforme o excerto a seguir:

The means required for preventing unnecessary soil erosion by road construction are basic and quite simple:

1. reducing road side slopes, flattening of ditches;
2. planting grass on road sides;
3. elimination of sharp angles over the transition from road to ditch;
4. reduction of the period of road construction;

5. establishing sufficient culverts, of appropriate size, to transport the discharge of a flood equal to the maximum measured over a period of at least 10 years;
6. reducing concrete-built ditches, and employing instead vegetation cover;
7. protecting road cuts by vegetation (NIR, 1983, p. 82, 83).

Atualmente, um grande número de autores dedica-se ao estudo das possibilidades de diálogo entre a geomorfologia e a engenharia de estradas, sobretudo em relação aos efeitos e impactos decorrentes de sua implantação, conforme será abordado no item a seguir.

Os autores italianos Tarolli et al. (2013) são alguns dos representantes deste grupo, debruçando-se sobre os efeitos de estradas e trilhas montanhosas, em específico na região dos Alpes, na direção dos fluxos, como alterações no escoamento superficial e de subsuperfície. Para tal, estes autores se utilizam de Modelos Digitais de Terreno elaborados a partir de levantamentos topográficos de alta resolução (de 1 m e 0,5 m), obtidos através de *LiDAR (Light Detection And Ranging)* e *laser* terrestre; bem como de índice morfométrico, simplificado e semiautomático.

Além dos resultados obtidos a partir da aplicação, estes autores ressaltam o importante papel desempenhado pela topografia de alta resolução nas investigações geomorfológicas e de impacto ambiental, sobretudo de estradas, descrita por eles como instrumento de grande potencialidade no cenário atual e futuro, conforme citação a seguir.

The new remotely sensed Technologies such as airborne or terrestrial laser scanners (in addition to others, such as SAR – Synthetic Aperture Radar), and the derived high resolution topography will surely play a key role in the recognition and analysis of the anthropogenic fingerprints on the Earth Surface, for a better understanding of the related Earth Surface Processes and Landscape Evolution, especially in the epoch we are living, where the Earth is more and most significantly affected by the human activities. (Tarolli et al., 2013, p. 193)¹⁷.

3.1.8.b. Efeitos do Meio Físico nas Estruturas Rodoviárias

Outro aspecto sobre o qual trata a Geologia de Engenharia, a Mecânica dos Solos e, em específico, a Engenharia de Transportes, reside na interação entre a água e os materiais no interior das estruturas de engenharia, envolvendo os mecanismos de drenagem superficial e de subsuperfície.

¹⁷ [Tradução nossa] As novas tecnologias de sensoriamento remoto, tais como os lasers scanners terrestres e aéreos (além de outros, como o SAR – *Synthetic Aperture Radar*), e a derivada topografia de alta resolução, vão certamente desempenhar papel chave no reconhecimento e na análise de impressões digitais antropogênicas na superfície terrestre, para uma melhor compreensão dos processos da superfície terrestre e da evolução da paisagem, especialmente na época em que estamos vivendo, na qual a Terra é cada vez mais significativamente afetada pelas atividades humanas.

Segundo Suzuki, Azevedo e Kabbach Junior (2013), a presença de água livre¹⁸ ou umidade excessiva no interior do pavimento, resultante do processo de infiltração, percolação ou ascensão capilar, pode causar impactos significativos na estrutura viária, a curto ou longo prazo, como alterações geométricas nas vias, degradação do pavimento, rupturas e, conseqüentemente, a redução de sua vida útil.

Tais efeitos estão associados, ainda, à inexistência ou inadequação dos sistemas de drenagem, que podem redirecionar os fluxos e evitar a saturação dos materiais componentes da estrutura.

De acordo com os autores, os profissionais envolvidos na pavimentação de obras rodoviárias e aeroviárias, buscam planejar e construir estruturas robustas, que resistam à aplicação da carga do tráfego e à ação dos agentes ambientais. No entanto, alguns aspectos são, por vezes, desconsiderados e resultam em problemas significativos às obras, tais como: (i) a aplicação de carga do tráfego quando os materiais da estrutura estão sob condições saturadas; (ii) a existência de nível freático elevado; e (iii) a entrada de água e contaminantes, rodoviários e urbanos em geral, no interior da estrutura.

Assim, para Suzuki, Azevedo e Kabbach Junior (2013):

[...] Sem dúvida a água produz grande efeito nas propriedades mecânicas dos materiais constituintes e no desempenho do pavimento em longo prazo.
[...] Os materiais de pavimentação devem ser avaliados também quanto à sua capacidade de drenagem. (p. 08).

A principal forma de contato e interação entre a umidade excessiva e o pavimento, ou até mesmo, a camada do sub-leito do corpo estradal; consiste na infiltração da água da chuva ou do escoamento superficial por meio de trincas e juntas, localizadas na superfície do pavimento, ou através das bordas do acostamento, em seu limite com a pista, considerada um das áreas mais vulneráveis das estruturas viárias, destacada também pelo geomorfólogo Nir (1983), ao apontar as principais fragilidades associadas à implantação de estrutura viária e sua interação com o sistema geomorfológico.

De acordo com Suzuki, Azevedo e Kabbach Junior (2013), a presença de tais pontos suscetíveis à infiltração, como as trincas e juntas, relaciona-se principalmente, à permeabilidade e porosidade do material empregado nas camadas das estruturas, à intensidade do tráfego em circulação, e à magnitude, frequência e duração das chuvas, que potencializam o processo contínuo de formação destas áreas mais frágeis.

Outro fator de grande importância neste processo consiste na configuração geométrica da pista, em relação ao gradiente transversal e longitudinal. O primeiro está

¹⁸ Conceito utilizado na Engenharia, para referir-se a água que circula de forma irrestrita nas estruturas civis, podendo causar deterioração de seus materiais (Suzuki; Azevedo; Kabbach Junior, 2013).

associado à declividade em direção ao acostamento, influenciando na velocidade na qual os fluxos atingem os pontos laterais mais baixos nesta porção da via. O segundo, por sua vez, relaciona-se à declividade ao longo do eixo da pista e à distância percorrida pelos fluxos para escoamento, de forma que, quanto maior o percurso (e, portanto, menor gradiente e maior dificuldade de escoamento), maior a exposição de trincas e fraturas no pavimento, aumentando a possibilidade de infiltração.

O trecho extraído a seguir, destaca o papel da infiltração da água da chuva e os pontos de maior fragilidade à ocorrência deste processo.

As precipitações pluviométricas são a maior fonte de águas que penetram a estrutura dos pavimentos, podendo ocasionar infiltrações tanto pela superfície como pelas bordas na junção pista-acostamento. [...] Em pavimentos de concreto, a maior parcela de infiltração ocorre através das juntas longitudinais e transversais e trincas presentes nas placas de concreto de cimento Portland (CCP) ao longo do tempo. Quando o acostamento dos pavimentos de concreto é composto por revestimento asfáltico, a junta pista-acostamento é outro ponto significativo de infiltração, caso não seja devidamente tratado. (Suzuki, Azevedo e Kabbach Junior, 2013, p. 16, 17).

Ainda, a utilização de diferentes materiais na pista e no acostamento das estruturas rodoviárias, como por exemplo, de concreto de cimento Portland na primeira e revestimento asfáltico, ou mesmo, solo exposto, na segunda, pode torná-las mais propensas à infiltração neste ponto de contato, diante das diferenças na trabalhabilidade dos materiais.

A implantação e cultivo de vegetação ao longo de acostamentos não revestidos, apesar de, em sua concepção, auxiliar na interceptação e retenção da água da chuva no solo, pode ser um fator importante no aumento da suscetibilidade da estrutura viária à infiltração. De acordo com Suzuki, Azevedo e Kabbach Junior (2013), o pavimento atua como uma fonte constante de detritos, associados ao tráfego e outros fatores, que podem se acumular na vegetação e gradualmente selar a superfície, retendo os fluxos de água no pavimento e tornando mais propícia sua infiltração nas falhas e fraturas.

A implantação de estruturas adequadas de drenagem superficial e de subsuperfície é destacada pelos autores como a solução mais indicada e efetiva para tais questões. No entanto, a instalação indevida, utilizando diferentes materiais e criando descontinuidades entre a pista e os dispositivos de drenagem, podem facilitar a infiltração lateral e resultar na formação de trincas e juncos. Novamente é possível estabelecer paralelo com as observações feitas pelo geomorfólogo Nir (1983), que já ressaltava a importância destas descontinuidades em sua obra "*Man: a Geomorphological Agent*", no capítulo relativo às obras lineares de engenharia.

A presença de água livre circulando no interior da estrutura promove, com o passar do tempo, alteração dos materiais e processo gradual de degradação do pavimento, reconhecível pela presença de manchas na pista, alterações geométricas, como o desnivelamento e a formação de trilhas de roda; bem como, pelo surgimento de trincas e de vegetação no interior das fraturas.

De acordo com Suzuki, Azevedo e Kabbach Junior (2013):

Devido à gravidade da situação, a sinergia entre as solicitações de tráfego, as características dos materiais e aumento da umidade podem acelerar o processo de deterioração do pavimento, reduzindo sua vida útil. (p. 22).

Como medidas preventivas, os autores destacam a implantação de estruturas de drenagem superficial, como sarjetas, valetas e dispositivos de captação, para rápida retirada da água da plataforma viária; e de drenagem subsuperficial, composta por camadas permeáveis conectadas a drenos, instaladas com o objetivo de evitar a infiltração da água e uma condição saturada da estrutura. Para casos nos quais o nível freático se encontre elevado, os autores indicam a instalação profunda de dispositivos de drenagem, visando o rebaixamento do lençol e evitando fontes de saturação.

Segundo os autores, a medida comumente adotada para prevenir tal ação da água e, simultaneamente, reduzir os custos associados à implantação de estruturas mais robustas de drenagem, consiste no incremento da espessura das camadas que compõem o pavimento. No entanto, com o aumento da frequência e volume do tráfego, bem como das cargas por ele transportadas, a maior espessura passou a não ser suficiente para evitar os processos de entrada e circulação da água e a gradativa degradação das estruturas, tornando necessária a implantação de tais dispositivos de drenagem e uma maior atenção a este campo de estudo.

Com base na bibliografia sistematizada neste subcapítulo, elaborou-se quadro (Quadro 2), disposto na página seguinte, com os principais impactos e mudanças nos sistemas ambientais físicos, associados à implantação de rodovias. Cada impacto é acompanhado de descrição mais detalhadas, do tipo de impacto (direto ou indireto), da fase de ocorrência durante o processo de implantação e operação das rodovias, e da posição geográfica do impacto no sistema geomorfológico e na paisagem, em geral.

QUADRO 2 – Síntese dos impactos potenciais nos sistema geomorfológico associados às intervenções de rodovias.

Impacto Geomorfológico	Detalhamento	Tipo de Impacto	Fase de Ocorrência	Tempo de Permanência	Posição Geográfica	Fatores associados
<i>Impacto geomorfológico geral associado à implantação das rodovias</i>	<i>Detalhamento dos processos envolvidos na deflagração do impacto</i>	<i>Direto ou indireto</i>	<i>Implantação ou operação</i>	<i>Implantação ou operação</i>	<i>Posição no sistema geomorfológico e morfologias associadas, ou em relação à rodovia</i>	<i>Fatores associados e que podem influenciar na magnitude do impacto</i>
Produção de novas morfologias	Produção de novas morfologias resultantes da atividade de movimentação de terra (cortes e aterros). Tais alterações na geometria das vertentes podem interferir no escoamento superficial e subsuperficial (infiltração, escoamento subterrâneo e capilaridade), nos processos pedogenéticos, no equilíbrio do ciclo hidrológico, na estabilidade do terreno e, ainda, nos atributos visuais da paisagem. (NIR, 1983; FORNASARI FILHO et al., 1992)	Direto	Implantação	Operação	Ocorrência em todo o terreno superficial	Localização e dimensão dos cortes, aterros e depósitos de material excedente (bota-fora)
Alterações no canal fluvial	Alterações na forma, extensão, padrão, direção, seção transversal e no perfil longitudinal do canal (CUNHA, 2001)	Direto	Implantação	Operação	Localizadas nos cursos fluviais, mas atingindo toda a bacia hidrográfica	Canalização, retificação, obras de drenagem
Redução das condições naturais de estabilidade do terreno	Deflagrada na fase de implantação, associada à remoção da cobertura vegetal e execução de cortes e aterros, podendo favorecer processos de subsidência, desabamento e recalque, associados à escavações ou aplicação de carga e deformações resultantes de aterros e bota-fora. A instalação de dispositivos de drenagem subterrânea também pode acelerar momentaneamente processos de subsidência, devido à acomodação do terreno, cessando com a obtenção de novo equilíbrio. (NIR, 1983; FORNASARI FILHO et al., 1992)	Indireto	Implantação	Implantação e operação	Ocorrência em todo o terreno, abrangendo setores de vertentes e vales	Remoção da cobertura vegetal, altas declividades

Impacto Geomorfológico	Detalhamento	Tipo de Impacto	Fase de Ocorrência	Tempo de Permanência	Posição Geográfica	Fatores associados
Deflagração de processos erosivos	Processos erosivos intensos, como ravinas, sulcos e voçorocas, associados à movimentação de terra e à desestruturção do solo, expondo seus horizontes mais suscetíveis à erosão. (FORNASARI FILHO et al., 1992)	Indireto	Implantação	Implantação		Dimensão e localização dos cortes e aterros
	Formação de processos e feições erosivas relacionadas à interface pavimento/terreno, como o “efeito cascata”. (NIR, 1983; FORNASARI FILHO et al., 1992; SUZUKI, AZEVEDO, KABBACH JUNIOR, 2013)	Indireto	Operação	Operação	Contato entre o pavimento e o terreno	Impermeabilização do solo e tipo de material utilizado no acostamento e no pavimento.
	Na fase de implantação dos dispositivos de drenagem, de proteção superficial e obras de arte, caso ocorra a exposição de solo, é possível a ocorrência de processos erosivos, apesar de estes dispositivos terem como finalidade evitar sua incidência. (FORNASARI FILHO et al., 1992)	Indireto	Implantação	Implantação	Dispositivos de drenagem	Localização dos dispositivos, velocidade de implantação e medidas de contenção adotadas durante a instalação das estruturas.
	Processos e feições erosivas nas estruturas artificiais de drenagem, conforme material utilizado e sua eventual diferença em relação ao material do pavimento. (NIR, 1983; SUZUKI, AZEVEDO, KABBACH JUNIOR, 2013)	Indireto	Implantação	Operação	Estruturas de drenagem e sua interface com o terreno	Impermeabilização e tipo de material utilizado nos dispositivos de drenagem e no pavimento.
	Processos e feições erosivas à jusante de pontes devido à diferença no gradiente e formação de redemoinhos no contato com estes obstáculos, gerando fluxo turbulento local, com escavação e aprofundamento do leito e tendência de redução da estabilidade destas estruturas (processo de <i>scouring</i> , e morfologia resultante: <i>scour hole</i>). Com consequências na qualidade da água, pela ressuspensão de sedimentos contaminados, e no incremento de taxas de assoreamento à jusante. (FORMAN; ALEXANDER, 1998)	Indireto	Operação	Operação	Contato entre os pilares das pontes e fluxos superficiais, podendo abranger os bancos laterais	Extensão, tipo de material e geometria da ponte

Impacto Geomorfológico	Detalhamento	Tipo de Impacto	Fase de Ocorrência	Tempo de Permanência	Posição Geográfica	Fatores associados
Deflagração de processos de movimentação de massa e queda de blocos	A desagregação dos materiais a partir das ações de corte e aterro, alteração da geometria das vertentes e da resistência mecânica dos solos e rochas, pode ocasionar movimentos de massa ou queda de blocos e detritos. Dentre as consequências, destaca-se o grande aporte de sedimento deslocado, acumulando-se em vertentes mais rebaixadas, nas planícies fluviais ou canais, causando alterações nestes sistemas. (FORNASARI FILHO et al., 1992; FORMAN; ALEXANDER, 1998)	Indireto	Implantação	Implantação	Setores de vertente	Magnitude das alterações nas vertentes e declividade
Alterações no escoamento superficial e subsuperficial	A implantação dos dispositivos de contenção, proteção e de drenagem pode modificar as condições locais do terreno, resultando na aceleração ou diminuição da velocidade dos fluxos, das taxas de infiltração, escoamento subterrâneo e capilaridade. As obras de drenagem captam e direcionam fluxos, concentrando o escoamento e podendo aduzir outros processos nos pontos de lançamento. A retificação e canalização de cursos e a implantação de dispositivos de transposição de cursos d'água, como pontes e manilhas, podem alterar vazões e a migração lateral dos canais na planície, modificando, ainda, as taxas de transporte e deposição de sedimentos e impactando organismos aquáticos e <i>habitats</i> à jusante. (FORNASARI FILHO et al., 1992; FORMAN; ALEXANDER, 1998)	Indireto	Implantação	Operação		Implantação de dispositivos de contenção, proteção e drenagem
Acumulação de material e assoreamento	Os processos erosivos gerados, principalmente, durante a implantação da obra, podem mobilizar aporte significativo de materiais e por meio do escoamento superficial, fluir para os canais fluviais, resultando no acúmulo e consolidação destes no fundo de vale e planície fluvial. (FORNASARI FILHO et al., 1992)	Indireto	Implantação	Operação		

Impacto Geomorfológico	Detalhamento	Tipo de Impacto	Fase de Ocorrência	Tempo de Permanência	Posição Geográfica	Fatores associados
Alteração nos fluxos de subsuperfície e subterrâneos	Próximo a cortes e aterros, podem ocorrer barramentos dos fluxos subsuperficiais e subterrâneos, elevando o NA à montante da rodovia e rebaixando-o à jusante, bem como, aumentando a velocidade dos fluxos. Com consequências para a dinâmica hidrológica do sistema e para a vegetação no entorno destas estruturas.	Direto	Implantação	Operação	Cruzamentos entre fluxos subsuperficiais ou subterrâneos e cortes e aterros	Dispositivos de drenagem, profundidade dos cortes
Desencadeamento de inundações locais	Decorrentes de eventuais assoreamentos ou represamentos em cursos d'água, associados principalmente à fase de execução de cortes e aterros, que podem reduzir as taxas de infiltração e retenção de água, por remoção ou acúmulo de material. As obras de drenagem podem acarretar, conforme sua condição de vazão, inundações súbitas nos pontos de lançamento de água. Da mesma forma, obras de arte, como pontes, caso projetadas com base na vazão mínima e subestimando a magnitude dos fluxos dos canais fluviais, podem reduzir a seção transversal e resultar em inundações durante eventos de vazão de pico. (FORNASARI FILHO et al, 1992; NIR, 1983)	Indireto	Implantação	Operação	Canais fluviais, nos pontos com eventuais represamentos ou assoreamento	Execução de cortes e aterros, dispositivos de drenagem e Obras de Arte
Equilíbrio termal do solo e processos pedogenéticos	Alteração do albedo, redução da incidência solar pela pavimentação e destruição gradativa da camada superior do solo, com consequências locais para os processos pedogenéticos. (NIR, 1983; FORNASARI FILHO et al., 1992; FORMAN; ALEXANDER, 1998)	Indireto	Operação	Operação	Abaixo do pavimento	Impermeabilização do solo
Contaminação das águas superficiais e redução da qualidade dos recursos hídricos	Contaminação com resíduos provenientes do canteiro de obras, nos quais possa ocorrer a produção de asfalto ou de outros materiais associados à rodovia, bem como nas proximidades dos locais de construção de pilares e estruturas de suporte, principalmente por óleos e graxas, metais pesados, fenóis, compostos organoclorados, entre outros. (FORNASARI FILHO et al., 1992; IIEGA, 2009)	Direto	Implantação	Implantação	Cursos fluviais e corpos d'água à jusante da rodovia	Ausência de formas de retenção e tratamento destes contaminantes

Impacto Geomorfológico	Detalhamento	Tipo de Impacto	Fase de Ocorrência	Tempo de Permanência	Posição Geográfica	Fatores associados
Contaminação das águas superficiais e redução da qualidade dos recursos hídricos	Redução da qualidade da água, alterações nas vazões e aumento da turbidez, em função do acréscimo na carga de sedimento nos cursos d'água, podendo gerar consequências negativas à saúde humana, plantas aquáticas, invertebrados e peixes (NIR, 1983; IIEGA, 2009; FORMAN; ALEXANDER, 1998)	Direto	Implantação	Implantação	Cursos fluviais e corpos d'água à jusante da rodovia	Remoção da cobertura vegetal e execução de movimentações de terra, desprovidas de instrumentos de retenção dos sedimentos
	Carreamento de poluentes pelo escoamento superficial, com destaque aos sais e metais pesados, e alteração das condições físicas da água (temperatura, pH, condutividade elétrica) e na concentração de OD, com consequências na fauna e flora aquáticas (IIEGA, 2009; FORMAN; ALEXANDER, 1998)	Direto	Implantação	Operação	Cursos fluviais e corpos d'água à jusante da rodovia	
	Escoamento proveniente das rodovias pode carrear substâncias emitidas pelo tráfego, como óleos, graxas, metais pesados (dentre os quais, destaca-se o chumbo – Pb – derivado do petróleo), sujeiras e cinzas. Em casos de acidentes com cargas contendo substâncias tóxicas, pode acarretar contaminação significativa com grande disseminação, conforme o lugar do acidente. (NIR, 1983; FORNASARI FILHO et al., 1992; FORMAN; ALEXANDER, 1998)	Direto	Operação	Operação	Cursos fluviais e corpos d'água à jusante da rodovia	Ausência de formas de retenção e tratamento destes contaminantes

3.1.9. Mudanças Ambientais e Geoindicadores

A proposta de utilização de geoindicadores para avaliação de mudanças ambientais rápidas, ocorrendo num intervalo temporal de até cem anos, foi desenvolvida primeiramente por grupo de pesquisadores reunidos na Comissão de Ciências Geológicas para o Planejamento Ambiental (COGEOENVIRONMENT), organizada pela International Union of Geological Sciences (IUGS), e posteriormente consolidada em obra de 1996, editada por A.R. Berger e W. J. Iams.

Concebida a partir de inquietação sobre a incipiência dos aspectos abióticos nos relatórios e estudos ambientais, bem como de indicadores e parâmetros físicos desenvolvidos e utilizados em tais estudos, esta abordagem possui como objetivo apresentar indicadores¹⁹ e parâmetros geológicos que tornem perceptíveis tendências de variação física do ambiente e forneçam informação quantificada e simplificada sobre fenômenos físicos, já ocorridos ou em andamento, permitindo a compreensão da dinâmica da superfície terrestre.

Neste sentido, os geoindicadores atuam como uma nova métrica da paisagem, conforme descrito por Berger e Iams (1996), buscando medir variações físicas e geológicas significativas, durante períodos curtos e perceptíveis na escala da vida humana; e procurando auxiliar na compreensão do ambiente terrestre e das mudanças ambientais no geral, mas também fornecendo informações relevantes para o desenvolvimento de estudos ambientais. Assim, nas palavras dos autores, os geoindicadores consistiriam:

[...] Geoindicators are measures (magnitudes, frequencies, rates and trends) of geological processes and phenomena occurring at or near the Earth's surface and subject to changes that are significant in understanding environmental change over periods of 100 years or less.²⁰ (p. 383)

A utilização de tais geoindicadores na pesquisa ambiental e, mais especificamente, na pesquisa geomorfológica, auxiliaria, ainda:

- (i) na avaliação e monitoramento das mudanças ambientais ocorridas no intervalo de tempo abrangido pela proposta, e, preferencialmente, em escalas espaciais locais ou médias;
- (ii) na compreensão de tendências atuais da paisagem, bem como dos processos físicos e limiares envolvidos;

¹⁹ Berger e Iams (1996) definem indicadores como pistas, que tornam perceptíveis tendências ou fenômenos e que, idealmente, devem fornecer informação qualificada e simplificada sobre fenômenos complexos.

²⁰ Geoindicadores são medidas (magnitudes, frequências, taxas e tendências) de processos geológicos e fenômenos ocorrendo na ou próximo da superfície terrestre e sujeitos a mudanças que são significativas na compreensão de mudanças ambientais com período de 100 anos ou menos. [tradução nossa].

- (iii) na obtenção de evidências sobre o comportamento passado da paisagem, por meio de estudos dos paleoambientes, utilizando os geoindicadores como fonte de registros de mudanças ambientais passadas;
- (iv) na previsão de variações ambientais futuras;
- (v) no diálogo com o conceito e estudo da vulnerabilidade da paisagem, enquanto potencial de mudança do sistema físico e sua capacidade de resistir ou absorver alterações, envolvendo, ainda, a posição de uma paisagem ou elemento do sistema físico em relação a seu limiar de mudança;
- (vi) compreensão das causas e relações entre os diversos agentes de mudança, seus efeitos ecológicos, econômicos e sociais; e as implicações ao planejamento físico-territorial e às políticas públicas.

Além da consolidação do conceito, a Comissão formada pela IUGS ainda se dedicou à compilação e desenvolvimento de lista com vinte e sete geoindicadores, concebidos em linhas gerais e abordando diversas variáveis do sistema físico. No entanto, Berger e Iams (1996), destacam a possibilidade de modificação e adaptação de tais geoindicadores, conforme as características do contexto em estudo, e de desenvolvimento de novos indicadores físicos.

Dentre a lista de geoindicadores apresentada pela comissão da IUGS, destacamos sete, considerados mais relevantes para os objetivos da presente pesquisa. São eles: qualidade da água subterrânea e superficial; níveis de lagos e salinidade; morfologia de canal fluvial; vazão e fluxos do canal fluvial; estocagem e carga de sedimento do canal fluvial; extensão, estrutura e hidrologia de áreas úmidas.

Para cada geoindicador, a publicação (BERGER; IAMS, 1996) apresenta breve descrição de sua ocorrência e principais aspectos, sua importância para o estudo de mudanças ambientais passadas e futuras, limiares associados ao geoindicador, e os indicadores e parâmetros relacionados, que permitem sua medição e avaliação.

Por exemplo, para o geoindicador qualidade da água superficial, os autores sugerem a observação da presença dos seguintes parâmetros: metais e elementos rastreáveis (como *Al*, *Cd*, *Pb*, entre outros), nutrientes (nitrato, total *P*, entre outros), maiores constituintes e sólidos dissolvidos (*Ca*, *Mg*, *Na*, entre outros), componentes orgânicos significativos do ponto de vista ambiental (como fenóis, benzeno, DDT, entre outros), parâmetros importantes à saúde humana (*Ba*, *Be*, *F*, entre outros), e outros parâmetros importantes, passíveis de serem medidos em campo, como a acidez, alcalinidade, oxigênio dissolvido, pH e temperatura.

Em relação ao geoindicador nível de lagos e salinidade, no qual o Mar de Aral é destacado como principal exemplo de mudança ambiental rápida, associada à atividades antrópicas; Berger e Iams (1996) sugerem a utilização dos indicadores do nível d'água,

extensão areal do corpo d'água e salinidade (verificada pela presença e monitoramento de parâmetros como $CaHCO_3$, $MgHCO_3$ e $NaSO_4$, entre outros).

Outros geoindicadores, da lista de 27 sintetizados pelos autores, apresentam aspectos e parâmetros relevantes para esta pesquisa, ainda que não citados acima, por não estarem diretamente envolvidos ou preverem técnicas e tempo de medição além dos recursos disponíveis. De qualquer forma, todos os geoindicadores extraídos desta obra, bem como de demais bibliografia, e utilizados na presente dissertação, estão listados em quadro específico, apresentado em capítulo posterior.

Cabe destacar, no entanto, que os geoindicadores propostos por Berger e Iams (1996) e por toda a comissão envolvida, referem-se a uma abrangência global, não especificando contextos e características morfoclimáticas específicas, como o clima temperado ou o meio tropical úmido, tendo em vista que um dos objetivos iniciais da comissão consistia estabelecer indicadores para monitoramento e pesquisa de mudanças globais.

Para elaboração da lista de geoindicadores, e da obra de Berger e Iams (1996) como um todo, foram realizados encontros entre especialistas nos diferentes contextos geomorfológicos e climáticos, reunidos pela primeira vez no Workshop Internacional sobre Indicadores Geológicos e Mudanças Ambientais Rápidas, realizado no ano de 1994, no Canadá.

De acordo com Coltrinari e McCall (1995), o Workshop envolveu a realização de grupos de trabalho, divididos com base nos diferentes contextos morfoclimáticos e geomorfológicos, a saber: ambientes costeiros glaciais e periglaciais; sistemas fluviais; baixadas úmidas, turfeiras e corais; trópicos áridos e úmidos; e solos, águas subterrâneas, geoquímica, saúde e o ambiente urbano.

Cada grupo possuía como objetivo propor uma lista de geoindicadores e parâmetros espaço-temporais para sua medição e monitoramento, bem como apresentar orientações para profissionais e agentes não especialistas na área. Apesar do desafio em conciliar e reunir geoindicadores para diferentes contextos, ao final do evento consolidou-se lista preliminar, utilizada como base para a proposta apresentada em Berger e Iams (1996).

Dentre as conclusões do evento, destacadas por Coltrinari e McCall (1995), ressaltam-se: (i) necessidade de promover o desenvolvimento e aplicação de geoindicadores qualitativos e quantitativos, organizando-os em publicações e guias; (ii) desenvolver e manter bancos de dados sobre os diferentes ambientes geomorfológicos, em especial envolvendo seu passado geológico recente; (iii) desafio em compreender a direção das mudanças e diferenciar influências naturais e antropogênicas; (iv) definir os processos e respostas envolvidas em cada geoindicador e desenvolver modelos preditivos de futuras mudanças.

Outra importante conclusão pode ser verificada no trecho extraído a seguir:

[...] a atenção do público têm se voltado para duas questões: o “efeito estufa” e a “camada de ozônio” cujos efeitos globais negativos atribuem-se à atividade humana (ou, mais corretamente, a uma combinação de atividades humanas com processos naturais). A realidade é que a maior parte dos efeitos ambientais adversos das mudanças antropogênicas são de âmbito regional ou local (destruição do Mar de Aral, efeitos da chuva ácida). O diagnóstico da vulnerabilidade de países, regiões, comunidades ou ambientes específicos, exige a combinação de geoindicadores aplicáveis em dimensões espaço-temporais diferenciadas, e não simplesmente uma lista de geo-indicadores globais. (COLTRINARI; MCCALL, 1995, p. 8).

No meio tropical úmido, conforme destacado por Coltrinari (1996), em capítulo específico da obra de Berger e Iams (1996), o maior desafio recai na complexidade das interações entre os sistemas físicos (climático, geomorfológico, geológico, florestal, geoquímico e hidrológico) e das ações humanas, bem como, na ausência de conhecimento substancial e dados sistemáticos, temporais e espaciais, acerca dos processos físicos operantes no meio tropical úmido.

Aprofundando nas mudanças ambientais associadas às atividades de desmatamento, mineração, urbanização e ao processo de acidificação, Coltrinari (1996), apresenta lista com os aspectos sujeitos à mudança por estas e outras atividades no meio tropical úmido, com os principais geoindicadores a serem monitorados e com sugestões para aquisição e produção de dados.

Por fim, de acordo com Coltrinari e McCall (1995), para a investigação das mudanças ambientais de curto prazo, e a distinção entre as causas naturais e antrópicas, muitas vezes de difícil separação, faz-se necessária a definição e utilização de parâmetros, como proposto na abordagem dos geoindicadores. Em suas palavras:

O equilíbrio dinâmico dos sistemas naturais e seus ajustes às mudanças do clima, do fluxo hidrológico e do nível do mar mostram que a natureza não é estável; as mudanças são regra, não exceção, e nem todas as transformações sofridas pelo ambiente podem ser atribuídas à ação do Homem. No caso das mudanças de curto prazo que afetam o planeta, a maior dificuldade está na distinção entre causas naturais e antrópicas; para isso, é necessário estabelecer parâmetros, avaliar os componentes naturais de cada mudança antes de poder estimar de modo realista a contribuição antrópica; quando os componentes naturais não são corretamente considerados, as estimativas são inválidas. (COLTRINARI; MCCALL, 1995, p. 5).

Importantes referências bibliográficas dedicadas à aplicação da proposta dos geoindicadores à avaliação de mudanças e impactos promovidos pela ação antrópica, podem ser encontradas em pesquisas desenvolvidas no Estado de São Paulo e, mais especificamente, na RMSP.

De acordo com Rodrigues (2010), este conjunto de pesquisas conduzidas em diferentes sistemas geomorfológicos da RMSP, teve como objetivo, avaliar de forma qualitativa e quantitativa, por meio da abordagem da geomorfologia antropogênica e do emprego de indicadores e parâmetros físicos para diferentes escalas e intervalos de tempo; os efeitos resultantes da urbanização em suas diversas modalidades.

Estas experiências contribuíram para o desenvolvimento de proposta metodológica apresentada em seu artigo, por meio de quadro contendo sistematização dos principais indicadores e parâmetros norteadores da avaliação de impactos e mudanças ambientais promovidas pela urbanização nos sistemas hidro-geomorfológicos.

São exemplos deste conjunto, os trabalhos desenvolvidos por Lima (1990) e Rodrigues (1997, 1999), nos quais a proposta foi aplicada com seus contornos iniciais, contribuindo posteriormente para sua consolidação; Rodrigues (2004, 2005) e Rodrigues e Coltrinari (2004, 2005), apresentando sistematizações de parte do conteúdo existente na proposta metodológica atual, e Batista e Rodrigues (2002), Silva (2005), Carvalho e Rodrigues (2002), Carvalho (2006), Alameddine e Rodrigues (2006) e Luz (2014), dentre outras referências bibliográficas.

Cabe destacar que esta proposta metodológica, sintetizada em Rodrigues (2010), apesar de possuir como base a abordagem dos geoindicadores apresentada inicialmente por Berger e Iams (1996), contém algumas especificidades que a distinguem da anterior.

A proposta de Berger e Iams (1996) foi elaborada considerando predominantemente os ambientes mais preservados, com alterações antrópicas pouco significativas, e utilizando os geoindicadores como forma de avaliação e monitoramento dos efeitos de mudanças ambientais rápidas de naturezas diversas.

Por sua vez, a proposta metodológica apresentada em Rodrigues (2010) e aplicada nas diversas pesquisas conduzidas na RMSP, algumas das quais citadas acima, procurou combinar a utilização dos geoindicadores com a abordagem da geomorfologia antropogênica, visando avaliar a intervenção antrópica em si, como agente de mudanças e impactos ambientais.

Para tal, e por meio da cartografia geomorfológica evolutiva, envolvendo as diferentes fases da intervenção antrópica e as condições originais ou semi-preservadas dos sistemas hidro-geomorfológicos em estudo; esta proposta metodológica se utiliza de geoindicadores aplicados nas fases de pré-intervenção, intervenção ou perturbação ativa e pós-perturbação, buscando ao final correlacioná-los para extrair padrões, tendências e

medidas referentes ao impacto das ações antrópicas nos sistemas hidro-geomorfológicos, principalmente no que tange à urbanização e ao meio tropical úmido.

Desta forma, objetivando, sistematizar e avaliar os principais impactos geomorfológicos decorrentes de obras rodoviárias, a utilização da abordagem dos geoindicadores na presente pesquisa pode auxiliar na compreensão das causas, respostas e magnitude das mudanças envolvidas na implantação e operação destas estruturas de engenharia.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica em estudo está localizada na Região Metropolitana de São Paulo, mais especificamente, na porção central do município de São Bernardo do Campo, envolvendo parte dos bairros Botujuru e Vila Balneária, bem como a interligação viária entre a Rodovia Anchieta (SP-150) e o Rodoanel Mário Covas – Trecho Sul (SP-021), conforme ilustrado na Figura 6, disposta na página seguinte.

Inserida na Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Alto Tietê (UGRHI 6), e mais especificamente na sub-região hidrográfica Billings-Tamanduateí, conforme divisão proposta pelo Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Alto Tietê (2007), a área de estudo integra, no contexto geral, a bacia hidrográfica da represa Billings.

Totalmente envolvida pela Área de Proteção aos Mananciais (APM) e pela Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Billings (APRM-B), a área de interesse abrange parte do interflúvio que separa as bacias hidrográficas que contribuem para o Reservatório Billings, e posteriormente para o abastecimento de parte da RMSP; daquelas que fluem em direção à bacia hidrográfica do rio Tamanduateí, dentre as quais a sub-bacia hidrográfica do ribeirão dos Meninos.

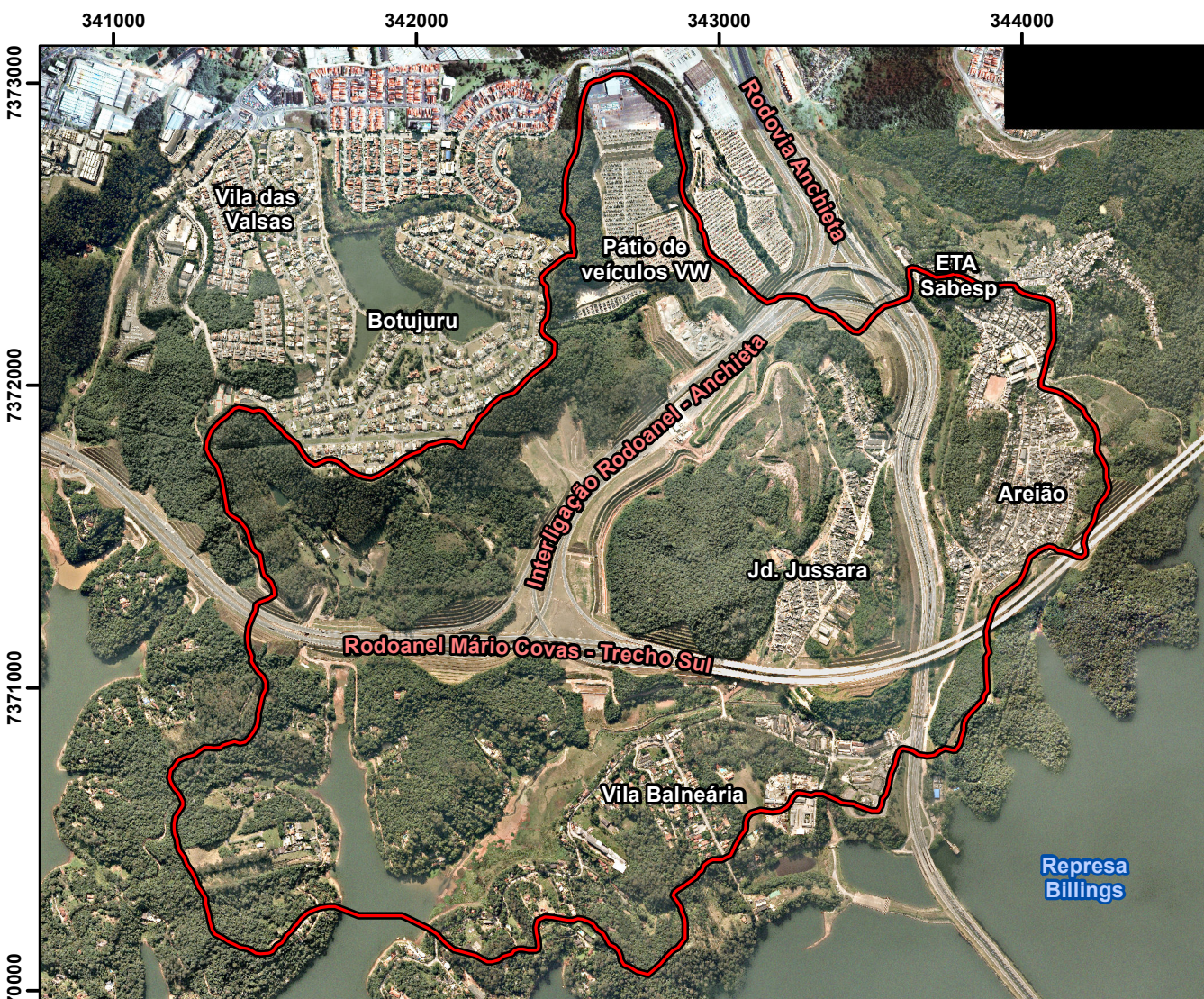
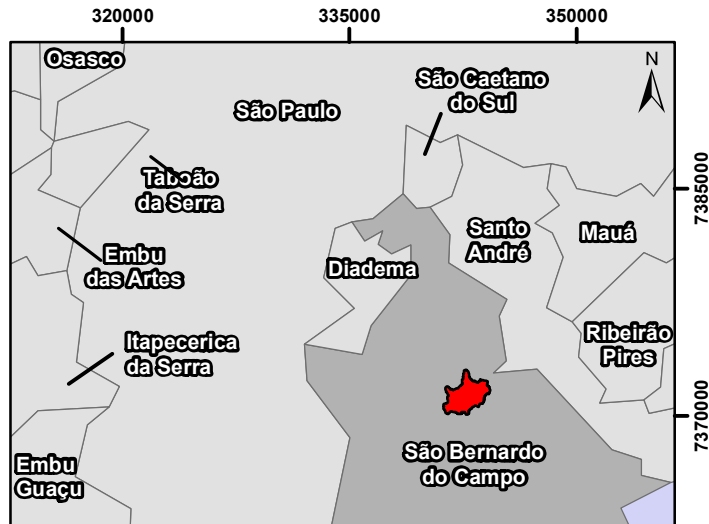
Em um contexto local, a área de estudo consiste bacia hidrográfica de quarta ordem de drenagem (Strahler, 1952) e com exutório no Braço Grande da Represa Billings. Apesar dos cursos d'água existentes em seu interior não possuírem denominação própria segundo a base cartográfica oficial da Emplasa, optou-se por sua identificação na presente pesquisa, com base nos bairros existentes em sua área.

No total, a bacia hidrográfica em estudo apresenta área de 494,08 hectares e perímetro de 12 quilômetros, divididos em duas sub-bacias hidrográficas, denominadas Jd. Vista Alegre, abrangendo a porção oeste da área de estudo, e Jd. Jussara/Balneária, envolvendo as porções central e leste. A primeira apresenta área de 107,74 hectares, e grande área coberta pelo remanso da represa Billings. A sub-bacia Jd. Jussara/Balneária, por sua vez, possui área de 386,34 hectares, e área igualmente extensa de remanso.


Área de estudo no Estado de São Paulo



Área de estudo na RMSP



Legenda

 Área de estudo



0 125250 500 750 1.000 m

Escala numérica - 1:22.500

Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM Datum horizontal SIRGAS-2000

Emplasa. Carta topográfica. Folha Riacho Grande (SF-23-Y-C-VI-4-NE-B), 1:10.000, 1981

Emplasa. Folha Bairro Demarchi (SF-23-Y-C-VI-2-SE-F), 1:10.000, 1981

Sistema Orbital Pleiades, 2013

Geomorfologia Aplicada aos EIAs de Empreendimentos Rodoviários: subsídios aos órgãos ambientais brasileiros

Localização da Área de Estudo

Figura 6

Org: Juliana Mantovani
Versão: 02/09/2014

3.2.1. Descrição do Meio Físico

GEOLOGIA

No contexto regional, a área de estudo encontra-se inserida no Complexo Embu, integrando unidade litoestratigráfica composta predominantemente por xistos localmente migmatíticos, formados durante o Pré-Cambriano e, mais especificamente, durante a era Neoproterozóica, conforme Mapa Geológico do Estado de São Paulo, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (PERROTA et al., 2005).

De acordo com os autores, a região é caracterizada por biotitas, granadas, estaurolitas, sillimanitas, muscovitas-biotitas-quartzo xistos com cianita, quartzo-xistos com muscovita, granadas e plagioclásios alternados ritmicamente, e intercalações de rochas calssilicáticas, anfibolitos e metaultramáficas; originadas há cerca de 811 milhões de anos.

Em termos estruturais, é possível verificar na porção sudeste da área de estudo (sentido ENE-SSO), a incidência de Falha, Fratura ou Zona de Cisalhamento Indiscriminada, originada durante o Ciclo Brasileiro e relacionada ao Sistema Orogênico da Mantiqueira.

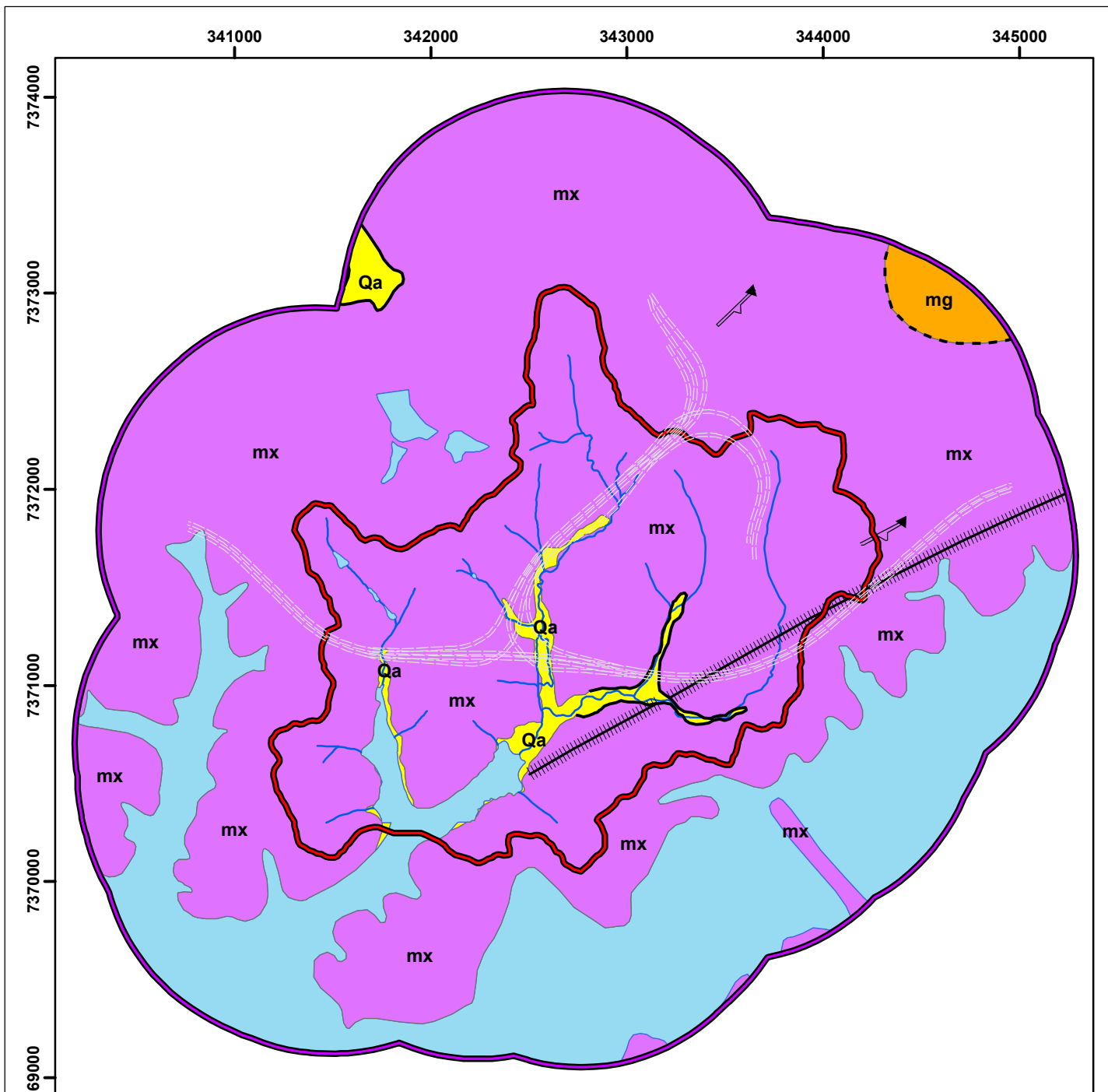
Para caracterização da geologia em escala local, considerou-se área de abrangência de 1 km a partir do limite externo da bacia hidrográfica em estudo, com o objetivo de evitar interferências de possíveis deslocamentos resultantes de divergências das escalas dos mapeamentos oficiais.

A Figura 7, na página seguinte, apresenta a inserção da área de estudo no contexto geológico local (faixa de abrangência de 1 km), a partir de Coutinho (1980).

Assim, de acordo com o Mapa Geológico da Grande São Paulo, em escala 1:50.000 (COUTINHO, 1980), a área de estudo encontra-se predominantemente inserida em unidade litoestratigráfica formada durante o Pré-Cambriano, composta por micaxistos e/ou metarenitos de médio grau metamórfico e xistos miloníticos em zonas de movimentação tectônica. Nas porções ocupadas pela planície fluvial, podem ser identificados aluviões fluviais, como argilas, areias e cascalhos, originados no Período Quaternário.

No interior e nas proximidades da área de estudo podem ser observadas algumas estruturas geológicas, com destaque para: (i) o Contato Definido, indicado na porção leste da bacia hidrográfica, acompanhando o limite da planície fluvial (unidade de aluviões fluviais); (ii) Eixo de Zona de Falha, incidindo na porção sudeste da área de estudo, com traçado mais preciso, porém similar ao apresentado na publicação da CPRM (PERROTA et al., 2005); e (iii) Mergulho, de 45° a 80°, próximo ao limite externo da bacia hidrográfica, incidindo de forma pouco significativa na área de estudo.

Com base na figura, é possível observar que o eixo viário do Rodoanel Trecho Sul intersecta o contato definido localizado junto à planície fluvial, na porção central da área de estudo, acompanhando, ainda, trecho da linha de falha presente na porção leste.

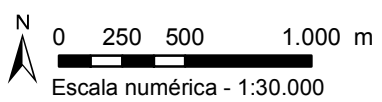


Legenda

- Curvas de nível — Cursos d'água - - - Eixo do Rodoanel Trecho Sul □ Área de estudo □ Faixa de 1 km a partir da área de estudo

Geologia

- - - Contato Aproximado
 - Contato Definido
 - ||||| Eixo de Zona de Falha
 - ▲ Foliação (mergulho 45° - 80°)
- Cenozóico - Quaternário**
- Qa** Aluviões fluviais: argila, areia e cascalho
- Pré-Cambriano**
- mg** Migmatitos e gnaisses graníticos, podem achar-se cisalhados até gnaisses miloníticos em zonas de movimentação tectônica intensificada
 - mx** Micaxisto e/ou metarenito de médio grau metamórfico, inclui também xistos miloníticos em zonas de movimentação tectônica
 - Massa D'água



Escala numérica - 1:30.000
 Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM
 Datum horizontal: SIRGAS-2000

Adaptado de COUTINHO, J. M. V. Carta Geológica da RMSP. Folha Riacho Grande. São Paulo: Emplasa, 1:50.000, 1980
 Emplasa. Cartas topográficas, 1:10.000, 1981

Geomorfologia Aplicada aos EIAs de Empreendimentos Rodoviários: subsídios aos órgãos ambientais brasileiros

Geologia da Área de Estudo

Figura 7

Org: Juliana Mantovani
 Versão: 02/09/2014

A interceptação da planície fluvial e do contato pelo empreendimento ocorre predominantemente por meio de pontes, com aproximadamente 225 metros de extensão. O eixo de falha, por sua vez, é acompanhado por estruturas de corte, nos trechos de vertente, e por ponte com cerca de 280 metros de extensão, no cruzamento com o curso fluvial e com a Rodovia Anchieta.

Cabe destacar, ainda, no contexto local, as descrições e perfis geológicos elaborados por Ab'Saber (1957), em relação à bacia de São Paulo e ao seu entorno, abrangendo a área de estudo. Apesar de sua obra ser anterior às referências cartográficas e bibliográficas referidas na presente pesquisa, as descrições apresentadas pelo autor contribuíram para a compreensão das características da bacia hidrográfica em estudo e de seu contexto.

Assim, de acordo com Ab'Saber (1957), a área de estudo localiza-se nos terrenos cristalinos antigos que circundam a bacia de São Paulo e, mais especificamente, segundo os termos do autor, nas altas colinas de São Bernardo, em área próxima ao Maciço do Bonilha, considerado uma das referências na compartimentação do relevo regional e frequentemente citado em sua obra, por demarcar o limite entre o relevo do alto da Serra do Mar, e as colinas e espigões tabuliformes que caracterizam a região de São Paulo.

Estes terrenos cristalinos são formados predominantemente por morros baixos e médios, com perfil marcadamente convexo e, segundo o autor, com o arredondamento característico do modelado dos terrenos granítico-gnaissicos do Brasil Atlântico.

Em sua obra, Ab'Saber (1957) apresenta diversos perfis geológicos elaborados para a região de São Paulo e Planalto Atlântico. A Figura 8, abaixo, consiste na seção geológica da Serra da Cantareira ao Maciço de Santos, destacando-se o Maciço do Bonilha e o Reservatório do Rio Grande, entre os quais encontra-se localizada a área de estudo, sobre embasamento de micaxistos.



Figura 8 – Inserção da área de estudo em relação à Seção Geológica da Serra da Cantareira ao Maciço de Santos (Ab'Saber, 1957)

GEOMORFOLOGIA

De acordo com o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (ROSS; MOROZ, 1997) e em relação ao sistema geomorfológico regional, a área de estudo encontra-se inserida na morfoestrutura do Cinturão Orogênico do Atlântico. Este é caracterizado por abrigar extensas faixas de dobramentos, com grandes variações altimétricas, paralelismos entre serras e vales, e litologia predominantemente metamórfica, mas com intrusões ígneas significativas, especialmente graníticas.

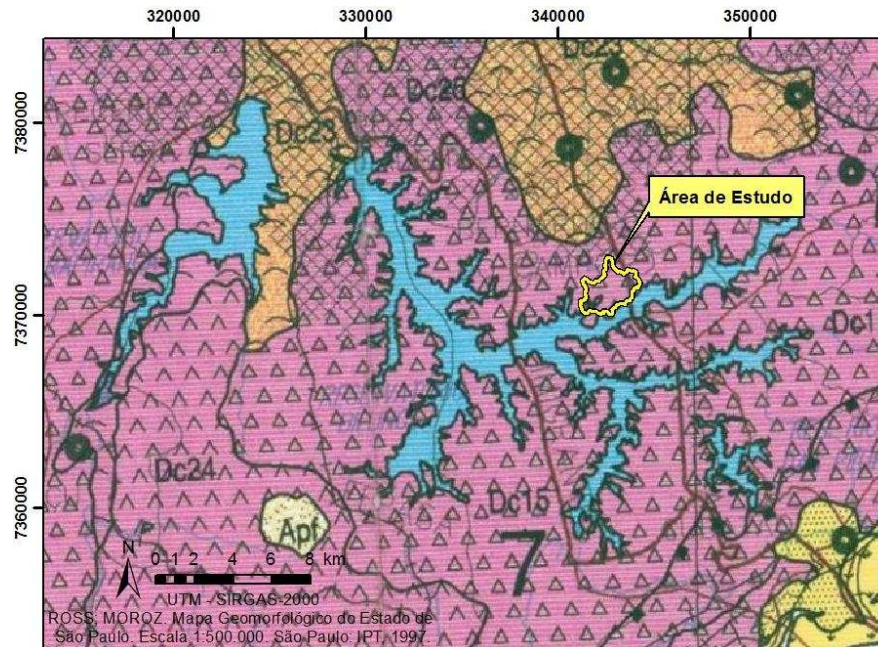
No interior desta unidade, a área de estudo integra a morfoescultura do Planalto Atlântico, com modelado composto por formas de topos convexos, elevada densidade de drenagem, vales profundos e litologias variadas, predominantemente metamórficas; compondo, mais especificamente, a unidade do Planalto Paulistano ou Alto Tietê.

Esta apresenta modelado dominante caracterizado por morros médios e altos, com topos convexos, altimetria variando entre 800 e 1.000 metros, e declividades entre 10% e 20%. O entalhamento dos vales pode variar entre 20 e 40 metros, e a dimensão interfluvial de 250 a 1.750 metros.

O padrão da drenagem desta unidade é predominantemente dendrítico, com exceção de áreas nas quais possa ocorrer algum controle estrutural local. Com litologia composta, em sua maioria, por migmatitos e granitos; e solos podzólicos-vermelho amarelo ou cambissolos; esta unidade apresenta, de modo geral, nível de fragilidade potencial médio, segundo Relatório que acompanha o Mapa Geomorfológico (ROSS; MOROZ, 1997), estando sujeita a fortes atividades erosivas.

Na área de estudo, o modelado dominante é apresentado como Dc15, conforme ilustrado na Figura 9, na página seguinte.

Este modelado é composto por formas predominantemente denudacionais, topos convexos, fraco grau de entalhamento dos vales, abaixo de 20 metros, e dimensão interfluvial média muito pequena, abaixo de 250 metros, evidenciando alta densidade de drenagem.



Unidade Morfoestrutural	Unidade Morfoescultural	Formas de Relevo		
		Modelados Dominantes	Altimetrias	Declividades Dominantes
Cinturão Orogênico do Atlântico	 Planalto Atlântico – 7 - Planalto Paulistano/Alto Tietê	Morros Altos e Médios (Dc15)	800 – 1000m	10 – 20%


Parâmetros de Fragilidade Potencial		Níveis de Fragilidade Potencial
Índices Crescentes de Dissecção do Relevo e Fragilidade	Índices Crescentes de Fragilidade dos Solos	MUITO ALTA: Formas de dissecção muito intensa, com vales de entalhamento pequeno e Dd alta e vales muito entalhados, com Dd menores. Áreas sujeitas a processos erosivos agressivos, inclusive com movimentos de massa
 Dc15 – Relevo de denudação com topo convexo	Cambissolos Podzólicos com cascalhos Areias quartzosas Litólicos	

Figura 9 – Área de estudo e Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo

Os solos são compostos, basicamente, por cambissolos, solos podzólicos com cascalhos, areias quartzosas e solos litólicos. A junção entre a configuração morfológica desta unidade e os tipos de solo que a compõem, resulta num nível de fragilidade potencial muito alto, por apresentar, segundo Ross e Moroz (1997), formas de dissecção muito intensa, com vales de entalhamento fraco e alta densidade de drenagem, configurando áreas suscetíveis a processos erosivos potencialmente mais intensos, incluindo movimentos de massa, de acordo com as interpretações dos autores.

No contexto da Região Metropolitana de São Paulo, a área de estudo se encontra inserida, de acordo com o Mapa das Unidades Geomorfológicas da Grande São Paulo (Rodrigues, 2004), nos morros do embasamento cristalino, conforme a Figura 10, apresentada na página seguinte.

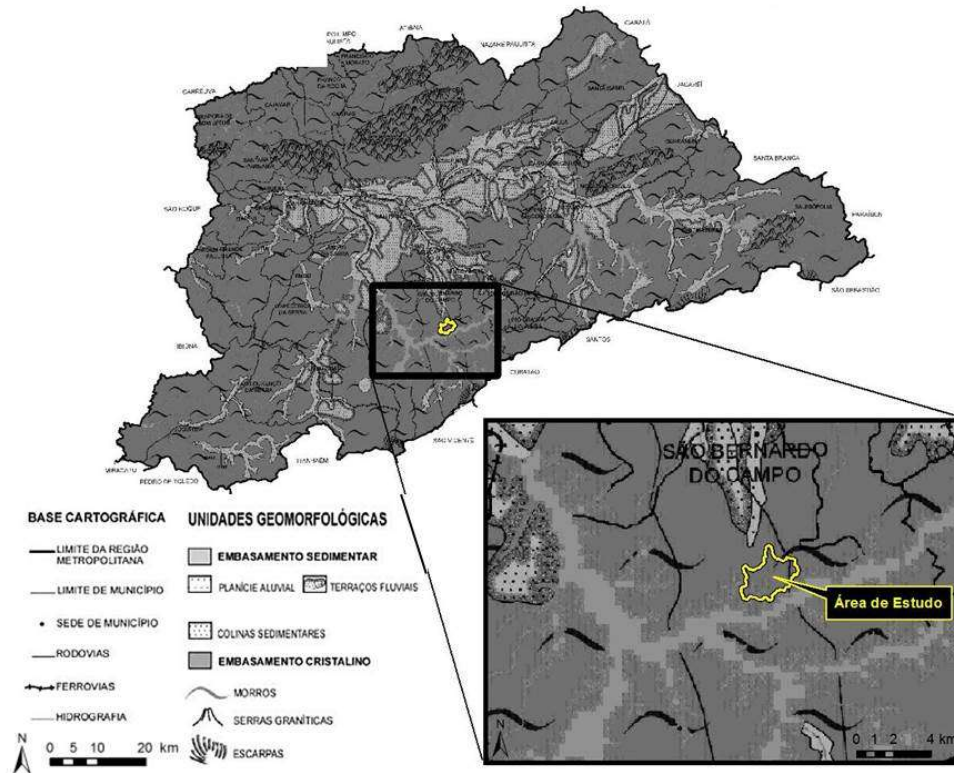


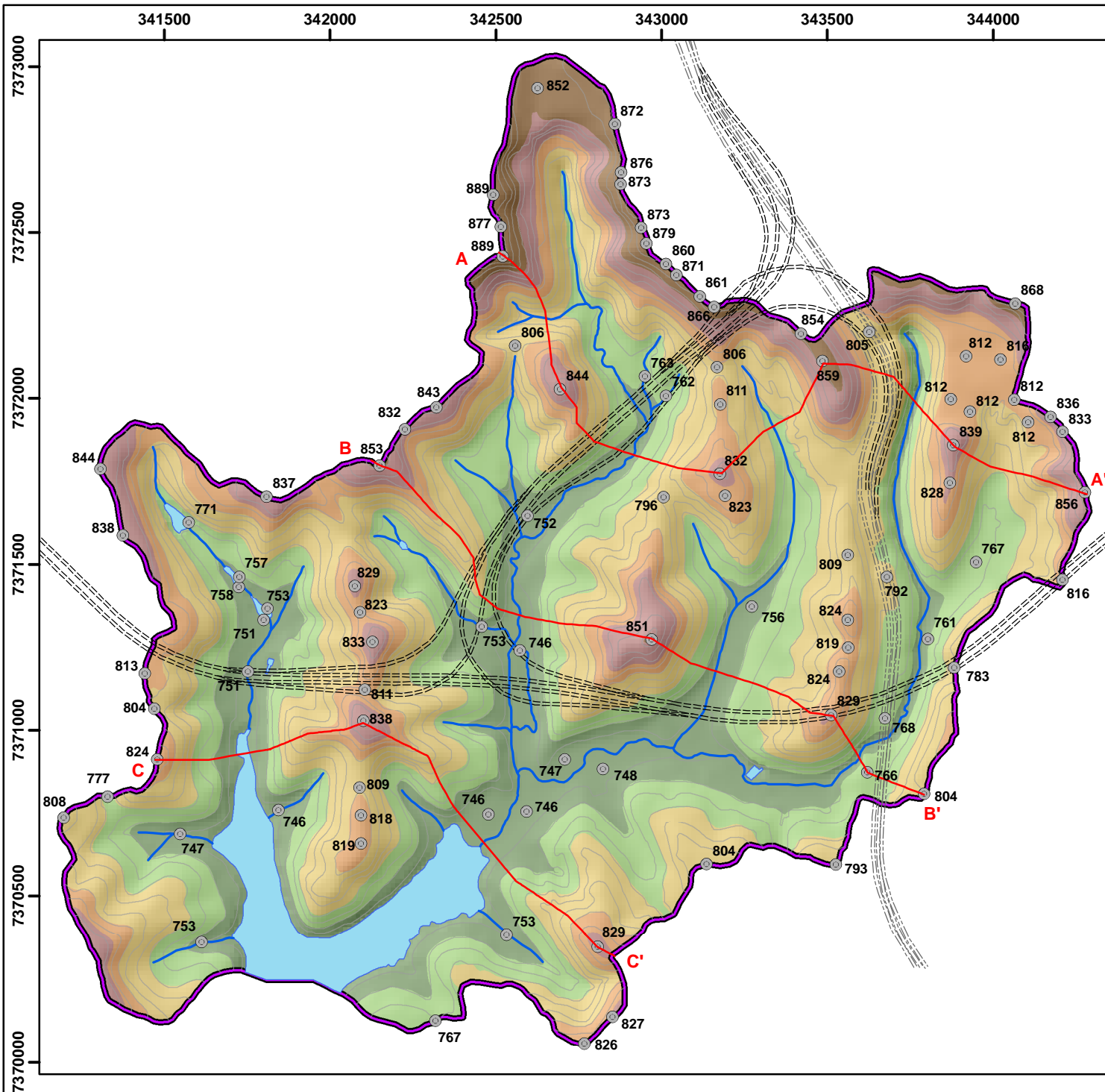
Figura 10 – Área de estudo e Unidades Geomorfológicas da Grande São Paulo
Adaptado de: Rodrigues (2004) e Batista (2003)

No contexto local, a área de estudo caracteriza-se por relevo com variação altimétrica de cerca de 100-150 metros, sendo a cota de 746 metros o menor valor verificado em seu interior, em pontos localizados próximos ao remanso da Represa Billings; e a cota de 889 metros a maior, observada no divisor de águas localizado na porção norte da área de interesse.

A Figura 11 apresenta a distribuição das classes altimétricas no interior da área de estudo, obtidas a partir de Modelo Digital de Terreno (MDT), derivado da carta topográfica da Emplasa.

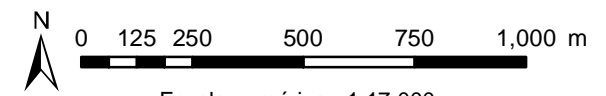
Observa-se predomínio das três primeiras classes, com até 810 metros, que perfazem 78% da bacia hidrográfica, sendo 20% referentes à classe abaixo de 760 m (99,5 ha); 26% ocupados pela classe de 760 a 780 m (126,7 ha) e 32% relativos à classe de 780 a 810 m (158 ha).

O restante da área de estudo (22%) é ocupado pelas classes acima de 810 m, com ocorrência mais restrita aos setores de topo e divisores interfluviais. A classe de 810 a 825 m, com maior área, de 50,2 ha, corresponde a 2% da bacia hidrográfica, seguida pela classe de 825 a 850 m, com 7% (35,8 ha) e, por último, da classe com altitudes acima de 850 m, distribuídos em 14,85 ha (3%) ao longo do interflúvio localizado na porção norte da área de estudo.



Legenda

- Pontos Cotados
- Curvas de nível
- Cursos d'água
- Corpos d'água
- ==== Eixo do Rodoanel Trecho Sul
- ==== Rodovia Anchieta
- Área de estudo
- Classes Altimétricas (m)
- Até 760
- 760 - 780
- 780 - 810
- 810 - 825
- 825 - 850
- Acima de 850



Escala numérica - 1:17.000
 Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM
 Datum horizontal: SIRGAS-2000
 Emplasa. Folha Riacho Grande (SF-23-Y-VI-4-NE-B), 1:10.000, 1981
 Emplasa. Folha Bairro Demarchi (SF-23-Y-C-VI-2-SE-F), 1:10.000, 1981

Geomorfologia Aplicada aos EIAs de Empreendimentos Rodoviários: subsídios aos órgãos ambientais brasileiros

Mapa Hipsométrico

Figura 11

Org: Juliana Mantovani
 Versão: 09/03/2015

Os colos dos interflúvios principais e secundários também denotam irregularidade altimétrica, com pontos de cota que variam de 777 m, localizado ao longo do divisor principal, na porção sudoeste da área de estudo; a 809 m, inserido em um dos interflúvios secundários que ocupa a porção central da bacia.

Foram elaborados perfis topográficos para três trechos da bacia hidrográfica, à montante (perfil AA' – Figura 12), na porção intermediária (perfil BB' – Figura 13) e à jusante (perfil CC' – Figura 14), dispostos a seguir e acompanhados das respectivas descrições.

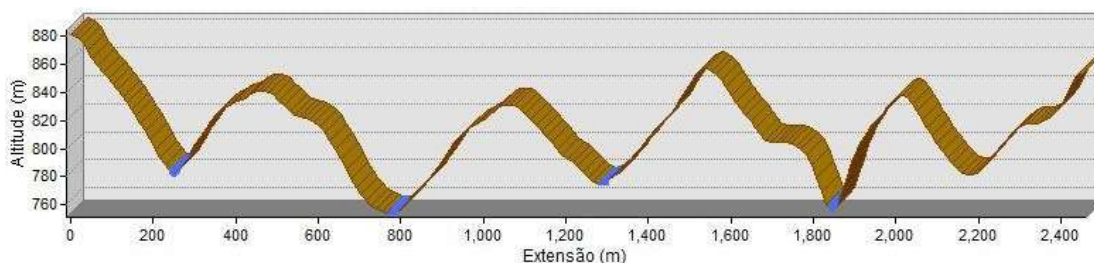


Figura 12 – Perfil Topográfico A-A'

Org.: MANTOVANI, J. C. (2015)

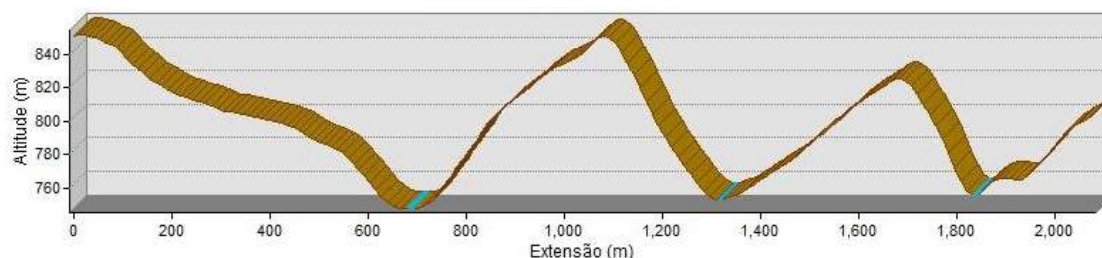


Figura 13 – Perfil Topográfico B-B'

Org.: MANTOVANI, J. C. (2015)

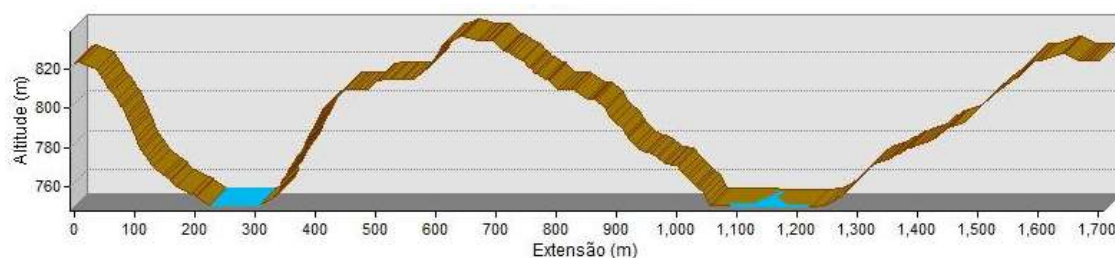


Figura 14 – Perfil Topográfico C-C'

Org.: MANTOVANI, J. C. (2015)

O perfil A-A' apresenta variação altimétrica de aproximadamente 120 metros, oscilando de 880 m no ponto A, a 760 m nos fundos de vale mais rebaixados. Os topos apresentam significativa convexidade, com dimensão interfluvial média de aproximadamente 500 m, intercalados por vales encaixados de alto grau de entalhamento fluvial, como pode ser observado no vale localizado a cerca de 1.800 m do ponto A.

O perfil B-B' apresenta configuração distinta do anterior, por se tratar de trecho no setor intermediário da bacia, com maior dimensão interfluvial, topos mais alongados e vales de menor entalhamento. A variação altimétrica ao longo do segmento mantém-se na ordem de 100 metros, porém as transições são menos abruptas, alternando-se entre cerca de 840 m no ponto B e no interflúvio localizado na metade do perfil, para próximo de 760 m nos talwegues.

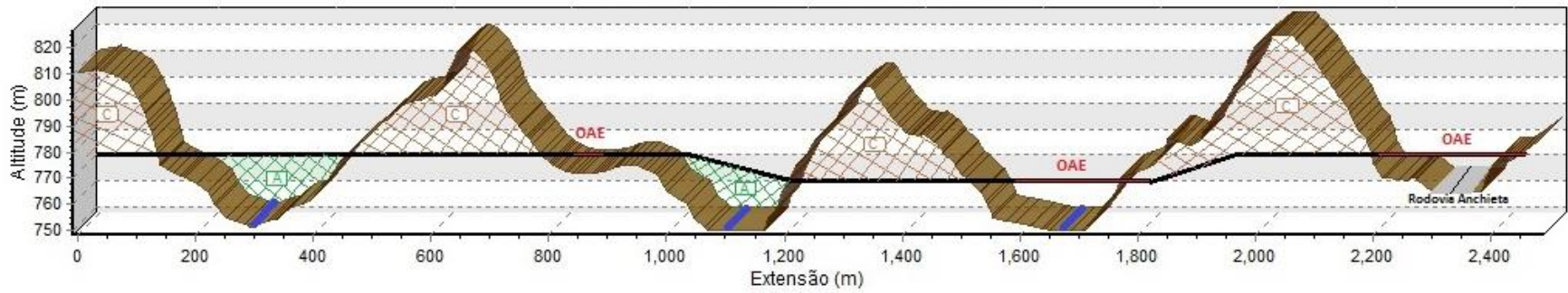
É possível observar, no entanto, assimetria menos proeminente entre a porção oeste e leste da bacia hidrográfica, com topos mais elevados e alongados na primeira (840 m) e mais rebaixados (800 m) no outro extremo. O patamar verificado na última vertente do perfil, com cerca de 50 m de extensão e 760 m de altitude, corresponde ao corte realizado para implantação da Rodovia Anchieta, já existente na carta topográfica utilizada como base para elaboração do MDT.

Por fim, o perfil C-C' apresenta variação altimétrica de cerca de 80 metros, considerando o interflúvio secundário localizado na porção central do perfil, com altitude acima de 820 m, e os trechos de planície fluvial, com pontos cotados de 746 m e em parte ocupados pela Represa Billings. A dimensão interfluvial varia entre cerca de 600 m na margem direita (sentido montante-jusante) e 1.000 m na margem esquerda, com as planícies fluviais ocupando 100 e 200 m, respectivamente.

Foram também elaborados perfis topográficos ao longo dos segmentos do Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas (Figura 15) e de sua interligação com a Rodovia Anchieta (Figura 16), abrangidos pela bacia hidrográfica em estudo.

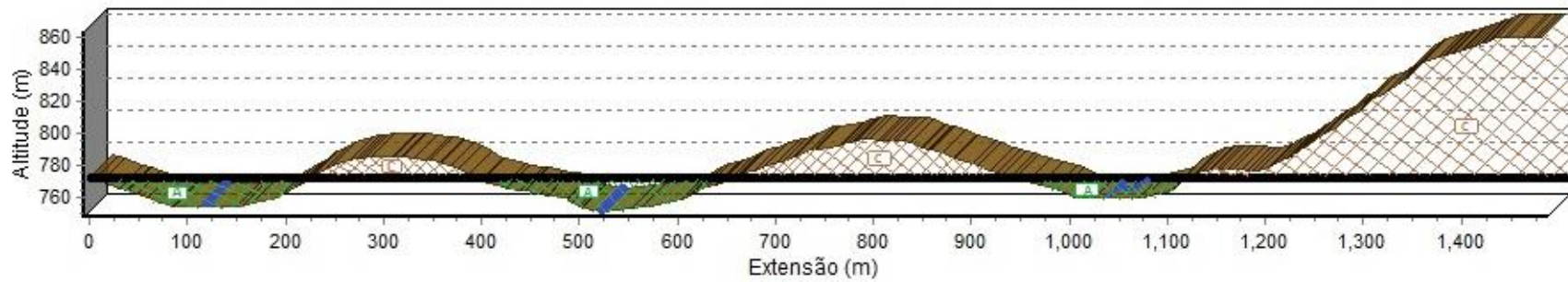
É possível observar que o traçado do Trecho Sul segmenta grande diversidade de morfologias que compõem os subsistemas de vertente e planície fluvial. Para manter as características geométricas do projeto, que determinam a inclinação máxima do corpo da rodovia, foram realizados cortes nas vertentes, com até 40 m, segundo consta no EIA do empreendimento (FESPSP / Dersa, 2004), e aterros na interceptação de algumas planícies fluviais, com desvio dos cursos d'água por meio de dispositivos de drenagem.

A travessia da planície fluvial localizada à jusante do Jd. Jussara, na margem esquerda da bacia hidrográfica e distante cerca de 1.700 m do início do perfil topográfico, é realizada por meio de ponte (Obra de Arte Especial), com aproximadamente 225 m de extensão. A OAE seguinte refere-se à travessia da Rodovia Anchieta, realizada igualmente por meio de ponte, com extensão aproximada de 280 m.



Org.: MANTOVANI, J. C. (2015)

Figura 15 – Perfil topográfico do eixo principal do Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas



Org.: MANTOVANI, J. C. (2015)

Figura 16 – Perfil topográfico da interligação entre o Trecho Sul e a Rodovia Anchieta

Por fim, o perfil topográfico referente à interligação entre o Trecho Sul do Rodoanel e a Rodovia Anchieta apresenta menor extensão, segmentando a área de estudo ao longo de trecho com cerca de 1,5 km. Diferentemente do traçado do Trecho Sul do Rodoanel, que intersecta a bacia hidrográfica transversalmente, em sua porção média/jusante; o acesso Rodoanel – Rodovia Anchieta realiza percurso longitudinal, abrangendo as porções médias, com altitudes entre 760 e 780 m, e de montante da bacia, atingindo no ponto B', interflúvio com 860 m.

É possível observar que a interligação rodoviária segmenta morfologias de planície fluvial e de vertente, utilizando-se unicamente de aterros para transposição das primeiras e de cortes com até 40 m de altura nos trechos de vertente, para manutenção das características geométricas da rodovia. A interceptação dos cursos d'água, tendo em vista a inexistência de 'Obras de Arte Especiais', implantadas usualmente para evitar impactos nos subsistemas fluviais; é realizada por meio de dispositivos de drenagem, responsáveis pelo desvio e redirecionamento dos fluxos.

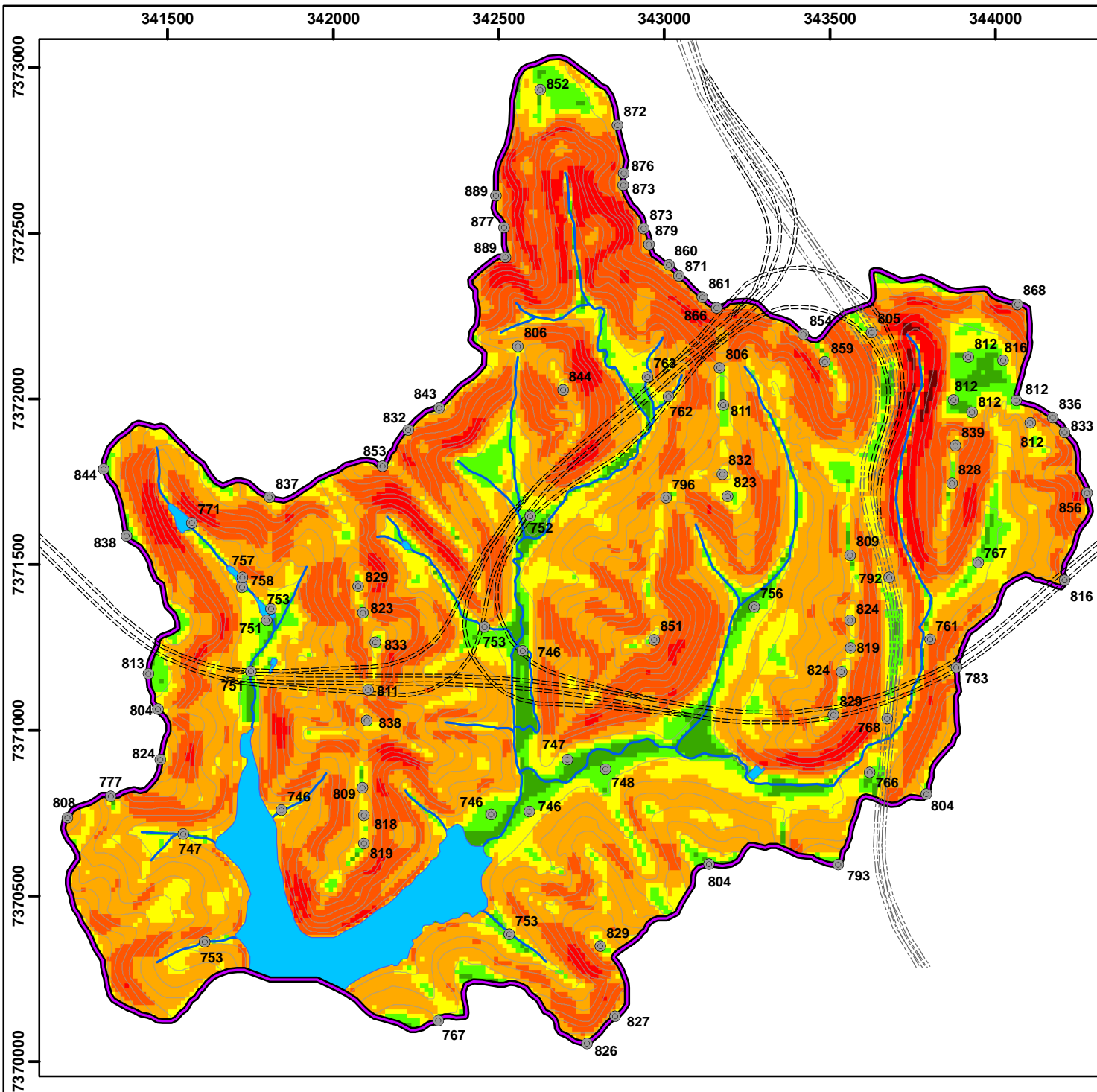
As declividades são predominantemente médias a altas no interior da área de estudo, sobretudo nos anfiteatros de nascentes dos cursos d'água. A Figura 17, na sequência, apresenta a distribuição das inclinações no interior da bacia hidrográfica em estudo.

As menores declividades, de até 5°, distribuem-se ao longo das planícies fluviais e em terraplenagens localizadas, no eixo da Rodovia Anchieta e próximo à Estação de Tratamento de Águas (ETA) da Sabesp. Juntas, estas áreas somam 61,66 ha, equivalente a 12,4% da bacia hidrográfica.

A classe seguinte, com declividade entre 5° e 10° apresenta área total de 67,44 ha ou 14% da bacia, distribuindo-se em baixas vertentes e em alguns talwegues localizados.

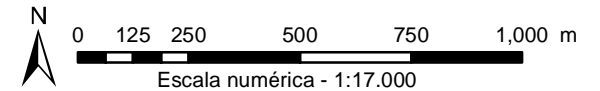
As duas categorias seguintes ocupam juntas 69,2% da área total da bacia hidrográfica, totalizando 341,76 ha. A classe entre 10° e 20° apresenta maior destaque, com total de 203,21 ha (41,1%), distribuindo-se por toda a área de estudo, sobretudo nas vertentes de face oeste e noroeste. Menos abundante, a classe de 20° a 30° ocupa 138,55 ha, equivalente a 28% da área da bacia, abrangendo principalmente as vertentes de sudeste e sul.

Por fim, as classes com maiores declividades, acima de 30°, representam uma pequena porção da área de estudo, somando 5% ou 23,2 ha e concentradas em anfiteatros com rupturas de declive mais pronunciadas ou em pontos localizados, associados principalmente a terraplenagens, como pode ser observado próximo à ETA da Sabesp, acompanhando a lateral da Rodovia Anchieta, em local com corte de proporção significativa, atualmente ocupado pelas comunidades denominadas Sabesp e Estudantes.



Legenda

- Pontos Cotados
- Curvas de nível
- Cursos d'água
- Corpos d'água
- ==== Eixo do Rodoanel Trecho Sul
- Rodovia Anchieta
- ▭ Área de estudo
- Classes de Declividade (°)
- Até 2
- 2 - 5
- 5 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 45
- Acima de 45°



Escala numérica - 1:17.000
 Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM
 Datum horizontal: SIRGAS-2000
 Emplasa. Folha Riacho Grande
 (SF-23-Y-VI-4-NE-B), 1:10.000, 1981
 Emplasa. Folha Bairro Demarchi
 (SF-23-Y-C-VI-2-SE-F), 1:10.000, 1981

Geomorfologia Aplicada aos EIAs de Empreendimentos Rodoviários: subsídios aos órgãos ambientais brasileiros

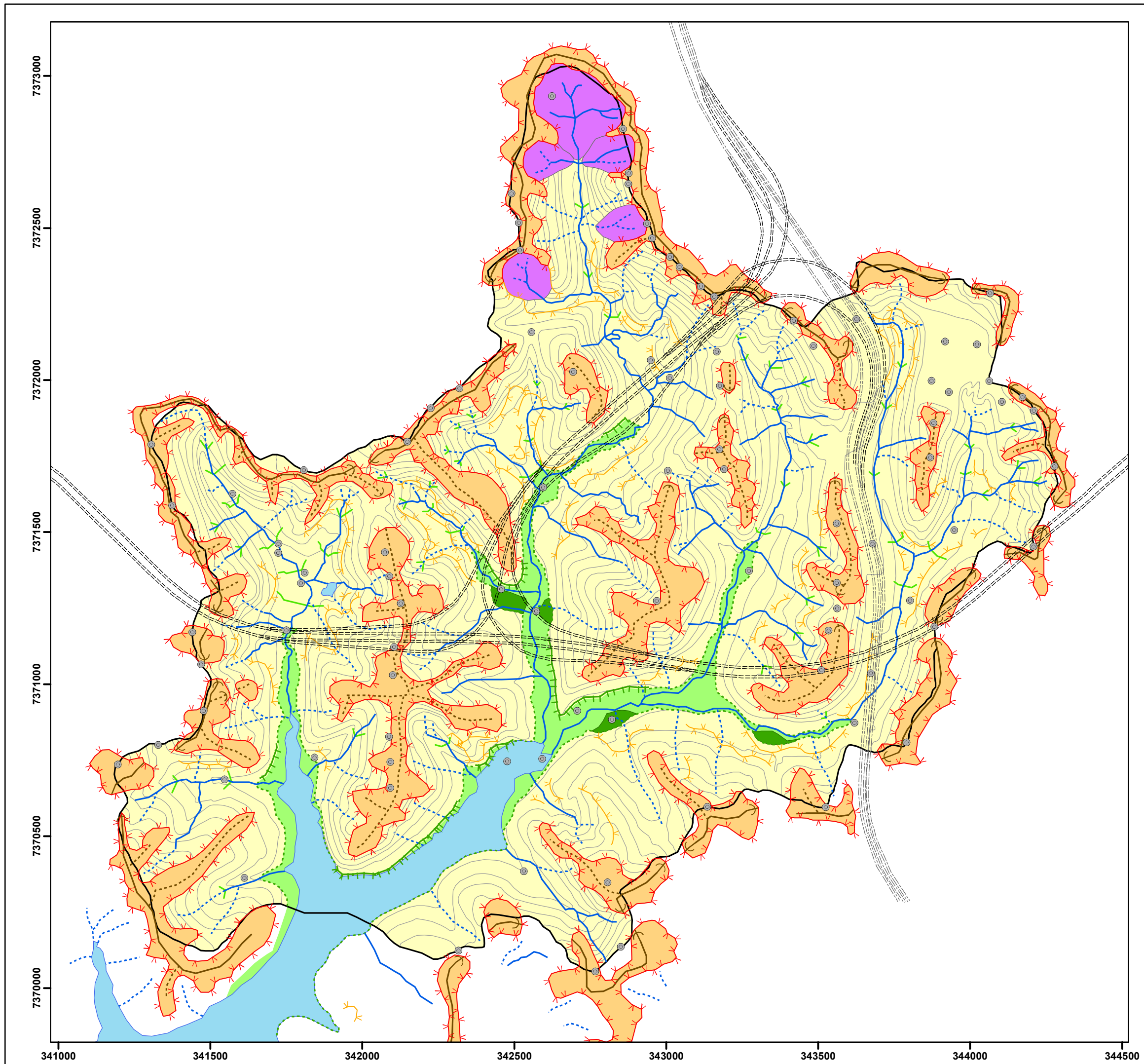
Mapa Clinográfico

Figura 17

Org: Juliana Mantovani
 Versão: 04/03/2015

No âmbito da pesquisa e considerado como um de seus resultados, foi desenvolvido mapeamento das morfologias semi-preservedas existentes na área de estudo, elaborado a partir da fotointerpretação de pares estereoscópicos de fotografias aéreas referentes ao ano de 1962, e de aplicação de técnicas de cartografia digital, por meio de software de SIG, para realização de quantificações e do produto cartográfico.

A Figura 18, disposta na página seguinte, apresenta o mapa de morfologias semi-preservedas identificadas na bacia hidrográfica em estudo, acompanhada, na sequência, de sua respectiva legenda.



Legenda

- Pontos Cotados
- Curvas de Nível
- ==== Traçado do Trecho Sul do Rodoanel
- Traçado da Rodovia Anchieta
- Área de Estudo

Morfologias de Vertente

- Divisor Principal
- ↔ Colo Principal
- Divisor Secundário
- ↔ Colo Secundário
- ... Ruptura vertente-planície indefinida
- ▬ Ruptura vertente-planície definida

Terço Superior de Vertente

- ↘ Mudança Convexa de Declive
- ↘ Mudança Côncava de Declive

Terço Médio e Inferior de Vertente

- ↘ Mudança Convexa de Declive
- ↘ Mudança Côncava de Declive

- Topos
- Vertentes de perfil policonvexos e policôncavos indiscriminados
- Anfiteatros Côncavos Amplos

Morfologias Fluviais

- Morfologia de Vale
- Terraço Fluvial
- Planície Fluvial
- ... Cursos Fluviais Intermitentes
- Cursos Fluviais Perenes
- Lago Artificial



Escala numérica - 1:12.000
 Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM
 Datum horizontal: SIRGAS-2000
 IAC / Aerofoto Natividade S.A. Fotografia área, P&B, nº 4051 e 4052, 1:25.000, 1962
 Emplasa. Folhas Riacho Grande (SF-23-Y-VI-4-NE-B) e Bairro Demarchi (SF-23-Y-C-VI-2-SE-F), 1:10.000, 1981


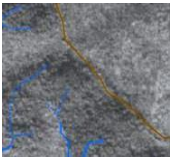

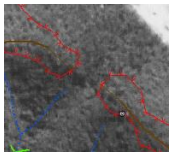

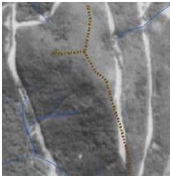

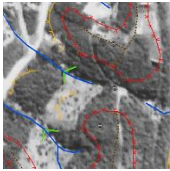

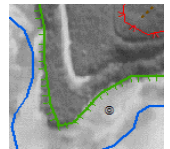

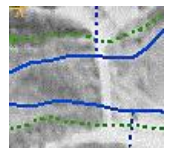
Geomorfologia Aplicada aos EIAs de Empreendimentos Rodoviários: subsídios aos órgãos ambientais brasileiros


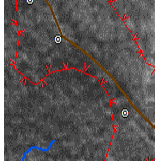

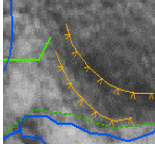



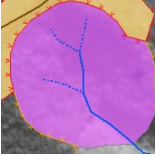

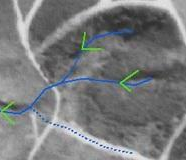

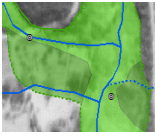
MAPA DE MORFOLOGIA SEMI-PRESERVADA




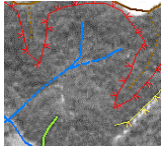

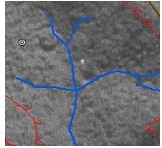

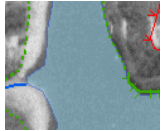
Figura 18

Org: Juliana Mantovani
 Versão: 04/03/2015

QUADRO 3 – Legenda empregada no mapeamento das morfologias semi-preservedas, apresentando unidade, descrição, simbologia e visão vertical.

Unidade	Descrição	Simbologia	Visão Vertical
Divisor Interfluvial Principal	Linha que divide os fluxos pluviais contribuintes de bacias hidrográficas contíguas.		
Colo Principal	Depressões localizadas na linha de crista do divisor interfluvial principal, entre pontos culminantes dos topos. Atuam como passagem ou ligação entre as vertentes do sistema hidrográfico.		
Divisor Interfluvial Secundário	Linha interfluvial que divide o escoamento das águas de chuva contribuintes de dois talvegues contíguos, mas que não se define como interflúvio principal.		
Colo Secundário	Depressões localizadas na linha de crista dos divisores interfluviais secundários, entre pontos culminantes dos topos.		
Ruptura Vertente-Planície Definida	Contato entre o sistema de vertente e a planície fluvial, com limite bem demarcado e transição abrupta.		
Ruptura Vertente Planície Indefinida	Limite representativo de faixa de contato entre o sistema de vertente e a planície fluvial, porém menos evidente em relação à classe morfológica anterior.		

Unidade	Descrição	Simbologia	Visão Vertical
Mudanças Convexas e Côncavas de Declive em Terço Superior	Descontinuidades de declividade existentes entre setores do sistema de vertente, podendo ser convexas (positivas), indicando um aumento da declividade a partir do topo, por exemplo, ou côncavas (negativas), demonstrando suavização da vertente.		
Mudanças Convexas e Côncavas de Declive em Terço Médio e Inferior	Descontinuidades de declividade existentes nos terços médio e inferior da vertente, podendo ser convexas, com incremento da inclinação (positivas) ou côncavas, acompanhadas de decréscimo na declividade (negativas).		
Topos	Representam os setores mais elevados das cristas que compõem os divisores interfluviais principais e secundários, tendo seu limite marcado pela mudança de declividade no setor superior, a partir da qual se iniciam as morfologias relativas ao sistema de vertentes. Em geral, são setores de menores declividades.		
Anfiteatros Côncavos Amplos	Áreas côncavas com formato semicircular ou oval, de grande dimensão, marcadas na paisagem por suas características e tamanho, atuando como concentradoras dos fluxos das cabeceiras de drenagem.		
Vales	Morfologias compostas por talvegues e duas vertentes convergentes. Podem apresentar formas diversas, conforme a estrutura, origem, material, clima e evolução do sistema geomorfológico. Os vales em “V” representam incisão profunda e dimensão interfluvial pequena, indicando maior dissecação. E os vales de fundo plano são mais abertos, podendo formar em seu fundo, áreas mais suaves, como planícies restritas ou contínuas.		
Terraço Fluvial	Patamares ou descontinuidades da planície fluvial mais elevados e com maior inclinação, localizados entre a planície de inundação e os sistemas de vertente, e associados a cursos fluviais perenes. Predominam processos de acumulação dos sedimentos transportados dos sistemas de vertente.		

Unidade	Descrição	Simbologia	Visão Vertical
Planície Fluvial	Áreas aplainadas, de até 4° de inclinação, em geral com superfície regular. Estendem-se longitudinalmente ao longo do eixo dos principais canais da bacia hidrográfica, associadas a cursos perenes, podendo ser mais amplas nas confluências fluviais. Predominam os processos de acumulação dos sedimentos transportados dos sistemas de vertente associados a processos fluviais de transporte lateral de carga sólida por transbordamento do canal e sedimentação.		
Curso Fluvial Intermitente	Concavidades pouco proeminentes, caracterizadas por concentrar os fluxos pluviais, com escoamento temporário e sem a formação de talwegues definidos. Atuam como coletores dos fluxos incidentes nas cabeceiras de drenagem.		
Curso Fluvial Perene	Curso fluvial alimentado de forma permanente por lençol freático, com talvegue bem definido e usualmente centralizado no vale.		
Corpos d'Água	Acumulações artificiais de água, de diferentes dimensões e resultantes de processos tecnológicos variados, incluindo, no caso da área de estudo, porção da área alagada que compõem a Represa Billings.		

Obs.: As vertentes de perfil policonvexos e policôncavos indiscriminados incluem os setores de áreas das vertentes da área de estudo que não foram classificados nas categorias de topo e anfiteatros côncavos.

Fonte: CHRISTOFOLETTI (1974); GUERRA (1978)

É possível observar que a área de estudo apresenta uma grande diversidade de morfologias em seu interior, totalizando dezoito diferentes legendas, conforme segue:

- Sistemas fluviais: planície fluvial, terraço fluvial, morfologia de vale, curso fluvial intermitente e perene, e lago artificial;
- Sistemas de vertente: divisores interfluviais, colos, mudanças de declive em terço superior, médio e inferior da vertente, rupturas definidas e indefinidas entre vertentes e planície, topos, vertentes de perfil policôncavos ou policôncavos indiscriminados e anfiteatros côncavos amplos.

Para cada morfologia, foram realizadas quantificações envolvendo o número de ocorrências, a área total (quando possível), o perímetro total (quando possível); e, quando pertinente, valores médios, mínimos e máximos.

As Tabelas 1 e 2, abaixo, apresentam os dados obtidos para as morfologias com dimensão em termos de área e perímetro.

Tabela 1 – Quantificação das áreas relativas às morfologias semi-preservadas

Morfologia	Nº	Área (ha)				
		Total	%	Média	Menor	Maior
Topo	28	78,66	15,92	2,81	0,04	14,68
Anfiteatros Côncavos Amplos	5	11,90	2,41	2,38	1,44	5,52
Terraço Fluvial	4	1,74	0,35	0,44	0,25	0,63
Planície Fluvial	1	39,07	7,91	-	-	-
Lago Artificial	1	0,15	0,03	-	-	-
Sistema de Vertentes	-	362,55	73,38	-	-	-
Total	39	494,08	100,00	-	-	-

Obs.: 1 ha corresponde a 10.000 m² e 0,01 km²

Tabela 2 – Quantificação dos perímetros das morfologias semi-preservadas

Morfologia	Nº	Perímetro (m)			
		Total	Média	Menor	Maior
Topo	28	35.885,27	1.281,62	213,62	4964,17
Anfiteatros Côncavos Amplos	5	2.820,25	564,05	452,08	916,78
Terraço Fluvial	4	1.250,91	312,73	211,30	352,44
Planície Fluvial	1	10.235,06	-	-	-
Lago Artificial	1	157,73	-	-	-
Sistema de Vertentes	-	45.181,18	-	-	-
Total	39	50.348,83	-	-	-

A Tabela 3, abaixo, apresenta os perímetros calculados para as morfologias semi-preservadas, representada por feição linear.

Tabela 3 – Perímetros das morfologias semi-preservadas lineares

Morfologia	nº	Extensão (m)			
		Total	Média	Menor	Maior
Divisor Principal	21	8294.36	394.9695	47.44	2032.1
Divisor Secundário	39	8279.88	212.3046	19.97	752.51
Colo Principal	40				
Colo Secundário	15				
Mudança Convexa Terço Superior	234	24981.44	106.7583	17.14	771.01
Mudança Côncava Terço Superior	233	20152.35	86.4908	16.15	631.53
Mudança Convexa Terço Médio e Inferior	75	6648.57	88.6476	27.92	279.94
Mudança Côncava Terço Médio e Inferior	46	3509.93	76.3028	30.81	236.72
Ruptura Planície Vertente Indefinida	8	8834.15	1104.269	154.43	4460.36
Ruptura Planície Vertente Definida	6	1830.17	305.0283	93.82	595.92

Cabe destacar que algumas morfologias não necessariamente se circunscrevem à área da bacia hidrográfica em estudo, ultrapassando seus limites, em função de incompatibilidades entre a delimitação elaborada a partir das cartas topográficas da Emplasa, em escala 1:10.000, e os divisores interfluviais restituídos das fotografias aéreas. Para efeito da análise, as tabelas consideraram as áreas e perímetros referentes às porções inseridas na bacia, permitindo o cálculo dos percentuais em relação ao total da área de interesse.

Com base nas tabelas e no mapa apresentado, observa-se a presença de topos distribuídos por toda a área de estudo, totalizando 78,66 ha (ou 0,79 km²), cerca de 15% do total da bacia hidrográfica, com área média de 2,81 ha (ou 0,02 km²), sendo a maior unidade, localizada no extremo norte da área de estudo, junto aos anfiteatros côncavos amplos, com 14,68 ha (0,14 km²). Alongados e com grande número de reentrâncias, associadas ao recuo das cabeceiras, os topos apresentam perímetro total de 35.885 m, com extensão média de 1.281 m, e com maior perímetro de 4.964 m referente ao mesmo topo destacado anteriormente.

Os anfiteatros côncavos amplos, observados na porção norte, totalizam 11,90 ha (0,12 km²), equivalente a 2,5% da área, distribuídos em cinco ocorrências, sendo o maior localizado junto ao divisor interfluvial do extremo norte, com área de 5,52 ha (0,05 km²) e perímetro de 916,78 m.

A planície fluvial se distribui de forma alongada pela área de estudo, sendo abrangida por parte da área alagada do braço do Rio Grande, integrante da Represa Billings. Neste sentido, cabe destacar que a utilização da fotografia aérea do ano de 1962 representou limitação no reconhecimento da morfologia original existente na área alagada

pela Billings, cujo enchimento finalizou em 1949. Desta forma, a realização das quantificações e análises, supôs tratar-se de área originalmente ocupada apenas por planície fluvial, excluindo outras possíveis morfologias, como baixas vertentes, terraços fluviais, meandro abandonados, diques marginais e *backswamps* (bacias de inundação).

Assim, a planície fluvial apresenta área total de 39,07 ha, e perímetro de 10.235 m, correspondendo a cerca de 9% do total da bacia hidrográfica. Utilizando os dados altimétricos extraídos da carta topográfica da Emplasa, obteve-se variação altimétrica de cerca de quinze metros, com cota inicial de 746 m, na porção de jusante da área de estudo, cota intermediária de 756 m, localizada próxima a um dos limites da planície fluvial, e cruzamento com curva de nível de 765 m, nos locais mais elevados da planície fluvial, incidentes na porção central da área de estudo.

Os terraços fluviais identificados nas fotografias aéreas totalizam quatro unidades, localizadas, em sua maioria, à esquerda (sentido montante-jusante) próximas ao contato entre planície fluvial e vertente, totalizando 1,74 ha, equivalente a 0,4% do total da bacia, e perímetro de 1.250 m.

Para finalizar as quantificações das morfologias com formato areal, verificou-se a ocorrência de pequena área (0,15 ha) de lago artificial na bacia hidrográfica em estudo, com perímetro total de 157 m. Cabe destacar que, tal ocorrência integra a Represa Billings, por se tratar de quantificação aplicada apenas para as morfologias semi-preservedas presente na área de estudo. Conforme observado, anteriormente, o espelho d'água da represa foi interpretado como área originalmente ocupada por planície fluvial.

Em relação às morfologias lineares, podem ser destacadas as mudanças de declive no terço superior da vertente, com formatos convexos e côncavos, pela insistente ocorrência na área de estudo, associadas à elevada densidade de drenagem e reentrâncias nos setores de topo, conferindo certa sinuosidade aos interflúvios. As mudanças convexas de declive somam 234 trechos, com extensão total de 24.981 m, e maior trecho composto por 771 m, localizado na porção sudeste da área de estudo. De modo semelhante, as mudanças côncavas de declive totalizam 233 trechos de ocorrência, com extensão resultante de 20.152 m, e maior trecho com 631 m, no extremo norte da bacia hidrográfica.

As mudanças convexas e côncavas de declive nos terços médio e inferior foram menos frequentes em relação às anteriores. Identificou-se 75 trechos de mudanças convexas de declive nestes setores, totalizando 6.648 m de extensão, sendo o maior com 279 m de comprimento, localizado no limite entre a porção central e norte da área de estudo. Por sua vez, as mudanças côncavas de declive apresentaram menor número, com 46 trechos e extensão total de 3.509 m, equivalente a cerca da metade das morfologias convexas, e maior trecho inserido entre a porção central e sul da área, com 236 m.

Os divisores interfluviais principais e secundários, associados às morfologias de topo na área de estudo, somam uma extensão total de 8.294 m, no caso dos primeiros, sendo o trecho mais longo dotado de 2.032 m contínuos, localizados no extremo norte da bacia hidrográfica; e 8.279 m, no caso dos divisores interfluviais secundários, com maior trecho de 752,5 m, inserido na porção central da área de estudo.

As unidades morfológicas referentes aos colos dos divisores interfluviais principais e secundários, possuem, igualmente, estreita relação com a presença de topos na área de estudo, reunindo 20 morfologias de colos principais (40 trechos, considerando dois topos adjacentes) e 8 morfologias de colos secundários (16 trechos ao total).

Por fim, em relação às morfologias lineares, foram quantificadas, ainda, as extensões dos trechos de ruptura indefinida (gradual) e definida (marcada), que delimitam as morfologias do sistema de vertente daquelas que compõem o sistema fluvial. A ruptura indefinida, caracterizada por ser mais suave e gradual, predomina ao longo de quase toda a planície fluvial, dividida em 8 grandes trechos e envolvendo 8.834 m de extensão. Menos numerosas, as rupturas apresentam 6 ocorrências, concentradas principalmente na porção próxima à área alagada pela represa, totalizando extensão de 1.830 m.

A interação entre o Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas e as morfologias semi-preservedas, é abordada posteriormente na pesquisa, por meio da utilização de parte dos geoindicadores propostos, em capítulo dedicado aos resultados obtidos.

HIDROGRAFIA

Em relação à rede hidrográfica regional, a área de estudo se encontra inserida na Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Alto Tietê (UGRHI 6), na sub-região hidrográfica denominada Billings-Tamanduateí (CBH-AT, 2007) e, mais especificamente, na bacia hidrográfica da Billings, que contribui para o rio Pinheiros.

De acordo com Ab'Saber (1957), o padrão de drenagem é predominantemente dendrítico, com cursos fluviais em parte orientados no sentido sul-norte, considerado pelo autor como característico da hidrografia da bacia de São Paulo; e em parte no sentido leste-oeste, como ocorria originalmente com os rios Grande e Pequeno, atualmente integrantes da Represa Billings (braços do Rio Grande e Pequeno).

Segundo o autor, esta orientação leste-oeste, paralela ao curso do rio Tietê, reflete também, a orientação regional das faixas de xistos, gnáisses e micaxistos, entremeados com granitos, que caracterizam a litologia do entorno da bacia de São Paulo e da área de estudo, no caso dos micaxistos.

Ainda que o padrão da drenagem seja regionalmente dendrítico, abrangendo toda a área cristalina e granítico-gnáissica que caracteriza os arredores da bacia de São Paulo, em alguns pontos é possível observar indícios de superimposições ou controles exercidos pela

estrutura, conforme descrito por Ab'Saber (1957). De acordo com o autor, no caso das porções com litologia de xistos e micaxistos, os cursos d'água comumente apresentam trechos com caráter direcional, de padronagem retangular, e com cabeceiras predominantemente dendríticas.

No contexto local, a bacia hidrográfica em estudo apresenta área de 494,08 ha, perímetro de aproximadamente 12 quilômetros e hierarquia fluvial de quarta ordem, conforme classificação proposta por Strahler (1952). Duas sub-bacias hidrográficas contribuem para sua formação: a sub-bacia Jd. Vista Alegre²¹ e a sub-bacia Jd. Jussara/Balneária.

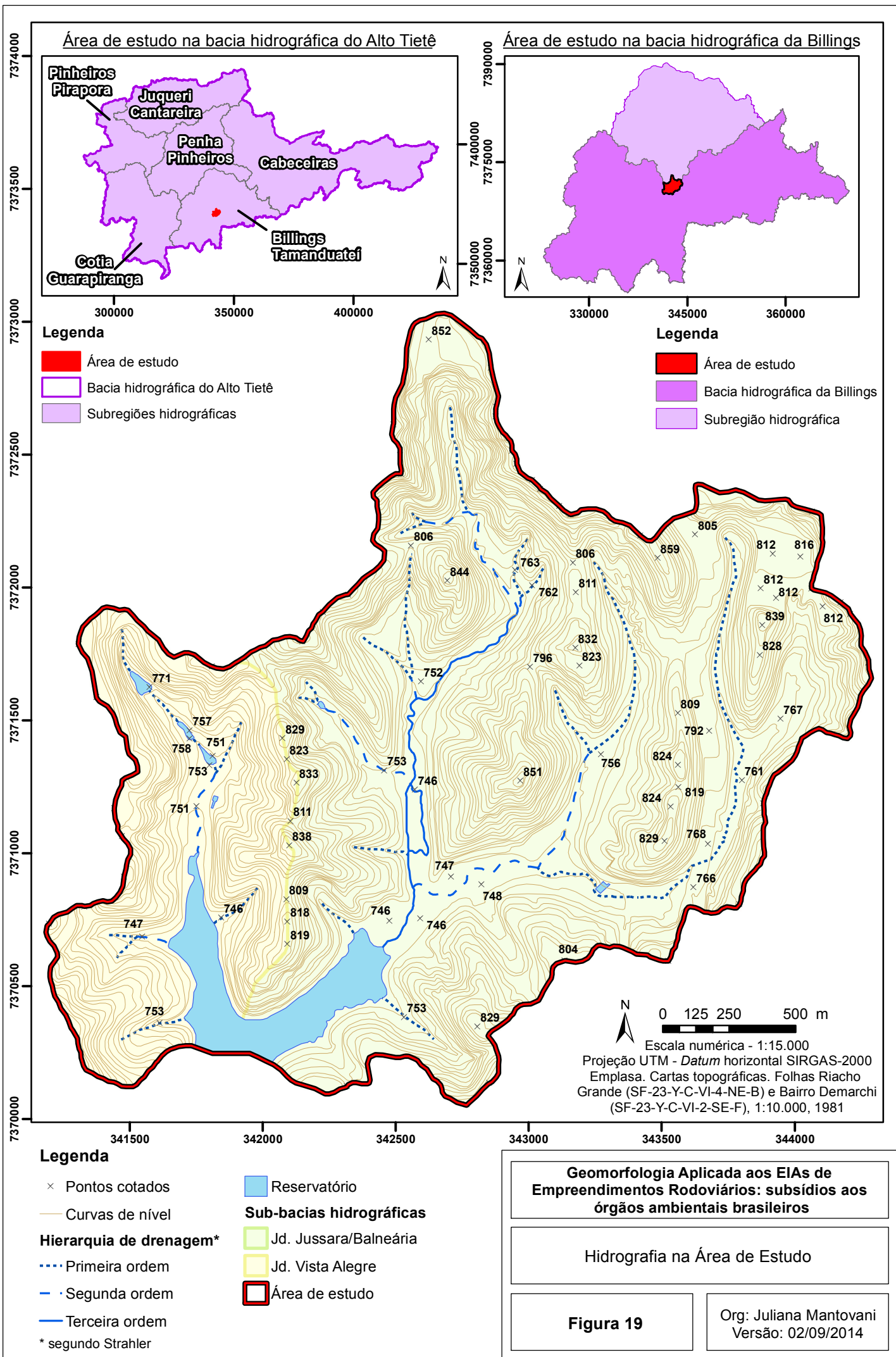
A primeira está localizada na porção oeste da área de estudo, com área de 107,14 ha, equivalente a 22% do total da bacia hidrográfica, e composta por seis cursos de primeira ordem, dois cursos de segunda e um de terceira ordem, três corpos d'água artificiais e grande área recoberta pelo remanso da Represa Billings.

A sub-bacia hidrográfica Jd. Jussara/Balneária, por sua vez, apresenta área de 386,34 ha (78%), envolvendo toda a porção central e leste da bacia hidrográfica, e abrigando quinze cursos d'água de primeira ordem, três de segunda ordem, um de terceira ordem, um corpo d'água artificial e área igualmente extensa de remanso.

A Figura 19, disposta na página seguinte, apresenta as sub-bacias hidrográficas que integram a área de estudo e sua localização no contexto das unidades administrativas de gerenciamento dos recursos hídricos no Estado de São Paulo.

Com base na restituição da morfologia semi-preservada da área de estudo, foram calculados, ainda, parâmetros morfométricos básicos para análise da bacia hidrográfica, tais como: área e perímetro da unidade, comprimento total dos cursos d'água perenes e intermitentes, densidade de drenagem, índice de circularidade, coeficiente de manutenção, entre outros.

²¹ Conforme descrito anteriormente, a cartografia oficial não apresenta denominação para os cursos d'água abrangidos pela área de estudo. Assim, as sub-bacias hidrográficas foram nomeadas conforme os bairros ou aglomerados urbanos existentes em seu interior.



O Quadro 04, a seguir, apresenta cada parâmetro calculado, acompanhado de breve descrição sobre seu significado e do resultado obtido para a bacia hidrográfica em estudo.

Quadro 04 – Parâmetros morfométricos obtidos à bacia hidrográfica em estudo

Parâmetro	Descrição	Unidade	Resultado
Área total da bacia hidrográfica	Toda a área que contribui para o conjunto do sistema hidrográfico.	ha	494,08
Perímetro da bacia hidrográfica	Extensão de todo o limite da bacia hidrográfica, projetado num plano horizontal.	m	12.000
Comprimento da bacia hidrográfica	Distância medida entre a foz e ponto mais extremo do perímetro da bacia hidrográfica.	m	2.960
Comprimento do curso principal	Distância existente entre a foz e a nascente do curso d'água principal da bacia hidrográfica	m	
Extensão dos cursos fluviais perenes	Comprimento total dos cursos fluviais perenes presentes na bacia hidrográfica.	km	21.44
Extensão dos cursos fluviais intermitentes	Comprimento total dos cursos fluviais intermitentes presentes na bacia hidrográfica.	km	13.31
Forma da bacia	Proximidade entre a forma da bacia hidrográfica e as figuras geométricas de um círculo, um quadrado ou um triângulo.	v.a.	Forma irregular, com interflúvio principal sinuoso. Tendência retangular à circular, com razão comprimento/largura de 1,93
Índice de circularidade	Relação entre a área de bacia hidrográfica e a área de círculo com mesmo perímetro, indicando a proximidade da bacia de um formato circular	v.a.	1.046666667
Densidade de Drenagem*	Relação entre o comprimento total dos cursos fluviais e a área da bacia hidrográfica.	km/km ²	4.339
Coef. de manutenção	Derivado da densidade de drenagem, expressa a área necessária para manutenção de um metro de canal fluvial.	km ² /km	0.230462044

Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1980

*Considerando apenas os cursos fluviais perenes do cálculo deste parâmetro

PEDOLOGIA

Tendo em vista a relevância que os materiais possuem na análise de impacto das obras no meio físico, com ênfase àquelas que integram os sistemas viários mais robustos e exigidos, como é o caso do Rodoanel Mário Covas, o detalhamento das características de solos da área direta e indiretamente afetada se faz fundamental.

Esta necessidade se explica não exclusivamente pela preocupação em relação às características geotécnicas relacionadas ao estabelecimento do leito estradal, mas, também, devido às necessidades de estabilização de aterros e bermas de cortes e aterros, da via e das pilhas de material excedente, evitando-se riscos de desestabilização deste material.

Apesar da premente necessidade dos dados de solos para avaliação de impacto, os dados de pedologia constituem um conjunto de informações extremamente defasado e, quando disponíveis, estão em escala macrorregional, inadequadas a aplicações de detalhe como as exigidas nas técnicas de avaliação de impacto de estruturas viárias.

Para o estado de São Paulo, o mapeamento mais homogêneo e que abrange a área de estudo é o realizado por Oliveira et al. (Instituto Agrônomo de Campinas e Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, 1999), em escala 1:500.000. Segundo este estudo, a área, localizada ainda fora dos limites da área urbanizada da RMSP, insere-se em um cinturão de predomínio de cambissolos háplicos, sem distinção de terceiro e quarto níveis categóricos (Figura 20).

Típicos de domínios morfológicos fortemente ondulados, com marcante tendência à convexização das unidades de vertente, os cambissolos háplicos não apresentam horizonte superficial A húmico, sua fertilidade natural é variável e apresenta limitações de uso, em geral, pela profundidade reduzida. Em muitos casos, apresentam horizontes B incipientes, com interpenetração de horizontes litólicos e fragmentos de rocha mãe, associados a amplos mantos de alteração.

Embora estes solos predominem na área de estudo, conforme a cartografia utilizada, eles certamente se restringem aos setores de vertente e topos de morro. Nos fundos de vale, a acumulação de material autóctone oriundo de depósitos coluvionares, associados à deposição lateral por transbordamento fluvial, edificaram, paulatinamente, estruturas pedológicas distintas dos cambissolos do sistema vertente. Nas planícies fluviais tendem a predominar solos do tipo gleissolos, desenvolvidos sobre sedimentos não consolidados, predominantemente argilosos, argilo-arenosos ou arenosos, acumulados no holoceno.

Normalmente, em solos instáveis como gleissolos, para que não haja instabilidades indesejadas ao longo da obra e durante a operação da atividade, os empreendimentos possuem fases de preparação da superfície com recobrimento de solos moles por camadas de solos mais estáveis. Os contatos entre planície e vertente, onde há transição entre tipos de solos, podem representar áreas de instabilidade devido à responsividade do material pedológico às intervenções produzidas pelas obras.

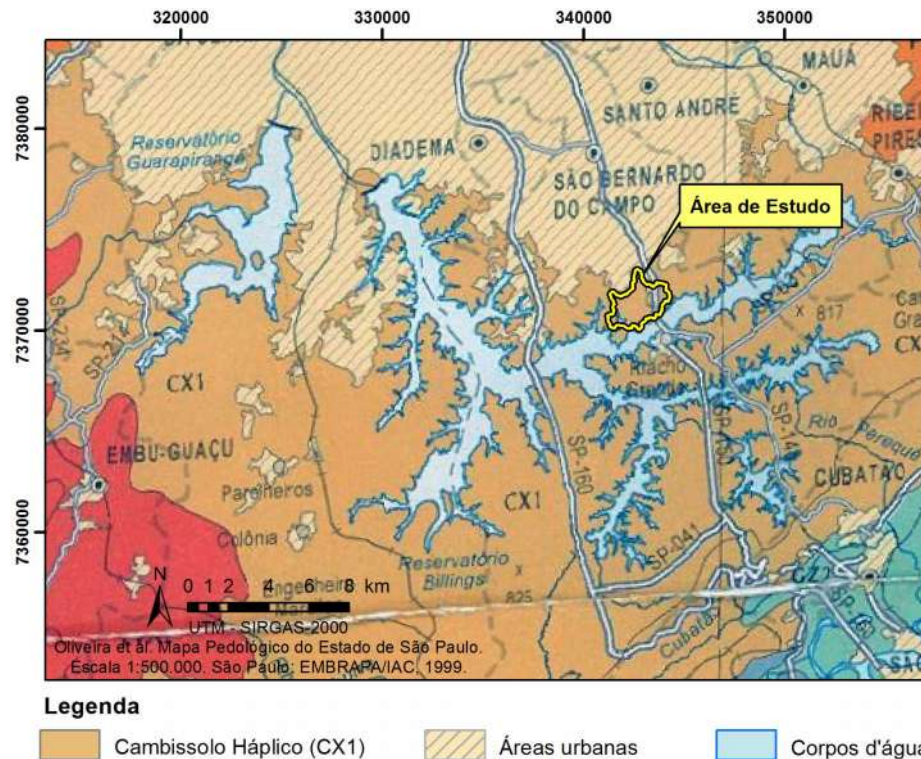


FIGURA 20 – Macrounidades pedológicas abrangidas pela área de estudo.

Org: Juliana C. Mantovani.

Fonte: Oliveira et al. 1999.

CLIMATOLOGIA

De acordo com o Sumário de Dados de 2012²², da Prefeitura Municipal de São Bernardo do Campo, o município pode ser caracterizado como de clima úmido temperado, com temperaturas médias oscilando entre 15° e 24°C, total pluviométrico anual médio de 1.756,6 mm (para o período de 1961 a 1990), com importante variação no total das precipitações entre os meses de verão e de inverno, sendo os primeiros mais chuvosos, com destaque ao mês de janeiro.

Em “Os Climas na Cidade de São Paulo”, organizado por Tarifa e Azevedo (2001)²³, Tarifa e Armani (2001a,b) apresentam as unidades climáticas naturais e urbanas delimitadas para o município de São Paulo²⁴. Apesar da análise espacial restringir-se à cidade de São Paulo, os parâmetros utilizados pelos autores para definição das unidades podem ser extrapolados para as áreas vizinhas e para a RMSP de modo geral.

²² SÃO BERNARDO DO CAMPO. Sumário de Dados 2012. Capítulo II – Geografia e Meio Ambiente, 2012.

²³ TARIFA, José Roberto; AZEVEDO, Tarik Rezende de. Os Climas na cidade de São Paulo: teoria e prática. São Paulo: Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia, Laboratório de Climatologia, 2001. 199 p.

²⁴ As unidades foram definidas nas escalas meso, topo e microclimática, utilizando como base diversos estudos e mapas produzidos no âmbito do Laboratório de Climatologia, do Departamento de Geografia da USP, e a partir de séries históricas durante o período entre 1970 e 2000.

Em relação à Região Metropolitana de São Paulo, Tarifa e Armani (2001a,b) destacam as condições climáticas específicas associadas à seu contexto espacial e físico. De acordo com os autores, sua localização em uma área de transição, marcada pelo Trópico de Capricórnio, entre o clima subtropical, permanentemente úmido, e o clima subtropical úmido de altitude, considerado mais seco, confere à região uma sazonalidade mais acentuada, com verões e primaveras mais úmidos, e outonos e invernos mais secos.

A influência desta transição e sazonalidade decorre, ainda, impactos pluviométricos muito intensos, de muita ou pequena quantidade de chuva, como os eventos do El Niño nos anos de 1976/1977, 1982/1983 e 1991/1992, destacados pelos autores. A ocorrência de tempos estáveis, predominantes ao longo do ano, resulta, por sua vez, na menor dispersão dos poluentes.

Com base nos critérios adotados por estes autores, a área de estudo encontra-se inserida na unidade denominada “Clima Tropical Sub-oceânico Super-úmido do Reverso do Planalto Atlântico” (unidade IV), e mais especificamente, na sub-unidade IV-B, caracterizada localmente pelos morros e nascentes do Alto Pinheiros e Embu-Guaçu, abrangendo, ainda, o espelho d’água da Represa Billings.

De acordo com Tarifa e Armani (2001a), esta unidade possui como principais características a maior proximidade e influência do Oceano Atlântico, resultando em totais pluviométricos elevados, com variação de 1.400 a 1.800 mm, e máximas em 24 horas entre 200 e 400 mm; bem como, na presença constante de nevoeiros e névoas úmidas nas áreas mais rebaixadas, auxiliando na dispersão de poluentes, e na maior exposição aos fluxos de vento, conferindo a estas áreas elevada instabilidade.

Desta forma, os autores destacam alguns cuidados associados à ocupação e desenvolvimento de usos antrópicos nesta unidade, conforme citação a seguir:

[...] Qualquer ocupação que se aventure nesse clima local deverá ser adaptada ao grande volume de água que precipita nessas áreas, podendo gerar movimentos de massa, deslizamentos e desmoronamentos. Os riscos destes impactos pluviométricos pode ser grandes se não houver estrutura adequada para suportá-los. (TARIFA; ARMANI, 2001a, p. 44).

No contexto da área de estudo, as porções com maiores altimetrias, acima de 800 metros, podem apresentar temperaturas mais baixas, com médias anuais entre 19,3° e 19,1°C, máximas em torno de 24,9° e 24,7°C e mínimas entre 15,5° e 15,3°C. Abaixo desta faixa de altitude e até o nível da represa, oscilando em torno de 740 metros, as temperaturas apresentam-se mais elevadas, com médias anuais entre 19,6° e 19,3°C, máximas entre 25,2° e 24,9°C e mínimas entre 15,8° e 15,5°C. Cabe destacar, no entanto, que durante a noite, estas áreas apresentam as menores mínimas absolutas, por conta da drenagem e da acumulação de ar frio nas partes baixas.

Em relação às Unidades Climáticas Urbanas, identificadas com base na interação de atributos atmosféricos e controles climáticos urbanos, a área de estudo insere-se, predominantemente, na Unidade Climática do Urbano Fragmentado (unidade III), caracterizada por padrões de transição entre ocupações urbanas e rurais, com residências mais espaçadas e de baixa densidade.

Os totais pluviométricos nesta unidade são elevados, em relação às médias totais e às máximas em 24 horas; as temperaturas oscilam pouco, de 2° a 3°C, com variação entre 25° a 29°C no mês de setembro e 23° a 28°C no mês de abril. Por estes fatores, Tarifa e Armani (2001b), destacam o maior risco de desmoronamentos e enchentes, exigindo infraestrutura capaz de suportar tais condições climáticas.

A fim de abordar as características climáticas de forma mais específica à área de estudo, validar a adaptação das unidades climáticas de Tarifa e Armani (2001a e 2001b) para esta porção do território, e relacionar eventos climáticos extremos com a possível ocorrência de processos erosivos pluviais na bacia hidrográfica em estudo, recorreu-se à análise estatística das séries históricas de postos pluviométricos existentes no entorno da área de interesse.

Foram levantados e sistematizados os dados de dez estações pluviométricas, cuja localização é apresentada na Figura 21, a seguir, e as informações referentes à seu funcionamento, sintetizadas no Quadro 05, na seqüência.

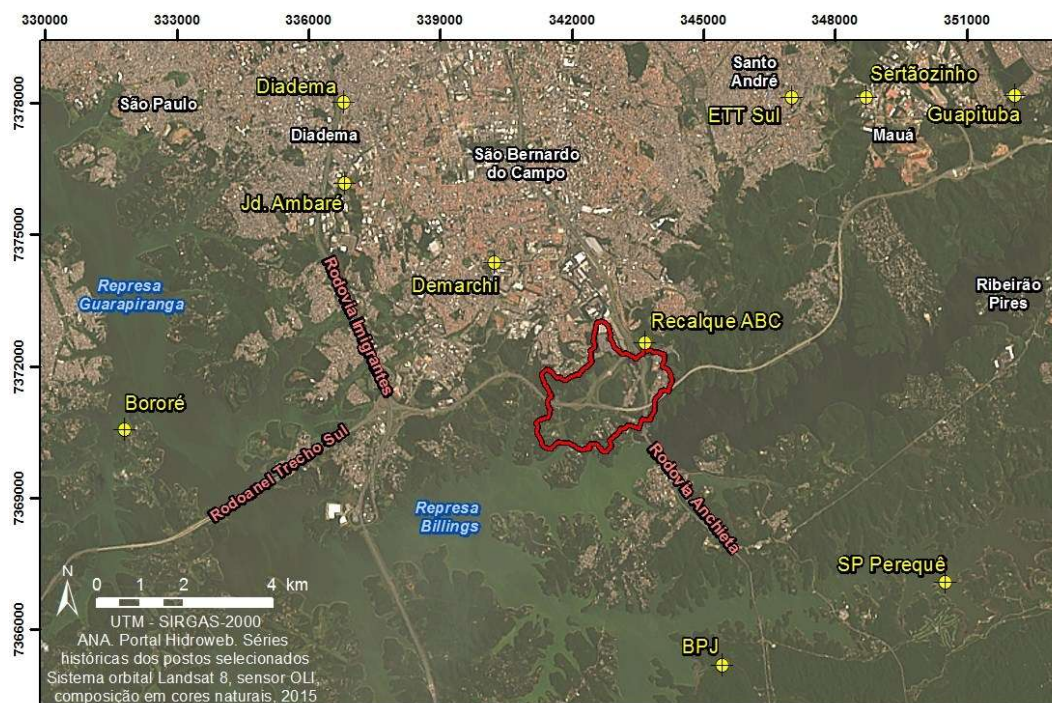


Figura 21 – Localização dos postos pluviométricos analisados

Quadro 05 – Postos pluviométricos analisados e informações pertinentes

Estação	Código	Órgão Responsável	Município	Coordenadas UTM*		Série Histórica
				mEastings	mNorthings	
Recalque ABC	2346068	DAEE	SBC**	343.688	7.372.554	1950-2005
Demarchi	2346171	EMAE	SBC	340.263	7.374.366	1972-1986
SP Perequê	2346176	EMAE	SBC	350.534	7.367.089	1936-1986
BPJ***	2346175	EMAE	SBC	345.459	7.365.186	1926-1986
Jd. Ambaré	2346173	EMAE	Diadema	336.847	7.376.167	1972-1986
Diadema	2346341	DAEE	Diadema	336.827	7.378.016	1972-1996
Bororé	2346157	EMAE	São Paulo	331.814	7.370.571	1937-1986
ETT Sul	2346190	EMAE	Santo André	347.024	7.378.127	1973-1986
Sertãozinho	2346340	DAEE	Mauá	348.727	7.378.145	1972-2007
Guapituba	2346342	DAEE	Ribeirão Pires	352.122	7.378.180	1972-2013

*Coordenadas referenciadas ao datum horizontal SIRGAS-2000

**SBC: São Bernardo do Campo

***BPJ: Posto da EMAE, denominado Billings Pedra Jusante

Com base nas séries históricas de cada posto pluviométrico, ainda que não necessariamente coincidentes em relação ao período de medição²⁵, foram calculadas: (i) as médias pluviométricas mensais, (ii) as médias do total pluviométrico anual, e (iii) valores de eventos pluviométricos extremos²⁶, de alta e baixa pluviosidade. Os valores obtidos para cada posto, são apresentados no Quadro 06, abaixo.

Quadro 06 – Síntese dos dados pluviométricos das estações selecionadas para análise

Posto	Média do total anual (mm)	Simulação de evento extremo		Totais anuais considerados eventos extremos	
		Acima da Média (mm)	Abaixo da Média (mm)	Acima da Média (ano:mm)	Abaixo da Média (ano:mm)
Recalque ABC	1.449,3	1.897,6	1.001,0	1957: 1.994,1	1963: 844,1*
				1976: 2.073,6	1968: 833,1*
				1983: 2.032,1	-
				1986: 1.928,2	-
				1988: 1.988,9	-
Demarchi	1.448,0	2000,8	895,3	1983: 2.081,8	-
SP Perequê	2.530,6	3.167,3	1.893,9	1947: 3.698,1	1954: 1.793,6*
				1966: 3.432,0	1963: 1.594,3*
				1967: 3.231,0	-
				1973: 3.341,1	-
				1976: 3.528,8	-
BPJ	1.700,8	2.281,6	1.120,0	1929: 2.798,2	-
				1934: 2.320,0	-
				1947: 2.505,8	-
Jd. Ambaré	1.089,1	1.523,9	654,3	1983: 1.683,3	-

²⁵ Neste sentido, diante dos objetivos da presente pesquisa e das limitações no número de estações e dados disponíveis para análise, tomou-se uma licença metodológica para uso e análise dos dados históricos da forma descrita acima, relevando-se problemas de natureza estatística e possíveis inconsistências nos dados.

²⁶ Tais valores foram obtidos por meio da multiplicação do desvio padrão da amostra, calculado em relação aos totais anuais, pelo valor "1,5". Este resultado preliminar foi somado ou subtraído à média total anual da série histórica, obtendo-se, assim, os valores considerados extremos.

Posto	Média do total anual (mm)	Simulação de evento extremo		Totais anuais considerados eventos extremos	
		Acima da Média (mm)	Abaixo da Média (mm)	Acima da Média (ano:mm)	Abaixo da Média (ano:mm)
Diadema	1.475,8	1907,2	1044,4	1976: 2004,1	1985: 884,9**
Bororé	1.328,8	1.732,5	925,1	1947: 1884,3	-
				1983: 2.054,7	-
ETT Sul	1.584,0	2.081,2	1086,5	1976: 2.066,5	-
				1983: 2.160,2	-
Sertãozinho	1.575,2	1.921,2	1.229,2	1976: 2.071,2	-
				1991: 2.091,2	-
				1996: 1.937,1	-
Guapituba	1.488	1.850	1.125,9	1976: 1.976,5	1984: 902,0**

*Séries históricas completas, ou seja, com todos os registros mensais aparentemente adequados.

**Série histórica incompleta, com problema em um registro mensal

A variação nos valores médios dos totais anuais pode ser atribuída às diferenças no período de medição das séries históricas, à localização dos postos e às possíveis inconsistências nos dados. Ainda assim, dada a proximidade espacial, alguns dados podem ser observados de forma mais atenta e conexões podem ser estabelecidas entre os pontos. Por exemplo, algumas médias totais anuais consideradas extremas, acima e abaixo dos valores calculados como base, se repetem em mais de um posto.

Os anos de 1976 e 1983, por exemplo, apresentaram totais médios acima do valor estabelecido como base, em seis e cinco postos, respectivamente, dentre os dez analisados. De acordo com Tarifa e Armani (2001a) estes anos foram caracterizados por impactos pluviométricos intensos, decorrentes da incidência do El Niño, entre 1976 e 1977, com destaque para janeiro de 1976, culminando na ocorrência de grandes enchentes na RMSP; e entre 1982 e 1983, estendendo-se até outono de 1984.

Por sua vez, o ano de 1947 possui grande importância para a cidade de São Paulo, pois até recentemente (2011), abrigou o mês de janeiro considerado com maior total pluviométrico na história do município, com 481,4 mm acumulados. Dentre as dez estações analisadas, três apresentaram, para 1947, totais superiores ao valor estabelecido como base.

Apesar de menos numerosos, os totais anuais com médias abaixo do valor estabelecido como de baixa pluviosidade, mostraram-se relevantes por evidenciarem pelo menos um evento de seca com importante papel histórico: a seca de 1963. De acordo com Ribeiro (1984), os anos de 1963 e 1964 abrigaram aquela que pode ser considerada a pior seca do século passado, e que atingiu diversos Estados brasileiros, em especial São Paulo, Minas Gerais e Paraná.

Iniciada em agosto de 1963, com a entrada de uma “onda de frio”, que causou, primeiramente, queda das temperaturas e geadas e, em seguida, redução da umidade, aumento da estabilidade atmosférica e grande variação da temperatura o longo do dia; este

evento de seca perdurou até 1964, resultando em dias seguidos de baixíssimo ou nenhum acumulado pluviométrico, problemas no abastecimento e queimadas intensas.

No Estado de São Paulo e, mais especificamente, na RMSP, as consequências deste evento foram muito significativas, com a redução de cerca de 95% da área total do reservatório da Billings, de acordo com Silva (2005). Informação similar pode ser extraída da citação de Ribeiro (1984), a seguir, apontando para a importância do evento na RMSP

[...] A área urbano-industrial da Grande São Paulo foi seriamente atingida pelos cortes de energia elétrica, decorrentes do esvaziamento [quase] total da represa Billings, na época a maior fornecedora de energia à metrópole industrial paulista. (p. 25)

3.2.2. Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas

O Rodoanel Mário Covas (SP-021) consiste do anel viário que conecta as principais rodovias que servem à Região Metropolitana de São Paulo, a saber: Rodovia Régis Bittencourt (BR-116), Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280), Bandeirantes (SP-348), Anhanguera (SP-330), Anchieta (SP-150), Imigrantes (SP-160), Dutra (SP-60 e BR-116) e Ayrton Senna (SP-70).²⁷

Concebido com o objetivo de aprimorar a circulação e escoamento das mercadorias produzidas nos centros comerciais da RMSP, do Estado de São Paulo como um todo e de demais regiões do país; e diminuir as interferências e movimentos na malha viária urbana das cidades do entorno, este empreendimento é composto por quatro trechos, denominados Oeste, Sul, Leste e Norte, totalizando aproximadamente 170 km de extensão.

Dentre os quatro trechos, apenas o Oeste e o Sul encontram-se consolidados, tendo o primeiro sua operação iniciada em 2002, com 32 km de extensão, e o segundo em 2010, com 57 km no total.

De acordo com o Estudo de Impacto de Ambiental do Trecho Sul (FESPSP/Dersa, 2004), os primeiros projetos de melhoria da circulação na malha viária local da Região Metropolitana de São Paulo, e de desvio do tráfego para vias externas, com maior estrutura para este tipo de transporte, remonta a década de 1930, com o governo de Francisco Prestes Maia, então prefeito da Cidade de São Paulo, e seu “Plano de Avenidas”, que resultou na criação das atuais Avenidas Vinte e Três de Maio, Prestes Maia, Tiradentes, Nove de Julho, Marginais Pinheiros e Tietê.

Durante as próximas décadas foram propostas diversas soluções para o tráfego cada vez mais sobrecarregado da RMSP, a grande maioria concebida pelo Departamento

²⁷ As duas últimas em fase de interligação via Trechos Leste e Norte do Rodoanel, ambos em fase de implantação.

Estadual de Rodagem (DER), que desde 1958 já defendia a realização de anéis viários (FESPSP/Dersa, 2004).

Discussões e estudos foram promovidos, envolvendo diferentes instituições de planejamento e transporte metropolitano, resultando em 1992, na criação do Programa Rodoanel, cujo primeiro trecho, referente à porção Oeste, foi implantado a partir de 1998, com a aprovação do EIA-RIMA, e concluído para operação em 2002.

Simultaneamente, o ano de 1998 marcou o início dos estudos referentes aos demais trechos, com destaque à porção sul, culminando em 2002, na elaboração de EIA-RIMA envolvendo todos os trechos. Tal estudo, no entanto, não foi aprovado pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente (Consema) após o recebimento de várias sugestões de alteração dos traçados, expostos às prefeituras e sociedade civil durante as audiências públicas. Assim, cada trecho passou a ser abordado separadamente, em EIAs e RIMAs específicos, sendo o Trecho Sul o primeiro a ser aprovado, em 2004, e iniciado em setembro de 2007 (FESPSP/Dersa, 2004).

Atualmente, os trechos Leste e Norte encontram-se em fase de implantação, com as obras iniciadas em agosto de 2011 e março de 2013, respectivamente, e horizonte de conclusão para os anos de 2015 e 2017. A Figura 22, abaixo, apresenta a configuração do empreendimento como um todo.

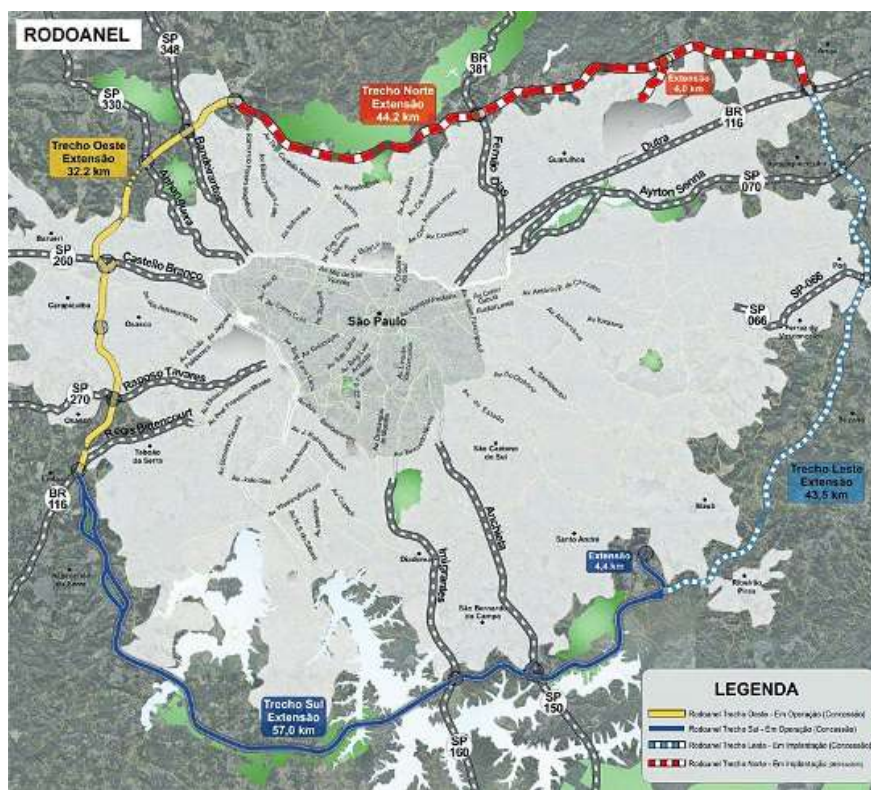


Figura 22 – Localização do Rodoanel Mário Covas (SP-021)

Retirado de: Página eletrônica da Secretaria de Logística e Transportes do Estado de São Paulo. Endereço Eletrônico: <http://www.transportes.sp.gov.br/>. Acesso em: 24/05/2015

O TRECHO SUL

O Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas possui cerca de 57 km²⁸ de extensão, abrangendo os municípios de Embu das Artes, Itapecerica da Serra, São Paulo, São Bernardo do Campo, Santo André, Ribeirão Pires e Mauá; e conectando as Rodovias Imigrantes e Anchieta.

Concebido com o objetivo de reorganizar e desviar os fluxos rodoviários de carga para o exterior da malha viária urbana, em consonância com o Programa como um todo, mas, principalmente, visando conectar a região do ABC²⁹ com o Porto de Santos, por meio de estrutura viária adequada às especificações deste tipo de transporte, o Trecho Sul apresenta características de rodovia de classe 0, segundo classificação³⁰ do então Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (atual DNIT), contando com 3 a 4 faixas de rolamento (4 especificamente no trecho entre as Rodovias dos Imigrantes e Anchieta), canteiro central, acessos controlados e limite de velocidade de 100 km/h.

A Figura 23, a seguir, apresenta toda a extensão do Trecho Sul, iniciando no cruzamento com a Rodovia Régis Bittencourt, no município de Embu das Artes, e finalizando em Mauá, onde realiza conexão com o Trecho Leste.

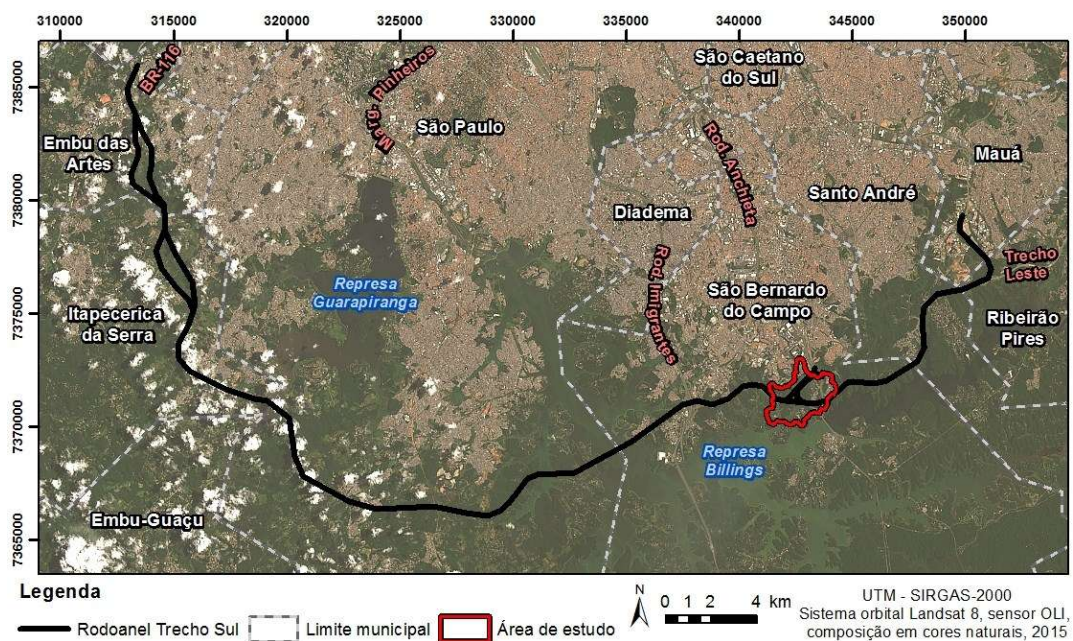


Figura 23 – Localização do Trecho Sul do Rodoanel

²⁸ Levando em conta o acesso à Avenida Papa João XXIII, em Mauá, próximo ao local onde o Trecho Sul se conecta com o Trecho Leste, a extensão total do trecho passa a equivaler 61,4 km, conforme consta no EIA do empreendimento (FESPSP/Dersa, 2004).

²⁹ A região do ABC, atualmente, engloba os municípios de Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Diadema, Mauá, Rio Grande da Serra e Ribeirão Pires.

³⁰ Constante na publicação “Normas para Projeto Geométrico de Estradas de Rodagem” (DNER, 1975).

É possível observar que o traçado secciona as represas Guarapiranga e Billings, em mais de um trecho, utilizadas para abastecimento público de parte significativa da RMSP e inseridas na Área de Proteção de Mananciais. Para tal e nas intersecções com cursos d'água e com a planície fluvial, foram realizadas Obras de Arte Especiais (OAEs), algumas das quais de grande extensão.

Para a definição deste traçado que, segundo o Estudo de Impacto Ambiental (FESPSP/Dersa, 2004), melhor se adequa às alternativas históricas, às demandas das prefeituras e à redução dos impactos ambientais; foram avaliadas diversas alternativas, com base em critérios como a presença de remanescentes florestais, o balanço entre cortes e aterro, o número e extensão de talvegues e planícies fluviais interceptadas e, sobretudo, as interferências com áreas de urbanização consolidada, visando diminuir o número de remoções e desapropriações.

O traçado definitivo apresenta como principais características geométricas, tendo em vista seu enquadramento como classe zero, rampas com inclinação entre 0,5 a 4%, raio mínimo de curva horizontal de 375 m, superelevação máxima de 8% e gabarito vertical mínimo³¹ de 5,5 m, resultando em plataformas com largura total entre 52,8 e 45,6 m (incluindo as faixas de rolamento, canteiro central, faixas de segurança entre a pista e o canteiro, e acostamentos) e largura total de pavimentação entre 36,8 e 29,6 m, considerando os trechos com 4 ou 3 faixas de rolamento em cada sentido.

Para as terraplenagens, foram definidas as alturas máximas dos cortes, em cerca de 40 m, com bermas de 4 m de largura, localizadas a cada 8 metros; e de aterros, com no máximo 25 m de altura.

A faixa de domínio³² da rodovia apresenta predominantemente 130 m, exceto nos trechos apontados como passíveis de compartilhamento entre o traçado do Rodoanel e do tramo sul do Ferroanel, concebido em conjunto com o projeto rodoviário, com o objetivo de estimular o uso de diferentes modais de transporte, porém até o momento apenas em fase de discussão. Em tais trechos, a faixa passa a ser de 160 m, envolvendo as terraplenagens necessárias aos dois empreendimentos.

³¹ As rampas referem-se à inclinação/gradiente da rodovia no todo. O raio mínimo representa a extensão necessária para que o motorista realize as curvas na velocidade da rodovia, de forma confortável e segura, tendo em vista a superelevação máxima, que representa a inclinação da pista em direção ao centro da curva, e cujo valor deve ser suficientemente pequeno para que os veículos mais lentos não sejam direcionados ao centro da rodovia enquanto estiverem realizando a curva. O gabarito vertical mínimo representa a altura entre a pista e um obstáculo, como um viaduto, devendo observar a dimensão dos veículos em circulação durante o funcionamento da rodovia. Tais parâmetros são regidos pelas Normas para Projeto Geométrico de Estradas de Rodagem (DNER, 1975) e especificadas em demais manuais.

³² O Anexo 1, apresenta glossário com algumas definições importantes no âmbito da pesquisa, dentre as quais, consta o conceito de faixa de domínio.

O Estudo de Impacto Ambiental do Trecho Sul foi desenvolvido em 2004 pela Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo (FESPSP) e, seguindo legislação que dispõe sobre a elaboração de tais estudos, abordada em parte nos referenciais teórico metodológicos da presente pesquisa, definiu como áreas de influência, o território de dezesseis municípios da RMSP e de dezoito distritos da cidade de São Paulo, para a Área de Influência Indireta (AII); faixa de 500 metros a partir da alternativa de traçado mais externa em relação às demais variantes, para Área de Influência Direta (AID), envolvendo parcialmente os municípios de Embu das Artes, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, São Paulo, São Bernardo do Campo, Santo André, Ribeirão Pires e Mauá; e, por fim, como Área Diretamente Afetada (ADA), as pistas de rolamento, somadas aos taludes de cortes com margem de 5 m e saias de aterro com margem de 10 m.

O TRECHO SUL DO RODOANEL NA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange importante segmento do Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas, relativo à intersecção com a Rodovia Anchieta, na altura de seu km 24,5. Tendo em vista o grande número de estruturas e Obras de Arte Especiais necessárias para realização do acesso, este trecho foi objeto de avaliação específica de alternativas de traçado durante a elaboração do EIA (FESPSP/Dersa, 2004).

O primeiro trajeto sob análise, descartado por conta das maiores alterações nas áreas urbanizadas do Jd. Jussara, Santos Dummond, Estudantes, Sabesp e Areião, localizava-se mais ao norte do traçado atual, segmentando parte do pátio de veículos da Volkswagen e dos bairros citados, totalizando cerca de 204 moradias afetadas (FESPSP/Dersa, 2004).

Por sua vez, o traçado selecionado, acarretou menores interferências com áreas urbanas, envolvendo 44 moradias, porém, maior alteração em fragmentos florestais com vegetação em estágio médio e avançado de regeneração. A proximidade com o ponto de captação e tratamento de água da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) na represa Billings, denominado Sistema Rio Grande e localizado próximo à lateral da Rodovia Anchieta, foi considerada importante, condicionando a implantação de dispositivos de drenagem com o objetivo de afastar do local de captação, as águas pluviais e fluxos provenientes da obra.

Outros fatores que influenciaram na seleção do traçado e em suas características geométricas, referem-se, ainda, às ocupações de utilidade pública e de serviços localizadas na faixa de domínio da Rodovia Anchieta, como os poldutos da Petrobrás, as adutoras da Sabesp, transferindo a água captada para a Estação de Tratamento de Água do Rio Grande, e os gasodutos da Comgás.

Com base nestas restrições e no fluxo de veículos esperados para utilizar tal acesso, foi elaborado projeto de intersecção contemplando ramos direcionais para cada movimento (de entrada ou saída da Rodovia Anchieta ou do Rodoanel), com duas faixas de rolamento e raio mínimo de curva horizontal de 150 m, totalizando nove viadutos.

Para possibilitar a realização de tais intersecções, semelhante ao ponto de cruzamento do trecho sul com a Rodovia dos Imigrantes, foram necessários maiores volumes de terraplenagem, para sustentar os ramos direcionais e as características geométricas previstas para a realização do acesso de forma segura.

Assim, as estimativas apresentadas no EIA (FESPSP/Dersa, 2004) somam um total de 2.201.316 m³ de material envolvido em cortes, 1.110.226 m³ em aterros, e 24.625 m³ de solos moles removidos; bem como 45.332 m² de área ocupada por Obras de Arte Especiais, 111.600 m² de pavimento envolvido na construção do trecho, e interferências diretas com cerca de dez cursos d'água. A Tabela 04, abaixo, apresenta síntese das quantificações de terraplenagem e de outros aspectos importantes abordados no EIA, em relação a este segmento específico do Trecho Sul do Rodoanel.

Tabela 04 – Quantificações de terraplenagem e demais aspectos na intersecção entre o Trecho Sul do Rodoanel e a Rodovia Anchieta.

Volume (m ³)	Cortes	2.201.316
	Solos Moles	24.625
	Aterros	1.110.226
	Total	3.336.167
Balanceamento (m ³)	Excedente	1.115.715
	Empréstimo	-
Obras de Arte	Total (m ²)	43.332
Interferências em cursos d'água	Nº de canais	10
	Extensão (m)	120
	Bueiros (m)	550

Fonte: EIA Trecho Sul Rodoanel Mário Covas (FESPSP/Dersa, 2004)

A seguir, de forma a ilustrar e detalhar aspectos descritos na caracterização da área de estudo, em particular no que se refere à inserção do Rodoanel Mario Covas, realizou-se a análise de fotografias aéreas oblíquas obtidas a partir de sobrevoo de helicóptero em 2010, no contexto do projeto de monitoramento das dinâmicas urbanas na área de influência da rodovia. A Figura 24 apresenta mapa com a localização aproximada dos pontos e as visadas das fotografias constantes das Figuras 25 a 28.

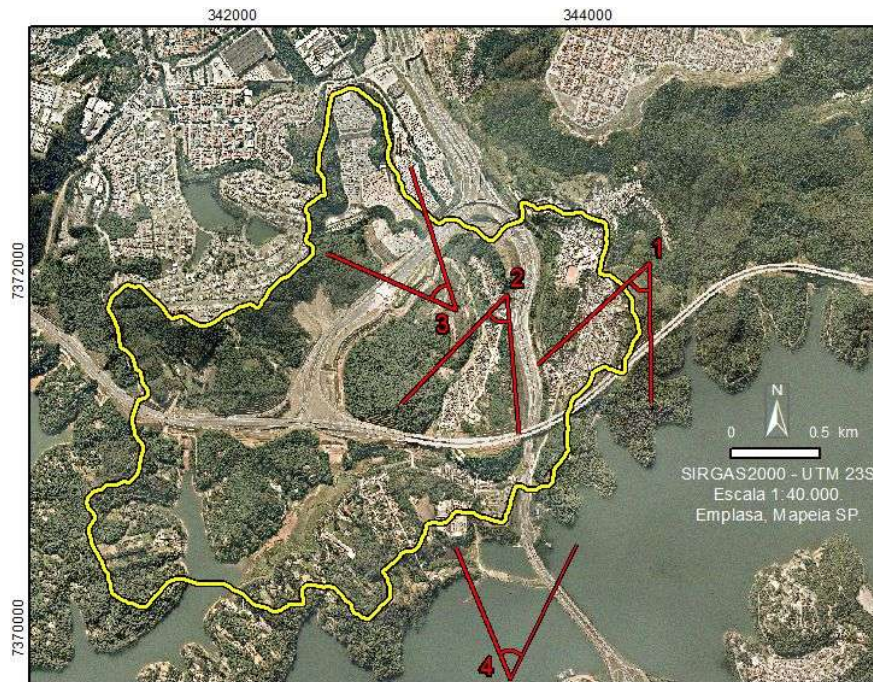


FIGURA 24 – Localização e visada das fotografias aéreas oblíquas obtidas a partir de sobrevoo de helicóptero realizado pela Emplasa. A enumeração está conforme os títulos das figuras que seguem abaixo.



FIGURA 25 – Perspectiva aérea oblíqua 1 do eixo do Rodoanel Mário Covas Trecho Sul na área de estudo.

Descrição: No centro da perspectiva, estende-se o rodoanel Mario Covas Trecho Sul no sentido Mauá-Embu das Artes (esquerda para direita), com destaque para as duas obras de artes especiais presentes no trecho, uma delas na intersecção com a Rodovia Anchieta ao fundo. À esquerda, notam-se significativos fragmentos de vegetação arbórea densa ao longo das vertentes e nas linhas de cumeeada dos divisores principais da bacia. À direita, desde o alto dos interflúvios até os vales de fundo plano junto aos aterros da rodovia Anchieta, alongam-se os bairros de Vila Estudantes, Areião e Sabesp, ocupações que constituem um padrão de uso da terra denominado urbano residencial de alta densidade. No vestígio de vegetação presente no alto do anfiteatro côncavo de face S-SE está localizada a nascente do rio principal da bacia estudada. Em último plano, observa-se o braço do Riacho Grande da represa Billings, com a travessia da Rodovia Anchieta. Visada NNE-SSW.



FIGURA 26 - Perspectiva aérea oblíqua 2 do Jardim Jussara.

Descrição: Em primeiro plano, a ocupação urbana predominantemente residencial com alta densidade de edificações do bairro Jd. Jussara. À direita, em primeiro plano, observa-se amplas áreas com campos antrópicos sem destinação clara de uso e setores de solo exposto, denotando movimentação recente de terra. Adjacente a este setor, estende-se morro com fragmento de vegetação arbórea densa no qual está interflúvio secundário da bacia. Ao fundo, observa-se Obra de Arte Especial para travessia do Rodoanel em área de várzea. Visada NNE-SSW.



FIGURA 27 - Perspectiva aérea oblíqua 3 do canteiro de obra principal do Rodoanel.

Descrição: No centro da fotografia observa-se o canteiro de obras principal utilizado para construção do Rodoanel, em fase de desativação ao final das obras. Na parte mais elevadas no morro estendem-se os amplos pátios logísticos de veículos. Ao fundo, o morro principal está recoberto por vegetação arbórea densa, entremeada com setores de vegetação arbusto e arbustiva de baixa densidade. Difusamente na cena, campos antrópicos e campos antrópicos com arbustos predominam ao longo das vertentes, no canteiro central e nas laterais do Rodoanel, disposto na parte inferior da fotografia. Visada E-W.



FIGURA 28 - Perspectiva aérea oblíqua 4 da área de estudo.

Descrição: Destaque em primeiro plano ao espelho d'água da Represa Billings, no local de captação da Sabesp para abastecimento público, e a travessia da Rodovia Anchieta. De oeste para leste (da esquerda para a direita na imagem), a perspectiva abrange um amplo setor da área de estudo, ilustrando, em relação ao uso da terra, a presença significativa de fragmentos de vegetação arbórea ao longo dos principais sistemas interfluviais. Em relação às características morfológicas, nota-se a tendência à convexização de formas no conjunto de morrarias e morrotes, associada aos processos de dissecação do relevo ao nível de base representado pela represa. Visada: S-N.

3.3. PROCEDIMENTOS

A realização da presente pesquisa, diante de seus objetivos principais e secundários, foi desenvolvida em seis grandes etapas: a primeira dedicada à pesquisa bibliográfica nos campos da Geomorfologia Aplicada, Geomorfologia Antropogênica, Cartografia Geomorfológica, Cartografia Geomorfológica Evolutiva, Geotecnia e manuais de avaliação de impactos no meio físico, para consolidação de um embasamento teórico e metodológico capaz de subsidiar: (i) a apropriação de conceitos básicos relacionados a seus objetivos; (ii) o contato com diferentes abordagens do tema; e (iii) a compreensão e, em um segundo momento, sistematização de matriz com os principais impactos nos sistemas geomorfológicos associados à implantação de rodovias.

Com base na sistematização de tais impactos e nas contribuições da pesquisa bibliográfica nos campos acessados, a etapa seguinte consistiu no levantamento e sistematização dos geoindicadores e parâmetros aplicáveis à intervenção em estudo, compondo quadro com os geoindicadores passíveis de serem aplicados nas fases de pré-perturbação, perturbação ativa e consolidada, para avaliação e monitoramento dos impactos da implantação e operação de tais empreendimentos.

Em seguida, selecionou-se universo de análise para aplicação e validação da proposta dos geoindicadores, utilizando-os como base para a posterior avaliação da magnitude dos impactos e mudanças ambientais associadas à implantação de rodovia na área de estudo. Esta etapa envolveu, entre outros aspectos, a definição de critérios de seleção do local, o levantamento de dados para sua caracterização, a definição dos recortes temporais e aquisição da base cartográfica, o desenvolvimento dos produtos cartográficos e a aplicação dos geoindicadores em cada fase de intervenção.

Os valores e análise decorrentes desta etapa foram, na seqüência, sistematizados em quadros com os geoindicadores aplicados em cada fase, acompanhados das respectivas descrições e análises, apresentadas no capítulo de resultados da presente pesquisa.

Por fim, as duas últimas etapas, sintetizadas nas considerações finais, dedicaram-se à avaliação dos resultados obtidos, realizando, primeiramente, apreciação acerca da magnitude dos impactos e mudanças ambientais na área de estudo, com base na aplicação dos geoindicadores, e em seguida, considerações a respeito da metodologia utilizada, dos geoindicadores empregados, das respostas obtidas para os diferentes recortes temporais e das limitações observadas para sua completa aplicação, apresentando sugestões e encaminhamentos futuros para a pesquisa.

Nas páginas seguintes, são descritas de forma mais detalhada, algumas das principais etapas percorridas pela pesquisa, representadas esquematicamente em fluxograma disposto na Figura 29, na página a seguir.

Sistematização do Quadro de Geoindicadores e Parâmetros de Avaliação do Impacto de Rodovias nos Sistemas Geomorfológicos

Para elaboração do quadro de geoindicadores derivado desta etapa e apresentado como resultado metodológico da presente pesquisa, foram realizadas, primeiramente, leituras e sistematizações com base nas principais obras de autores dedicados ao estudo e aplicação de geoindicadores para avaliação de mudanças e impactos ambientais.

Neste sentido, destacam-se: a obras de Berger e Iams (1996), principalmente em relação aos pressupostos teóricos e definição do conceito de geoindicador, mas também pela incorporação de parâmetros importantes nesta pesquisa, como os de qualidade da água superficial e subterrânea; as contribuições de Coltrinari e McCall (1995) e Coltrinari (1996), apontando desafios e sugestões para o meio tropical úmido; e a proposta metodológica de Rodrigues (2010), explorada por Luz (2010, 2014), Caccia-Gouveia (2010) e Silva (2005), entre outros, contendo sistematização dos geoindicadores e parâmetros passíveis de serem utilizados para avaliação das mudanças e impactos da urbanização nos sistemas hidro-geomorfológicos.

Estas últimas bibliografias atuaram como inspiração à elaboração do quadro de geoindicadores de rodovias, não apenas em relação à estrutura e disposição dos itens, organizados em sistemas geomorfológicos, agrupados em parâmetros morfológicos – morfométricos, de materiais e processos, e sugerindo instrumentos para aquisição e levantamento dos dados; mas, também, na incorporação de parâmetros passíveis de serem transpostos e aplicados no estudo do impacto físico de rodovias.

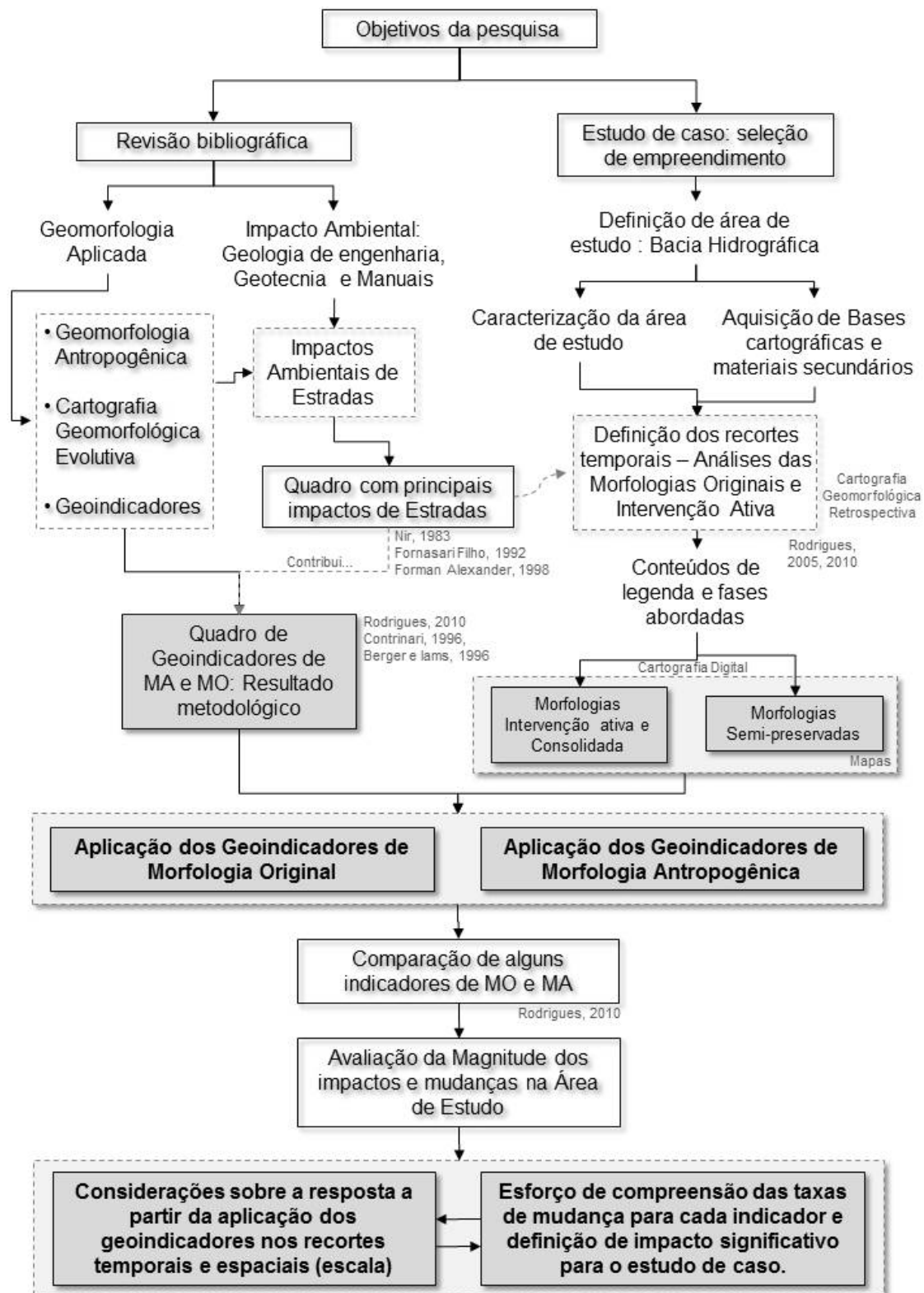


Figura 29 – Fluxograma contendo as principais etapas de realização da pesquisa.

No entanto, diante das particularidades do objeto de estudo da pesquisa, foram incorporados, ainda, indicadores e parâmetros extraídos ou derivados da literatura relacionada às áreas de geologia e geomorfologia de engenharia, mecânica dos solos, engenharia de transportes e ecologia de estradas, compondo quadro mais completo e aplicável ao tipo de empreendimento em questão.

Seguindo orientação metodológica presente, essencialmente, em Rodrigues (2004, 2005), mas também em Silva (2005), Luz (2014) e em outras pesquisas conduzidas no âmbito das abordagens da geomorfologia antropogênica e da cartografia geomorfológica evolutiva, que consideram os efeitos da intervenção antrópica nos sistemas geomorfológicos, em especial no que tange à urbanização, em suas diferentes fases de perturbação (pré-perturbação, perturbação ativa e pós-perturbação); procurou-se identificar os geoindicadores e parâmetros característicos e aplicáveis em cada período do processo de implantação e operação de empreendimentos rodoviários.

Com base na literatura sistematizada ao longo da pesquisa, debruçada na interação entre estruturas rodoviárias, ou de engenharia em geral, e o meio físico, com destaque para Fornasari Filho et al. (1992), foi possível observar que os principais impactos relatados ocorrem predominantemente durante a fase de implantação das rodovias.

Esta, por sua vez, pode ser segmentada em diversas fases (sete, de acordo com Fornasari Filho et al., 1992, conforme descrito nos campos acessados pela pesquisa bibliográfica), dentre as quais destacam-se, em relação aos impactos no meio físico, as etapas de movimentação de terra (cortes e aterros, abertura de acessos e canteiro de obras), de instalação dos dispositivos de drenagem e de pavimentação.

Desta forma, para a aplicação dos geoindicadores e resultante avaliação dos impactos e mudanças ambientais físicas associadas às rodovias, julgou-se necessário abranger maior número de recortes temporais durante a fase de perturbação ativa, procurando datas representativas das principais etapas de implantação descritas na literatura.

Tais recortes foram utilizados na produção da cartografia geomorfológica evolutiva e as datas selecionadas, conforme as fases de implantação e as possibilidades da base cartográfica disponível, serão descritas adiante.

Assim, a sistematização dos geoindicadores se pautou pela orientação metodológica expressa em Rodrigues (2004, 2005) referente à abordagem da geomorfologia antropogênica e da cartografia geomorfológica evolutiva, mas ateu-se às diferentes fases de implantação de empreendimentos rodoviários.

Como resultado, foi elaborado quadro de geoindicadores e parâmetros de avaliação de efeitos e impactos no sistema geomorfológico, discriminando sua possibilidade de aplicação de acordo com cada fase do empreendimento, a saber:

- **Fase pré-intervenção**, envolvendo as morfologias, materiais e processos característicos de sistemas em condições originais ou semi-preservadas, com interferências antrópicas pouco significativas. Neste caso, pressupôs-se tratar de esforço de recuperação das condições pretéritas, por meio essencialmente de documentos históricos, de sistemas atualmente alterados por intervenções antrópicas diversas, uma vez que a literatura na qual se baseou esta etapa e a presente pesquisa de modo geral, debruça-se predominantemente, sobre estudos de caso localizados nas regiões metropolitanas e entorno próximo.

Assim, alguns geoindicadores que, por meio do resgate histórico, dificilmente seriam obtidos, como parâmetros relativos à qualidade da água superficial e subterrânea, entre outros; não foram abrangidos por esta fase.

Da mesma forma, os instrumentos sugeridos para obtenção dos dados referem-se, basicamente, ao levantamento de documentos e produtos cartográficos históricos, ou utilização de fotografias aéreas (pares estereoscópicos) antigos, não englobando técnicas atuais de medição, como monitoramento e vistoria em campo.

- **Fase de intervenção ativa**, reunindo indicadores e parâmetros relevantes para as diferentes etapas de implantação de rodovias, como número, volume, altura e largura de cortes e aterros, variáveis de qualidade da água, presença de processos erosivos e sua localização no sistema geomorfológico, e etc.

A leitura da bibliografia específica da Geomorfologia Aplicada, da Geomorfologia Antropogênica, em especial, e da abordagem dos geoindicadores, combinada às obras de referência nas áreas de geologia de engenharia, geotécnica, engenharia de rodovias e ecologia de estradas, subsidiou a definição do enquadramento dos indicadores e parâmetros adequados a esta fase, fornecendo os principais impactos e elementos para avaliar as mudanças resultantes da implantação de rodovias.

Deve-se destacar que a fase de intervenção ativa contempla alguns indicadores e parâmetros específicos, como aqueles voltados ao monitoramento de estruturas provisórias. Além disso, tendo em vista que os impactos desta fase são notoriamente os de maior magnitude, uma vez que se trata de uma transformação significativa da superfície, o ideal é que ela seja subdivida em diversos cenários intermediários, capazes de fornecer de forma detalhada os valores de alteração dos processos, das formas e dos materiais em observação por cada geoindicador utilizado.

- **Fase de intervenção consolidada**, contendo os geoindicadores mais significativos para a fase de operação da rodovia, que permite a visualização e aplicação de parâmetros adicionais, como dispositivos definitivos de drenagem, a consolidação dos cortes e aterros, o desmonte de acessos e canteiros de obra e o

restabelecimento da cobertura vegetal nos locais anteriormente expostos, entre outros.

Seguindo estrutura utilizada na proposta metodológica sintetizada por Rodrigues (2010) e parcialmente apresentada em Rodrigues e Coltrinari (2004, 2005) e Coltrinari (1996), os geoindicadores e parâmetros foram organizados de acordo com os sistemas geomorfológicos, a saber: sistemas fluviais, incluindo o canal fluvial, os fluxos de subsuperfície e subterrâneos, os sub-sistemas lacustre, flúvio-lacustre e a planície fluvial; sistemas de vertente, englobando o conjunto das vertentes e as unidades de vertente, e por fim, o sistema da própria bacia hidrográfica. Para o interior de cada sistema, os geoindicadores selecionados foram divididos conforme a incidência predominante das alterações na morfologia, nos materiais ou nos processos geomorfológicos componentes de cada um.

Os parâmetros são acompanhados das respectivas unidades de medida e análise, excetuando-se aqueles de variáveis adimensionais (v.a.). Por fim, para cada parâmetro ou conjunto de indicadores, foram sugeridas fontes de aquisição dos dados, conforme realizado por Rodrigues (2010) e Coltrinari (1996), variando desde documentos históricos e produtos de sensoriamento remoto, até medições em campo e análises laboratoriais

Aplicação da Cartografia Geomorfológica Evolutiva e Elaboração dos Produtos Cartográficos

Para o desenvolvimento desta etapa, realizou-se, primeiramente, o levantamento e aquisição da base cartográfica disponível junto ao Acervo de Fotografias Aéreas (AFA) do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, e em instituições públicas e empresas privadas do setor de sensoriamento remoto. Assim, foram obtidas cartas topográficas, fotografias aéreas e imagens de satélite de diferentes períodos, anteriores, ao longo e após a implantação da rodovia em estudo, sistematizado no Quadro 7, apresentado a seguir.

Quadro 7 – Bases cartográficas utilizadas para elaboração dos mapeamentos

Material	Data	Dados Adicionais	Escala	Autor
Fotografia Aérea	1962	PB	1:25.000	IAC* – Aerofoto Natividade S.A.
Fotografia Aérea	20/06/07	Foto nº 6284, Fx. 32, Obra nº 986, Colorida	1:30.000	BASE S.A.
Imagem de satélite	21/05/2009	Sistema Orbital GeoEye, resolução espacial 0,50 metros	1:15.000	<i>Digital Globe</i>

Material	Data	Dados Adicionais	Escala	Autor
Imagem de satélite	12/2009	Sensor Orbital	-	<i>Google Earth Pro</i>
Fotografia Aérea	29/10/2010	Foto nº 0689, Fx. 24, Obra nº 1109, Colorida	1:15.000	BASE S.A.
Imagem de satélite	30/10/2012	Sistema Orbital Pleiades, resolução espacial 0,5 a 1,0 m	-	<i>Airbus Defence and Space</i>

*IAC – Instituto Agrônomo de Campinas
 Fonte: AFA, BASE S.A., SATMAP, Emplasa

Tendo em vista a data de início da obra, durante o ano de 2007, e a orientação de investigar as mudanças e impactos ambientais deflagrados nas diferentes fases de implantação de empreendimentos rodoviários, buscou-se adquirir documentos e imagens com maior periodicidade durante o período de intervenção ativa, preferencialmente semestral.

Assim, para a fotointerpretação e restituição da morfologia semi-preserveda foram utilizadas fotografias aéreas de 1962, com estereoscopia, em escala 1:25.000, obtidas no AFA-USP. Apesar de apresentar ações e resultados de interferências antrópicas de significativa dimensão, como a Rodovia Anchieta, implantada a partir de 1947, pode-se considerar que porção expressiva da área de estudo e entorno mantinha-se preservada, possivelmente com as taxas de funcionamento do sistema geomorfológico em equilíbrio.

A utilização de pares estereoscópicos possibilitou a visão tridimensional do relevo e o mapeamento das morfologias de interesse, permitindo realizar interpretações sobre a dinâmica do sistema geomorfológico em condições semi-preservedas.

Para compreender as características e transformações ocorridas na área de estudo entre esta primeira data e o início da implantação do Trecho Sul do Rodoanel, foi selecionada fotografia aérea de data imediatamente anterior, referente ao mês de junho de 2007, período no qual a obra já havia sido iniciada, porém, não no trecho da área de estudo.

Por limitações na disponibilidade de fotos aéreas e imagens para o segundo semestre de 2007 e o ano de 2008, a próxima data analisada consistiu imagem de satélite obtida no mês de maio de 2009, com modificações significativas na área de estudo em comparação com o período pré-intervenção. O recorte temporal seguinte, referente ao segundo semestre de 2009, baseou-se em imagem de satélite de alta resolução (0,5 m), obtida por meio do programa *Google Earth Pro*.

Apesar da operação da rodovia ter se iniciado em 2010, optou-se por realizar mapeamento para este ano, considerando-o como intervenção ativa, diante da persistência, na área de estudo, de canteiro de obras, cortes e aterros inconsolidados e obras de

conclusão da rodovia no geral,. Para tal, utilizou-se fotografia aérea única (sem estereoscopia), em escala 1:15.000, obtida na Base Aerofotogrametria e Projetos S.A.

Por fim, para mapeamento da fase pós-intervenção foram utilizadas imagens de satélite *Pleiades* (0,6 m) referentes ao ano de 2012, que possibilitou visualizar a rodovia e suas estruturas definitivas inseridas na área de estudo, em estado consolidado.

Os procedimentos utilizados para elaboração dos mapeamentos são descritos de forma mais aprofundada, a seguir, incluindo a apresentação e detalhamento de algumas das legendas utilizadas.

Mapa da Morfologia Semi-Preservada

Para compreensão das características geomorfológicas originais da área de estudo e posterior comparação com os períodos subsequentes, foram utilizados pares estereoscópicos de fotografias aéreas referentes ao ano de 1962, em escala 1:25.000. Trata-se de recorte temporal mais antigo com possibilidade de investigação, dada as dificuldades para obtenção de documentos históricos e materiais cartográficos anteriores para a área de interesse.

Não obstante, foi possível observar que o local já apresentava modificações importantes no período, devido à implantação da Rodovia Anchieta, em 1947, e das estruturas associadas ao corpo estradal, como cortes e aterros; bem como, por parte do represamento do rio Grande, para composição do Reservatório Billings, concluído em 1949.

Tais alterações, apesar de importantes no contexto da região do ABC e da cidade de São Paulo, no geral, foram consideradas pouco significativas, no contexto da presente pesquisa, em relação à configuração morfológica original da área de estudo (RODRIGUES, 2005), permitindo a utilização das fotografias aéreas de 1962 para restituição das morfologias presentes no local em um cenário semi-preservado.

O mapeamento foi realizado inicialmente de forma analógica, utilizando estereoscópio de bolso para identificação das morfologias com base em técnicas de foto-interpretação³³, transpondo-as para *overlay* em papel *ultraphan*.

Posteriormente, para confirmação das morfologias, confrontando e compatibilizando com a base cartográfica existente, bem como para consolidação do mapeamento, adoção da legenda e ajustes finais, realizou-se a importação para Sistema de Informações Geográficas (SIG), tendo sido utilizado *software ArcGIS*, versão 10.1.

Uma vez armazenados os dados no SIG, procedeu-se, primeiramente, ao processo de registro e georreferenciamento das fotografias aéreas, utilizadas como base para o posterior posicionamento do *overlay* digitalizado. Em seguida, foram vetorizadas as

³³ Utilizando-se de algumas das principais janelas de interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite, como a tonalidade, forma, textura, padrão, sombra e posição geográfica (ANDERSON; VERSTAPPEN, 1982).

morfologias identificadas no processo analógico de restituição, representadas em formato linear, para feições como cursos fluviais, mudanças de declive e divisores interfluviais, entre outras; e em formato areal, para morfologias com dimensões de área mais significativas na escala trabalhada, representadas por polígonos, assim como para morfologias referentes a sub-sistemas geomorfológicos existentes na área de estudo, como a planície fluvial e anfiteatros côncavos amplos.

A legenda adotada inspirou-se, em parte, na proposta francesa para mapeamento morfológico, em particular na experiência dos mapeamentos geomorfológicos promovidos no Estado de São Paulo e Minas Gerais, sob orientação dos professores Queiroz Neto e Journaux (1978); e, em parte, para os setores de vertente, na proposta de legenda de Savigear (1965), adaptada por Cooke e Dornkamp (1990).

Aplicou-se a proposta de legenda francesa para a interpretação e restituição das feições fluviais, abrangendo (i) fluxos superficiais (perenes e intermitentes), as unidades de planície, de terraço, e os setores de anfiteatros côncavos amplos; e (ii) as cumeadas dos sistemas de divisão de águas, englobando os interflúvios (principais e secundários) e os colos.

Em relação às morfologias de vertente, utilizou-se a proposta de Savigear (1965) modificada por Cooke e Dornkamp (1990). Preocupados em identificar as unidades mínimas de Formas de Relevo mapeáveis, estes autores desenvolveram técnica de representação que permitiu distinguir e cartografar as singularidades morfológicas de cada setor de vertente. Ao valorizar as menores unidades representáveis, esta metodologia ancora-se exclusivamente na forma elementar, restringindo-se à dimensão morfográfica e morfométrica da vertente.

Segundo Aranha (2011), a técnica desenvolvida pressupõe que a superfície seja geometricamente constituída por planos seccionados entre si, classificados como côncavos ou convexos, e angular ou curvo. São mapeadas as discontinuidades do relevo, tidas como alterações dos padrões de declividade, sobre as quais grafa-se: linhas descontínuas (tracejadas), para modificações suaves na vertente; ou linhas contínuas para modificações abruptas da declividade.

Essas mudanças são classificadas em convexas e côncavas em planta e em perfil. Neste trabalho explorou-se as mudanças ocorridas ao longo do perfil longitudinal das vertentes, auxiliando na definição dos limites de topos, patamares e contatos entre superfícies. Acrescentou-se à esta legenda a característica relativa à posição ocupada na vertente, classificando-as, ainda, em terço superior ou médio/inferior.

O mapa resultante deste processo e sua respectiva legenda, foram apresentados em capítulo referente à caracterização da geomorfologia da bacia hidrográfica de estudo

Mapas das Categorias Físicas de Uso da Terra

Conforme descrito anteriormente, as limitações na disponibilidade de fotografias aéreas com pares estereoscópicos e a necessidade de utilização de imagens de satélite ou fotos aéreas ortorretificadas, acarretaram na adoção de mapeamento de uso da terra como artifício para inferir os níveis de perturbação morfológicas impostos, supondo que cada classe de us da terra, nos diferentes recortes temporais, tenha impactos característicos sobre os sistemas morfológicos em que ocorrem.

Baseando-se na literatura e em experiências desenvolvidas em situações semelhantes de restrições na base cartográfica (LIMA, 1990; CLARO, 2013), os usos da terra foram categorizados conforme os padrões de alteração no meio físico, em relação aos tipos de intervenção morfológica associados à sua implantação.

Para Lima (1990), a instalação e alteração dos usos da terra em um determinado sistema morfológico ou área de estudo, resultam em intervenções específicas em um ou mais elementos da morfodinâmica do local, criando uma nova configuração, relacionada também à ação antrópica. De acordo com a autora, a utilização das categorias físicas dos usos da terra em relação à seus padrões físicos de alteração, é portanto, válida enquanto recurso nos casos em que a interpretação morfológica é limitada, desde que se considerem os graus de intervenção nas formas, materiais e processos superficiais.

Assim, foram definidas as categorias físicas de uso da terra incidentes na bacia hidrográfica em estudo, com base nos padrões de alteração morfológica no sistema físico, associadas à cada tipologia de uso.

Cabe destacar que, diante do objetivo de avaliar os impactos e mudanças no meio físico associadas à implantação do empreendimento rodoviário, foram também detalhadas as classes de intervenção diretamente relacionadas com as estruturas rodoviárias, resultando maior número de categorias.











A definição das categorias físicas de uso da terra ocorreu basicamente em três etapas:

- I. Uma, precedente ao mapeamento, realizada com base na observação geral, por meio das fotografias aéreas e imagens de satélite, das principais categorias de análise presentes em cada período;
- II. A segunda, ao longo da realização dos mapas, com a identificação de novas classes e interações mais complexas conforme o avanço na implantação da rodovia;
- III. E uma terceira, após a finalização dos mapeamentos e a realização de trabalho de campo, para compatibilização entre os diversos padrões de alteração identificados em cada período e reclassificação orientada por uma legenda única aplicada para todos os recortes temporais.









O Quadro 8 apresenta parte da legenda utilizada nos mapeamentos do uso da terra, abrangendo as classes que não possuem relação direta com a implantação da rodovia. Algumas, entretanto, como o solo exposto, o campo antrópico e o campo antrópico com vegetação arbustiva, estão associadas ao empreendimento, porém, foram agrupadas com as demais, por não serem exclusivas ao empreendimento e ocorrem de forma dispersa na bacia hidrográfica. Para cada classe é apresentada breve descrição, acompanhada de visão aérea de local representativo do tipo de uso.

As classes diretamente relacionadas ao empreendimento, como cortes, topo de cortes, aterros, canteiros de obra, entre outras, são apresentadas no Quadro 9. Optou-se por apresentá-las em separado, para descrevê-las de forma mais detalhada em relação às intervenções morfológicas e tendências de processos geomorfológicos associados a cada uma.







QUADRO 8 – Legenda empregada nos mapeamento de uso da terra, apresentando a categoria, descrição, simbologia e visão vertical.









Categorias Físicas de Uso da Terra	Descrição	Simbologia	Visão Vertical
Cobertura Vegetal Adensada	Fragmentos de cobertura vegetal preservada em condições próximas das formações vegetais primitivas, com estrutura adensada e porte arbóreo grande, podendo apresentar, esporadicamente, intervenções restritas.		
Cobertura Vegetal de Baixa Densidade	Áreas com cobertura vegetal menos densa, maior espaçamento entre indivíduos arbóreos e vestígios de intervenção antrópica significativa, com setores isolados de campo antrópico e solo exposto.		
Vegetação Higrófila	Áreas com vegetação característica de ambientes constantemente úmidos, associada a sistemas de planície fluvial, nascentes e depressões no terreno. As espécies vegetais que compõem estas unidades podem apresentar espécimes arbóreas de menor porte, estrutura adensada conformando maciços vegetais devido presença massiva de vegetação arbustiva, sendo comum a presença de lírio-do-brejo, taboa, canela-do-brejo, entre outras.		
Campo Antrópico com Vegetação de Porte Arbustivo	Áreas de campo antrópico com presença de vegetação em estágio pioneiro de regeneração, com porte arbustivo, esparsos núcleos de solo exposto e de arruamentos em seu interior.		
Campo Antrópico	Áreas vegetadas por gramíneas e demais formas de vegetação rasteira, podendo apresentar setores restritos de solo exposto e arruamentos em fase inicial de desenvolvimento.		









Categorias Físicas de Uso da Terra	Descrição	Simbologia	Visão Vertical
Solo Exposto	Áreas com exposição de camada superficial do solo possivelmente associado a processos erosivos e remobilização de materiais.		
Corpo d'Água	Área referente à porção da Represa Billings abrangida pela área de estudo, envolvendo, adicionalmente, lagos artificiais e açudes pertencentes às chácaras localizadas em seu interior.		
Cultivo	Terrenos isolados com cultivo de hortaliças e frutíferas, próximos a núcleos de chácaras e edificações, com eventual ocorrência de solo exposto e arruamentos.		
Chácara	Núcleos de edificações isoladas, com característica residencial, estabelecida em terrenos vegetados com gramíneas e árvores esparsas, com lotes amplos, demarcados por cercas.		
Urbano Residencial com Baixa Densidade de Edificações	Loteamentos urbanos com menor densidade de edificações, lotes grandes, construções com porte médio a grande, padrão geométrico de arruamento e índice menos elevado de impermeabilização.		
Urbano Residencial Densamente Edificado	Loteamentos urbanos pequenos e densamente edificados, com construções de porte pequeno a médio, arruamento sem padrão geométrico definido e elevado índice de impermeabilização.		







Categorias Físicas de Uso da Terra	Descrição	Simbologia	Visão Vertical
Equipamento Urbano	Áreas inseridas ou próximas a núcleos urbanos densamente edificadas, voltadas para usos públicos e institucionais. Definem-se como edificações de grande porte sobre cortes e aterros amplos, elevada taxa de impermeabilização e, eventualmente associado à ocorrência de solo exposto.		
Urbano Industrial	Núcleos predominantemente industriais, com presença de estruturas industriais, galpões e eventuais áreas de comércio associadas, instalados sobre amplos cortes e aterros, com densidade variável de edificações e altos índices de impermeabilização.		
Rodovia Anchieta e Canteiro Central Vegetado	Área segmentada pela Rodovia Anchieta, incluindo seu eixo principal e acessos conectando vias locais.		
Canteiro Central Vegetado da Rodovia Anchieta	Área correspondente ao canteiro central da Rodovia Anchieta. Tendo em vista os objetivos da pesquisa, tal feição mostrou-se importante por apresentar modificações ao longo do período analisado, associadas à implantação do empreendimento em estudo.		

QUADRO 9 - Detalhamento dos usos da terra no Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas inserido na área de estudo

Categorias de Intervenção	Descrição	Tendências de Processos Geomorfológicos e Intervenções Morfológicas Associadas	Simbologia	Visão Vertical
Acesso Solo Exposto	Vias de acesso, sem pavimentação e com camada superficial do solo exposta, utilizadas para acessar o empreendimento rodoviário em estudo ou para circulação ao longo da área de interesse.	Possibilidade de <u>mobilização dos materiais</u> , em constante desagregação e movimentação pelo fluxo de veículos e <u>transporte para cursos fluviais no entorno</u> , com efeitos na <u>carga de sólidos dos corpos d'água e na qualidade da água superficial</u> , entre outros. Associada à remoção da cobertura vegetal para instalação das vias, e realização de cortes e aterros localizados.		
Acesso Pavimentado	Vias de acesso, utilizadas com a mesma finalidade dos acesso com solo exposto, porém providos de cobertura asfáltica.	Possível <u>deflagração de processos erosivos no contato entre o asfalto e o terreno adjacente</u> . Risco de degradação do asfalto pela ausência de dispositivos de drenagem, favorecendo a <u>exposição das camadas superficiais e o transporte de materiais para cursos d'água próximos</u> . Associada à supressão de cobertura vegetal, à instalação de cortes e aterros, e à impermeabilização com material asfáltico.		
Corte Inconsolidado com Solo Exposto	Cortes e trechos de cortes em fase inicial ou intermediária, com camadas superficiais de solo expostas, anteriores à sua consolidação com proteção superficial.	Apresentam impactos significativos nos sistemas geomorfológicos, destacando-se os <u>efeitos na morfologia e morfometria das vertentes</u> envolvidas na intervenção. Por apresentarem camadas superficiais do solo expostas e materiais desagregados, constituem <u>áreas fontes de cargas de sedimentos</u> , com <u>efeitos nas taxas de deposição e na qualidade das águas</u> do entorno. Associados à supressão da cobertura vegetal e à produção de material excedente, a ser disposto em outro local.		

Categorias de Intervenção	Descrição	Tendências de Processos Geomorfológicos e Intervenções Morfológicas Associadas	Simbologia	Visão Vertical
Corte Consolidado com Proteção Superficial de Vegetação	Cortes consolidados com gramíneas, vegetação arbustiva, cobertura asfáltica ou outros dispositivos de proteção superficial.	Podem atuar, conforme sua posição na vertente, como <u>barramentos dos fluxos à montante</u> do corpo estradal e resultar na <u>diminuição do NA à jusante</u> . Por estarem consolidados, não oferecem contribuições significativas de sedimentos. Ainda assim, representam <u>mudanças nas morfologias</u> das vertentes onde estão instalados.		
Aterro com Solo Exposto	Áreas de aterro, com intensa movimentação de terra para nivelamento do relevo, composta por material removido de cortes da obra	Instalados sobre planície fluvial e cabeceiras de drenagem, com impactos significativos sistemas fluviais, como a <u>supressão de morfologias, intervenções nos talvegues, efeitos na densidade de drenagem e possível aterramento de canais e nascentes</u> . Por apresentarem solo exposto podem atuar como fonte de sedimentos, com <u>efeitos nas taxas de deposição</u> dos cursos fluviais à jusante e <u>na qualidade da água</u> .		
Aterro Consolidado com Proteção Superficial de Vegetação	Áreas de aterro, consolidados por proteção superficial, com dispositivos de drenagem e consolidação dos patamares e bermas de estabilização destas estruturas.	Mesmos efeitos e impactos descritos na categoria anterior. Por estarem consolidados, não oferecem contribuições significativas de sedimentos. Ainda assim, representam <u>mudanças nas morfologias</u> das vertentes onde estão instalados.		
Dispositivos de drenagem - Canaleta	Estruturas instaladas para redirecionamento de canais fluviais ou de fluxos acumulados no corpo estradal.	Dispositivos de drenagem implantados em diversos pontos da obra, principalmente em associação com aterros. Apresentam <u>impactos significativos nos sistemas fluviais</u> , como a <u>redução da densidade de drenagem</u> , o <u>aumento da velocidade dos fluxos</u> e dos <u>processos erosivos</u> à jusante destas estruturas e nas descontinuidades com o material circundante.		

Categorias de Intervenção	Descrição	Tendências de Processos Geomorfológicos e Intervenções Morfológicas Associadas	Simbologia	Visão Vertical
Dispositivos de drenagem – Bacia de Retenção de Sedimentos	Estruturas implantadas à jusante da obra para contenção dos sedimentos liberados principalmente pelas atividades de movimentação de terra.	Localizados à jusante da obra e predominantemente na planície fluvial, apresentam impactos importantes nos sistemas fluviais, ao efetuarem o <u>barramento do curso d'água, criando ambiente lântico, alterando o nível de base local e o poder erosivo</u> do canal fluvial, entre outros.		
Canteiro de Obras Principal	Local de instalação de canteiro de obras, contendo as usinas de asfalto e concreto e demais estruturas de apoio.	Localizado, no contexto da área de estudo, sobre aterro, apresenta efeitos e impactos potenciais, principalmente, <u>na qualidade da água</u> , em relação aos <u>efluentes</u> liberados pelas usinas de concreto e asfalto, em especial, assim como pelas demais estruturas de apoio à obra.		
Canteiro de Obras Principal	Estruturas de apoio à implantação da rodovia, instaladas em locais provisórios conforme o avanço da frente de obra.	Instalados próximos às OAEs para armazenamento de vigas e demais materiais, estacionamento de veículos, e etc. Podem apresentar efeitos na <u>qualidade da água</u> , em especial, pela <u>liberação de efluentes</u> com contaminantes e com grande <u>carga de sedimentos</u> .		
Corpo Estradal Pavimentado	Refere-se ao eixo e acostamentos da rodovia em sua fase de pavimentação e tratamento para posterior operação	A pavimentação refere-se à uma das principais fases de implantação de rodovias. Além dos impactos associados à impermeabilização do solo, com <u>efeitos nas taxas de infiltração</u> e nos <u>processos pedogenéticos</u> , a pavimentação pode acarretar <u>processos erosivos</u> no contato entre o pavimento e a superfície circundante, em especial quando esta se encontrar exposta.		

Categorias de Intervenção	Descrição	Tendências de Processos Geomorfológicos e Intervenções Morfológicas Associadas	Simbologia	Visão Vertical
Canteiro Central com Proteção Superficial de Vegetação	Canteiro central com proteção superficial de gramíneas.	Associados às fases finais de implantação de rodovias, apresentam <u>efeitos predominantemente benéficos</u> , auxiliando na consolidação de áreas de solo exposto, na <u>infiltração das águas pluviais e em circulação na superfície, evitando sua entrada no corpo estradal.</u>		
Obras de Arte Especiais (OAEs)	Estruturas especiais da obra, como pontes, viadutos e túneis. Instaladas em trechos com restrições geométricas, geomorfológicas e ambientais à implantação usual do leito da rodovia.	No contexto da área de estudo, estão localizadas na intersecção com a planície fluvial e em locais com maior complexidade do traçado. Destaca-se a <u>ocorrência de processos erosivos intensos nas descontinuidades</u> entre o material destas estruturas (concreto) e da superfície circundante, sobretudo nos casos com exposição da camada superficial do solo.		
Pedágio	Pedágio e estruturas de apoio associadas, implantado próximo à fase de operação da rodovia.	Apresenta efeitos e impactos <u>indiretos</u> no sistema geomorfológico, associados à <u>dimensão das movimentações de terra e, no caso da área de estudo, das estruturas de aterro necessárias para sua instalação</u> , cada qual com seus respectivos efeitos e impactos no sistema físico.		

Aplicação dos Geoindicadores

Uma vez validados e finalizados os mapeamentos da morfologia semi-preservada e das categorias físicas de uso da terra identificadas na área de estudo nos diferentes recortes temporais, procedeu-se à aplicação dos geoindicadores sistematizados no quadro resultante da pesquisa bibliográfica e da matriz de impactos.

Cabe destacar, no entanto, que as restrições impostas pela disponibilidade de materiais, de bases cartográficas e, inclusive, do tempo disponível para realização da pesquisa, impediram a aplicação de alguns geoindicadores na bacia hidrográfica em estudo, como os parâmetros hidrológicos, de transporte de sedimentos, entre outros.

Apesar de reduzida a lista dos geoindicadores passíveis de serem aplicados no universo de análise da pesquisa, o esforço necessário para cálculo dos parâmetros restantes contou com diversas etapas, correções e comparações entre os resultados obtidos para cada fase de intervenção.

Primeiramente, os geoindicadores foram aplicados no recorte temporal referente ao mapeamento da morfologia semi-preservada, derivando informações sobre os sistemas físico e geomorfológico da área de estudo em condição próxima da original, apesar da existência da Rodovia Anchieta e de alguns locais com cortes e aterros, porém de dimensão e impactos restritos.

Para obtenção de alguns parâmetros morfológicos e morfométricos, como a declividade média dos cursos d'água, o comprimento de rampa médio e a orientação predominante das vertentes, entre outros, elaborou-se, por meio de *software* de SIG, Modelo Digital de Terreno da área em estudo, com base nas cartas topográficas da Emplasa, de escala 1:10.000.

Apesar de mais utilizado no recorte temporal da morfologia semi-preservada, este MDT permeou a aplicação dos geoindicadores nas fases de intervenção do empreendimento rodoviário, sendo utilizado como base para a elaboração de perfil longitudinal do canal principal nos diferentes recortes e para cálculo das declividades médias deste canal, considerando as intervenções promovidas em seu talvegue ao longo do período analisado.

Com o objetivo de verificar as mudanças ocorridas na área de estudo entre o primeiro recorte temporal e a data imediatamente anterior ao início das obras de implantação do empreendimento, os mesmos geoindicadores foram aplicados para esta fase pré-intervenção, exceto no caso de alguns parâmetros morfológico-morfométricos do sistema de vertentes extraídos do MDT.

A aplicação destes geoindicadores em específico (altura e declividade média, comprimento de rampa médio, orientação predominante, ocorrência e tipos de rupturas e morfologias predominantes em planta e em perfil), restringiu-se apenas ao recorte temporal

das morfologias semi-preservedas, tendo em vista a inexistência de dados topográficos ou tridimensionais que possibilitassem a obtenção e extração de informações, considerando as diferentes intervenções morfológicas no relevo durante o período analisado.

Ainda assim, a comparação dos resultados obtidos nestas duas etapas de aplicação permitiu compreender as mudanças e características da área de estudo anterior à instalação e operação da rodovia, possibilitando uma melhor compreensão dos efeitos e impactos no sistema geomorfológico da área de estudo, resultantes de sua implantação.

Na seqüência foram aplicados os geoindicadores para os recortes temporais da fase de intervenção ativa, iniciando esta etapa no recorte de maio de 2009. Alguns parâmetros selecionados com objetivo de comparar as diferentes características da área de estudo nos diferentes recortes, como por exemplo, as áreas ocupadas por cobertura vegetal ou solo exposto, foram obtidas tendo o recorte de 2007 como base, considerando se tratar de recorte da fase pré-intervenção.

O mesmo procedimento foi aplicado para os recortes temporais subseqüentes, na fase de intervenção ativa, utilizando técnicas de cartografia digital para comparação entre os valores obtidos, como cálculo de áreas e perímetros, sobreposições e, em alguns casos, a aplicação de estatísticas espaciais básicas.

Por último, foram aplicados os geoindicadores da fase de intervenção consolidada, possibilitando a comparação com os resultados das fases anteriores e a compreensão da configuração final das estruturas do empreendimento, como a consolidação dos cortes e aterros com proteção superficial, a completa remoção do canteiro de obras e configuração definitiva dos dispositivos de drenagem.

Os resultados obtidos para cada fase de intervenção foram sistematizados em quadros específicos contendo os valores e breves análises realizadas a partir da aplicação dos geoindicadores. Ao final, elaborou-se quadro único apresentando os resultados obtidos para os geoindicadores aplicados em todas as fases de intervenção, e para aqueles de grande importância no contexto da pesquisa e das mudanças na área de estudo, associadas à implantação do empreendimento.

As análises dos resultados quantitativos e qualitativos obtidos em cada recorte temporal, bem como do quadro comparativo entre os valores derivados em cada fase de intervenção, são apresentadas no capítulo seguinte, referente aos resultados da pesquisa.

4. RESULTADOS

O desenvolvimento da presente pesquisa possibilitou a obtenção de cinco resultados principais, apresentados e discutidos ao longo deste capítulo e das considerações finais da pesquisa. Primeiramente, derivou-se resultado de ordem metodológica, consistindo sistematização de quadro de geoindicadores para avaliação dos efeitos e impactos de empreendimentos rodoviários nos sistemas geomorfológicos, em especial no meio tropical úmido, considerando as diferentes fases de intervenção a eles associadas.

A elaboração deste quadro teve como base a pesquisa bibliográfica nos campos da Geomorfologia Aplicada, Geomorfologia Antropogênica, da Cartografia Geomorfológica e Geomorfológica Evolutiva, da Geologia de Engenharia e da Geotecnia. Foram, também, realizadas leituras em manuais voltados à orientação de avaliações de impacto de obras de engenharia civil, em especial, rodoviárias; e de Estudos de Impacto Ambiental de diferentes rodovias implantadas na Região Metropolitana de São Paulo, com destaque ao Trecho Sul do Rodoanel, abrangido pela área de estudo.

Os geoindicadores levantados foram organizados seguindo lógica específica, referente aos sistemas geomorfológicos de aplicação (sistemas fluviais, de vertente e bacia hidrográfica) e considerando as diferentes fases de intervenção: pré-intervenção, de intervenção ativa e da fase consolidada ou de operação da rodovia.

A etapa seguinte consistiu na aplicação de parcela dos geoindicadores na área de estudo, para validação da proposta e avaliação de suas contribuições na identificação e compreensão da magnitude dos impactos associados à implantação da rodovia neste local.

Foram produzidos mapeamentos da morfologia semi-preserveda, apresentado no subcapítulo de caracterização da área de estudo, e das categorias físicas de uso da terra em seis recortes temporais, abrangendo as diferentes fases de construção e operação do empreendimento. Tais produtos cartográficos possibilitaram as quantificações e avaliações necessárias para obtenção dos geoindicadores previamente selecionados.

A partir dos resultados obtidos nesta etapa, procedeu-se, nas considerações finais, à sua avaliação em termos da identificação e caracterização dos efeitos e impactos associados à implantação e operação da rodovia, nas formas, matérias e processos da bacia hidrográfica em estudo.

Avaliou-se, por fim, a metodologia utilizada na aplicação dos geoindicadores na bacia hidrográfica, refletindo sobre a adequação das escalas espaciais e temporais adotadas, dos materiais utilizados e das análises derivadas de sua aplicação, apontando ainda perspectivas futuras de encaminhamento da pesquisa.

4.1. RESULTADO METODOLÓGICO: QUADRO DE GEOINDICADORES

Com base nos campos acessados na pesquisa bibliográfica, em especial da Geomorfologia Antropogênica, da Geologia de Engenharia e da Geotecnia, foram sistematizados os principais impactos no sistema geomorfológico associados à implantação de empreendimentos rodoviários.

Apoiando-se, ainda, na proposta apresentada por Lima (1990), Rodrigues (2005, 2010) e outros importantes autores da Geomorfologia Antropogênica, referente à compreensão das diferentes fases de intervenção (pré-perturbação, perturbação ativa e pós perturbação), os geoindicadores foram selecionados e sistematizados em um único quadro (Quadro 10), agrupados conforme os sistemas geomorfológicos afetados (fluvial, interfluvial e da bacia hidrográfica) e as diferentes fases de aplicação.

Este quadro consiste resultado de ordem metodológica, estruturado com base na racionalidade própria da geomorfologia para avaliação qualitativa e quantitativa dos impactos e mudanças ambientais associadas à implantação e operação de rodovias, especialmente no meio tropical úmido.

Trata-se de resultado embasado nos referenciais teórico-metodológicos mencionados e nas experiências aplicadas por autores em empreendimentos rodoviários diversos, inseridos em diferentes contextos morfoclimáticos e geomorfológicos.

Assim, sua aplicação ao longo da implantação ou em fase de operação de uma rodovia pode não contemplar o quadro em sua totalidade, sendo necessário selecionar e excluir parâmetros menos pertinentes, conforme as características da área de estudo envolvida, do sistema geomorfológico, do empreendimento, com suas especificações técnicas e características geométricas; e da disponibilidade de bases cartográficas e de informações sobre a obra durante as diferentes fases de intervenção.

Da mesma forma, o quadro pode ser utilizado em sua totalidade, para avaliar mudanças e impactos ambientais no geral, acompanhando a implantação de um empreendimento ou reconstruindo suas diferentes fases por meio de documentos e materiais cartográficos históricos; ou de forma separada, para avaliação da viabilidade ou de alternativas locacionais, para diagnóstico das características originais ou atuais da área de estudo, e para previsão dos impactos e mudanças ambientais ocasionadas diretamente ou indiretamente pela implantação da rodovia.

O resultado apresentado no subcapítulo seguinte, por exemplo, refere-se à aplicação de parcela dos geoindicadores, em diferentes recortes temporais, abrangendo as principais fases de intervenção.

QUADRO 10 - Geoindicadores de avaliação de impactos e mudanças ambientais aplicáveis a cada fase de implantação de rodovias.

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Geoindicador	Unidade	Instrumentos	Aplica-se à		
						Pré-intervenção	Intervenção ativa	Intervenção consolidada
Sistema fluvial	Canal Fluvial	Morfológico/ Morfométrico	Extensão total¹	m	Cartografia (levantamentos planialtimétricos, aerofotos, Modelos Digitais de Terreno, LiDAR)			
			Largura média ¹	m				
			Sinuosidade média ¹	v.a.				
			Padrão e direção¹	v.a.				
			Declividade média¹	%				
			Perfil longitudinal do canal principal	m ²				
			Seção transversal do canal principal	v.a.	Relatórios técnicos e trabalho de campo			
			Profundidade média ¹	m	Documentos e levantamentos topobatimétricos			
			Desvio e secamento de canais fluviais para instalação de estruturas – Extensão, localização e alterações associadas	nº, m, v.a.	Cartografia (documentos, projeto executivo, aerofotos, imagens de satélite) e trabalho de campo			
			Aterramento de canais fluviais – Extensão, localização e alterações associadas	nº, m, v.a.				
			Aterramento de nascentes – Localização e estruturas associadas	nº, v.a.				
			Interceptação de canais fluviais, tipo e estruturas associadas	nº v.a.	Cartografia (documentos, projeto executivo, aerofotos, imagens de satélite) e trabalho de campo			
			Retificação, canalização ou tamponamento dos canais fluviais	v.a.				
			Interceptação e supressão de nascentes	nº				

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Geoindicador	Unidade	Instrumentos	Aplica-se à		
						Pré-intervenção	Intervenção ativa	Intervenção consolidada
Sistema fluvial	Canal Fluvial	Materiais	Granulometria média em suspensão e de fundo (D D Representativo) ²	mm	Documentos históricos e trabalhos de campo			
			Variáveis físicas: turbidez, condutividade, pH, temperatura e OD	v.a.	Trabalho de campo (amostragem e sondas) e análise laboratorial			
			Nutrientes: amônia, nitrato, fosfato, total N, total P	v.a.				
			Maiores constituintes e sólidos dissolvidos: Ca, Mg, NaCl, HCO ₃ , TDS, SO ₄	v.a.				
			Metais e elementos rastreáveis (Al, Mn, Cu, Fe, Zn e Pb)	v.a.				
			Componentes orgânicos: fenóis, clorofenóis, benzeno, DDT	v.a.				
			Parâmetros para a saúde humana: Ba, Be, F, Ni, radionucleolos (Rn)	v.a.				
			Impactos biológicos: E. Coli.	v.a.				
		Processos	Variação do Nível d'Água (NA)	m	Documentos e aerofotos			
			Taxa de migração lateral do canal principal	v.a.				
			Regime fluvial (variabilidade anual das vazões médias)	n ^o , m ³ /s				
			Variabilidade de vazões (mínimas, médias e máximas)	n ^o , m ³ /s				
			Frequência e magnitude de vazões fluviais extremas	n ^o , m ³ /s				
			Capacidade de transporte de sedimento do canal principal	Kg/m ³ /s				
			Competência do fluxo do canal principal (Representativo) ²	mm				

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Geoindicador	Unidade	Instrumentos	Aplica-se à			
						Pré-intervenção	Intervenção ativa	Intervenção consolidada	
Sistema fluvial	Canal Fluvial	Processos	Taxa de transporte – Tipo de processo, volume e material transportado	v.a., m ³ , v.a.	Documentos e aerofotos				
			Taxa de deposição (assoreamento) – Área, volume e tipo de sedimentos envolvidos	m ² , m ³ , v.a.					
	Fluxos de subsuperfície e subterrâneos	Materiais	Qualidade da água: salinidade (Cl, NaCl, Mg, Ca, TDS), acidez (pH, Fe, HCO ₃), poluição urbana (B, SO ₄ , K, P, OD, hidrocarbonetos e solventes orgânico) e metais pesados (Al, Mn, Zn, Cu, Pb)	mg/l	Documentos históricos. Trabalho de campo (amostragem via poços ou afloramentos) e análise laboratorial.				
			Processos	Varição do Nível d'Água (NA)		m			
				Velocidade do fluxo		m/s			
	Lacustre	Morfológico	Área total dos corpos d'água	m ²	Cartografia (aerofotos e imagens de satélite)				
			Perímetro total dos corpos d'água	m					
			Aterramento de corpos d'água – Área, localização e estruturas associadas	m ² , v.a.					
			Supressão de corpos d'água – Área, localização e estruturas associadas	n ^o , m ² , v.a.					
		Materiais	Variáveis de qualidade da água descritas para o canal fluvial e, adicionalmente, de salinidade: CaHCO ₃ , MgHCO ₃ , CO ₃ , MgSO ₄ e NaSO ₄	v.a.	Trabalho de campo (amostragem e sondas) e análise laboratorial				

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Geoindicador	Unidade	Instrumentos	Aplica-se à		
						Pré-intervenção	Intervenção ativa	Intervenção consolidada
Sistema fluvial	Lacustre	Materialis	Área e distribuição de macrófitas	m ² , v.a.	Cartografia (dados de operação, aerofotos, imagem de satélite) e trabalho de campo			
		Processos	Variação do Nível d'Água (NA)	m				
			Taxa de deposição (colmatagem e assoreamento) – Área, volume e tipo de sedimentos envolvidos	m ² , m ³ , v.a.				
	Fluvio-lacustre	Morfológico/Morfométrico	Área do remanso	m ² , km ²	Cartografia (documentos, dados de operação e aerofotos)			
		Materialis	Área e distribuição de macrófitas	m ² , v.a.				
		Processos	Taxa de deposição (colmatagem e assoreamento) – Área, volume e tipo de sedimentos envolvidos	m ² , m ³ , v.a.				
	Planície	Morfolog	Área, perímetro e altura da planície fluvial	m ² , m	Cartografia (documentos, projeto executivo, aerofotos, imagens de satélite) e trabalho de campo			
			Distribuição da planície fluvial	v.a.				

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Geoindicador	Unidade	Instrumentos	Aplica-se à		
						Pré-intervenção	Intervenção ativa	Intervenção consolidada
Sistema fluvial	Planície	Morfológico/Morfométrico	Área, perímetro e altura de terraço fluvial	m ² , m	Cartografia (documentos, projeto executivo, aerofotos, imagens de satélite) e trabalho de campo			
			Distribuição dos terraços fluviais	v.a.				
			Aterramento da planície – Área e estruturas associadas	n ^o , m ²				
			Aterramento de terraço fluvial	n ^o , m ²				
			Interceptação e supressão de planície	n ^o , m ²				
			Interceptação e supressão de terraço	n ^o , m ²				
		Materiais	Área total e distribuição da cobertura vegetal	m ² , v.a.	Documentos históricos. Cartografia (documentos, projeto executivo, aerofotos, imagens de satélite) e trabalho de campo.			
			Área e distribuição dos padrões de cobertura vegetal (higrófila e arbóreo)	m ² , v.a.				
			Área dos diferentes tipos de solo	v.a.				
			Propriedades hidrológicas do solo: porosidade e permeabilidade	v.a.				
			Propriedades pedológicas do solo: textura e estrutura	v.a.				
			Propriedades estratigráficas do solo: espessura e discontinuidades	m, v.a.				
			Ocorrência e distribuição de áreas desmatadas/solo exposto	m ² , v.a.				
			Número, área e volume de aterros na planície	n ^o , m ² , m ³				
			Largura e profundidade dos aterros	m				
			Material utilizado nos aterros	v.a.				

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Geoindicador	Unidade	Instrumentos	Aplica-se à		
						Pré-intervenção	Intervenção ativa	Intervenção consolidada
Sistema fluvial	Planície	Materiais	Estado de conservação e presença de dispositivos de drenagem nos aterros	v.a.	Cartografia (aerofotos, imagem de satélite)			
			Tipo e distribuição da cobertura vegetal nos aterros	v.a.				
			Eventos de inundação, altura do NA máximo e tempo de permanência	nº, m, hora	Cartografia (documentos e aerofotos)			
			Taxa de deposição – Área, volume e tipo de sedimentos	m², m³, v.a.	Cartografia (aerofotos, imagem de satélite) e trabalho de campo			
Sistema de vertente	Conjunto de vertentes e unidade de vertente	Morfológico/ Morfométrico	Altitude média³	m	Cartografia (cartas topográficas e Modelos Digitais de Terreno derivados, aerofotos, levantamentos, planialtimétricos, Modelos Digitais de Terreno, LiDAR);			
			Declividade média³	%				
			Comprimento de rampa médio³	M				
			Orientação predominante³	v.a.				
			Ocorrência e tipo de rupturas³	nº, v.a.				
			Morfologias predominantes em planta e perfil³	v.a.				
		Materiais	Área e distribuição da cobertura vegetal no total e em relação aos padrões predominantes	v.a.	Cartografia (documentos e aerofotos)			
			Área dos diferentes tipos de solo	v.a.	Documentos históricos			
			Propriedades hidrológicas do solo: porosidade e permeabilidade	v.a.				
			Propriedades pedológicas do solo: textura e estrutura	v.a.				
Materiais	Propriedades estratigráficas do solo: espessura e	m, v.a.	Documentos históricos					

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Geoindicador	Unidade	Instrumentos	Aplica-se à		
						Pré-intervenção	Intervenção ativa	Intervenção consolidada
			descontinuidades					
			Área e distribuição da cobertura vegetal no total e em relação aos padrões predominantes	m ² , v.a.	Cartografia (aerofotos, imagem de satélite)			
			Ocorrência e distribuição de áreas desmatadas/solo exposto	m ² , v.a.				
			Número, área e volume de cortes nas vertentes	n ^o , m ² , m ³	Cartografia (documentos, projeto executivo, aerofotos, imagens de satélite) e trabalho de campo			
			Altura, largura e forma dos cortes	m, v.a.				
			Estado de conservação e presença de dispositivos de drenagem nos cortes	v.a.	Cartografia (documentos, projeto executivo, aerofotos, imagens de satélite) e trabalho de campo			
			Tipo e distribuição da cobertura vegetal nos cortes	v.a.				
		Processos	Frequência, tipo e localização de processos erosivos associados a estruturas da rodovia	n ^o , n ^o /ano, v.a., m ³ , m ²	Cartografia (documentos, aerofotos, imagens de satélite, LiDAR) e trabalho de campo			
			Frequência e localização de movimentos de massa, bem como possível associação com estruturas da rodovia (cortes e aterros, drenagem, etc.)	n ^o , v.a.				
		Bacia Hidrográfica⁴	Morfológico/Morfométrico	Área	km ²	Cartografia (cartas topográficas, documentos e aerofotos)		
Perímetro	km							
Forma	v.a.							
Direção predominante	v.a.							
Densidade de Drenagem	km/km ²							
Coefficiente de Manutenção	m ² /m							

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Geoindicador	Unidade	Instrumentos	Aplica-se à		
						Pré-intervenção	Intervenção ativa	Intervenção consolidada
Bacia Hidrográfica	Materiais	Área e distribuição da cobertura vegetal	m ² , v.a.	Cartografia (cartas topográficas, documentos e aerofotos)				
		Processos Superficiais	Frequência de eventos de inundação na BH, tempo de duração, vazão correspondente, localização e associação com estruturas da rodovia (aterros e dispositivos de drenagem)	n ^o , hora, m ³ /s, v.a.	Cartografia (documentos, aerofotos, imagens de satélite, Modelos Digitais de Terreno, LiDAR) e trabalho de campo			
			Mudanças no uso da terra e cobertura vegetal associadas à rodovia	m ²				

¹ De canais e do canal principal.

² Diâmetro representativo, obtido com base em estudos hidráulicos e calibrado ao estudo de caso.

³ Em relação ao conjunto de vertentes e para cada unidade de vertente.

⁴ Para os estudos e avaliações de impacto de obras de engenharia no meio físico, a bacia hidrográfica pode ser considerada como a unidade de planejamento ideal, portanto a adoção de parâmetros nesta escala de análise

Observação: Em **negrito** estão destacados os geoindicadores aplicados na bacia hidrográfica estudada.

v.a. Variável adimensional

Diante das características da rodovia em estudo, da bacia hidrográfica selecionada e, sobretudo, da disponibilidade de bases cartográficas e de dados do empreendimento, aplicou-se parcialmente os geoindicadores levantados, derivando resultados quantitativos e qualitativos que permitiram avaliações sobre sua aplicabilidade, discussões sobre a adequação dos geoindicadores utilizados, dos recortes temporais e da escala; e análises sobre a magnitude das mudanças e impactos ambientais evidenciados com base em sua aplicação.

Esta sistematização tem, portanto, como objetivo, subsidiar e fornecer elementos para uma avaliação mais completa das mudanças e impactos de rodovias no sistema geomorfológico, visando não apenas os Estudos de Impacto Ambiental de empreendimentos rodoviários, mas também avaliações de viabilidade, durante as fases do licenciamento ambiental; e análises de programas de monitoramento.

Nas considerações finais, apresenta-se avaliação sobre a experiência como um todo, balanço das vantagens e desvantagens associadas à utilização da metodologia e propostas de encaminhamento futuro da pesquisa.

4.2. RESULTADOS APLICADOS À BACIA HIDROGRÁFICA EM ESTUDO

Os resultados obtidos para esta segunda frente de atuação referem-se à aplicação do quadro de geoindicadores na bacia hidrográfica em estudo, nos diferentes recortes temporais selecionados para realização da pesquisa.

São apresentadas, em formato de quadros, quantificações e análises qualitativas obtidas para as fases pré-intervenção, de intervenção ativa e de operação do empreendimento, elaboradas com base nos mapas de morfologias semi-preservedas e de usos da terra. Ao final é apresentado quadro síntese com os resultados obtidos para os geoindicadores aplicados, quando pertinente, em todos os recortes temporais, possibilitando sua comparação e a avaliação final da metodologia.

Fase Pré-intervenção – Morfologia Semi-Preservada

A aplicação dos geoindicadores e as análises quantitativas e qualitativas derivadas tiveram como base o mapeamento das morfologias semi-preservedas³⁴ existentes na área de estudo, identificadas por meio de fotointerpretação de pares estereoscópicos de fotografias aéreas de 1962.

Dentre os geoindicadores sistematizados no Quadro 10, referentes à proposta de indicadores de morfologias semi-preservedas, aplicou-se, basicamente, dados de cunho morfológico/morfométrico, em virtude das limitações na base cartográfica e nos dados

³⁴ Apresentado no capítulo de Metodologia, subcapítulo de Caracterização da Área de Estudo.

disponíveis, dos recortes temporais, assim como pelo próprio tempo de realização da pesquisa.

Os resultados obtidos para os geoindicadores de morfologia semi-preserveda aplicados na área de estudo estão sistematizados no Quadro 11, disposto na página seguinte.

Em relação ao sub-sistema canal fluvial, calculou-se a extensão total dos canais e do curso d'água principal, identificados nas fotografias aéreas de 1962, incluindo os cursos intermitentes. Com base no Modelo Digital de Terreno elaborado a partir das cartas topográficas da Emplasa (1:10.000), obteve-se o gradiente hidráulico da rede hidrográfica e do canal principal.

Os resultados obtidos para este geoindicador evidenciam uma declividade média dos cursos d'água considerada alta, associada à existência de desnível de, aproximadamente, 150 metros em um curto trajeto entre os pontos mais altos dos divisores interfluviais e a planície fluvial. Desta forma, as declividades são acentuadas próximo às cabeceiras, onde atingem, em alguns pontos, valores acima de 45°, tornando-se significativamente mais suaves à jusante e na planície fluvial.

Tal característica pode ser observada, ainda, em relação ao curso d'água principal, cujo gradiente médio apresenta aproximadamente 5,2°, percorrendo ao longo de seus 2,48 km de extensão, vertentes com declividades acima de 45°, próximo de sua nascente, até sua foz na Represa Billings, sobre extensa planície fluvial com declividades abaixo de 2°.

Foram calculados, também, os geoindicadores área e perímetro dos corpos d'água, da planície e dos terraços fluviais. A planície apresenta área de aproximadamente 39 hectares, perímetro de 10,2 km e largura máxima de, aproximadamente, 590 m, no ponto mais largo da confluência entre as duas sub-bacias hidrográficas que formam a área de estudo, em local alagado pelo reservatório. No setor de montante, esta morfologia sofre uma redução gradativa de largura, passando a apresentar formato mais alongado, com trechos estreitos em alguns locais onde a largura chega a menos de quinze metros. O contato com as vertentes é predominantemente indefinido, com alguns trechos com ruptura côncava, principalmente nas vertentes orientadas ao sul/sudeste.

Os terraços, por sua vez, estão localizados na porção média da área de estudo, próximos uns aos outros, e concentrados na sub-bacia hidrográfica Jd. Jussara/Vila Balneária. Apresentam área de 1,74 hectares, perímetro de 1,25 km e formato predominantemente mais alongado, com larguras que variam entre 50 e 60 metros. No contato com as vertentes apresentam, em todas as ocorrências, ruptura indefinida.

QUADRO 11 – Geoindicadores aplicados à fase pré-intervenção - Morfologias Semi-preservadas (1962).

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Parâmetro espaço-temporal	Valores Obtidos
Sistema Fluvial	Canal Fluvial	Morfológico/ Morfométrico	Extensão total	34,74 km
			Padrão e direção	Dendrítico - N-S/SO
			Declividade média	Com base no MDT, 20° para toda a hidrografia da área de estudo e 5,2° para o curso principal
			Extensão do canal principal	2,48 km
			Perfil longitudinal do canal principal	Perfil característico de equilíbrio, com rupturas nos locais de confluência de outros cursos fluviais e em ponto com inflexão do rio principal, alterando o sentido da drenagem.
	Lacustre	Morfológico/ Morfométrico	Área total dos corpos d'água	17,03 ha
			Perímetro total dos corpos d'água	3,49 km
	Planície Fluvial	Morfológico / Morfométrico	Área e perímetro da planície fluvial	A: 39,07 ha P: 10,23 km
			Distribuição da planície fluvial	Com grande extensão na porção de jusante, onde atinge até 590 m de largura, e forma mais alongada à montante, com larguras inferiores a 15 m. Ruptura predominantemente indefinida.
			Área e perímetro de terraço fluvial	A: 1,74 ha P: 1,25 m
			Distribuição dos terraços fluviais	Concentrados na sub-bacia Jd. Jussara, próximos entre si e ocupando a porção média da área de estudo. Predominantemente alongados, com comprimento de até 150 m e largura de 50 a 60 m.
		Materiais	Área total e distribuição da cobertura vegetal	A: 3,67 ha 9% da área total da planície. Distribuição associada ao uso da terra do recorte temporal, concentrada na porção média da área de estudo e sem padrão específico aparente.
			Área e distribuição dos padrões de cobertura vegetal (padrão higrófila e arbóreo)	Ahigrófila: 2,19 ha Aveg. Adensada: 0,85 ha Aveg. de baixa densidade: 0,61 ha Distribuição sem padrão específico, exceto para as higrófilas, localizadas em áreas mais rebaixadas ou com fluxo barrado pela implantação de vias

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Parâmetro espaço-temporal	Valores Obtidos
Sistema de Vertentes	Conjunto de vertentes e unidade de vertente	Morfológico / Morfométrico	Altitude média	Das vertentes: Altitude média de 785 m, com amplitude de 130 m, do ponto mais baixo do terço inferior (760 m) ao ponto mais elevado no terço superior (890 m). Dos topos: Altitude média de 820 m, com amplitude de 135 m, do ponto mais baixo (755 m) ao mais elevado (890 m).
			Declividade média	Declividade média de 16°, com desvio padrão de 8°
			Comprimento de rampa médio	Comprimento de rampa médio de 430 m, com desvio padrão de 20 m
			Orientação predominante	Vertentes predominantemente voltadas para o sul (192° de azimute)
			Ocorrência e tipo de rupturas	Nos terços superior, médio e inferior, ocorre predomínio de mudanças convexas, ainda que o número de mudanças côncavas seja muito próximo deste. Em termos de comprimento: L (convexa terço superior): 25 km L (côncava terço superior): 20 km L (convexa terço médio e inferior): 7 km L (côncava terço médio e inferior): 3,5 km
		Morfologias predominantes em planta e perfil	Cc/cc - Em planta e em perfil as morfologias são predominantemente côncavas a retilíneas	
		Materials	Área e distribuição da cobertura vegetal no total e em relação aos padrões predominantes	Nas vertentes: Atotal: 225 ha 62% da área total de morfologias de vertente Aveg. de baixa densidade: 40 ha Aveg. adensada: 185 ha Vegetação de baixa densidade está associada à existência de chácaras, cultivos e ao eixo da Rod. Anchieta, ocupando os setores inferiores e médios das vertentes. Nos topos: Atotal: 65,43 ha 53% da área total de morfologias de topo A veg. de baixa densidade: 8,7 ha A. veg. adensada: 56,8 ha Vegetação de baixa densidade associada à presença de chácaras, pastos e eixos viários, com destaque à Rod. Anchieta
		Processos	Ocorrência, área e localização de processos erosivos, movimentos de massa e queda de blocos	Apesar da ocorrência de solo exposto em diversos pontos da área de estudo, associados principalmente aos eixos viários, não foram verificados processos erosivos no geral.

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Parâmetro espaço-temporal	Valores Obtidos
Bacia Hidrográfica	Morfológico / Morfométrico	Área		494,08 ha
		Perímetro		12 km
		Forma		Retangular a circular. Razão comprimento/largura de 1,93
		Direção predominante		N-S / NE-SO
		Densidade de Drenagem		4,33 km/km ² (considerando apenas os cursos fluviais perenes) 7,03 km/km ² (considerando também os cursos fluviais intermitentes)
		Coeficiente de Manutenção		0,23 km ² /km (considerando apenas os cursos fluviais perenes) 0,14 km ² /km (considerando também os cursos fluviais intermitentes)
	Materialis	Área e distribuição da cobertura vegetal		Atotal: 307 ha Ahigrófila: 4,0 ha Aveg. Adensada: 254,2 ha Aveg. de baixa densidade: 48,8 ha Distribuída predominantemente nas morfologias de vertente e topo, exceto nos locais com chácaras, lotamentos, solo exposto e eixo viário.

A distribuição da cobertura vegetal de porte arbóreo ou característica de áreas constantemente úmidas ou alagadas (higrófila) também foi analisada e quantificada, em relação aos fragmentos na planície fluvial, nas vertentes, nos topos e na bacia hidrográfica como um todo.

Para o recorte temporal de 1962, observou-se uma grande ocorrência de solo exposto na planície fluvial, possivelmente associado à instalação dos primeiros loteamentos e eixos viários na área de estudo (exceto a Rodovia Anchieta, presente desde o final da década de 1940). Desta forma, a cobertura vegetal ocupa predominantemente o terço médio da planície fluvial, não existindo, no entanto, um padrão específico em sua distribuição, variando conforme a presença de chácaras, eixos viários e demais usos da terra.

No conjunto de vertentes e nos topos observou-se igualmente a ausência de padrão específico na distribuição da cobertura vegetal, sobretudo no caso da vegetação adensada, caracterizada por ocupar áreas significativas destas morfologias. No caso da vegetação de baixa densidade, é possível associar sua ocorrência aos usos da terra circundantes, como chácaras, áreas de cultivo e a faixa de domínio da Rodovia Anchieta, e observar sua concentração nos terços médio e inferior das vertentes.

Foram também calculados para os sistemas de vertentes e para as morfologias de topo, os parâmetros morfométricos: altitude média, declividade média, comprimento médio de rampa, orientação predominante das vertentes e morfologias predominantes em planta e em perfil (curvatura); utilizando como base o Modelo Digital de Terreno.

A aplicação destes geoindicadores teve como objetivo verificar possíveis mudanças nestes parâmetros na bacia hidrográfica em estudo, associadas à realização dos cortes nos sistemas de vertente, e caracterizar qualitativa e quantitativamente os impactos na produção de novas morfologias.

No entanto, as restrições impostas pela inexistência de mapeamento e fontes de dados sistemáticos da topografia e geomorfologia da área de estudo, sobretudo ao longo das fases de implantação e operação da rodovia, dificultou a aplicação destes geoindicadores nos demais recortes temporais, excluindo-os da análise comparativa apresentada no quadro síntese.

Ainda no âmbito dos sistemas de vertente, buscou-se observar a ocorrência de processos erosivos na bacia hidrográfica, com o objetivo de realizar posterior comparação com os demais recortes temporais. No entanto, apesar da presença de solo exposto na área de estudo, principalmente, na planície fluvial, não foram identificados pontos de ocorrência, devido possivelmente a limitações impostas pela escala das fotografias aéreas utilizadas como base.

Destaca-se, também, a possibilidade das áreas de solo exposto na planície originarem-se de um rebaixamento do nível d'água da represa, associado ao período de

seca ocorrido nos anos de 1962 e 1963, conforme descrito no sub-capítulo de caracterização da área de estudo. Esta suposição, todavia, requer a consulta a documentos oficiais de administração do reservatório, que informem o nível d'água oficial no período e sua variação.

Por fim, em relação ao sistema da bacia hidrográfica como um todo, foram aplicados geoindicadores baseados nos parâmetros morfológico-morfométricos desta unidade, como a área total, o perímetro, a forma, a direção predominante, a densidade de drenagem e o coeficiente de manutenção. Dentre os resultados, ressaltam-se os diferentes valores obtidos para a densidade de drenagem (4,33 km/km² e 7,03 km/km²) e o coeficiente de manutenção, (0,23 km²/km e 0,14 km²/km) considerando apenas os cursos fluviais perenes, no caso dos primeiros valores, ou incluindo os cursos intermitentes, apresentados na sequência.

Nos demais recortes temporais, por conta das alterações significativas na hidrografia, estes parâmetros serão calculados e seus resultados comparados, considerando os cursos intermitentes no cálculo.

Por último, observou-se a distribuição espacial da vegetação de porte arbóreo, na bacia hidrográfica como um todo, obtendo como resultado uma área total de 307 hectares, equivalentes a 62% da área, sendo a maior parte referente à vegetação adensada (254,2 ha), distribuída predominantemente nas vertentes e topos da bacia hidrográfica. Os demais usos, em 1962, ocupam principalmente as porções baixas das vertentes e planície fluvial, caracterizando-se como chácaras, loteamentos em processo de ocupação, eixos viários e solo exposto.

Fase Pré-intervenção – Recorte temporal de 2007

A análise da configuração da bacia hidrográfica em estudo em um período imediatamente anterior ao início da implantação do empreendimento mostrou-se fundamental para evitar uma discrepância significativa entre os valores obtidos para os recortes temporais de 1962 e de maio de 2009 em diante, representativos da fase de implantação e operação da rodovia.

Assim, foram aplicados os mesmos geoindicadores do período anterior para o recorte temporal de 2007, com exceção dos parâmetros referentes aos aspectos morfológicos e morfométricos das vertentes, como altitude e declividade média, comprimento de rampa e orientação de vertentes, uma vez que estes dados foram derivados do Modelo Digital de Terreno, criado a partir das cartas topográficas.

A ausência de levantamentos topográficos atualizados e de fotografias aéreas com pares estereoscópicos dificultou a atualização destes dados, resultando na sua exclusão da análise comparativa entre os geoindicadores. Uma análise meramente visual da configuração da bacia hidrográfica em 2007 permite observar a instalação de alguns usos

da terra com importante impacto nas morfologias e na rede hidrográfica, como é o caso dos pátios de veículos instalados na porção norte da área de estudo e, mais especificamente, nos anfiteatros côncavos amplos da bacia hidrográfica, associados à implantação de cortes e aterros de grande dimensão e à modificações nos canais fluviais.

Os geoindicadores aplicados ao recorte temporal de 2007 e os respectivos resultados estão sistematizados no Quadro 12, na página a seguir.

Com base nos geoindicadores aplicados, foi possível observar importantes mudanças na bacia hidrográfica, com destaque para o sistema fluvial. Em relação aos canais fluviais, observa-se um incremento de 36% na extensão do curso principal, que passa de 2,48 km, para 3,39 km. Esta variação, no entanto, não é acompanhada na mesma proporção pela extensão total dos cursos d'água da bacia hidrográfica, que apresenta apenas leve aumento, inferior a 1% (0,30 km).

A possível explicação para este descompasso entre o aumento significativo do comprimento do canal principal e a manutenção total dos cursos fluviais, pode residir na existência de intervenções em alguns cursos, como retificações e canalizações, observadas, por exemplo, nas estruturas implantadas pelos pátios de veículos; que atuariam compensando o incremento na extensão do curso principal.

A declividade média dos cursos d'água em sua totalidade e do canal principal, também apresentaram decréscimo, de 2° no caso dos primeiros, e de 0,6° para o segundo. Apesar de esse cálculo não levar em consideração modificações promovidas no relevo, pois o MDT utilizado como base para obtenção da medida manteve-se o mesmo; ele permite inferir possíveis mudanças no trajeto percorrido por estes canais, desviados em alguns pontos para trechos de menor declividade.

É possível observar, também, significativa diminuição da área ocupada pelos corpos d'água, em especial, pela área alagada da represa, reduzida em 47%, de 17,03 ha para 8,97 ha. O perímetro sofre igualmente uma redução, porém menos acentuada, de aproximadamente 20%. Tais resultados se tornam ainda mais significativos considerando a possibilidade de a represa estar com nível baixo no recorte temporal de 1962. Tal análise, no entanto, poderia ser realizada apenas com base em documentos oficiais de operação do reservatório, pois o nível d'água exerce importante papel no perímetro e na área destas estruturas.

A redução na área da represa não representa, no caso da bacia hidrográfica em estudo, um aumento na área da planície fluvial, uma vez que considerou-se como pressuposto, no mapeamento da morfologia semi-preservada, que a planície originalmente ocupava o local alagado pela represa. Assim sua área sofreu ligeira redução, de aproximadamente 9% (2,23 ha), associada à ocupação por usos com importantes alterações morfológicas, como a implantação de aterros de base para a instalação destes usos.

QUADRO 12 – Geoindicadores aplicados à fase pré-intervenção - Morfologias Antropogênicas Pré-Intervenção (2007).

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Parâmetro espaço-temporal	Valores Obtidos	
Sistema Fluvial	Canal Fluvial	Morfológico / Morfométrico	Extensão total	34,44 km	
			Padrão e direção	Dendrítico - N-S/SO	
			Declividade média	Determinada com base no MDT: 18° para toda a hidrografia da área de estudo e 4,6° para o curso principal.	
			Extensão do canal principal	3,39 km	
			Perfil longitudinal do canal principal	Perfil característico de equilíbrio, com rupturas nas confluências com outros cursos d'água, em ponto de inflexão do rio principal e no contato com a planície fluvial, a cerca de 1.400 m.	
	Lacustre	Morfológico/ Morfométrico	Área total dos corpos d'água	8,97 ha	
			Perímetro total dos corpos d'água	2,85 km	
	Planície Fluvial	Morfológico / Morfométrico	Área e perímetro da planície fluvial	A: 36,84 ha P: 8,99 km	
			Distribuição da planície fluvial	A configuração da planície fluvial se manteve similar ao recorte temporal anterior, apresentando redução de área nos locais ocupados pela expansão dos usos comerciais e indústrias da Vila Balneária, e pela consolidação do Jd. Jussara, então em fase de loteamento.	
			Área e perímetro de terraço fluvial	A: 1,33 ha P: 0,91 km	
			Distribuição dos terraços fluviais	Dentre os quatro terraços fluviais identificados na área de estudo, apenas um sofreu modificações, sendo totalmente ocupado pelos estabelecimentos comerciais e indústrias da Vila Balneária.	
		Materiais		Área total e distribuição da cobertura vegetal	A: 11,22 ha 30,45 % da área total da planície. Distribuição espacial irregular, sem padrão específico. Grau de conservação regular, ponderando-se a extensa área ocupada pelo espelho d'água.
				Área e distribuição dos padrões de cobertura vegetal (padrão higrófila e arbóreo)	Ahigrófila: 3.25 ha Aveg. Adensada: 6.07 ha Aveg. de baixa densidade: 1.88 ha Distribuição preferencial de vegetação densa ao longo dos contatos entre a planície fluvial e os sistemas de vertente.

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Parâmetro espaço-temporal	Valores Obtidos
Sistema de Vertentes	Conjunto de vertentes e unidade de vertente	Materiais	Área e distribuição da cobertura vegetal no total e em relação aos padrões predominantes	<p>Nas vertentes: Atotal: 204,92 ha; 56% da área total de morfologias de vertente. Aveg. de baixa densidade: 38,39 ha Aveg. adensada: 166,52 há Distribuição semelhante ao recorte temporal anterior, sem padrão específico. A redução de sua área pode ser atribuída à expansão dos usos urbanos, industriais e serviços, com destaque aos pátios de veículos.</p> <p>Nos topos: Atotal: 58,38 ha; 47% da área total de morfologias de vertente. Aveg. de baixa densidade: 9,24ha Aveg. adensada: 49,14 ha Distribuição similar ao período anterior, porém com redução em sua área total associada à expansão de usos principalmente residenciais e de chácaras.</p>
		Processos	Ocorrência, área e localização de processos erosivos, movimentos de massa e queda de blocos	Ocorrência de processos erosivos em topo e terço superior de vertente próximo ao Jd. Jussara, na porção central da área de estudo.
Bacia Hidrográfica		Morfológico/ Morfométrico	Área	494,08 ha
			Perímetro	12 km
			Forma	Retangular a circular. Razão comprimento/largura de 1,93
			Direção predominante	N-S / NE-SO
			Densidade de Drenagem	6,97 km/km ²
			Coeficiente de Manutenção	0,14 km ² /km
		Materiais	Área e distribuição da cobertura vegetal	Atotal: 280 ha Ahigrófila: 3,8 ha Aveg. Adensada: 223,5 ha Aveg. de baixa densidade: 51,6 ha 56% da área da bacia, As vegetações arbóreas de alta densidade distribuem-se por toda bacia, ao passo que os fragmentos de baixa densidade concentram-se, principalmente, nas médias vertentes de setores do sul da área de estudo, com maior ocorrência de chácaras e usos residenciais.

Os terraços fluviais também apresentaram redução de área, com a supressão particular de uma de suas ocorrências pela expansão dos estabelecimentos industriais e de serviços da Vila Balneária.

Em relação à distribuição espacial da cobertura vegetal de porte arbóreo, verificou-se incremento significativo na área total e na área ocupada por cada tipo de vegetação considerada no cálculo. Tal crescimento, pouco esperado em áreas da Região Metropolitana de São Paulo, pode estar associado à substituição de área de solo exposto na planície fluvial identificada em 1962, por cobertura vegetal relacionado à estabilização da planície. Suscita-se, ainda, a possibilidade de que, em função das legislações ambientais incidentes na área de estudo, com ênfase aos decretos que definem as Áreas de Proteção aos Mananciais, parte desta revegetação observada nos setores de planície fluvial seja decorrente das restrições de ocupação e fiscalização de invasões.

Cabe destacar, no entanto, que a utilização de fotografias aéreas e imagens de satélite, com diferentes escalas, resoluções espaciais e obtidas em diferentes épocas do ano, pode redundar distorções, associadas principalmente ao processo de georreferenciamento destas imagens.

Neste sentido, observou-se em alguns locais da planície fluvial, ocorrência de fragmentos de vegetação adensada preferencialmente localizados na interface entre os sistemas de vertente e a planície fluvial, porém englobados nos limites desta última, cuja delimitação teve como base o recorte temporal anterior. Apesar de identificadas, estas áreas foram consideradas no cálculo, fazendo-se, no entanto, a ressalva destas possíveis distorções.

Nos sistemas de vertente e morfologias de topo, a distribuição da cobertura vegetal apresentou comportamento contrário, com redução da área em torno de 9% nas vertentes, e 11 % nos topos, com destaque para a vegetação adensada, com supressão de fragmento significativo para a instalação dos pátios de veículos. A vegetação de baixa densidade, por sua vez, apresentou incremento específico nas morfologias de topo, possivelmente associada à redução e conversão de áreas com vegetação adensada, que passaram a se enquadrar nesta nova categoria.

Por fim, em relação à bacia hidrográfica como um todo, foram calculados apenas os parâmetros morfométricos de densidade de drenagem e coeficiente de manutenção, diante da inexistência de base topográfica recente da área de estudo ou de aerofotografias com estereoscopia, que possibilitariam a atualização e comparação de dados como a área, perímetro e forma da bacia hidrográfica.

O resultado obtido para a densidade de drenagem, considerando os cursos fluviais intermitentes no cálculo, apresentou breve diferença em comparação com o período anterior, com um decréscimo de 0,05 km/km², ao passo que o coeficiente de manutenção se

manteve o mesmo. Apesar de ter sido observado um aumento na extensão do curso fluvial principal, algumas mudanças promovidas nos canais fluviais, como retificações, canalizações e tamponamentos, verificadas em pontos específicos da área de estudo, atuaram balanceando o cômputo total e resultando alteração menos significativa destes resultados.

Em relação à distribuição espacial da cobertura vegetal na bacia hidrográfica em estudo, verificou-se redução de, aproximadamente, 9% em relação à sua área total, reduzindo de 307 hectares observados no recorte temporal de 1962, para 280 hectares em 2007. Apenas a cobertura vegetal de baixa densidade apresentou incremento em sua área, em cerca de 5%, possivelmente associado à conversão de fragmentos anteriormente com vegetação adensada, para vegetação de baixa densidade.

A aplicação dos geoindicadores no recorte temporal de 2007, anterior ao início da implantação do empreendimento na área de estudo³⁶, teve como objetivo apresentar qualitativa e quantitativamente as mudanças ocorridas na bacia hidrográfica durante o período entre o primeiro recorte e o início da construção da rodovia.

Assim, alguns dos geoindicadores aplicados nas fases de intervenção ativa, descritos a seguir, utilizaram os resultados obtidos para este recorte temporal como parâmetro para as análises das mudanças promovidas na bacia hidrográfica, direta ou indiretamente associadas à implantação do empreendimento, bem como para compreensão e avaliação dos impactos deste, no sistema geomorfológico da área de estudo.

Fases de Intervenção Ativa e Consolidada

A aplicação dos geoindicadores nos recortes temporais referentes a fases de intervenção ativa e consolidada teve como base os mapeamentos e a evolução dos usos da terra nos diferentes recortes temporais investigados e sua interação com as morfologias semi-preservedas.

Assim, primeiramente são apresentadas as quantificações e descrições referentes aos mapas de uso da terra, elaboradas para todos os recortes temporais. Em seguida, especial atenção é dada aos usos diretamente associados à implantação do Trecho Sul do Rodoanel, como cortes e aterros, Depósitos de Materiais Excedentes, canteiros de obras, entre outros; com o objetivo de delimitar a área de impactos diretos da rodovia e comparar sua expressão espacial ao longo do período analisado. Por fim, são apresentados os geoindicadores aplicados nos recortes temporais e as quantificações e análises qualitativas resultantes deste processo.

³⁶ As obras de implantação do Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas tiveram início em maio de 2007, sendo a data da fotografia aérea utilizada como base, de junho de 2007. Por se tratar ainda de momento inicial de implantação da obra, foi possível utilizar tal material, considerando que a área de estudo não apresentava quaisquer modificações associadas ao empreendimento.

MAPAS DE USO DA TERRA E INTERVENÇÕES MORFOLÓGICAS ASSOCIADAS

O mapeamento dos usos da terra mostrou-se uma alternativa viável à identificação das mudanças morfológicas ocorridas na área de estudo, tendo em vista as limitações encontradas na disponibilidade de materiais e bases cartográficas para os recortes temporais selecionados.

Assim, foram elaborados mapeamentos do uso da terra para os seis recortes temporais utilizados (1962, 2007, 1º e 2º semestre de 2009, 2010 e 2012), abrangendo classes específicas para as intervenções morfológicas associadas à implantação de rodovias, como cortes, aterros, canteiros de obra, entre outras; e categorias gerais incidentes na área de estudo, como campo antrópico, chácaras e usos urbano-industriais, etc.

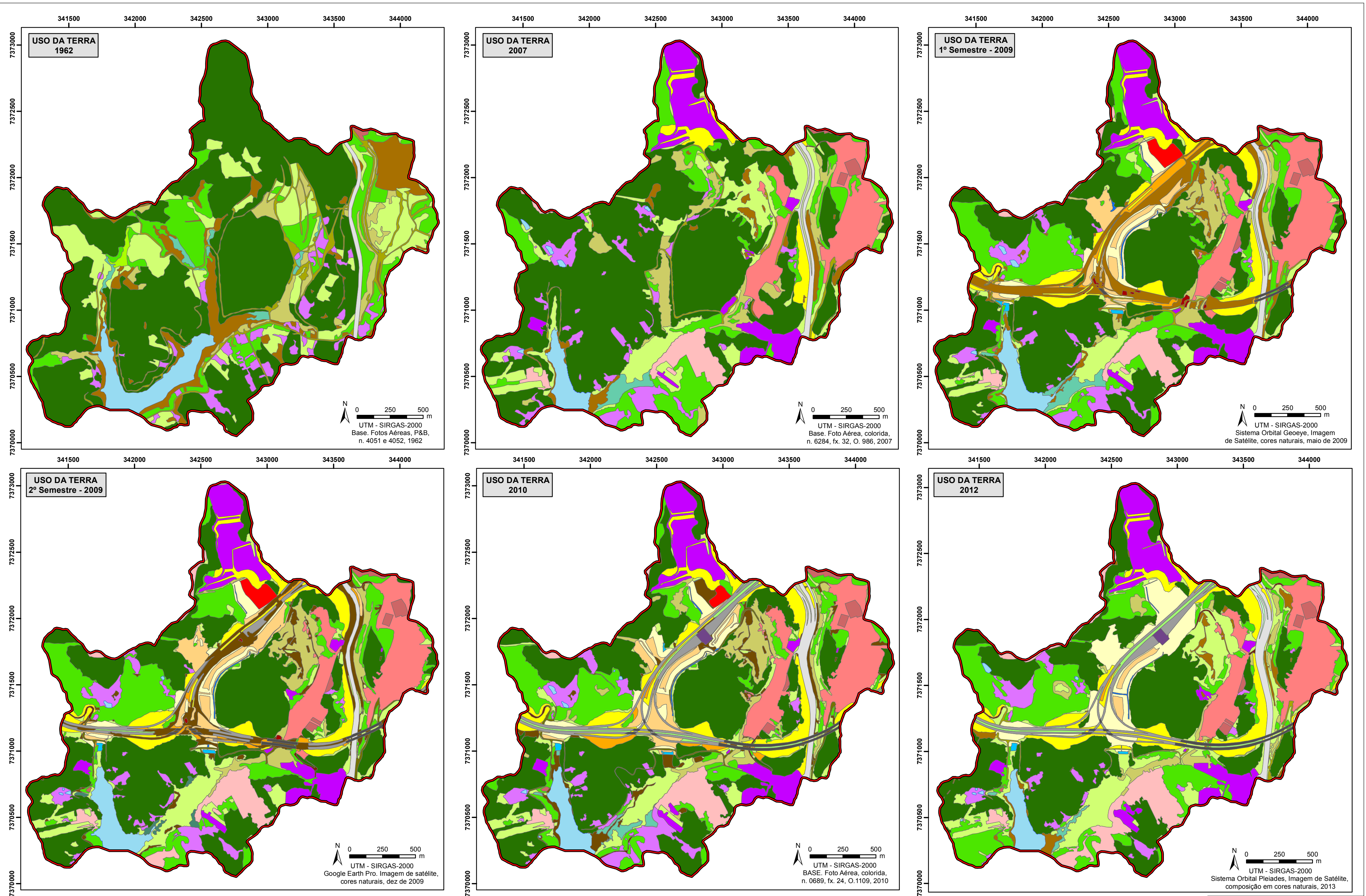
Os mapas de uso da terra derivados de cada recorte temporal encontram-se nos Apêndices A a F, onde podem ser verificados com maior detalhe, na escala 1:12.000. Para auxiliar nas comparações entre cada período analisado, em termos da distribuição espacial das categorias de uso da terra mapeadas, elaborou-se mapa único, contendo a evolução de tais usos (Figura 30).

A partir de uma observação inicial, é possível verificar as intensas alterações associadas à implantação do Trecho Sul do Rodoanel e de sua intersecção com a Rodovia Anchieta, expressa nas grandes porções com tons de marrom, amarelo e laranja, localizadas no centro da área de estudo. Da mesma forma, a organização dos recortes temporais lado a lado, permite observar a evolução do empreendimento, com grandes áreas de solo exposto e material inconsolidado, substituídas gradativamente por pavimentação e cortes e aterros consolidados.

A Tabela 5, disposta na página seguinte, apresenta as áreas obtidas para os usos da terra nos diferentes recortes temporais.

A observação individualizada de cada período, no entanto, possibilita compreender as características e a distribuição do uso da terra no recorte temporal em análise e em relação aos demais, destacando alterações mais significativas em termos de área, como supressão e fragmentação da cobertura vegetal, e em termos de conversão do uso.

O ano de 1962, por exemplo, permite distinguir uma grande quantidade de áreas com solo exposto, concentradas, principalmente, na planície fluvial e ao longo dos acessos à chácaras já existentes e loteamentos em processo de abertura, como os arruamentos no centro da área de estudo e a grande área de solo exposto junto ao limite nordeste, posteriormente ocupado por usos residenciais adensados.



Área de Estudo	Corte inconsolidado com solo exposto	Aterro com proteção superficial de vegetação	Dispositivo de drenagem com canaleta	Canteiro central com proteção superficial de vegetação	Solo exposto	Cobertura vegetal de baixa densidade	Corpo d'Água	Uso urbano residencial densamente edificado	Rodovia Anchieta
Categorias de Uso da Terra	Corte com proteção superficial de vegetação	Canteiro de obras principal	Dispositivo de drenagem bacias de retenção de sedimentos	Obra de Arte Especial	Campo antrópico	Cobertura vegetal adensada	Chácara	Equipamento urbano	Canteiro central vegetado da Rodovia Anchieta
Acesso com solo exposto	Aterro com solo exposto	Canteiro de obras secundário	Corpo estradal pavimentado	Pedágio	Campo antrópico com vegetação de porte arbustivo	Higrófila	Uso urbano residencial com baixa densidade de edificações	Usos urbano industriais	
Acesso pavimentado									

Geomorfologia Aplicada aos EIAs de Empreendimentos Rodoviários: subsídios aos órgãos ambientais brasileiros

MAPA DE EVOLUÇÃO DO USO DA TERRA (1962 - 2012)

Figura 30 Org: Juliana Mantovani

TABELA 5 – Áreas (ha) e percentuais ocupado por cada categoria de uso da terra mapeados nos recortes temporais na bacia hidrográfica estudada.

Uso do solo	1962		2007		Jun/2009		Dez/09		2010		2012	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Acesso pavimentado	-	-	0.11	0.02	0.49	0.10	0.87	0.18	0.80	0.16	0.74	0.15
Acesso com solo exposto	23.97	4.85	5.86	1.19	3.52	0.71	2.95	0.60	5.26	1.07	2.95	0.60
Aterro/DME com proteção superficial de vegetação	-	-	-	-	10.51	2.13	9.58	1.94	13.07	2.64	28.90	5.85
Aterro/DME com solo exposto	-	-	-	-	12.35	2.50	14.40	2.91	12.17	2.46	2.57	0.52
Campo antrópico	63.00	12.75	48.68	9.85	25.25	5.11	31.22	6.32	30.32	6.14	49.18	9.95
Campo antrópico com vegetação de porte arbustivo	19.37	3.92	21.70	4.39	19.04	3.85	19.98	4.04	21.95	4.44	10.40	2.10
Canteiro central com proteção superficial de vegetação	-	-	-	-	-	-	0.42	0.09	3.82	0.77	3.86	0.78
Canteiro central vegetado da Rodovia Anchieta	-	-	1.57	0.32	1.20	0.24	-	-	0.61	0.12	0.69	0.14
Canteiro de obras principal	-	-	-	-	3.04	0.62	3.21	0.65	1.47	0.30	-	-
Canteiro de obras secundário	-	-	-	-	0.85	0.17	0.29	0.06	-	-	-	-
Chácara	17.13	3.47	20.63	4.18	15.84	3.21	15.83	3.20	19.95	4.04	13.14	2.66
Cobertura vegetal adensada	254.17	51.44	223.46	45.23	167.34	33.87	160.27	32.47	160.00	32.38	147.19	29.79
Cobertura vegetal de baixa densidade	48.82	9.88	51.65	10.45	63.75	12.90	63.29	12.81	54.11	10.95	69.01	13.97
Corpo d'água	17.86	3.62	8.98	1.82	10.03	2.03	11.28	2.28	9.33	1.89	8.12	1.64
Corpo estradal pavimentado	-	-	-	-	-	-	8.83	1.79	15.01	3.04	14.12	2.86
Corte com proteção superficial de vegetal	-	-	11.38	2.30	25.39	5.14	25.15	5.09	27.40	5.55	28.74	5.82
Corte inconsolidado com solo exposto	-	-	-	-	5.11	1.04	2.92	0.59	3.97	0.80	0.36	0.07
Cultivo	1.34	0.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dispositivo de drenagem com canaleta	-	-	-	-	0.87	0.18	0.81	0.16	0.63	0.13	0.57	0.11
Dispositivo de drenagem bacias de retenção de sedimentos	-	-	-	-	0.58	0.12	0.47	0.10	0.51	0.10	0.39	0.08
Equipamento urbano	0.65	0.13	2.18	0.44	3.57	0.72	3.81	0.77	3.73	0.76	3.98	0.81
Higrófila	4.03	0.82	3.78	0.76	4.93	1.00	1.80	0.36	3.15	0.64	1.49	0.30
Obra de arte especial	-	-	-	-	1.12	0.23	2.47	0.50	3.79	0.77	3.63	0.73
Pedágio	-	-	-	-	-	-	-	-	0.82	0.17	0.84	0.17

Uso do solo	1962		2007		Jun/2009		Dez/09		2010		2012	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Plantio	-	-	0.20	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-
Rodovia Anchieta	4.45	0.90	5.61	1.14	5.49	1.11	5.03	1.02	8.38	1.70	7.96	1.61
Solo exposto	39.29	7.95	11.54	2.34	35.33	7.15	27.07	5.48	15.28	3.09	8.45	1.71
Urbano industrial	-	-	27.92	5.65	27.19	5.50	28.08	5.68	27.20	5.51	28.41	5.75
Urbano residencial baixa densidade de edificações	-	-	13.39	2.71	14.45	2.92	16.66	3.37	14.11	2.86	22.22	4.50
Urbano residencial densamente edificado	-	-	35.45	7.18	36.84	7.46	37.40	7.57	37.23	7.53	36.17	7.32

A Rodovia Anchieta já se encontra instalada, com pista dupla e traçado mais simplificado, associada à áreas localizadas de solo exposto e campo antrópico. É possível observar ocorrência numerosa de chácaras e de áreas ocupadas por campo antrópico e campo antrópico com vegetação arbustiva, poremos maciços com vegetação adensada destacam-se em relação às demais categorias, apresentando-se pouco fragmentado e distribuído por praticamente toda a bacia hidrográfica.

Em relação ao recorte temporal seguinte, referente à data de 2007, podem ser observadas transformações significativas na paisagem, em comparação com o período anterior, com quarenta e cinco anos de intervalo. Destaca-se importante redução na área ocupada pela porção alagada da Represa Billings, retraída à quase metade de sua extensão no recorte anterior e concentrada no braço direito (sentido montante-jusante), sendo substituída por campo antrópico, vegetação higrófila e solo exposto. Tal configuração da área alagada no interior da área de estudo irá se perpetuar nos períodos seguintes analisados.

É possível observar, ainda, o adensamento de usos residenciais em locais anteriormente ocupados por chácaras, e a instalação de usos residenciais densamente edificadas e urbano industriais, nas áreas anteriormente apresentando os primeiros indícios de abertura de loteamentos. A implantação de grande área de uso urbano industrial, no caso representado por pátio de veículos, no extremo norte da bacia hidrográfica, em local caracterizado por unidades morfológicas de anfiteatros côncavos amplos, também se destaca na paisagem por suas dimensões e localização.

Simultaneamente, é possível observar a supressão e fragmentação da cobertura vegetal adensada em diversos locais, convertendo-a para pasto, usos residenciais e urbanos, ou alterando suas características, de forma a integrá-la com as unidades de cobertura vegetal de baixa densidade; e a retomada da vegetação em seus estágios pioneiro e inicial, em áreas anteriormente caracterizadas como solo exposto e reclassificadas para campo antrópico com vegetação arbustiva.

O primeiro semestre de 2009 apresenta alterações significativas na bacia hidrográfica, associadas à implantação da rodovia, em fase de movimentação de terra e implantação dos dispositivos de drenagem. Novas categorias de uso da terra tornam-se presentes, como cortes inconsolidados, aterros, canteiros de obra e bacias de retenção de sedimentos. É possível observar um aumento significativo na área com solo exposto, predominante ao longo de toda a frente de obra; o grande número de cortes inconsolidados e com proteção superficial de gramíneas; a instalação de grande canteiro de obras principal e de unidades menores ao longo do empreendimento; e a abertura de novos acessos às frentes de obra, ou desvio dos acessos existentes nos períodos anteriores, afastando-os da área mais próxima à rodovia.

Destaca-se, ainda, a presença de solo exposto à jusante das bacias de retenção de sedimentos, situação que se propagará nos períodos seguintes, com destaque para o ano de 2010, e excetuando-se 2012, com a completa consolidação da rodovia. É possível observar, também, significativa alteração da cobertura vegetal adensada, com grandes áreas reclassificadas para vegetação de baixa densidade ou convertidas para pasto, elevando a fragmentação dos maciços florestais existentes na área de estudo.

O segundo semestre de 2009 apresenta condições semelhantes para o uso da terra na área de interesse como um todo, sobretudo para as porções não alteradas diretamente pela implantação da rodovia. Em relação à frente de obra desta, cabe destacar o surgimento de faixas pavimentadas do corpo estradal definitivo, bem como o acréscimo no número de Obras de Arte Especiais, e a conseqüente redução de trechos com solo exposto e material inconsolidado. Ressalva-se, no entanto, a porção diretamente à jusante das bacias de retenção de sedimentos, com presença de solo exposto, observado desde o período anterior.

A faixa de domínio da Rodovia Anchieta apresenta, também, maiores alterações, com a abertura de novos cortes inconsolidados e áreas de solo exposto, relacionadas à adequação da pista para realização das intersecções entre as duas rodovias.

O ano de 2010, caracterizado pelo início da operação do Trecho Sul do Rodoanel, apresenta corpo estradal inteiramente pavimentado, maior número de Obras de Arte Especiais, estruturas de pedágio instaladas e em funcionamento, intersecção consolidada com a Rodovia Anchieta, e desmobilização dos canteiros de obra secundários e de parcela do canteiro principal, reduzido à metade.

Ainda assim, é possível observar topos de corte e cortes com material inconsolidado e áreas de solo exposto associadas ao empreendimento. Alguns cortes anteriormente considerados consolidados por vegetação rasteira e gramíneas foram reclassificados como inconsolidados, por apresentarem problemas na conservação da cobertura vegetal e conseqüente exposição das camadas superficiais do solo. Destaca-se, também, o incremento na área de solo exposto à jusante das bacias de retenção de sedimentos, em comparação com os períodos anteriores.

Por fim, para o ano de 2012, recorte temporal contemplando dois anos após a operação da rodovia, é possível destacar a significativa redução de áreas de solo exposto e material inconsolidado, substituídos por cortes, topos de corte e aterro / DME consolidados por gramíneas e vegetação rasteira. Excetua-se pequenas áreas de topo inconsolidado de cortes, ainda em fase de consolidação ou possivelmente associadas à problemas na manutenção dos dispositivos de proteção superficial. Pode ser verificado, ainda, o total desmantelamento do canteiro de obras principal, ocupado por campo antrópico com

vegetação arbustiva; e a substituição de áreas com solo exposto à jusante das bacias de retenção de sedimentos, basicamente por campo antrópico.

Em relação aos demais usos existentes na área de estudo, observa-se nova redução na área alagada da Represa Billings, ainda que pouco significativa, e um aumento na conversão de áreas ocupadas por cobertura vegetal adensada, em novas categorias, com destaque para a vegetação de baixa densidade e o campo antrópico, refletindo no aumento da fragmentação dos maciços florestais existentes na bacia hidrográfica como um todo.

Tendo em vista os objetivos da pesquisa, buscou-se, ainda, identificar a extensão abrangida pelos usos diretamente afetados pela implantação da rodovia. Para tal, foram analisados separadamente os recortes temporais, abrangendo as classes efetivamente associadas à construção, como cortes e aterros, canteiros de obra e dispositivos de drenagem; mas, também, as áreas com usos reclassificados com base na alteração dos padrões e características observados nos períodos anteriores, denotando, por exemplo, a supressão da cobertura vegetal, a conversão para campo antrópico, a exposição do solo ou a impermeabilização por acessos pavimentados.

Para cada recorte temporal foram obtidas diferentes áreas, com tendência crescente, culminando no 2º semestre de 2009, em plena fase de implantação da rodovia; e decrescente a partir de 2010, resultando, em 2012, no menor valor para período analisado, com a consolidação completa e operação da rodovia.

A Figura 31, a seguir, apresenta a evolução da faixa com os usos da terra diretamente associados ao empreendimento, mapeada para os recortes temporais de 2009 (1º e 2º semestre), 2010 e 2012. Os anos de 1962 e 2007 não foram considerados na análise, por antecederam a implantação da obra.

A limitação na disponibilidade de fotografias aéreas, imagens de satélite e bases cartográficas para o período entre o ano de 2007, quando se iniciaram as obras do Trecho Sul do Rodoanel, e o primeiro semestre de 2009, utilizado na pesquisa como o primeiro recorte temporal de intervenção ativa, impediu a observação das frentes de obra iniciais, com as primeiras movimentações de terra e alterações em usos e morfologias existentes. Caso tais dados estivessem disponíveis, o comportamento das classes de uso da terra e de estruturas associadas ao empreendimento durante a fase de intervenção ativa, e seus resultados em termos de área, seriam possivelmente diferentes.

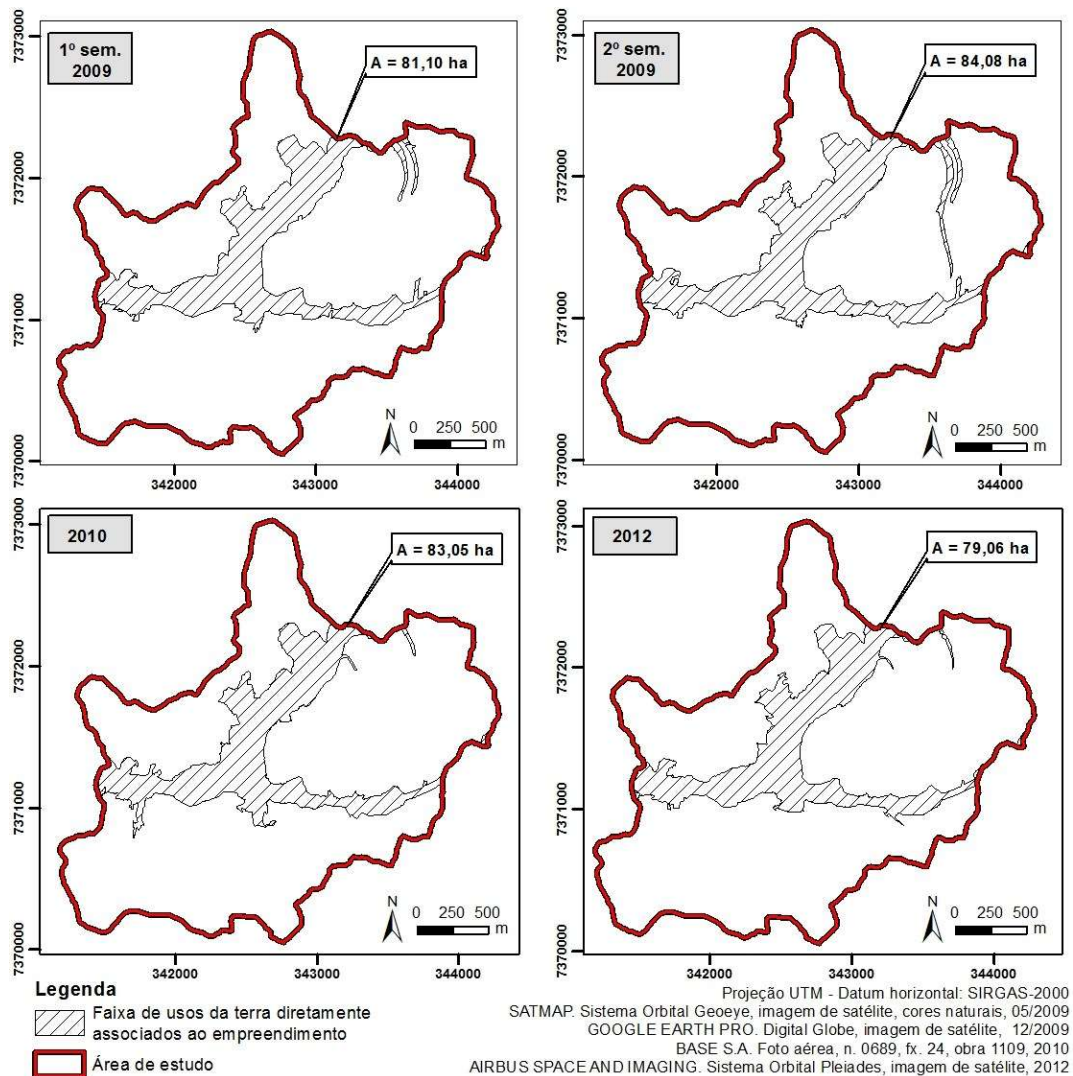


Figura 31 – Evolução da faixa com os usos da terra diretamente associados à implantação da rodovia

RESULTADO DA APLICAÇÃO DOS GEOINDICADORES NAS FASES DE INTERVENÇÃO ATIVA

O mapeamento dos usos da terra nos recortes temporais de 1962 e 2007 foi fundamental para a obtenção de alguns dos geoindicadores aplicados, como, por exemplo, a distribuição da cobertura vegetal na área de estudo e nas diferentes morfologias. Na fase de intervenção ativa, as categorias de uso da terra assumem um papel ainda mais importante, por atuarem como uma chave na compreensão das mudanças promovidas direta ou indiretamente pela implantação e operação da rodovia.

Assim, a identificação de categorias referentes à cortes e aterros, em diferentes estágios de consolidação (com ou sem proteção superficial), de dispositivos de drenagem,

de canteiros de obra, de áreas de solo exposto, entre outras classes de uso da terra; possibilitou a aplicação e compreensão dos geoindicadores nesta fase de intervenção ativa.

No entanto, cabe destacar que alguns parâmetros apresentaram valores idênticos ou muito semelhantes em dois ou três recortes temporais que compõem esta fase (maio de 2009, dezembro de 2009 e outubro de 2010). Os geoindicadores de canal fluvial, por exemplo, obtiveram valores similares para as duas primeiras datas, diferenciando-se do último recorte temporal, cujo valor aproximou-se dos resultados obtidos para o período seguinte.

Assim, o Quadro 13, a seguir, apresenta os valores derivados da aplicação dos geoindicadores na fase de intervenção ativa, discriminando um único resultado para os parâmetros que obtiveram mesmo valor nos três recortes temporais, e dois ou mais resultados, para aqueles que apresentam diferenças.

Em relação ao sub-sistema do canal fluvial, é possível observar, primeiramente, uma redução de cerca de 7% no comprimento total dos cursos d'água que compõem a bacia hidrográfica, tanto nos recortes temporais de maio e dezembro de 2009, que obtiveram o mesmo valor, quanto em outubro de 2010, que apresentou leve incremento na extensão.

O comprimento do canal principal não apresentou variação significativa, mantendo o resultado em torno de 3,3 a 3,4 kms, com oscilações entre o ano de 2009 e 2010, possivelmente associadas à variações no nível d'água da represa, onde o curso fluvial deságua.

Tendo em vista a manutenção dos valores obtidos para a extensão do curso d'água principal, em comparação com o recorte temporal de 2007, podem ser estabelecidas algumas explicações para a redução do comprimento total dos cursos d'água da bacia hidrográfica em estudo. A principal causa pode ser atribuída, entre outros fatores, a realização de extensas intervenções nos canais fluviais da bacia hidrográfica, associados à implantação do empreendimento. Foram identificados, com base na fotointerpretação, 73 segmentos de canais fluviais com desvios impostos por dispositivos de drenagem, como retificações, canalizações e tamponamentos.

Juntos, estes dispositivos somam 9,8 km de extensão, equivalente a 30% da extensão total de cursos d'água na bacia hidrográfica em estudo. O maior trecho com desvio apresenta 610 metros de extensão, ao passo que o menor, possui apenas 11,2 metros, compondo uma extensão média dos desvios em torno de 100,0 metros.

QUADRO 13 – Geindicadores aplicados à fase de Intervenção Ativa - Morfologias Antropogênicas (2009 e 2010).

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Parâmetro espaço-temporal	Valores Obtidos
Sistema Fluvial	Canal Fluvial	Morfológico/ Morfométrico	Extensão total	32,11 km (maio e dezembro de 2009) 32,24 km (outubro de 2010)
			Padrão e direção	Dendrítico – N/NE-S/SO No acesso entre a Rod. Anchieta e o Rodoanel Trecho Sul, com o aterramento da planície e a implantação das estruturas de drenagem, alguns cursos fluviais passaram a percorrer no sentido O-L.
			Declividade média	Determinada com base no MDT: 18° para toda a hidrografia da área de estudo 5,0° para o curso principal
			Extensão do canal principal	3,31 km (maio e dezembro de 2009) 3,44 km (outubro de 2010)
			Perfil longitudinal do canal principal	Perfil característico de equilíbrio, com rupturas nos locais de confluência de outros cursos fluviais, em ponto de inflexão do rio principal e no contato com a planície fluvial. Neste último ponto destacam-se, ainda, diversas intervenções antrópicas, que conferem maior complexidade à área.
			Desvio e secamento de canais fluviais para instalação de estruturas – Nº, extensão e localização	73 trechos com desvios 9,8 km de cursos fluviais com desvios 30% da extensão total de canais fluviais na BH Implantação de diversas modificações nos talvegues dos cursos fluviais, sobretudo na intersecção entre o Trecho Sul do Rodoanel e a Rodovia Anchieta.
			Aterramento de canais e nascentes – Extensão, localização e estruturas associadas	Não foram identificados aterramentos de cursos d'água e de nascentes na área de estudo. Alguns dos locais de dúvida foram checados em campo, e extrapolaram-se as observações para os demais pontos não acessados na visita
	Lacustre	Morfológico/ Morfométrico	Área total dos corpos d'água	10,03 ha
			Perímetro total dos corpos d'água	3,07 km
			Aterramento de corpos d'água – Área, localização e estruturas associadas	Não foram identificados corpos d'água aterrados pela implantação do empreendimento.
	Planície Fluvial	Morfológico/ Morfométrico	Área e perímetro da planície fluvial	A: 30,56 ha P: 6,9 km
			Distribuição da planície fluvial	Ocupação da porção intermediária da planície fluvial por diversos usos, dentre os quais destacam-se a expansão do Jd. Jussara, da Vila Balneária e a implantação da rodovia. Isolamento de alguns trechos da planície localizados mais à montante, e manutenção dos trechos de jusante.

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Parâmetro espaço-temporal	Valores Obtidos
Sistema Fluvial	Planície Fluvial	Morfológico / Morfométrico	Aterramento da planície fluvial – Área e estruturas associadas	Observou-se a supressão de 6,45 ha de planície fluvial em função da implantação do empreendimento. Estão associadas estruturas de aterro e a instalação de dispositivos de drenagem para redirecionamento dos fluxos. Considerou-se apenas a supressão associada diretamente ao empreendimento.
			Área e perímetro de terraço fluvial	A: 0,46 ha P: 357,14 m
			Distribuição dos terraços fluviais	Dentre os terraços fluviais identificados na bacia hidrográfica em estudo, apenas aquele localizado mais à jusante manteve-se pouco alterado. Os demais, localizados no trecho intermediário, foram ocupados por usos antrópicos, em especial, dois deles localizados no acesso entre o Rodoanel e a Rod. Anchieta.
			Aterramento de terraço fluvial – Área e estruturas associadas	Para implantação do acesso entre o Trecho Sul do Rodoanel e a Rod. Anchieta, localizado grande parte em área de planície fluvial, foram aterrados dois terraços fluviais, totalizando 0,9 ha de área suprimida. Os demais terraços, suprimidos ou reduzidos por outros usos, não foram incluídos no cálculo.
		Materiais	Área total e distribuição da cobertura vegetal	A: 9,73 ha 31% da área total da planície. Aumento significativo na área de cobertura vegetal instalada na planície, associada à retração da área alagada da represa e ao restabelecimento da vegetação, em alguns pontos com porte arbóreo.
			Área e distribuição dos padrões de cobertura vegetal (padrão higrófila e arbóreo)	Ahigrófila: 3,8 ha Aveg. Adensada: 3,0 ha Aveg. de baixa densidade: 3,0 ha Distribuição centrada principalmente na maior porção emersa da planície fluvial, na sub-bacia hidrográfica Jd. Jussara/Vila Balneária, com grande área de higrófila e de cobertura vegetal de baixa densidade.
			Ocorrência e distribuição de áreas desmatadas /solo exposto	Área com conversão de uso: 1,6 ha Envolvendo a conversão de cobertura vegetal para solo exposto, acesso viário, pasto, pasto com vegetação arbustiva, chácara e urbano residencial. As áreas estão distribuídas sem um padrão específico, destacando-se a maior incidência da conversão para solos expostos na faixa de impactos diretos do empreendimento.

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Parâmetro espaço-temporal	Valores Obtidos
Sistema Fluvial	Planície Fluvial	Materiais	Número e área de aterros na planície	Nº de aterros: 33 A: 25,23 há As áreas dos aterros variam ligeiramente durante os recortes temporais da fase ativa, sendo possível a delimitação mais precisa destas estruturas e a aplicação do geoindicador com base na fotografia aérea de 2010.
			Largura e profundidade dos aterros	Tendo em vista a ausência de dados tridimensionais ou de projeto para elaboração desta estimativa, foram levantadas apenas as medidas mais significativas dentre os aterros identificados. Maior aterro: L: 135 m; P: 2 km No centro da área de estudo, na planície fluvial ocupada pelo acesso entre o Rodoanel e a Anchieta, com. Menor aterro: L: 20 m; P: 86 m Próximo ao anterior, na planície fluvial, atuando como base para a instalação de OAE para um dos acessos à Rodovia Anchieta.
Sistema de Vertentes	Conjunto de vertentes e unidades de vertente	Materiais	Área e distribuição da cobertura vegetal no total e em relação aos padrões predominantes	Nas vertentes: A total: 173 ha 48% da área total de morfologias de vertente Aveg. de baixa densidade: 53 ha Aveg. adensada: 120 ha Distribuição uniforme na área de estudo exceto nos locais interceptados pelo empreendimento e com usos residenciais e urbano-industriais adensados. Nos topos: A total: 49,5 ha 40% da área total de morfologias de vertente Aveg. de baixa densidade: 7,9 ha Aveg. adensada: 41,5 ha Distribuição em toda a área de estudo, porém concentração nos topos mais preservado, nos divisores principais e secundários da porção oeste da bacia. Nos topos intersectados pela rodovia, não se observa cobertura vegetal arbórea.

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Parâmetro espaço-temporal	Valores Obtidos
Sistema de Vertentes	Conj. de vertentes e unidades de vertente	Materiais	Ocorrência e distribuição de áreas desmatadas / solo exposto	<p>Nas vertentes: Área total com conversão de usos: 49 ha (cerca de 14% da área total da morfologia) Destes, 40,25 ha (equivalente a 82% do total de área convertida) possuem relação direta com o empreendimento, como corte e aterro e, sobretudo, solo exposto, que sozinho apresentou área de conversão de aproximadamente 15,5 ha.</p> <p>Nos topos: Área total com conversão de usos: 12,8 ha (cerca de 10% da área total desta morfologia) Sendo 9,20 ha (equivalente a 70% do total de área convertida) diretamente relacionados com a implantação do empreendimento, com destaque para os cortes, substituindo 6,5 ha de cobertura vegetal nestes setores.</p>
			Número e área de cortes nas vertentes	<p>Nº de cortes: 46 A: 31,36 ha As áreas ocupadas pelas estruturas de corte nos diferentes recortes temporais apresentaram variações decorrentes das mudanças nos usos da terra. Com a consolidação da obra, tornou-se possível visualizar o conjunto destas estruturas e aplicar o respectivo geoindicador.</p>
			Altura e largura dos cortes	<p>Diretriz de altura máxima de 40 m, conforme o EIA do empreendimento (FESPSP, 2004). E largura máxima observada em corte localizado na porção central da área de estudo, com aproximadamente 400 m de largura.</p>
		Processos	Ocorrência, área e localização de processos erosivos, movimentos de massa e queda de blocos	<p>Não foram verificados, com base na imagem de satélite, processos erosivos ou movimentos de massa diretamente associados ao empreendimento, durante as fases de implantação. No entanto, o aporte de sedimentos à jusante e o aumento da área de solo exposto na planície pode ser um indicador do aumento da carga de sedimento transportada pelos canais.</p>
Bacia Hidrográfica		Morfológico/ Morfométrico	Área	494,08 ha
			Perímetro	12 km
			Forma	Retangular a circular. Razão comprimento/largura de 1,93
			Direção predominante	N-S / NE-SO
			Densidade de Drenagem	6,49 km/km ²
			Coeficiente de Manutenção	0,15 km ² /km

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Parâmetro espaço-temporal	Valores Obtidos
Bacia Hidrográfica		Materiais	Área e distribuição da cobertura vegetal ⁷	<p>Atotal: 235,78 ha Ahigrófila: 4,92 ha Aveg. Adensada: 167,11 ha Aveg. de baixa densidade: 63,73 ha O padrão de distribuição da cobertura vegetal apresenta semelhança com os recortes temporais anteriores. No entanto, a expansão dos usos residenciais, industriais, de serviços e, sobretudo, com a implantação da rodovia, acarretaram na redução (cerca de 23%) da área total ocupada por estas categorias.</p>
			Mudanças no uso da terra e cobertura vegetal associadas à rodovia	<p>Em relação aos usos da terra obtidos para a área de estudo no recorte temporal de 2007, tivemos uma mudança total de 120 ha (25% da área total da bacia hidrográfica). Deste, 78,3 ha estão diretamente associados a mudanças promovidas pela implantação do empreendimento, equivalente a 15% da área de estudo.</p>

As Figuras 32 a 35, a seguir, apresentam exemplos de dispositivos de drenagem verificados no interior da área de estudo, durante o trabalho de campo.



Figura 32. Visão dispositivos de drenagem 1. Dispositivos de drenagem direcionados para caixa coletora na parte inferior da fotografia. Localizada na planície fluvial intersectada pelo acesso Rodoanel – Anchieta.



Figura 33. Visão dispositivos de drenagem 2. Manilha de grande calibre, responsável pelo redirecionamento dos fluxos da lateral direita da planície fluvial sobreposta pelo acesso Rodoanel – Anchieta.



Figura 34. Visão dispositivos de drenagem 3. Dispositivos de drenagem localizadas na planície fluvial da sub-bacia hidrográfica Jd. Vista Alegre, direcionando os fluxos para fora da Rodovia, no sentido da represa.



Figura 35. Visão dispositivos de drenagem 4. Canaleta de drenagem direcionando os fluxos provenientes dos anfiteatros côncavos amplos, com pátio de veículos ao fundo e aterro com materiais excedentes da obra, ao lado.

A maior parte dos desvios e dispositivos de drenagem se encontra concentrada no eixo do acesso entre o Trecho Sul do Rodoanel e a Rodovia Anchieta, por se tratar de área de planície fluvial aterrada, com alta densidade de drenagem. Ao longo do eixo principal, são observados alguns dispositivos de drenagem, redirecionando os fluxos para fora do corpo estradal e em direção à planície fluvial e à represa.

No entanto, o número de intervenções nos cursos d'água que intersectam o eixo principal, é significativamente menor, diante das características da rodovia nestes trechos, com maior número de Obras de Arte Especiais, visando diminuir a interferência em relação à hidrografia e a planície fluvial.

Desta forma, o canal principal e o curso d'água que percorre lateralmente o Jd. Jussara, aparentemente, não sofreram mudanças significativas em seu percurso, pois já apresentavam retificações em parte de seu talvegue, principalmente no ponto de confluência de ambos, no início da planície fluvial. Neste sentido, foi possível observar que, para a bacia hidrográfica em estudo, a utilização dos geoindicadores relacionados ao canal principal (extensão, declividade média e perfil longitudinal), não apresentaram resultados relevantes do ponto de vista da identificação e caracterização dos impactos associados à rodovia.

É importante ressaltar, também, que não apenas as características do curso d'água principal, já com significativas interferências em seu talvegue anteriores à implantação da rodovia, mas também a intersecção deste por Obra de Arte Especial, conformam conjuntura específica, tornando estes geoindicadores menos adequados aos objetivos da pesquisa.

Ainda assim, durante o trabalho de campo, verificou-se neste trecho de confluência entre os dois cursos d'água, a ocorrência de impactos associados à implantação do empreendimento, porém abarcados por outros geoindicadores, aplicados na fase de intervenção consolidada.

Em relação à direção dos canais fluviais, observou-se o redirecionamento de alguns cursos, no sentido Leste-Oeste. Ao longo do trecho de intersecção entre o Rodoanel e a Rodovia Anchieta, por se tratar de aterro na planície fluvial, o curso d'água de maior hierarquia foi redirecionado para a lateral esquerda da rodovia (sentido montante-jusante), por meio de canaleta de drenagem de grande porte, tornando igualmente necessário o desvio de seus tributários, que passaram a percorrer no sentido Oeste-Leste. No restante da área de estudo, no entanto, mantiveram-se os fluxos com direção predominante de Norte para Sul.

O mapeamento da rede hidrográfica original ou semi-preservada e de sua configuração antropogênica, realizado durante a aplicação dos geoindicadores nas diferentes fases de intervenção, permitiu observar o impacto significativo dos dispositivos de drenagem nas formas, materiais e processos dos sistemas fluviais, redirecionando os fluxos, aumentando a ocorrência de processos erosivos à jusante e no contato entre os materiais, e influenciando em parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica como um todo.

Desta forma, sua utilização mostrou-se fundamental à caracterização e compreensão dos efeitos e impactos da rodovia no sistema geomorfológico, e mais especificamente, dos dispositivos de drenagem.

As Figuras 36 e 37 apresentam a canaleta de drenagem com o curso de maior hierarquia da sub-bacia hidrográfica, responsável pela junção dos fluxos redirecionados para a lateral esquerda da planície fluvial e por sua condução até bacia de retenção de sedimentos, localizada na interface com o espelho d'água da represa.



Figura 36 – Visão dos dispositivos de drenagem 5

Descrição: Canaleta de drenagem sentido montante jusante e aterro na lateral direita da fotografia.



Figura 37 – Visão dos dispositivos de drenagem 6

Descrição: Fotografia aérea oblíqua da canaleta de drenagem em sua extensão final, na intersecção com o Trecho Sul do Rodoanel, adentrando manilha responsável pela condução dos fluxos para bacia de contenção de sedimentos.

Fonte: EMPLASA / Fundação SEADE / IF / Dersa / Secretaria de Economia e Planejamento. Projeto de Monitoramento do Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas. Fotografias obtidas em sobrevôo de helicóptero, 01/09/2010.

Apesar da quantidade significativa de movimentações de terra, como a implantação e consolidação de cortes e aterros, não foram identificadas supressões ou aterramentos de cursos d'água ou nascentes. Tal situação pode ser atribuída à localização da bacia hidrográfica em estudo em Área de Proteção de Mananciais, regida por Lei Específica (Lei nº 13.579 de 13 de julho de 2009), que poderia representar problemas de ordem legal ao empreendimento, caso fossem promovidos tais tipos de interferência.

Durante o trabalho de campo foram verificados alguns dos trechos com possíveis aterramentos de canais fluviais e nascentes, levantados com base na interpretação das imagens de satélite e fotografias aéreas, constatando-se a ocorrência de desvios dos fluxos por meio de canalizações, escadarias d'água e tamponamentos. Apesar de nem todos os

pontos de dúvida terem sido visitados, por motivos diversos que impediram seu acesso, extrapolou-se o que foi verificado nos demais locais, desconsiderando-se, assim, a ocorrência de supressão e aterramento de cursos fluviais e nascentes na área de estudo.

Em relação ao sub-sistema da planície fluvial, é possível observar a ocupação de parte de sua área por usos da terra diversos, alguns dos quais, com impactos significativos no sistema geomorfológico. A expansão do Jd. Jussara e dos estabelecimentos comerciais da Vila Balneária, bem como a implantação do Rodoanel, são alguns dos usos que promoveram mudanças mais significativas em sua área original ou semi-preservada, em especial este último, cuja ocupação da planície se deu, em sua maioria, por meio de aterros, com destaque para a intersecção entre o Trecho Sul do Rodoanel e a Rodovia Anchieta, suprimindo aproximadamente 6,45 hectares desta morfologia.

Em cada recorte temporal, foram identificadas diferentes áreas de aterros na bacia hidrográfica em estudo, uma vez que se adotou o uso da terra como base para análise das mudanças. Assim, a interpretação das fotografias aéreas sem estereoscopia e de imagens de satélite, permitiu apenas a visualização dos usos superficiais na área de estudo, desconsiderando em alguns casos, as estruturas associadas, como aterros e cortes.

Com a consolidação do empreendimento, as categorias de uso da terra na faixa diretamente afetada pelo empreendimento se tornaram mais visíveis, possibilitando a delimitação e quantificação destas estruturas. Assim, foram observados 33 aterros na área de estudo, totalizando 25,2 hectares, equivalentes à 5% da área da bacia hidrográfica em estudo e à 30% da faixa diretamente afetada pelo empreendimento.

Nos sistemas de vertente, o número e a área ocupada pelos cortes obteve igual variação ao longo dos recortes temporais da fase de intervenção ativa, sendo possível a delimitação de seu conjunto com base na data de 2010. Foram identificados 46 cortes na área de estudo, ocupando aproximadamente 31,4 hectares, e em termos percentuais, 7% da área total da bacia hidrográfica ou 37% da faixa diretamente afetada pelo empreendimento.

No total, a área ocupada por cortes e aterros durante a fase de intervenção ativa obteve valor de 56,60 ha, equivalente a 11% do total da área de estudo e 67% da faixa diretamente afetada pela implantação da rodovia.

A instalação dos dispositivos de drenagem, combinada aos cortes e aterros e demais estruturas associadas à rodovia, acarretou mudanças significativas na bacia hidrográfica em estudo. A densidade de drenagem, por exemplo, apresentou redução para 6,49 km/km², em comparação com o resultado de 6,97 km/km² obtido no recorte temporal da fase pré-intervenção, estando relacionada, principalmente, à simplificação na geometria dos canais fluviais, imposta pela implantação dos dispositivos de drenagem.

A análise da cobertura vegetal e dos usos da terra na bacia hidrográfica permitiu observar, ainda, que ao menos 120 hectares, ou 25% da área de estudo, apresentaram

mudanças significativas no uso da terra entre a fase pré-intervenção e os recortes temporais da fase de intervenção ativa.

Fase de Intervenção Consolidada

A fase de intervenção consolidada apresentou resultados similares aos obtidos o recorte temporal de 2010, uma vez que este já apresentava a rodovia em operação, porém ainda com áreas de canteiro de obras, em processo de desativação, e com algumas estruturas de corte e aterro sem instalação dos dispositivos de proteção superficial.

O Quadro 14, disposto a seguir, apresenta os resultados obtidos para os geoindicadores aplicados nesta fase.

Assim, para o sub-sistema de canais fluviais, obtiveram-se resultados semelhantes para os parâmetros: extensão de canais, padrão e direção, declividade média, extensão e perfil longitudinal do canal principal, e número e extensão dos dispositivos de drenagem. Em relação a este último, cabe destacar que, a equivalência dos resultados dialogou com os referenciais teórico-metodológicos da pesquisa, em especial com IPT / Fornasari Filho et al. (1992), no aspecto da existência de fase específica de implantação dos dispositivos de drenagem, anterior à realização das obras de proteção superficial, do tratamento do corpo estradal e, finalmente, da instalação dos equipamentos e dispositivos de segurança.

Neste sentido, verificou-se que o primeiro recorte temporal da fase de intervenção ativa, de maio de 2009, obteve mesmo resultado para este geoindicador (desvio e interceptação de canais fluviais), tratando-se, assim, de fase posterior à implantação dos dispositivos de drenagem.

Os demais recortes temporais, desta forma, relacionaram-se às fases posteriores de implantação do empreendimento, demonstrando que, entre a data de 2007, referente à fase pré-intervenção e a data de maio de 2009, utilizada como primeiro recorte da fase de intervenção consolidada; parte significativa das perturbações associadas à obra já havia sido realizada, como a remoção da cobertura vegetal, as movimentações de terra para abertura de acessos e para estruturação dos cortes e aterros, a mobilização do canteiro de obras e, finalmente, a instalação dos dispositivos de drenagem.

A indisponibilidade de materiais durante este intervalo, no entanto, representou limitação à análise destas fases de intervenção da obra, reduzindo as contribuições da aplicação dos geoindicadores a um intervalo mais restrito. Ainda assim, o resultado obtido permitiu observar uma possível ocorrência bem marcada destas fases de implantação de rodovias, conforme bibliografia pesquisada, demonstrando a existência de uma temporalidade específica, fundamental de ser considerada nos estudos ambientais dedicados à avaliação e monitoramento destes empreendimentos, em especial, no que tange ao meio físico.

QUADRO 14 – Geoindicadores aplicados à fase de Intervenção Consolidada - Morfologias Antropogênicas (2012).

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Parâmetro espaço-temporal	Valores Obtidos
Sistema Fluvial	Canal Fluvial	Morfológico/ Morfométrico	Extensão total	32,24 km
			Padrão e direção	Dentrítico – N/NE-S/SO Com as mesmas características do recorte temporal anterior, em relação ao redirecionamento dos fluxos pelos dispositivos de drenagem, predominantemente no sentido O-L.
			Declividade média	Determinada com base no MDT: 17,4° para toda a hidrografia da área de estudo 4,8° para o curso principal
			Extensão do canal principal	3,44 km
			Perfil longitudinal do canal principal	Configuração semelhante ao perfil longitudinal derivado dos recortes temporais da fase de intervenção ativa. Rupturas nas confluências, na inflexão próxima à nascente e no trecho coincidente com o início da planície fluvial.
			Desvio e secamento de canais fluviais para instalação de estruturas – N ^o , extensão e localização	73 segmentos com desvios 9,8 km de cursos fluviais com desvios 30% da extensão total de canais fluviais na BH Mesmo resultado obtido para a fase de intervenção ativa, tendo em vista se tratar de recorte posterior a implantação destes dispositivos.
			Aterramento de canais e nascentes – Extensão, localização e estruturas associadas	Não foram identificados aterramentos de cursos d'água e de nascentes na área de estudo. Alguns dos locais de dúvida foram checados em campo, e extrapolaram-se as observações para os demais pontos não acessados na visita.
	Lacustre	Morfológico/ Morfométrico	Área total dos corpos d'água	8,12 ha
			Perímetro total dos corpos d'água	2,38 km
			Aterramento de corpos d'água – Área, localização e estruturas associadas	Não foram identificados corpos d'água aterrados pela implantação do empreendimento.
	Planície Fluvial	Morfológico/ Morfométrico	Área e perímetro da planície fluvial	A: 30,46 ha P: 7,27 km
			Distribuição da planície fluvial	Configuração similar daquela apresentada nos recortes temporais da fase de intervenção ativa. Isolamento de alguns trechos da planície em sua porção de montante, próximos ao Jd. Jussara.

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Parâmetro espaço-temporal	Valores Obtidos
Sistema Fluvial	Planície Fluvial	Morfológico / Morfométrico	Aterramento da planície fluvial – Área e estruturas associadas	Obteve-se área remanescente de planície fluvial com valor muito semelhante à fase de intervenção ativa, com 0,10 ha (1.000 m ²) adicionais de supressão. Este valor está possivelmente associado ao incremento na área de aterros verificados para fase.
			Área e perímetro de terraço fluvial	A: 0,40 ha P: 399,1 m
			Distribuição dos terraços fluviais	Manutenção do único terraço identificado no recorte temporal anterior, localizado à jusante do empreendimento, na margem esquerda do canal principal.
			Aterramento de terraço fluvial – Área e estruturas associadas	Verificou-se pequena supressão de parte do terraço fluvial remanescente, porém associada à expansão das chácaras e usos residenciais em seu entorno, não sendo considerada no cálculo dos impactos do empreendimento.
		Materiais	Área total e distribuição da cobertura vegetal	A: 3,32 ha 10,67% da área total da planície Redução de 65,12% em relação à área de cobertura vegetal verificada na fase anterior, associada à expansão de áreas de campo antrópico. Distribuição em geral irregular, porém maior concentração nas bordas da planície, junto ao contato com o sistema de vertentes.
			Área e distribuição dos padrões de cobertura vegetal (padrão higrófila e arbóreo)	Ahigrófila: 1,15 ha Aveg. Adensada: 1,30 ha Aveg. de baixa densidade: 0,87 ha Ocorrência dispersa dos tipos de cobertura vegetal na planície. Destaque à área de higrófila próxima da foz do canal principal e de cobertura vegetal de baixa densidade em sua confluência com curso d'água proveniente do Jd Jussara.
			Ocorrência e distribuição de áreas desmatadas /solo exposto	Área com conversão de uso: 2,55 ha Em relação ao recorte temporal anterior, foi identificada a conversão de áreas de cobertura vegetal para campo antrópico, campo antrópico com vegetação arbustiva e solo exposto, distribuídas de forma irregular na planície, principalmente ao longo do canal principal e próximo a sua foz na represa.
			Número e área de aterros na planície	Nº de aterros: 33 A: 29,10 ha
			Largura e profundidade dos aterros	Apesar da área total ocupada pelos aterros ter aumentado nesta fase de intervenção ativa, as estruturas com maior e menor dimensão no contexto da área de estudo, permaneceram as mesmas, com incremento de área em pontos específicos.

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Parâmetro espaço-temporal	Valores Obtidos
Sistema de Vertentes	Conjunto de vertentes e unidades de vertente	Materiais	Área e distribuição da cobertura vegetal no total e em relação aos padrões predominantes	<p>Nas vertentes: Atotal: 160,87 ha; 44% da área total de morfologias de vertente. Aveg. de baixa densidade: 58,81 ha Aveg. adensada: 102,05 ha Semelhante à fase de intervenção ativa, com redução concentrada principalmente no acesso aos bairros Sabesp e Estudantes, reorganizado pelo empreendimento.</p> <p>Nos topos: A total: 49,09 ha 62,4% da área total de morfologias de topos. Aveg. de baixa densidade: 8,85 ha Aveg. adensada: 40,24 ha. Distribuição uniforme na área de estudo, com concentração nos divisores interfluviais secundários. Ausência de cobertura vegetal nos topos contíguos ao empreendimento, segmentos pela implantação dos cortes.</p>
			Ocorrência e distribuição de áreas desmatadas / solo exposto	<p>Nas vertentes: Área com conversão de usos: 47 ha Em relação à fase anterior foram convertidos 47 ha de cobertura vegetal em novos usos, sendo 6,50 ha (14% do total de área convertida) com relação direta ao empreendimento.</p> <p>Nos topos: Área com conversão de usos: 4,9 ha Sendo 0,8 ha diretamente relacionados à implantação e operação da rodovia (equivalentes a 16% do total de área convertida), distribuídos entre as categorias de intervenção do empreendimento instalas nesta categoria.</p>
			Número e área de cortes nas vertentes	<p>Nº de cortes: 46 A: 31,46 ha</p>
			Altura e largura dos cortes	<p>H: 40 m; L: até 400 m Apesar de leve incremento na área ocupada pelos cortes, as dimensões máximas destas estruturas se mantiveram as mesmas, tendo em vista as características desta fase de intervenção, que apresenta a maior parte dos cortes e aterros já em estado consolidado.</p>

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Parâmetro espaço-temporal	Valores Obtidos
Sistema de Vertentes	Conjunto de vertentes e unidades de vertente	Processos	Ocorrência, área e localização de processos erosivos, movimentos de massa e queda de blocos	Não foram verificados processos erosivos com base na imagem de satélite, possivelmente devido a restrições em sua resolução espacial. No entanto, durante o trabalho de campo, foram observados pontos com ocorrência de tais processos na interface entre o material de aterros e cortes e as estruturas da rodovia, principalmente dispositivos de drenagem.
Bacia Hidrográfica		Morfológico/ Morfométrico	Área	494,08 ha
			Perímetro	12 km
			Forma	Retangular a circular. Razão comprimento/largura de 1,93.
			Direção predominante	N-S / NE-SO
			Densidade de Drenagem	6,52 km/km ²
			Coefficiente de Manutenção	0,15 km ² /km
		Materiais	Área e distribuição da cobertura vegetal	Atotal: 217,26 ha Ahigrófila: 3,15 ha Aveg. Adensada: 160,0 ha Aveg. de baixa densidade: 54,11 ha Redução de 18 ha em relação à fase anterior (8%) Com ocorrência significativa em grande parte da área de estudo. Observa-se concentração nos pontos de menor ocupação urbana, com grandes áreas de supressão ao longo dos eixos das rodovias, do pátio de veículos e do Jardim Jussara, Sabesp, Estudantes e Areião.
			Mudanças no uso da terra e cobertura vegetal associadas à rodovia	Em relação à fase anterior, verificou-se conversão total de 79,5 ha (16% da área total da bacia hidrográfica), sendo 7,0 ha diretamente associados às mudanças promovidas pela implantação do empreendimento nesta fase, equivalente a menos de 1,5% da área de estudo.

Em relação aos cortes e aterros, obteve-se leve incremento na área total ocupada por estas duas estruturas na fase de intervenção consolidada, cuja causa pode ser atribuída a diversos fatores, como a realização de ajustes nestas estruturas ou a maior clareza na visualização de seus limites após a consolidação do empreendimento.

O número de aterros manteve-se constante (33) em comparação com os recortes temporais das fases de intervenção ativa, com mudanças em termos de sua área total para 29,10 ha, ocupando aproximadamente 6% da área total da bacia hidrográfica, e 35% da faixa diretamente afetada pelo empreendimento. Da mesma forma, a ocorrência de cortes apresentou mesmo valor que os recortes temporais anteriores (46), distribuídos em área ligeiramente superior de 31,5 ha, equivalentes à 6% do total da área de estudo ou 37% da faixa diretamente afetada pela rodovia.

A somatória destas duas estruturas, resultou em área de 60,57 ha, aproximadamente 4 ha superior ao valor obtido na fase de intervenção ativa, representando 12% da área total da bacia hidrográfica em estudo, ou 72% do total da faixa diretamente afetada pelo empreendimento.

Cabe ainda destacar os resultados obtidos para o geoindicador relacionado à ocorrência de processos erosivos nas vertentes. A resolução espacial da imagem de satélite de 2012, de cerca de 1 metro, utilizada para mapeamento dos usos da terra e posterior aplicação dos geoindicadores, pode ter atuado como fator limitante na identificação de processos erosivos durante a fase de intervenção consolidada, uma vez que não foram identificados pontos com a ocorrência de feições erosivas.

No entanto, durante o trabalho de campo foram observados alguns locais de ocorrência de tais processos, no interior da bacia hidrográfica em estudo e, mais especificamente, na faixa diretamente afetada pelo empreendimento. A grande maioria destes apresentou associação direta com as estruturas da rodovia, localizando-se predominantemente nos pontos de contato entre o material mobilizado nos cortes e aterros e as estruturas de concreto dos dispositivos de drenagem ou das Obras de Arte Especiais, como viadutos e pontes, dialogando com algumas das bibliografias acessadas durante a etapa de pesquisa bibliográfica, com destaque para Nir (1983).

As Figuras 38 a 40 apresentam alguns dos locais onde foram observados tais processos. Ressalta-se que tais ocorrências foram verificadas predominantemente no contato com estruturas de aterro na planície fluvial e, mais especificamente, no acesso entre o Rodoanel e a Rodovia Anchieta, cuja alta densidade de drenagem combinada às características geométricas, resultou em local de grande complexidade morfológica e de materiais.



Figura 38 - Registro de processos erosivos 1
 Processo erosivo observado na interface entre o material do aterro, na lateral, e o material da escada hidráulica, ao centro. Ponto localizado na planície fluvial, no acesso Rodoanel – Anchieta.



Figura 39 - Registro de processos erosivos 2
 Outro ponto com processo erosivo no contato entre escada hidráulica e aterro, localizado na porção central da área de estudo, em planície fluvial intersectada pelo acesso Rodoanel – Rodovia Anchieta.



Figura 40 – Registro de processos erosivos 3
 Descrição: Deslocamento de material de aterro, associado ao contato com a estrutura de concreto do viaduto. Localização na planície fluvial, no acesso do Rodoanel Mário Covas à Rodovia Anchieta.

Com base nos resultados obtidos em relação a este geoindicador (ocorrência, área e localização de processos erosivos), e as limitações entre as diferentes técnicas empregadas para sua medição (via sensoriamento remoto e em campo), verificou-se o papel fundamental desempenhado pelo trabalho de campo na aplicação e medição de alguns geoindicadores, principalmente aqueles de expressão espacial mais restrita, de maior detalhe. São eles:

- Desvio e secamento de canais fluviais (fase de intervenção ativa);
- Aterramento de canais fluviais (fase de intervenção ativa);
- Aterramento de nascentes (fase de intervenção ativa);

- Intercepção de canais fluviais, tipo e estruturas associadas (fase de intervenção consolidada);
- Retificação, canalização ou tamponamento dos canais fluviais (fase de intervenção consolidada);
- Intercepção ou supressão de nascentes (fase de intervenção consolidada);
- Frequência, tipo e localização de processos erosivos.

Recomenda-se a checagem de campo dos geoindicadores de canal fluvial incluídos acima, tendo em vista, não apenas possíveis limitações escalares dos materiais utilizados em gabinete, mas principalmente por sua grande complexidade espacial, envolvendo, por exemplo, fluxos subterrâneos.

Da mesma forma, a identificação e aplicação dos geoindicadores número, área e volume de cortes e número, área e volume de aterros, pode ser complementada pela checagem em campo, uma vez que, apesar da dimensão destas estruturas, a dimensão entre ambas, com base em produtos de sensoriamento remoto, por exemplo, pode apresentar limitações e resultar em análises equivocadas.

Durante o trabalho de campo observou-se, ainda, a ocorrência de solo exposto e material inconsolidado na planície fluvial do curso d'água principal, na confluência com curso fluvial que percorre a lateral do bairro Jd. Jussara.

Apesar de a intervenção do empreendimento neste ponto ser de menor dimensão, tendo em vista a transposição da planície por Obra de Arte Especial, verificou-se na fotografia aérea de 2007, referente à fase pré-intervenção, sua ocupação com cobertura vegetal de porte arbustivo, possivelmente suprimida durante a implantação da rodovia, pela circulação de veículos, instalação de canteiros de obras secundários e sua utilização como pátio de vigas, usos estes, identificados nos mapeamentos de uso da terra durante a fase de intervenção ativa.

A Figura 41, abaixo, refere-se à fotografia panorâmica tomada neste local, apresentando o curso principal na porção inferior da imagem, bem como o Trecho Sul do Rodoanel e o Jardim Jussara ao fundo.



Figura 41 – Registro da planície fluvial do curso d'água principal

Descrição: Áreas com solo exposto e material inconsolidado localizadas na planície fluvial do canal principal, no ponto de confluência deste, com curso d'água proveniente de cabeceira próxima ao Jd. Jussara.

Por fim, para concluir a etapa de aplicação dos geoindicadores nas diferentes fases de intervenção do empreendimento no meio físico, foram sistematizados em tabela única, os resultados obtidos para os diferentes recortes temporais.

Os geoindicadores aplicados a apenas uma das fases de intervenção, como aqueles derivados do Modelo Digital de Terreno para o sistema de vertentes (declividade média, comprimento de rampa, orientação predominante das vertentes, etc.), foram suprimidos, por não apresentarem possibilidade de comparação com os resultados obtidos para os demais recortes.

O Quadro 15, disposto na página seguinte, apresenta a sistematização de tais geoindicadores.

QUADRO 15 – Valores obtidos os geoindicadores aplicados para cada fase de intervenção do empreendimento na bacia hidrográfica estudada.

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Geoindicador	Valores Obtidos			
				MO	MA Pré-Intervenção	MA Ativa	MA Consolidada
Sistema Fluvial	Canal Fluvial	Morfológico / Morfométrico	Extensão total	34,74 km	34,44 km	32,11 km (maio e dezembro de 2009) 32,24 (outubro de 2010)	32,24 km
			Padrão e direção	Dendrítico - N-S/SO	Dendrítico - N-S/SO	Dentrítico – N/NE-S/SO No acesso entre a Rod. Anchieta e o Rodoanel Trecho Sul, com o aterramento da planície e a implantação das estruturas de drenagem, alguns cursos fluviais passaram a percorrer no sentido O-L	Dentrítico – N/NE-S/SO Com as mesmas características do recorte temporal anterior, em relação ao redirecionamento dos fluxos pelos dispositivos de drenagem, predominantemente no sentido O-L.
			Declividade média (determinada com base no MDT)	20° para toda a hidrografia da área de estudo 5,2° para o curso principal	18° para toda a hidrografia da área de estudo e 4,6° para o curso principal	18° para toda a hidrografia da área de estudo 5,0° para o curso principal	17,4° para toda a hidrografia da área de estudo 4,8° para o curso principal
			Extensão do canal principal	2,48 km	3,39 km	3,31 km (maio e dezembro de 2009) 3,44 km (outubro de 2010)	3,44 km
			Perfil longitudinal do canal principal*	Perfil característico de equilíbrio, com rupturas nos locais de confluência de outros cursos fluviais e em ponto com inflexão do rio principal, alterando o sentido da drenagem.	Perfil característico de equilíbrio, com rupturas nas confluências com outros cursos d'água, em ponto de inflexão do rio principal e no contato com a planície fluvial, a cerca de 1.400 m.	Perfil característico de equilíbrio, com rupturas nos locais de confluência de outros cursos fluviais, em ponto de inflexão do rio principal e no contato com a planície fluvial. Neste último ponto destacam-se, ainda, diversas intervenções antrópicas, que conferem maior complexidade à área.	Configuração semelhante ao perfil longitudinal derivado dos recortes temporais da fase de intervenção ativa. Rupturas nas confluências, na inflexão próxima à nascente e no trecho coincidente com o início da planície fluvial.
			Desvio, secamento e interceptação de canais fluviais – Nº, extensão e localização	Não se aplica	Não se aplica	73 segmentos com desvios 9,8 km de cursos fluviais com desvios 30% da extensão total de canais fluviais na BH Implantação de diversas modificações nos talwegues dos cursos fluviais, sobretudo na intersecção entre o Trecho Sul do Rodoanel e a Rodovia Anchieta.	73 segmentos com desvios 9,8 km de cursos fluviais com desvios 30% da extensão total de canais fluviais na BH Mesmo resultado obtido para a fase de intervenção ativa, tendo em vista se tratar de recorte posterior a implantação destes dispositivos.
	Aterramento e supressão de canais e nascentes – Extensão, localização e estruturas associadas	Não se aplica	Não se aplica	Não foram identificados, com base nas imagens de satélite e fotografias aéreas, aterramentos aparentes de cursos d'água ou de nascentes na área e estudo. Foram levantados alguns pontos de dúvida, checados durante o trabalho de campo, referentes, no entanto, à fase de intervenção consolidada.	Não foram identificados aterramentos de cursos d'água e de nascentes na área de estudo. Alguns dos locais de dúvida foram checados em campo, e extrapolaram-se as observações para os demais pontos não acessados na visita.		
	Lacustre	Morfológico/ Morfométrico	Área total dos corpos d'água	17,03 ha	8,97 ha	10,03 ha	8,12 ha
			Perímetro total dos corpos d'água	3,49 km	2,85 km	3,07 km	2,38 km
			Aterramento e supressão de corpos d'água – Área e localização	Não se aplica	Não se aplica	Não foram identificados corpos d'água aterrados pela implantação do empreendimento.	Não foram identificados corpos d'água aterrados pela implantação do empreendimento.

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Geoindicador	Valores Obtidos			
				MO	MA Pré-Intervenção	MA Ativa	MA Consolidada
Sistema Fluvial	Planície	Morfológico/ Morfométrico	Área e perímetro da planície fluvial	A: 39,07 ha P: 10,23 m	A: 36,84 ha P: 8,99 km	A: 30,56 ha P: 6,9 km	A: 30,46 ha P: 7,27 km
			Distribuição da planície fluvial	Com grande extensão na porção de jusante, onde atinge até 590 m de largura, e forma mais alongada à montante, com larguras inferiores a 15 m. Ruptura predominantemente indefinida.	A configuração da planície fluvial se manteve similar ao recorte temporal anterior, apresentando redução de área nos locais ocupados pela expansão dos usos comerciais e indústrias da Vila Balneária, e pela consolidação do Jd. Jussara, então em fase de loteamento.	Ocupação da porção intermediária da planície fluvial por diversos usos, dentre os quais destacam-se a expansão do Jd. Jussara, da Vila Balneária e a implantação da rodovia. Isolamento de alguns trechos da planície localizados mais à montante, e manutenção dos trechos de jusante.	Configuração similar daquela apresentada nos recortes temporais da fase de intervenção ativa. Isolamento de alguns trechos da planície em sua porção de montante, próximos ao Jd. Jussara.
			Aterramento, interceptação e supressão da planície fluvial – Área e estruturas associadas	Não se aplica	Não se aplica	Observou-se a supressão de 6,45 ha de planície fluvial em função da implantação do empreendimento. Estão associadas estruturas de aterro e a instalação de dispositivos de drenagem para redirecionamento dos fluxos. Considerou-se apenas a supressão associada diretamente ao empreendimento.	Obteve-se área remanescente de planície fluvial com valor muito semelhante à fase de intervenção ativa, com 0,10 ha (1.000 m²) adicionais de supressão. Este valor está possivelmente associado ao incremento na área de aterros verificados para fase.
			Área e perímetro de terraço fluvial	A: 1,74 ha P: 1250,91 m	A: 1,33 ha P: 0,91 km	A: 0,46 ha P: 357,14 m	A: 0,40 ha P: 399,1 m
			Distribuição dos terraços fluviais	Concentrados na sub-bacia Jd. Jussara, próximos entre si e ocupando a porção média da área de estudo. Predominantemente alongados, com comprimento de até 150 m e largura de 50 a 60 m.	Dentre os quatro terraços fluviais identificados na área de estudo, apenas um sofreu modificações, sendo totalmente ocupado pelos estabelecimentos comerciais e industriais da Vila Balneária.	Dentre os terraços fluviais identificados na bacia hidrográfica em estudo, apenas aquele localizado mais à jusante manteve-se pouco alterado. Os demais, localizados no trecho intermediário, foram ocupados por usos antrópicos, em especial, dois deles localizados no acesso entre o Rodoanel e a Rod. Anchieta.	Manutenção do único terraço identificado no recorte temporal anterior, localizado à jusante do empreendimento, na margem esquerda do canal principal.
			Aterramento, interceptação e supressão de terraço fluvial – Área e estruturas associadas	Não se aplica	Não se aplica	Para implantação do acesso entre o Trecho Sul do Rodoanel e a Rod. Anchieta, localizado grande parte em área de planície fluvial, foram aterrados dois terraços fluviais, totalizando 0,9 ha de área suprimida. Os demais terraços, suprimidos ou reduzidos por outros usos, não foram incluídos no cálculo.	Foi verificada pequena supressão de parte do terraço fluvial remanescente, porém associada à expansão das chácaras e usos residenciais em seu entorno, não sendo considerada no cálculo dos impactos do empreendimento.
		Área total e distribuição da cobertura vegetal	A: 3,67 ha 9% da área total da planície. Distribuição associada ao uso da terra do recorte temporal, concentrada na porção média da área de estudo e sem padrão específico aparente.	A: 11,22 ha 30,45 % da área total da planície. Aumento significativo na área de cobertura vegetal instalada na planície, associada à retração da área alagada da represa e ao restabelecimento da vegetação, em alguns pontos com porte arbóreo. Distribuição espacial sem padrão específico, com ocorrências em diferentes pontos.	A: 9,73 ha 31% da área total da planície. Redução de 13% da área de cobertura vegetal na planície em relação à fase anterior. Associada à realização de aterros e implantação de dispositivos de drenagem pelo empreendimento.	A: 3,32 ha 10,67% da área total da planície Redução de 65,12% em relação à área de cobertura vegetal verificada na fase anterior, associada à expansão de áreas de campo antrópico. Distribuição em geral irregular, porém maior concentração nas bordas da planície, junto ao contato com o sistema de vertentes.	

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Geoindicador	Valores Obtidos			
				MO	MA Pré-Intervenção	MA Ativa	MA Consolidada
Sistema Fluvial	Planície	Materiais	Área e distribuição dos padrões de cobertura vegetal (padrão higrófila e arbóreo)	Ahigrófila: 2,19 ha Aveg. Adensada: 0,85 ha Aveg. de baixa densidade: 0,63 ha Distribuição sem padrão específico, exceto para as higrófilas, localizadas em áreas mais rebaixadas ou com fluxo barrado pela implantação de vias.	Ahigrófila: 3,25 ha Aveg. Adensada: 6,07 ha Aveg. de baixa densidade: 1,9 ha Distribuição preferencial de vegetação densa ao longo dos contatos entre a planície fluvial e os sistemas de vertente.	Ahigrófila: 3,7 ha Aveg. Adensada: 3,0 ha Aveg. de baixa densidade: 3,0 ha Distribuição centrada principalmente na maior porção emersa da planície fluvial, na sub-bacia hidrográfica Jd. Jussara/Vila Balneária, com grande área de higrófila e de cobertura vegetal de baixa densidade.	Ahigrófila: 1,15 ha Aveg. Adensada: 1,30 ha Aveg. de baixa densidade: 0,87 ha Ocorrência dispersa dos tipos de cobertura vegetal na planície. Destaque à área de higrófila próxima da foz do canal principal e de cobertura vegetal de baixa densidade em sua confluência com curso d'água proveniente do Jd Jussara.
			Ocorrência e distribuição de áreas desmatadas/solo exposto	Não se aplica.	Não se aplica. Uso da terra utilizado como base para o cálculo deste geoindicador.	Área com conversão de uso: 1,6 ha Conversão de cobertura vegetal para solo exposto, acesso viário, campo antrópico, campo antrópico com vegetação arbustiva, chácara e urbano residencial. As áreas estão distribuídas sem um padrão específico, destacando-se a maior incidência da conversão para solos expostos na faixa de impactos diretos do empreendimento.	Área com conversão de uso: 2,55 ha Em relação ao recorte temporal anterior, foi identificada a conversão de áreas de cobertura vegetal para campo antrópico, campo antrópico com vegetação arbustiva e solo exposto, distribuídas de forma irregular na planície, principalmente ao longo do canal principal e próximo a sua foz na represa.
			Número e área de aterros na planície	Não se aplica	Não se aplica	Nº de aterros: 33 A: 25,23 ha	Nº de aterros: 33 A: 29,10 ha
			Largura e profundidade dos aterros	Não se aplica	Não se aplica	Tendo em vista a ausência de dados tridimensionais ou de projeto para elaboração desta estimativa, foram levantadas apenas as medidas mais significativas dentre os aterros identificados. Maior aterro: L: 135 m; P: 2 km No centro da área de estudo, na planície fluvial ocupada pelo acesso entre o Rodoanel e a Anchieta. Menor aterro: L: 20 m; P: 86 m Próximo ao anterior, na planície fluvial, atuando como base para a instalação de OAE para um dos acessos à Rodovia Anchieta.	Apesar da área total ocupada pelos aterros ter aumentado nesta fase de intervenção ativa, as estruturas com maior e menor dimensão no contexto da área de estudo, permaneceram as mesmas, com incremento de área em pontos específicos.

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Geoindicador	Valores Obtidos			
				MO	MA Pré-Intervenção	MA Ativa	MA Consolidada
Sistema de Vertente	Conjunto de vertentes e unidade de vertente	Materiais	Área e distribuição da cobertura vegetal no total e em relação aos padrões predominantes	<p>Nas vertentes: Atotal: 225 ha 62% da área total de morfologias de vertente Aveg. de baixa densidade: 40 ha Aveg. adensada: 185 ha Vegetação de baixa densidade associada à existência de chácaras, cultivos e ao eixo da Rod. Anchieta, ocupando os setores inferiores e médios das vertentes.</p> <p>Nos topos: Atotal: 65,43 ha 53% da área total de morfologias de topo A veg. de baixa densidade: 8,7 ha A. veg. adensada: 56,8 ha Vegetação de baixa densidade associada à presença de chácaras, campo antrópico e eixos viários, com destaque a Rod. Anchieta.</p>	<p>Nas vertentes: Atotal: 204,92 ha; 56% da área total de morfologias de vertente. Aveg. de baixa densidade: 38,39 ha Aveg. adensada: 166,52 ha Distribuição semelhante ao recorte temporal anterior, sem padrão específico. A redução da área pode ser atribuída à expansão dos usos urbano-industriais, com destaque aos pátios de veículos.</p> <p>Nos topos: Atotal: 58,38 ha; 47% da área total de morfologias de vertente. Aveg. de baixa densidade: 9,24ha Aveg. adensada: 49,14 ha Distribuição similar ao período anterior, com redução de área associada à expansão de usos principalmente residenciais e de chácaras.</p>	<p>Nas vertentes: A total: 173 ha 48% da área total de morfologias de vertente Aveg. de baixa densidade: 53 ha Aveg. adensada: 120 ha Distribuição uniforme na área de estudo exceto nos locais interceptados pelo empreendimento e com usos residenciais e urbano-industriais adensados.</p> <p>Nos topos: A total: 49,5 ha 40% da área total de morfologias de topo Aveg. de baixa densidade: 7,9 ha Aveg. adensada: 41,5 ha Distribuição em toda a área de estudo, porém concentração nos topos mais preservado, nos divisores principais e secundários da porção oeste da bacia. Nos topos intersectados pela rodovia, não se observa cobertura vegetal arbórea.</p>	<p>Nas vertentes: Atotal: 160,87 ha; 44% da área total de morfologias de vertente. Aveg. de baixa densidade: 58,81 ha Aveg. adensada: 102,05 ha Distribuição semelhante à fase de intervenção ativa, com redução concentrada principalmente no acesso aos bairros Sabesp e Estudantes, alterado pelo empreendimento, que reorganizou o acesso com viaduto.</p> <p>Nos topos: A total: 49,09 ha 62,4% da área total de morfologias de topos. Aveg. de baixa densidade: 8,85 ha Aveg. adensada: 40,24 ha. Distribuição uniforme em toda a área de estudo, com maior concentração nos divisores interfluviais secundários. Observa-se ausência de cobertura vegetal nos topos contíguos ao empreendimento, segmentados pela implantação dos cortes.</p>
			Ocorrência e distribuição de áreas desmatadas / solo exposto	Não se aplica	Não se aplica	<p>Nas vertentes: Área com conversão de usos: 49 ha Destes, 40,25 ha (equivalente a 82% do total de área convertida) possuem relação direta com o empreendimento, como corte e aterro e, sobretudo, solo exposto, que sozinho apresentou área de conversão de aproximadamente 15,5 ha.</p> <p>Nos topos: Área com conversão de usos: 12,8 ha Sendo 9,20 ha (equivalente a 70% do total de área convertida) diretamente relacionados com a implantação do empreendimento, com destaque para os cortes, substituindo 6,5 ha de cobertura vegetal nestes setores.</p>	<p>Nas vertentes: Área com conversão de usos: 47 ha Em relação à fase anterior foram convertidos cerca de 47 ha de cobertura vegetal em novos usos, sendo apenas 6,50 ha (equivalente a 14% do total de área convertida) com relação direta ao empreendimento.</p> <p>Nos topos: Área com conversão de usos: 4,9 ha Sendo 0,8 ha diretamente relacionados à implantação e operação da rodovia (equivalentes a 16% do total de área convertida), distribuídos entre as categorias de intervenção do empreendimento instalas nesta categoria.</p>
			Número e área de cortes	Não se aplica	Não se aplica	Nº de cortes: 46 A: 31,36 ha	Nº de cortes: 46 A: 31,46 ha

Sistema	Sub-Sistema	Tipo	Geoindicador	Valores Obtidos			
				MO	MA Pré-Intervenção	MA Ativa	MA Consolidada
Sistema de Vertente	Conjunto de vertentes e unidade de vertente	Processos	Altura e largura dos cortes	Não se aplica	Não se aplica	H: 40 m; L: até 400 m Altura máxima dos cortes, segundo EIA-RIMA, é de 40 metros, ocorrendo em mais de uma destas estruturas na área de estudo, tendo em vista a amplitude altimétrica e as características geométricas da rodovia. Em relação à largura, mediu-se via mapeamento dos usos da terra, corte com cerca de 400 metros de largura localizado na porção central da área de estudo.	H: 40 m; L: até 400 m Apesar de leve incremento na área ocupada pelos cortes, as dimensões máximas destas estruturas se mantiveram as mesmas, tendo em vista as características desta fase de intervenção, que apresenta a maior parte dos cortes e aterros já em estado consolidado.
			Ocorrência, área e localização de processos erosivos, movimentos de massa e queda de blocos	Apesar da ocorrência de solo exposto em diversos pontos da área de estudo, associados principalmente aos eixos viários, não foram verificados processos erosivos no geral.	Ocorrência de processos erosivos em topo e terço superior de vertente próximo ao Jd. Jussara, na porção central da área de estudo.	Não foram verificados, com base na imagem de satélite, processos erosivos ou movimentos de massa diretamente associados ao empreendimento, durante as fases de implantação. No entanto, o aporte de sedimentos à jusante e o aumento da área de solo exposto na planície pode ser um indicador do aumento da carga de sedimento transportada pelos canais.	Não foram verificados processos erosivos com base na imagem de satélite, possivelmente devido a restrições em sua resolução espacial. No entanto, durante o trabalho de campo, foram observados pontos com ocorrência de tais processos na interface entre o material de aterros e cortes e as estruturas da rodovia, principalmente dispositivos de drenagem.
Bacia hidrográfica		Morfológico/ Morfométrico	Densidade de Drenagem	7,03 km/km ²	6,97 km/km ²	6,49 km/km ²	6,52 km/km ²
			Coeficiente de Manutenção	0,14 km ² /km	0,14 km ² /km	0,15 km ² /km	0,15 km ² /km
		Materiais	Área e distribuição da cobertura vegetal ⁷	Atotal: 307 há Ahigrófila: 4,0 ha Aveg. Adensada: 254,2 ha Aveg. de baixa densidade: 48,8 ha Distribuída predominantemente nas morfologias de vertente e topo, exceto nos locais com chácaras, lotamentos, solo exposto e eixo viário.	Atotal: 280 ha Ahigrófila: 3,8 ha Aveg. Adensada: 223,5 ha Aveg. de baixa densidade: 51,6 ha As vegetações arbóreas de alta densidade distribuem-se por toda bacia, ao passo que os fragmentos de baixa densidade concentram-se, principalmente, nas médias vertentes de setores do sul da área de estudo, com maior ocorrência de chácaras e usos residenciais.	Atotal: 235,78 ha Ahigrófila: 4,92 ha Aveg. Adensada: 167,11 ha Aveg. de baixa densidade: 63,73 ha O padrão de distribuição da cobertura vegetal apresenta semelhança com os recortes temporais anteriores. No entanto, a expansão dos usos residenciais, industriais, de serviços e, sobretudo, com a implantação da rodovia, acarretaram na redução (cerca de 23%) da área total ocupada por estas categorias.	Atotal: 217,26 ha Ahigrófila: 3,15 ha Aveg. Adensada: 160,0 ha Aveg. de baixa densidade: 54,11 ha Redução de 18 ha em relação à fase anterior (8%) Com ocorrência significativa em grande parte da área de estudo. Observa-se concentração nos pontos de menor ocupação urbana, com grandes áreas de supressão ao longo dos eixos das rodovias, do pátio de veículos e do Jardim Jussara, Sabesp, Estudantes e Areião.
			Mudanças no uso da terra e cobertura vegetal associadas à rodovia	Não se aplica		Em relação aos usos da terra obtidos para a área de estudo no recorte temporal de 2007, observou-se mudança total de 120 ha (25% da área total da bacia hidrográfica). Deste, 78,3 ha estão diretamente associados a mudanças promovidas pela implantação do empreendimento, equivalente a 15% da área de estudo.	Em relação à fase anterior, verificou-se conversão total de 79,5 ha (16% da área total da bacia hidrográfica), sendo 7,0 ha diretamente associados às mudanças promovidas pela implantação do empreendimento nesta fase, equivalente a menos de 1,5% da área de estudo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de parcela dos geoindicadores apresentados como resultado metodológico da presente pesquisa, possibilitou a realização de diversas considerações acerca dos impactos da implantação da rodovia no sistema geomorfológico da área de estudo, tendo como ponto de partida os resultados quantitativos e qualitativos derivados desta etapa.

De modo geral, é possível observar, com base nos mapeamentos de uso da terra e na aplicação dos geoindicadores, a significativa extensão dos impactos na área de estudo, do ponto de vista das áreas de morfologias semi-preservedas convertidas em cortes, aterros e outras estruturas do empreendimento; em relação à extensão e número de canais redirecionados por dispositivos de drenagem, alterando características morfométricas da bacia hidrográfica; e no contexto geral da paisagem, por meio da criação de novas morfologias, da supressão de usos da terra e fragmentação de maciços florestais, entre outros aspectos.

Cabe destacar os efeitos e impactos verificados nos sistemas fluviais, e principalmente na planície fluvial, expressivamente suprimida por aterros de grande dimensão e dispositivos de drenagem responsáveis pelo redirecionamento dos fluxos, sobretudo na intersecção entre o Trecho Sul do Rodoanel e a Rodovia Anchieta.

Adicionalmente, instalou-se no acesso entre as rodovias e, mais especificamente, sobre Depósito de Materiais Excedentes, à jusante das morfologias de anfiteatros côncavos amplos, canteiro de obras contendo as usinas de concreto e asfalto, bem como outras instalações de apoio à implantação do empreendimento. Conforme observado no resgate bibliográfico da presente pesquisa, a seleção de tal área para instalação do canteiro, pode ter acarretado na contaminação dos recursos hídricos do entorno, com alta densidade de drenagem, por efluentes liberados pelo canteiro de obras.

Este impacto potencial, no entanto, não foi avaliado no âmbito da pesquisa, por meio dos geoindicadores de qualidade da água e de efluentes apresentados no quadro de geoindicadores, tendo em vista a limitação de dados disponíveis para a área de estudo e de tempo para aquisição do conhecimento necessário, aplicação e avaliação dos resultados.

Trata-se, no entanto, de proposta de encaminhamento futuro da pesquisa, buscando verificar a ocorrência, expressão espacial e temporal deste impacto nos sistemas fluviais, bem como, avaliar a utilização dos geoindicadores propostos, para identificação e caracterização de sua magnitude.

Cabe destacar, no entanto, que a intersecção entre o Rodoanel e a Rodovia Anchieta foi objeto de intensos estudos de alternativas de traçado, segundo Estudo de Impacto Ambiental do empreendimento, tendo em vista as características geométricas necessárias

para a intersecção entre as duas rodovias, as especificidades dos veículos atendidos neste ponto, e a configuração do relevo neste trajeto, com amplitude altimétrica significativa, variando de aproximadamente 750 m, na planície fluvial, para 860 m no acesso à Rodovia Anchieta.

Em outros pontos da área de estudo, com menores restrições do ponto de vista do projeto geométrico do empreendimento, foram implantadas Obras de Arte Especiais na intersecção com a planície fluvial, visando diminuir o impacto causado pelo empreendimento nesta morfologia e nos cursos fluviais e reduzir o volume de material a ser removido para implantação do leito estradal em tais locais.

Ainda assim, a aplicação dos geoindicadores nos recortes temporais das fases de perturbação ativa e consolidada, e principalmente, as observações realizadas durante o trabalho de campo, permitiram notar um impacto significativo nestes locais, com destaque à confluência entre o curso d'água principal e curso fluvial que percorre a lateral direita do bairro Jd. Jussara. No recorte temporal relativo à fase pré-intervenção observou-se neste local a ocorrência de cobertura vegetal de porte arbustivo, podendo se atribuir o cenário atual à implantação do empreendimento.

Os resultados obtidos a partir da aplicação dos geoindicadores, subsidiaram a realização de diversas análises e a avaliação de alguns dos impactos da implantação e operação da rodovia no sistema geomorfológico e físico da bacia hidrográfica em estudo. No entanto, apenas parcela dos geoindicadores propostos como resultado metodológico pôde ser efetivamente aplicada, tendo em vista as limitações impostas pela disponibilidade de materiais e base cartográfica para as diferentes fases de intervenção morfológica e, em específico, de implantação de um empreendimento rodoviário.

Os materiais obtidos para mapeamento das mudanças, efeitos e impactos da implantação e operação do empreendimento, apresentaram recortes temporais irregulares, abrangendo período imediatamente anterior ao início das obras (2007) e, na seqüência, já em uma etapa avançada da construção (maio de 2009), posterior a algumas das fases com maior impacto direto no sistema geomorfológico, como a remoção da cobertura vegetal, a abertura de acessos, as movimentações de terra e a instalação de dispositivos de drenagem.

Neste sentido, tendo em vista os objetivos de previsão, avaliação e monitoramento dos impactos no sistema geomorfológico associados à implantação e operação de empreendimentos rodoviários, no contexto da presente pesquisa, mas também em relação aos Estudos de Impacto Ambiental no geral; mostrou-se de fundamental importância a obtenção e análise de recortes temporais com maior periodicidade, acompanhando cada fase de implantação da rodovia, para compreensão do momento principal de ocorrência das intervenções físicas e o tempo de resposta do sistema geomorfológico aos impactos.

Ainda, a utilização de fotografias aéreas sem estereoscopia e de imagens de satélite, não permitiu a visualização da bacia hidrográfica em estudo, de forma tridimensional, como ocorre com a utilização de pares estereoscópicos devido ao efeito de paralaxe. Assim, a identificação e diferenciação dos cortes e aterros na área de estudo, representaram grande esforço e tempo da pesquisa, tendo em vista aparência similar destas duas morfologias nas imagens analisadas, ambas com patamares e bermas.

Assim, a validação das áreas de corte e aterro delimitadas com base nas imagens recorreu à comparação com as morfologias semi-preservedas e o Modelo Digital de Terreno, que permitiram identificar as ocorrências em áreas de planície fluvial ou em sistemas de vertente. Da mesma forma, a checagem durante trabalho de campo auxiliou na correção e validação de tais estruturas, aliada à utilização de material disponibilizado pela Dersa, durante a elaboração, entre os anos de 2009 e 2010, dos Planos de Manejo dos Parques Naturais Municipais de compensação ambiental do Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas.

Neste sentido, o mapeamento sistemático do relevo e de demais características físicas da área de influência dos empreendimentos rodoviários, ao longo de suas diversas fases de implantação, apresenta-se como uma das principais necessidades para previsão, avaliação e monitoramento dos impactos de tais estruturas nos sistemas geomorfológico e físico.

No entanto, tendo em vista os altos custos atrelados à mapeamentos expeditos e restituições aerofotogramétricas, a utilização de tecnologias de sensoriamento remoto, geoprocessamento e topografia, como LiDAR (*Light Detection and Ranging*) e Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) poderia representar a redução no tempo empregado para levantamento e maior custo benefício.

Ainda assim, a seleção de áreas de controle, preferencialmente bacias hidrográficas, para avaliação dos efeitos e impactos da implantação e operação de rodovias, caso a alternativa acima mostre-se inviável, pode obter resultados igualmente significativos, e até mais precisos devido à menor dimensão da área, que podem ser extrapolados para todo o empreendimento, observadas as características de sua área de influência.

Outro aspecto que apresentou grande complexidade no momento de elaboração dos produtos cartográficos e aplicação dos geoindicadores, refere-se ao traçado dos dispositivos de drenagem em sua porção subterrânea. Para os cursos fluviais tamponados, o caminho percorrido pelos dispositivos de drenagem teve de ser inferido, com base na interpretação das imagens, na comparação com as morfologias semi-preservedas e cartas topográficas e, inclusive, em trabalho de campo, para validação dos pontos de dúvida.

Em relação a este aspecto, o acompanhamento dos projetos básico e executivo do empreendimento, bem como ao longo da obra em si, poderiam auxiliar no mapeamento

destes fluxos e, principalmente, na avaliação e monitoramento dos impactos da rodovia no sistema hidrográfico como um todo.

Diante das restrições impostas pela disponibilidade de materiais, pelas características do tipo de empreendimento estudado e pelo próprio tempo de realização da pesquisa, foram aplicados apenas alguns dos geoindicadores apresentados no resultado metodológico. Mais especificamente, empregaram-se os geoindicadores relativos a parâmetros morfológicos e morfométricos da bacia hidrográfica em estudo e dos diferentes sistemas que a compõem.

Esta dificuldade observada ao longo da realização da pesquisa, mas principalmente em sua etapa final, permitiu refletir sobre o processo de elaboração dos diagnósticos e avaliações de impacto do meio físico no âmbito do processo de licenciamento ambiental e, mais especificamente, de elaboração de Estudos de Impacto Ambiental.

Considerando as dificuldades impostas à presente pesquisa em termos de obtenção dos materiais necessários à análise dos impactos nas formas, materiais e processos da área em estudo, e em relação ao tempo disponível para realização dos mapeamentos, resolução de eventuais problemas na fotointerpretação, checagem em trabalho de campo, e elaboração das análises; é possível estabelecer paralelo e compreender, em parte, os fatores associados à realização de diagnósticos e avaliações introdutórias e genéricas dos impactos de empreendimentos no sistema geomorfológico.

Neste sentido, e dialogando com a bibliografia abordada nos referencias teórico-metodológicos da pesquisa, a promoção e realização de mapeamentos sistemáticos do território compõem medida fundamental à realização de análises mais completas e apuradas, principalmente no caso dos processos geomorfológicos. No caso específico dos empreendimentos rodoviários, tais levantamentos devem, preferencialmente, se estender às diferentes fases de implantação e operação destas estruturas, englobando recortes temporais anteriores à intervenção, ao longo e após sua consolidação.

A adoção de escalas espaciais compatíveis com os geoindicadores a serem aplicados e monitorados consiste aspecto, também, de fundamental importância, bem como a realização de monitoramento contínuo em campo durante a implantação do empreendimento, principalmente para observação e avaliação de processos geomorfológicos.

Apesar das limitações observadas à completa aplicação da proposta dos geoindicadores na bacia hidrográfica em estudo, foi significativa sua contribuição à compreensão e avaliação das mudanças, efeitos e impactos ocorridos na área de estudo ao longo do período analisado, por meio de resultados qualitativos e quantitativos.

Para além de simples parâmetros, os geoindicadores, por dialogarem com diferentes escalas espaciais e temporais, podem embasar e contribuir na realização de avaliações e

previsões de mudanças e impactos no sistema físico e, mais especificamente, geomorfológico, associadas às ações antrópicas ou aos fatores naturais.

No caso da bacia hidrográfica em estudo, alguns dos resultados obtidos a partir de sua aplicação mostraram-se de grande relevância, como as mudanças apresentadas em relação à extensão total dos canais e à densidade de drenagem da área de estudo, a supressão da planície e dos terraços fluviais, a área ocupada pelos cortes e aterros, e inclusive as considerações realizadas sobre os recortes temporais utilizados na análise, posteriores às algumas das fases com impactos diretos mais intensos no sistema geomorfológico.

A proposição dos geoindicadores na identificação e avaliação de mudanças e impactos de empreendimentos rodoviários no meio físico e, mais especificamente, no sistema geomorfológico, foi apresentada como um dos objetivos secundários da presente pesquisa, tendo como base matriz, elaborada e apresentada nos referenciais teóricos, contendo as principais mudanças, efeitos e impactos no sistema físico, associados a estes tipos de intervenção antrópica.

As restrições impostas à pesquisa, possibilitaram a obtenção parcial de seu objetivo central, dedicado à identificação e caracterização das mudanças, efeitos e impactos potenciais dos empreendimentos rodoviários no meio físico, tendo como base as referências da ciência geomorfológica.

Algumas lacunas se destacaram neste processo, como a necessidade de se aprofundar os conhecimentos e a discussão sobre a questão dos efluentes oriundos do canteiro de obras e, principalmente, do corpo estradal ao longo da operação do empreendimento, e suas consequências nos recursos hídricos à jusante dos pontos de contaminação.

Uma possível continuidade da pesquisa pode dedicar-se ao preenchimento destas lacunas, bem como à aplicação do quadro completo de geoindicadores, em uma nova área e rodovia em estudo, buscando acompanhar suas diferentes fases de implantação, os efeitos e impactos no sistema geomorfológico decorrentes de cada uma, e as possibilidades de aprimoramento da metodologia empregada.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. **Geomorfologia do Sítio Urbano de São Paulo**. Cotia: Ateliê Editorial, 2007. 349 p.

ARANHA, R. D. **Estudo morfológico da bacia do Ribeirão do Baú – São Bento do Sapucaí – SP**. 2011. 149f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras de Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

BATISTA, S. C. **Conversa cartográfica: processo de expansão urbana na metrópole paulistana e unidades geomorfológicas de média escala. Pirajuçara**. 2003. 176f. Trabalho de Conclusão do Curso (Geografia). Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras de Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

BATISTA, S.; RODRIGUES, C. Evolução Urbana e Sistemas Geomorfológicos na RMSP: Enfoque cartográfico em escala média. In: **Simpósio Nacional de Geomorfologia**, 4, 2002, São Luís. **Anais...** São Luís, 2002.

BERGES, B. **Geomorfologia urbana histórica aplicada à análise de inundações no Córrego da Mooca – São Paulo/SP**. 2013. 184f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) -Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BERGER, A. R.; IAMS, W. J. (Eds.). **Geoindicators: Assessing rapid environmental changes in Earth Systems**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1996. 466 p.

BRUNSDEN, Denys et. al. Large Scale Geomorphological Mapping and Highway Engineering Design. **Q. Jl. Engng. Geology**, v. 8, pp. 227-253, 1975.

CARVALHO, D. **Indicadores geomorfológicos de mudanças ambientais no sistema fluvial do Alto Tietê, município de São Paulo pesquisa documental**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras de Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CARVALHO, D.; RODRIGUES, C. Ensaio de Cartografia Morfológica de Detalhe sob a Abordagem da Antropogeomorfologia. Bairro do Jardim Serrano (Ribeirão Pires – RMSP). In: **Simpósio Nacional de Geomorfologia**, 4, 2002, São Luís. **Anais...** São Luís, 2002.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1974. 2ª edição.

CHIOSSI, N. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. 3ª edição.

CLARO, M. S. **Unidades Morfológicas Complexas na Bacia Hidrográfica do Córrego da Tapera, São Paulo, SP**: contribuições ao planejamento urbano e ambiental. (Dissertação de Mestrado). 166 f. Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Programa de Pós-graduação em Geografia Física, 2013.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in Environmental Management: A New Introduction**. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 1990. 403 p.

COLTRINARI, L. Natural and anthropogenic changes in the Brazilian tropics. In: BERGER, A. R.; IAMS, W. J. (Eds.). **Geoindicators: Assessing rapid environmental changes in Earth Systems**. Rotterdam: A. A. Balkema, p. 295-310, 1996.

_____. Cartografia geomorfológica detalhada: a representação gráfica do relevo entre 1950 – 1970. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2011.

_____; McCALL, G. J. H. Geoindicadores: Ciências da Terra e Mudanças Ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 9, p. 5-11, 1995.

DOUGLAS, I. **The urban environment**. London: Edward Arnold, 1983. 225p.

ESTAIANO, J. C. **Impactos da mineração de areia em planícies fluviais meândricas da bacia hidrográfica do alto Tietê**: O caso do rio Embu-Guaçu, São Paulo – SP. 2007, 185 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo; Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas; Departamento de Geografia, São Paulo, 2007.

FACULDADE ESCOLA DE SOCIOLOGIA E POLÍTICA DE SÃO PAULO / DESENVOLVIMENTO RODOVIÁRIO S.A. **Estudo de Impacto Ambiental do Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas**, XI v., outubro de 2004.

FORMAN, R. T. T.; ALEXANDER, L. E. Roads and their major ecological effects. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, n. 29, p. 207-231, 1998.

FORNASARI FILHO, N. (Coord.). **Alterações do Meio Físico Decorrentes de Obras de Engenharia**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1992.

GOUDIE, A. **Encyclopedia of Geomorphology**. London e New York: Taylor & Francis. 2ª. ed. London e New York: Taylor & Francis e-library, 2006. 1.156p.

GUERASIMOV, I. Problemas Metodológicos de la Ecologización de la Ciência Contemporânea. In: **La Sociedad y el Medio Natural**. Moscou: Editorial Progreso, 1980. pp. 57 – 74.

GUSTAVSSON, Marcus; KOLSTRUP, Else; SEIJMONSBERGEN, Arie C. A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development. **Geomorphology**, v. 77, Issue 1-2, pp. 90 – 111, 2006.

GUPTA, A. Urban hidrology and sedimentation in the humid tropics, In: COSTA, J. E. ; FLEISHER, P. J. **Developments and Applications of Geomorphology**, Berlin: Springer, 1984. pp. 240-267.

HAFF, P. K. Neogeomorphology: prediction and the anthropogenic landscapes. In: WILCOCK, P.R. ; IVERSON, R. M. (eds). **Prediction in Geomorphology**. AGU Geophysical Monograph Series, 135, p. 15 – 26, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatório de Licenças Emitidas por ano (2014 – 1988)**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/licenciamento/>. Acesso em: março/2015.

JOLY, F. **Point de Vue sur la Géomorphology**. Anais de Géographie, 1977.

LIMA, C. R. **Urbanização e intervenções do meio físico na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo: uma abordagem geomorfológica**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

LUZ, R. A. **Geomorfologia Original do Rio Pinheiros entre os Bairros de Pinheiros, Butantã e Cidade Jardim, São Paulo (SP)**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

LUZ, R. A. **Mudanças geomorfológicas na planície do rio Pinheiros, São Paulo (SP) ao longo do processo de urbanização**. 2015. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

MOROZ (CACCIA-GOUVEIA), I. C. **Da originalidade do sítio urbano de São Paulo às formas antropogênicas: aplicação da abordagem da Geomorfologia Antropogênica na Bacia Hidrográfica do Rio Tamanduateí, Região Metropolitana de São Paulo**. 2010. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

QUEIROZ NETO, J. P.; JOURNAUX, A. (Org.). Estudo e Cartografia de Formações Superficiais e suas Aplicações em Regiões Tropicais. **Colóquio Interdisciplinar Franco-Brasileiro**. Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, São Paulo, v. 1, 1978.

RODRIGUES, Cleide. **Geomorfologia aplicada: avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiros**. 1997, 279 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo; Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas; Departamento de Geografia, São Paulo, 1997. 2 v.

_____. A Urbanização da Metrópole sob a perspectiva da Geomorfologia: Tributo a Leituras Geográficas. In : CARLOS, A. F. A. ; OLIVEIRA, A. U. (Orgs.). **Geografias de São Paulo: Representações e Crise da Metrópole**. São Paulo: Ed. Contexto, v. 1, p. 89-114, 2004.

_____. Morfologia Original e Morfologia Antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia**, nº 17, p. 101 – 111, 2005.

_____. Avaliação do Impacto Humano da Urbanização em Sistemas Hidro-Geomorfológicos. Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia na Grande São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, nº 20, p. 111 – 125, 2010.

ROSS, Jurandy Luciano Sanches. Geomorfologia ambiental. In: **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 1990. p. 351 – 388.

_____. Geomorfologia Aplicada aos EIA-RIMAs. In: **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 1995. p. 291 – 336.

RUBIO, Maurício Fava. **Leituras geográficas do processo de apropriação do rio Paranapanema para geração de energia hidrelétrica**. 2008, 164 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, São Paulo, 2008.

RUBIO, Maurício Fava. **Vencendo a escarpa da Serra do Mar – da calçada aos túneis e pontes**. 2003, 84 f. Trabalho de Graduação Individual (Graduação em Geografia) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, São Paulo, 2003.

SAVIGEAR, R. A. G. A Technique of Morphological Mapping. **Annals of The Association of American Geographers**, Los Angeles, v. 55, n. 3, p. 514-538, 1965.

SILVA, J. de P. **Expansão urbana e evolução geomorfológica em remansos de reservatórios: Análise comparativa de duas bacias hidrográficas em Guarapiranga, São Paulo**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

TARIFA, J. R.; ARMANI, G. Os climas “naturais”. In: TARIFA J. R.; AZEVEDO, T. R. (Org.). **Climas da cidade de São Paulo: teoria e prática**. São Paulo: Pró-reitoria de cultura e extensão. Universidade de São Paulo: Laboratório de Climatologia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 2001a. 199f. (GEOUSP – Coleção Novos Caminhos, 4)

_____. Os climas urbanos. In: TARIFA J. R.; AZEVEDO, T. R. (Org.). **Climas da cidade de São Paulo: teoria e prática**. São Paulo: Pró-reitoria de cultura e extensão. Universidade de São Paulo: Laboratório de Climatologia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 2001b. 199 f. (GEOUSP – Coleção Novos Caminhos, 4)

TAROLLI, Paolo ; CALLIGARO, Simone ; CAZORZI, Federico ; DALLA FONTANA, Giancarlo. Road and trail networks in mountain areas. **European Journal of Remote Sensing**, nº 46, p. 176 – 197, 2013.

TOY, T.; HADLEY, R. F. **Terrain Analysis and Remote Sensing**. London: Allen & Unwin, 1987

TRICART, Jean. **Principes et Méthodes de la Géomorphology**. Paris : Maison et Cie Editeurs, 1997.

ZUIDAM, R. A. van. Considerations on systematic medium-scale geomorphological mapping. **Z. fur Geomorph. N. F.**, 26, 4, pp. 473 – 480, dezembro de 1982.

Materiais Cartográficos e Plantas:

COUTINHO, J. M. V. Carta Geológica da Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo: EMPLASA. 2 folhas. Escala 1:100.000. São Paulo, 1980.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia, Dpto. de Geografia-FFLCH-USP/ Laboratório de Cartografia Geotécnica-Geologia Aplicada, IPT/FAPESP. Mapas e Relatório. São Paulo, 1997.