

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA FLORESTAL**

**DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS PARA
AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE TALUDES
MARGINAIS EM BEIRA DE RIO**

TESE DE DOUTORADO

Fernando Haetinger Bernál

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

**DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS PARA
AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE TALUDES
MARGINAIS EM BEIRA DE RIO**

Fernando Haetinger Bernál

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Florestal

Orientador: Prof. Miguel Antão Durlo

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Bernál, Fernando Haetinger
Determinação de parâmetros para avaliação da
estabilidade de taludes marginais em beira de rio /
Fernando Haetinger Bernál.-2013.
121 p.; 30cm

Orientador: Miguel Antão Durlo
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2013

1. Rio Jacuí 2. Quedas de taludes 3. Gestão de
recursos hídricos 4. Estabilidade de margens I. Durlo,
Miguel Antão II. Título.

Todos os direitos autorais reservados a Fernando Haetinger Bernál. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Sete de Setembro, 1523, apto 01, B. Centro, Cachoeira do Sul, RS. CEP 96.508-011. Fone (0xx)51 37235203, E.mail: fernandohbernal@yahoo.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado**

**DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS PARA AVALIAÇÃO DA
ESTABILIDADE DE TALUDES MARGINAIS EM LEITO DE RIO**

elaborado por
Fernando Haetinger Bernál

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA

Solon Jonas Longhi, Dr. (UFSM)

Rudiney Soares Pereira, Dr. (UFSM)

Cibele Rosa Gracioli, Dra. (UNIPAMPA)

Miguel Antão Durlo, Dr. (UFSM)

Nestor Valtir Panzenhagen, Dr. (IFC)

Santa Maria, 04 de março de 2013.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pela compreensão e apoio durante o desenvolvimento do curso.

Ao Professor Miguel Antão Durlo pelas orientações recebidas e pelo apoio destacado no decorrer do curso.

Aos Professores Solon Jonas Longhi e Paulo Renato Schneider pelo auxílio na orientação do trabalho desenvolvido.

Ao Professor Frederico Dimas Fleig pelas sugestões apresentadas.

À empresa Gente e Terra, na pessoa de João Paulo Antoniazzi de Moraes, pela disponibilização de dados e material de coleta de informações essenciais ao desenvolvimento da tese.

Aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal pelas contribuições apresentadas ao trabalho, no decorrer das disciplinas ministradas.

À funcionária Cerlene da Silva Machado pelo apoio durante o tempo em que secretariou o curso.

À funcionária Rone Maria Rachele De David, pela sua dedicação e empenho desenvolvido nas tarefas de secretaria.

Aos professores da banca examinadora pelas contribuições apresentadas.

À Universidade Federal de Santa Maria pela possibilidade de cursar este programa de pós-graduação.

Obrigado!

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-graduação em Engenharia Forestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS PARA AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE TALUDES MARGINAIS EM BEIRA DE RIO

Autor: Fernando Haetinger Bernál

Orientador: Dr. Miguel Antão Durlo

Data e local de Defesa: Santa Maria, 04 de março de 2013

A água constitui-se num dos grandes focos do debate mundial sobre a sustentabilidade ambiental, senão o principal. É notória a influência da água sobre os sistemas naturais e antrópicos, e a continuidade de seu uso condiciona-se, cada vez mais, pela qualificação na gestão e na efetividade das medidas que lhe garantam qualidade e quantidade para uso atual e das futuras gerações. Dentro das preocupações de qualquer pessoa ou entidade que desempenha papel na gestão de recursos hídricos, certamente a integridade das condições naturais do mesmo é sempre desejada. A manutenção da integridade das condições naturais é um processo muito complexo que leva em consideração aspectos geomorfológicos, climáticos, biológicos e antrópicos. Atualmente, não existe uma metodologia disponível que permita determinar, com suficiente precisão, a partir da análise de múltiplos fatores, a potencialidade da ocorrência de queda de taludes marginais em qualquer trecho do rio Jacuí. O trecho do Rio Jacuí, abrangido pelo trabalho está integralmente localizado na Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, entre os Pontos Quilométricos (PKs) 168 e 241, totalizando 74 km. Assim, o objetivo geral deste estudo foi o de determinar parâmetros integrados para avaliação da estabilidade de taludes marginais da calha do Rio Jacuí, no trecho entre a foz do Arroio Irapuá e a Barragem de Dom Marco, nos municípios de Cachoeira do Sul e Rio Pardo, RS. Os objetivos específicos consistiram em: - Identificar e georreferenciar os pontos de queda de taludes marginais no Rio Jacuí, no trecho estudado. - Identificar parâmetros associados com a instabilidade de taludes marginais. - Determinar a integração de variáveis que possuem ação direta sobre a instabilidade dos taludes. - Identificar os locais críticos para queda de taludes, no trecho estudado. Assim, conhecer o rio em suas especificidades passa, necessariamente, pela compreensão dos processos, que determinam a instabilidade de seus taludes marginais. A metodologia utilizada constitui-se, em três fases: 1) A análise teórica dos possíveis fatores que tem influência sobre a estabilidade de taludes. 2) A elaboração do instrumento de captura de informações e o levantamento de dados, a campo e na base existente, para a determinação dos processos de instabilidade de taludes marginais. 3) Busca de inter-relação das variáveis levantadas a campo, com o mapa base e o estudo da associação destas variáveis com o processo de instabilidade dos taludes. As margens foram enquadradas segundo uma classificação de queda (quantidade de quedas e comprimento total das mesmas), de curvatura do rio (flecha), tipo de margem (construtiva ou destrutiva) e tipo de solo (Argissolo e Planossolo). O trabalho conclui que é possível determinar variáveis que esclareçam a ocorrência de quedas, mas nenhuma delas explica isoladamente o evento. As quedas decorrem de processos integrados que diferem quando se refere a quedas de trechos e de unidades. Não foi possível determinar uma probabilidade de queda, padronizada, para o trecho, em função da variabilidade de interações e pela diferenciação entre os tipos de queda.

Palavras-chave: Rio Jacuí. Quedas de taludes. Gestão de recursos hídricos. Estabilidade de margens.

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Graduate Program in Engineering Forestal
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

DETERMINATION OF PARAMETERS FOR EVALUATION OF SLOPE STABILITY OF MARGINAL IN BORDER RIVER

Author: Fernando Haetinger Bernal
Advisor: Dr. Miguel Antão Durlo
Date and place of Defense: Santa Maria, March 4, 2013

Water is one of the major focuses of global debate on environmental sustainability, if not the foremost. The influence of water on natural systems and human life in general, and the continuity of its uses are increasingly conditioned, by the qualifications in management and the effectiveness of the measures that guarantee quality and quantity for the use of current and future generations. Among the concerns of any person or individual that plays a role in water resources management, the integrity of natural conditions is always desired. Maintaining the integrity of the natural conditions is a very complex process that takes into consideration geomorphological, climatic, biological and human aspects. Currently, there is no methodology available that allows one to determine with sufficient accuracy, from the analysis of multiple factors, the potential occurrence of falling marginal slopes in any stretch of the Jacuí River. The entire section of work on the Jacuí River is located in the Jacuí River basin, between kilometers 168 and 241, a total of 74 km. The objective of this study was to determine criteria for an integrated assessment of the marginal slope stability of the Jacuí River channel, stretching between the mouth of the Irapuá Creek and the Don Marco Dam, in the municipalities of Cachoeira do Sul and Rio Pardo, RS. The specific objectives were: identify and georeference the falling points of the marginal slopes of the studied section of the Jacuí River; identify criteria associated with the marginal slope instability; determine the integrity of variables that have a direct effect on the instability of slopes; identify critical locations of the falling sections of the marginal slopes in the studied stretch. Thus, knowing the specifics of the river requires understanding the processes in which one can determine the instability of the marginal slopes. The methodology consists of three phases: 1) a theoretical analysis of the possible factors that influence slope stability, 2) the preparation of the instrument used to capture survey data information, in the field and the existing base, to determine the marginal slope instability, and 3) search for interrelationship of the variables in the field, with the base map and the study of the association of these variables with the process of slope instability. Margins were classified according to a classification of falls (total amount of falls and their full length), of the bend of the river (Arrow), type of margin (constructive or destructive), and type of soil (Clay soil and Plan soil). The work concludes that it is possible to determine variables that explain the occurrence of falls, however there is no lone variable that explains the event. The declines stem from integrated processes that differ when it comes to falling sections and units. It was not possible to determine a standardized probability of falling, depending on the variability of interactions and the differentiation between the types of falls.

Key words: Jacuí River. Slope Falls. Water Resources Management. Marginal Stability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição da Compartimentação do Relevo no Sul do Brasil.	29
Figura 2 – Perfil de solo com presença de horizontes bem distintos.....	32
Figura 3 – Cheia do Rio Jacuí em janeiro de 2010.	35
Figura 4 – Domínio Morfoclimáticos.	36
Figura 5 – Movimentação de material em leito de rio de acordo com o deslocamento da água e a presença de obstáculos.	39
Figura 6 – Meandrância do rio junto a Barragem do Anel de Dom Marco.....	43
Figura 7 – Demonstração da movimentação da água em leito de um curso d'água, mostrando forças exercidas de maneira antagônica nas duas margens.	43
Figura 8 – Demonstração do processo de anastomose do rio (no caso o rio Vacacaí, afluente do Jacuí) e formação de “oxbow lakes” (Paleomeandros).....	44
Figura 9 – Ilhas fluviais formadas pelo processo de barra de canal (Scroll Bars) ...	45
Figura 10 – Demonstrativo altimétrico do entorno do trecho de estudo, obtido a partir de imagens SRTM, com detalhe em destaque. Em destaque um trecho do leito do rio.....	50
Figura 11 – Demonstrativo da medição de uma flecha entre os PKs para caracterização da magnitude de uma curva do rio.....	52
Figura 12 – Mapa Geral do posicionamento da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí. Em destaque na quadrícula, a área de abrangência do estudo.	57
Figura 13 – Vista frontal da Ponte-eclusa do Fandango em Cachoeira do Sul, RS. .	58
Figura 14 – Vista aérea da Barragem de Dom Marco em Rio Pardo,RS.	59
Figura 15 – Mapa de Solos do Rio Grande do Sul e na região do estudo	60
Figura 16 – Fotografia de barranco em queda, com a presença de zona de impedimento ao deslocamento vertical da água no solo. Iruí, Cachoeira do Sul, RS.....	61
Figura 17 – Trecho do Rio Jacuí, onde se nota a foz do arroio Irapuá, no canto superior esquerdo, ponto final deste estudo.	62
Figura 18 – Barranco em queda, expondo sistema radicular de exemplar de Eucalyptus sp. Capão Grande, Cachoeira do Sul.	63

Figura 19 – Barranco em queda, em siltito, devido à infiltração e a presença de zona de impedimento ao deslocamento vertical da água no solo. Local Paredão do Cemitério das Irmandades. Cachoeira do Sul, RS. ..	64
Figura 20 – Demonstrativo da ação da camada de impedimento no solo, quanto ao fluxo da água infiltrada.....	65
Figura 21 – Barranco em queda, com a presença de zona de impedimento ao deslocamento vertical da água no solo. Cachoeira do Sul, RS.	66
Figura 22 – Barranco em escorregamento, com a presença de zona de impedimento ao deslocamento vertical da água no solo. Local Bexiga, Cachoeira do Sul, RS.	67
Figura 23 – Barranco em deslizamento com formação de espraiado, com a presença vegetação em estágio inicial de regeneração. Local Ilha dos Corvos, Rio Pardo, RS.....	68
Figura 24 – Barranco em queda, com a presença de vegetação viva. Local Pederneiras, Rio Pardo, RS.....	69
Figura 25 – Dendrograma dos Agrupamentos entre as variáveis analisadas.....	93
Figura 26 – Demonstrativo do Índice de Similaridade e do nº de Quedas, por Km de cada um dos quatro trechos, extraídos do Quadro 24.....	96
Figura 27 – Demonstrativo da variação diária da vazão e da precipitação pluviométrica na Barragem de Dona Francisca, no mês de janeiro de 2008.....	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Demonstrativo das vazões no rio Jacuí, em quatro seções de referência.	41
Quadro 2 – Limites superiores das classes de queda, em m.....	51
Quadro 3 – Demonstração do valor dos limites superiores dos intervalos das Classes de Flecha.....	52
Quadro 4 – Resumo, parcial, do trecho, por PK e por característica de cada um. .	53
Quadro 5 – Demonstração dos PKs, sem ocorrência de quedas de barranco, classificados por flecha, classe de flecha, tipo de margem e tipo de solo.....	70
Quadro 6 – Distribuição dos segmentos sem queda de barranco de acordo com o tipo de margem e de solo.....	72
Quadro 7 – Demonstração dos PKs, com ocorrência de quedas de barranco, classificados por flecha, classe de flecha, tipo de margem e tipo de solo, comprimento total das quedas no PK, classe de queda, quantidade de queda (em unidades e trechos) e o número de quedas de acordo com as tipologias do entorno.....	73
Quadro 8 – Distribuição dos segmentos da Classe de Queda 1 de acordo com o tipo de margem e de solo.....	77
Quadro 9 – Distribuição dos segmentos da Classe de Queda 2 de acordo com o tipo de margem e de solo.....	78
Quadro 10 – Distribuição dos segmentos da Classe de Queda 3 de acordo com o tipo de margem e de solo.....	80
Quadro 11 – Distribuição dos segmentos da Classe de Queda 4 de acordo com o tipo de margem e de solo.....	81
Quadro 12 – Distribuição dos segmentos da Classe de Queda 5 de acordo com o tipo de margem e de solo.....	82
Quadro 13 – Demonstrativo da distribuição dos segmentos da Classe de Queda 6 de acordo com o tipo de margem e de solo	83
Quadro 14 – Demonstrativo da distribuição dos segmentos da Classe de Queda 7 de acordo com o tipo de margem e de solo	84
Quadro 15 – Distribuição dos segmentos da Classe de Queda 8 de acordo com o tipo de margem e de solo.....	85
Quadro 16 – Frequência absoluta dos segmentos por classe de flecha e interação solo e margem.....	86

Quadro 17 – Frequência relativa dos segmentos por classe de flecha e interação solo e margem na respectiva classe de qued.....	86
Quadro 18 – Frequência relativa dos segmentos por classe de flecha e interação solo e margem em relação ao total.....	87
Quadro 19 – Abrangência das quedas de barranco segundo as tipologias do entorno.	90
Quadro 20 – Demonstrativo dos 15 segmentos com maiores comprimentos de quedas de barranco.....	90
Quadro 21 – Demonstrativo dos 15 segmentos com maiores número de quedas de barranco	91
Quadro 22 – Correlação de Pearson entre variáveis do levantamento	92
Quadro 23 – Denominação das variáveis para a análise de agrupamento	93
Quadro 24 – Comportamento dos trechos quanto ao Índice de Sinuosidade, Total de Quedas e N° de Quedas.....	94
Quadro 25 – Vazão média mensal para o ano de 2008, na Barragem de Dona Francisca, São Lourenço e Rio Pardo, no ano de 2008	97
Quadro 26 – Cota média mensal do nível do rio para o ano de 2008, no Passo do São Lourenço e a montante e jusante da barragem do Fandango no ano de 2008.....	98
Quadro 27 – Estudo das correlações entre vazões, vazões e cotas e cotas nos pontos de amostragem no ano de 2008	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Percentuais dos segmentos presentes em cada uma das configurações de classe de flecha, tipo de margem e solo e classe de queda	88
---	----

LISTA DE APÊNDICE

APÊNDICE 1 – Planta geral da área de estudo, georreferenciada com destaque em detalhes.	113
APÊNDICE 2 – Trecho denominado Fandango Montante	115
APÊNDICE 3 – Trecho denominado Dom Marco Montante.....	117
APÊNDICE 4 – Planta geral da área de estudo, com representação do relevo....	119

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Justificativa	25
1.2 Objetivos	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1 A localização geográfica	27
2.2 O solo e a geomorfologia.....	28
2.3 Clima	34
2.4 Vegetação.....	36
2.5 Uso do solo	37
2.6 Aspectos hidrológicos do Rio Jacuí.....	38
2.7 As quedas de barranco	42
3 METODOLOGIA	47
4 CONCLUSÕES	49
5 RESULTADOS e DISCUSSÃO	57
5.1 A Classe sem queda (CQ-0)	71
5.2 A Classe de Queda 1 (CQ-01)	77
5.3 A Classe de Queda 2 (CQ-2)	78
5.4 A Classe de Queda 3 (CQ-3)	79
5.5 A Classe de Queda 4 (CQ-4)	80
5.6 A Classe de Queda 5 (CQ-5)	82
5.7 A Classe de Queda 6 (CQ-6)	83
5.8 A Classe de Queda 7 (CQ-7)	84
5.9 A Classe de Queda 8 (CQ-8)	84
5.10 Análise conjunta dos dados	85
5.11 O entorno das quedas	89
5.12 As margens do rio	92
5.13 O estudo do agrupamento das variáveis.....	93
5.14 O Índice de Sinuosidade	94
5.15 Aspectos hidrológicos	96
6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E OBRAS CONSULTADAS	105
APÊNDICE.....	111

1 INTRODUÇÃO

A água constitui-se, hoje, num dos grandes focos do debate mundial sobre a sustentabilidade ambiental, senão o principal. É notória a influência da água sobre os sistemas naturais e antrópicos, e a continuidade de seu uso condiciona-se, cada vez mais, pela qualificação na gestão e na efetividade das medidas que lhe garantam qualidade e quantidade para uso atual e das futuras gerações.

No Brasil, a preocupação com a questão da água abrange conceitos mais amplos do que somente aspectos hidrológicos diretos, abrangendo aspectos integrados como a proteção marginal, os seus usos e consumos e a descarga de efluentes em retorno. As decisões que envolvem a gestão de recursos hídricos estão centradas na participação de usuários, população e poder público, representados nos comitês de bacia hidrográfica. A Política Nacional de Recursos Hídricos, criada pela Lei 9433 de 08 de janeiro de 1997, envolve-se num complexo sistema de articulações a nível federal e estadual que se constituem em Sistemas de Recursos Hídricos cujas definições muitas vezes se conflitam. Assim, o Brasil apresenta uma dualidade conceitual na delimitação de sua hidrografia. O Sistema Nacional de Recursos Hídricos enquadra o Rio Grande do Sul em duas Regiões Hidrográficas: A do Uruguai e a do Atlântico Sul¹ e, no entanto, o Sistema Estadual enquadra o Estado em três Regiões Hidrográficas²: As Regiões Hidrográficas do Guaíba, do Uruguai e das Bacias Litorâneas. Assim, pode-se dizer que as Regiões Hidrográficas do Guaíba e Litorânea são, na verdade, sub-regiões da Atlântico Sul, nacional. No entanto, a denominação hidrográfica das regiões, em nível de estado, por representarem melhor detalhamento, foi a adotada neste trabalho.

O Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, entidade responsável pela definição e implantação da política de gestão da água no âmbito do seu território, é constituído de sessenta e cinco entidades, distribuídas em três grupos: Usuários da Água, População e Poder Público, representados

¹ BRASIL-Ministério do Meio Ambiente – **CNRH . Conjunto de Normas Legais – Recursos Hídricos**. 7ª ed. Brasília, Kaco Gráfica e Editora, 2011.

² ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – **Lei 10350** de 30 de dezembro de 1994, art. 38. Porto Alegre, DOE 01 de janeiro de 1995.

respectivamente por vinte e seis membros em cada um dos dois primeiros grupos e treze membros no terceiro.

Dentro das preocupações de qualquer pessoa ou entidade que desempenha papel na gestão de recursos hídricos, certamente a integridade das condições naturais do mesmo é sempre desejada. A manutenção da integridade das condições naturais é um processo muito complexo que leva em consideração aspectos geomorfológicos, climáticos, biológicos e antrópicos. Os parâmetros que determinam a integridade de um curso d'água podem ser de origem química como a Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), a Demanda Química de Oxigênio (DQO), teor de nitratos, fosfatos, metais pesados entre outros, de origem física (turbidez, coloração, temperatura etc.), biológicas (coliformes, produção primária de biomassa, riqueza de espécies etc.) ou estruturais (estabilidade de taludes marginais e uso do solo nas margens).

Uma grande parte dos recursos hídricos superficiais do Estado do Rio Grande do Sul acha-se fortemente impactado, tanto em relação aos aspectos qualitativos de suas águas como também, à estabilidade de suas margens. A reversão deste quadro se dará por meio de processos de gerenciamento que contemplem as condicionantes técnicas de forma preponderante sobre os aspectos subjetivos de análise.

A estabilidade de margens, nos taludes naturais de qualquer curso d'água, pode ser condicionada pelas características geomorfológicas dos terrenos marginais, pela ocupação destas terras, pelo regime hídrico e pelo processo hidrodinâmico da sua calha. A ação antrópica, pode ter forte influência no processo de desestabilização destas margens, uma vez que as atividades humanas tendem a ser impactantes negativas.

A indefinição sobre parâmetros que possam ser utilizados para avaliação da estabilidade da calha de um rio pode, muitas vezes, levar a avaliações equivocadas sobre a real responsabilidade de um ou outro fator neste processo. Assim, de maneira geral, as atividades de maior visibilidade para o conjunto da sociedade tendem a ser relacionadas com o desequilíbrio.

A natureza meandrante de um rio, com alguns trechos anastomosados, os deslizamentos, os desmoronamentos, os fluxos e as deposições podem ser considerados como produtos da ação da água, como agente processual, modelador exógeno do relevo. Desta forma, atribuir o processo erosivo de margens, a um ou a

outro, ou mesmo a múltiplos fatores, é uma tarefa que exige análise dos parâmetros envolvidos³.

O Rio Jacuí é o maior rio de domínio exclusivo do Rio Grande do Sul, pois nasce, desloca-se e tem sua foz dentro do seu território. É um rio que historicamente está ligado ao desenvolvimento do Estado, pois representou uma importante via de acesso ao interior, desde os primórdios da colonização portuguesa.

A destruição das margens do rio Jacuí tem sido tema constantemente debatido nas reuniões do Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí. Desde 2005, com o início das ações de fiscalização envolvendo a Polícia Federal, o Ministério Público Federal⁴ e Estadual⁵, a FEPAM e o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), muito se tem falado sobre a responsabilidade de um ou outro setor econômico sobre o processo de degradação das margens. No entanto, o desafio de estabelecer parâmetros científicos, confiáveis, para a avaliação da estabilidade dos taludes marginais no rio continua existindo. Tal parametrização deverá se constituir num importante instrumento de gerenciamento de conflitos pelo uso da água e pela responsabilidade com o meio ambiente.

Atualmente, não existe uma metodologia disponível que permita determinar, com suficiente precisão, a partir da análise de múltiplos fatores, a potencialidade da ocorrência de queda de taludes marginais em qualquer trecho do rio Jacuí. A geotecnia possui condições de determinação do ângulo de colapso de um talude, no entanto, sua aplicação, para grandes extensões, torna-se inviável e incorre em ações invasivas no meio ambiente. A alternativa de determinação de parâmetros que possam avaliar a estabilidade de taludes, de forma mais integrada, menos específica e menos invasiva deverá ter aplicações mais otimizadas nos processos de gerenciamento ambiental da bacia, visto que, provavelmente, a desestabilização de taludes seja decorrente de múltiplos fatores e não, necessariamente, de um só.

³ DURLO, Miguel A.; SUTILI, Fabrício J. **Bioengenharia: Manejo Biotécnico de Cursos de Água**. Porto Alegre. EST edições, 2005.

⁴ MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL, Procuradoria da República no Rio Grande do Sul. **Informativo on line**. Disponível em <http://www.prrs.mpf.gov.br/iw/iol/public.php?publ=24779>, acesso realizado em 10 setembro de 2010.

⁵ MINISTÉRIO PÚBLICO ESTADUAL, **AÇÃO CIVIL PÚBLICA Nº 2006.71.00.028285-1/RS**. Disponível em http://www.mp.rs.gov.br/areas/ambiente/arquivos/bola_jur_nov/71000282851.pdf. acesso realizado em 10 de setembro de 2010.

A região onde se situa a área de estudo possui como atividade principal, próximo da calha do rio, a lavoura de arroz e a pecuária, remanescendo as atividades industriais apenas na região urbana de Cachoeira do Sul. A mineração de areia é pequena neste trecho do rio, limitando-se às empresas de Cachoeira do Sul e Rio Pardo, correspondendo a menos de 6% do total extraído no Rio Jacuí⁶. Mesmo considerando-se a pouca expressão da mineração de areia em todo o trecho, alguns pontos são mais fortemente impactados pela atividade, pois concentram as operações, como no caso do trecho a montante da Barragem do Fandango.

Um dos grandes conflitos, refere-se ao dos possíveis danos causados às margens e às lavouras, pelo manejo inadequado das barragens do Sistema Hidrelétrico a montante da área, que consiste nas Usinas Hidroelétricas (UHEs) de Hernestina, Passo Real, Jacuí, Itaúba e Dona Francisca. Cabe salientar que destas, as de Itaúba e Dona Francisca não possuem controle de vazão. Dona Francisca é a usina mais próxima da área do estudo, localizando-se a 141km a montante. Este conflito hoje é mediado por uma ação judicial promovida pelos agricultores atingidos pelas enchentes, contra a Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE).

Destaca-se ainda, na área, a presença de duas barragens eclusas: a do Fandango em Cachoeira do Sul e a do Anel do Dom Marco em Rio Pardo (Figuras 02 e 03 respectivamente). A primeira possui represamento máximo de 4,5m de altura e estirão navegável de 60km enquanto a segunda possui represamento máximo de 7,5m e 62km de estirão navegável. Assim, toda a área se encontra sob a influência do represamento da água, ora a jusante do Fandango ora a jusante de Dom Marco⁷

⁶ DNPM – CFEM – Arrecadação da Compensação Financeira, 2011, disponível em https://sistemas.dnpm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorios/arrecadacao_cfem_substancia.aspx. Acesso em 10 de abril de 2012.

⁷ DEPREC – **Relatório Técnico do Departamento Estadual de Portos, Rio e Canais**. Grupograf. Porto Alegre, 1973.

1.1 Justificativa

A questão hídrica ganha, dia a dia, em esfera mundial, destaque nos debates sobre sustentabilidade, ora por excessos de água, ora pela escassez da mesma. É inegável que a água é um bem de importância vital à sobrevivência humana bem como da biota mundial. Os mecanismos de gestão, muitas vezes, limitam-se a designação de medidas emergenciais, decorrentes de fenômenos extremos de seca ou de inundação, mas raramente atuam na prevenção e na previsibilidade dos efeitos decorrentes dos eventos climáticos, em especial da precipitação pluviométrica. A natureza rege-se por um princípio fundamental que é o da busca do equilíbrio dinâmico, forma pela qual a mesma acha-se em contínua mobilidade, modelando ecossistemas que, em caráter mais ou menos duradouros, configuram-se como os cenários atuais. Quanto aos cenários futuros de uma região, o conjunto dos processos que atuam de forma dinâmica sobre o mesmo, encarrega-se de sua formatação.

O rio Jacuí, por sua importância no Rio Grande do Sul, necessita de mecanismos de gestão que garantam sua perpetuidade, mesmo que com seu caráter dinâmico. Assim, conhecer o rio em suas especificidades passa, necessariamente, pela compreensão do processo, ou dos processos, que determinam a instabilidade de seus taludes marginais. De acordo com interesses particularizados às vezes acusa-se um ou outro setor da atividade econômica como responsável pelo processo degradador das margens (as barragens, a lavoura de arroz, a mineração, a urbanização e etc.). Neste sentido, o estudo pode colaborar com a imparcialidade da análise científica sobre o tema.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste estudo foi o de determinar parâmetros integrados para avaliação da estabilidade de taludes marginais da calha do Rio Jacuí, no trecho entre a foz do Arroio Irapuá e a Barragem de Dom Marco, perfazendo um total de 74 km.

Os objetivos específicos consistiram em:

- Identificar e georreferenciar os pontos de queda de taludes marginais no Rio Jacuí, no trecho estudado.
- Identificar parâmetros associados com a instabilidade de taludes marginais.
- Determinar a integração de variáveis que possuem ação direta sobre a instabilidade dos taludes.
- Identificar os locais críticos para queda de taludes, no trecho estudado.

Em razão do exposto anteriormente, o trabalho visa responder as seguintes hipóteses:

Ho – É possível encontrar variáveis que esclareçam a ocorrência de quedas de taludes marginais no Rio Jacuí, no trecho estudado.

H1 – Em função da observação de variáveis das margens do Rio Jacuí, pode-se determinar trechos com maior ou menor probabilidade de ocorrência de queda ou movimentação de taludes?

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A localização geográfica

O Rio Jacuí constitui um dos mais expressivos recursos hídricos superficiais do Rio Grande do Sul, cobrindo 35,96% do território total da Região Hidrográfica do Guaíba⁸. Segundo a mesma fonte, a Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, denominada G70, compreende uma área de 17.370,48km², o que equivale a 20,74% de toda a Região Hidrográfica do Guaíba. Apesar de sua ampla territorialidade, possui apenas 5,51% da população da Região Hidrográfica.

O rio corre, desde a sua nascente, para o sul, até o município de Cachoeira do Sul, próximo à foz do rio Irapuá. Deste ponto em diante, sua trajetória muda para um deslocamento de oeste para leste, até o Lago Guaíba. Em seu percurso, o rio passa pela região do planalto basáltico até, aproximadamente, a Barragem de Dona Francisca, onde, a partir daí, segue pela Depressão Central até sua foz⁸.

O trecho do Rio Jacuí, abrangido pelo trabalho, está integralmente localizado na Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, entre os Pontos Quilométricos (PKs) 168 e 241, totalizando 74 km. Todo o trabalho possui referência aos respectivos PKs uma vez que esta é a medida oficial de posicionamento nos rios navegáveis e representa a distância, em quilômetros, entre um ponto e o marco inicial de registro navegável. No Rio Jacuí, o PK inicial, ou zero, localiza-se junto à sede a Superintendência de Portos e Hidrovias do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre⁹. Neste trecho, o rio apresenta-se tipicamente como de planície, dado ao relevo plano que constitui a maior parte da área da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. O rio Jacuí, no trecho do estudo, desloca-se de oeste para leste, desde as coordenadas 30°02'53''S e 52°58'W, na foz do Arroio Irapuá até 30°05'23''S e 52°30'15''W, na Barragem Eclusa de Dom Marco¹⁰.

⁸ RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Relatório Anual dos Recursos Hídricos do RS**. CRH-SEMA/DRH. Porto Alegre, 2006, disponível em http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/pdf/Relatorio%20Anual_completo_0207.pdf

⁹ SILVA, Jocélio R.; MORAIS, João P. **Relatório Anual do Monitoramento Ambiental do Rio Jacuí**. Gente & Terra Assessoria e Consultoria Ltda. Cachoeira do Sul, 2007.

¹⁰ SILVA, Jocélio R.; MORAIS, João P. op. Cit.

2.2 O solo e a geomorfologia

O solo pode ser descrito como a camada de material alterado química e biologicamente que recobre a rocha ou outros materiais inalterados na superfície terrestre¹¹. Os mesmos processos bio-geoquímicos que agem na gênese podem, em combinação com novos fatores, servir de mecanismo de degradação pedológica.

Na bacia do Baixo Jacuí, os solos têm sua gênese fortemente relacionada com os processos erosivos de montante e deposição a jusante, com componente processual, fluvial, muito expressivo. Da mesma forma, vê-se a ação fluvial agindo na desestruturação deste mesmo solo. Isto é possível porque a conjugação de variáveis que contribuíram para a formação do solo difere daquela que provoca a desestruturação deste.

As margens baixas e o relevo plano do trecho estudado são resultantes da acumulação fluvial, apresentando áreas brejosas sujeitas à inundação periódica e rupturas de declive em relação à várzea e ao leito do rio. São sedimentos de origem Quaternária com textura que varia de arenosa, areno-argilosa e cascalhos¹². Como unidade hidrogeológica a região localiza-se sobre o Sistema Aquífero Sanga do Cabral/Pirambóia¹³. Este conjunto de fatores contribui, significativamente, para a fisionomia exibida pelo canal do rio. Quanto a Compartimentação do Relevo o IBGE¹⁴ classifica a região de estudo como Planície em Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas, conforme Figura 01, com relevo formado a partir de acumulações fluviais com presença de trechos anastomosados do rio e meandrância remanescente de movimentações laterais do rio.

¹¹ RICKLEFS, Robert E. (Tradutor: Pedro P. de Lima-e-Silva, Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2010.

¹² Disponível em <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/relevo.htm#mapa>. Acesso em 12 de janeiro de 2010.

¹³ CPRM. **Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul – Escala 1:750.000**. Convênio SOPS-SEMA/DRH-CPRM. Porto Alegre, 2005.

¹⁴ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA-IBGE. **MANUAL TÉCNICO DE GEOMORFOLOGIA**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2009. Centro de Documentação e Disseminação de Informações. Gráfica Digital, 175p.

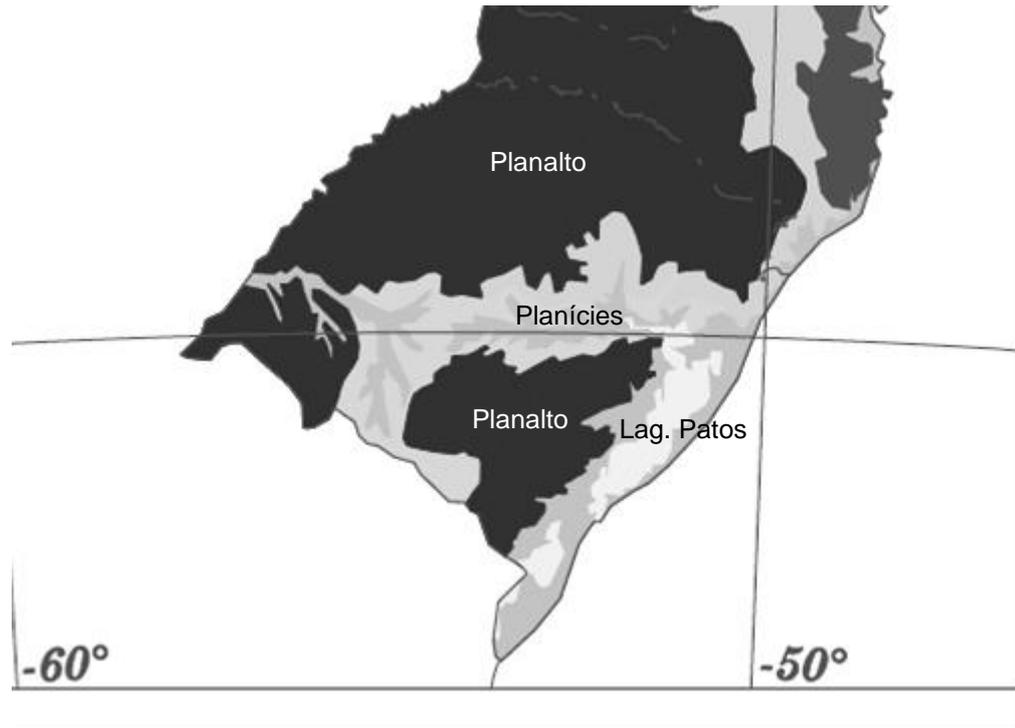


Figura 1 – Distribuição da Compartimentação do Relevo no Sul do Brasil.

Fonte: Compilado de IBGE (2009)

A presença de lagos oriundos do deslocamento lateral do rio em função de sua mobilidade natural denominam-se lagos de ferradura, crescente ou de meandro e são provavelmente os lagos mais abundantes no território brasileiro. Segundo o mesmo autor, estas formações são conhecidas como “oxbow lakes” na literatura norte-americana e “Altwasser” na alemã. São também conhecidos, por diversos autores, como paleomeandros¹⁵.

Dentre as múltiplas classificações para rios uma enquadra-os em quatro tipos: Dirreico, Endorreico, Arreico e Eurreiro¹⁶. Nesta classificação, o Rio Jacuí, no trecho estudado, classifica-se como Eurreico por estar localizado em zonas úmidas em toda a sua extensão, com vazão sem intermitência e com picos nas cheias, formando delta na sua foz e com tendência da formação de meandros. Os rios classificam-se ainda por uma região plana do rio chamada potâmica e a mais elevada, com

¹⁵ ESTEVES, Francisco de A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro, Interciência, 1998. 602p.

¹⁶ SCHWARZBOLD, Albano. **Teoria Ecológica Sobre Rios**. Ciência&Ambiente. Santa Maria, nº 41. Jul-dez. p 5-20.2010.

gradiente vertical mais acentuada, como ritral¹⁷. Nesta região potâmica é mais acentuada a deposição de areia, siltes, argilas e cascalhos, bem como é maior o consumo de oxigênio dissolvido, se comparada com a ritral, onde a maior velocidade da água imprime maior ritmo de arraste e erosão bem como maior disponibilização de oxigênio dissolvido.

A área que abrange o trabalho situa-se em classe de solo denominada Planossolo que caracteriza-se pelo encharcamento superficial estacional, na subordem Háplico que define seu caráter simples, grupo Eutrófico (SX16), associando-se com Gleissolo Melânico Eutrófico (Gm) e Argilossolo acinzentado Eutrófico(PAC)¹⁸. O subgrupo Glei compõe-se de solos minerais, hidromórficos com horizonte A seguido de um acinzentado, resultante das modificações sofridas pela redução do óxido e ferro em função do encharcamento sazonal, que pode iniciar-se a 40 cm da superfície e caracterizam-se pela má drenagem¹⁹. Nos solos para irrigação, distingue os solos Glei, com presença de camada de impedimento como próprios para os cultivos de arroz irrigado. Cabe destacar que ao longo das margens do Rio Jacuí, a presença de camada de impedimento ocorre em, em alguns trechos, a uma profundidade de 1,0m ou mais. Isto indica a sobreposição de uma camada de solo de fácil drenagem até a altura do impedimento, quando próximo de taludes marginais. A presença da camada de impedimento configura graves problemas de drenagem pela saturação do solo, à medida que se aproxima dos taludes marginais²⁰. Isto está relacionado ao fato de que a presença de taludes permite a derivação lateral da água, saindo na forma de lâminas ou vertentes pontuais por representar zona de menor pressão sobre o solo saturado de água. Muitas vezes, a camada de impedimento adquire características de laterizações ou formações

¹⁷ SCHAFFER, Alois. Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das Águas Continentais. Porto Alegre. Ed. da Universidade, 1985

¹⁸ IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA. **MANUAL TÉCNICO DE PEDOLOGIA**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2007. Centro de Documentação e Disseminação de Informações. Gráfica Digital, 316p.

¹⁹ EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA– Agência de Informações, 2005 disponível em http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_95_10112005101956.html, acesso em 05 de abril de 2011.

²⁰ ROTA, Álvaro M. – **Avaliação da Irrigação por Sulcos em Solos com Camada de Impedimento**. 2001.136p. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

laminares típicas de solos plínticos. A EMBRAPA²¹ reconhece a presença eventual de Plintossolos como solos profundos, medianamente drenados, na região.

Ainda sobre os Plintossolos é preciso considerar que:

“ o ferro comumente está presente em solução sólida de minerais primários, ocupando lugares equivalentes. O potencial necessário para converter ferro para o estado férrico se dá em soluções aquosas naturais, sobretudo em ambiente ácido. Em tais condições, o ferro dissolvido oxida para um óxido férrico hidratado que é insolúvel e precipita-se, podendo produzir através do intemperismo, processo de laterização. A precipitação ocorre preferencialmente no horizonte B, por dificultar a migração descendente do ferro, uma vez que os espaços intersticiais (porosidade do horizonte) são reduzidos.”²²

A distribuição vertical dos horizontes do solo, na área de estudo, varia bastante ao longo do trecho. A presença do horizonte O, ou orgânico, varia em função do tipo de cobertura vegetal bem como das características físico-químicas e estruturais do solo. A presença de horizonte H, camada de constituição orgânica, superficial ou não, composto de resíduos orgânicos acumulados ou em acumulação sob condições de prolongada estagnação de água, salvo se artificialmente drenado também pode ser evidenciada no trecho. Os horizontes A, B, C e R aparecem com espessura variável ao longo do trecho. Destaca-se a ocorrência de horizonte E, mineral, cuja característica principal é a perda de argilas silicatadas, óxidos de ferro e alumínio ou matéria orgânica, individualmente ou em conjunto, com resultante concentração residual de areia e silte constituídos de quartzo ou outros minerais resistentes e/ou resultante em descoramento²³. Ocorre também a presença de horizonte F, camada de material mineral consolidada à superfície, sob A, E, B ou C, rico em ferro e/ou alumínio e pobre em matéria orgânica, proveniente do endurecimento irreversível da plintita, ou originado de formas de concentração possivelmente não derivadas de plintita, inclusive promovidas por translocação lateral de ferro e/ou alumínio²⁴.

²¹ EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo de Arroz Irrigado no Brasil**, 2005. disponível em <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/cap03.htm>, acesso em 03 de janeiro de 2011.

²² CASSETI, Valter. Geomorfologia. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 12 de março de 2012

²³ EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Definição e notação de horizontes e camadas do solo. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1988. 54p.*

A Figura 02 demonstra o perfil de um solo com suas distintas camadas denominadas horizontes. Esta Figura mostra três camadas distintas no solo: Uma com os horizontes O (orgânico) e A, em sequência a presença de horizonte B e Bt (B textural) com maior teor de argilas, formado pelo carreamento vertical, descendente, destas partículas²⁴

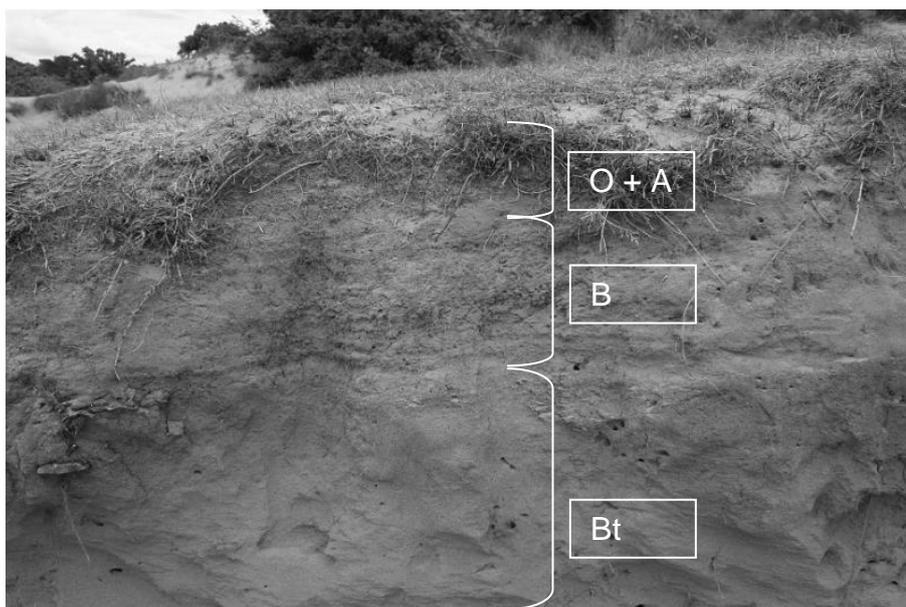


Figura 2 – Perfil de solo com presença de horizontes bem distintos.

O+A : Horizontes agregados com o orgânico e o A.

B+Bt : Horizonte B com B textural

A diferença entre o nível do solo e o da água, no leito do rio, resulta de condicionantes pedogênicas. Na fração superior do rio, no trecho entre sua nascente até a Barragem de Dona Francisca, a diferença de nível mostra-se maior uma vez que o mesmo corre em fraturas do basalto, historicamente aprofundando seu leito em função do desgaste da rocha. No trecho a jusante a esta barragem, o rio corre em planície sedimentar cuja formação deve-se muito ao seu papel hidrodinâmico. Assim, neste trecho a diferença do nível das margens é menor que no anterior pois na maioria da sua extensão corresponde a pouco menos do que a cota máxima de inundação. Nestes locais as cheias são contribuintes importantes de material para o

²⁴ MAPA DE SOLOS DO RS – disponível em <http://w3.ufsm.br/ifcrs/solos.htm>, acesso em 22 de março de 2012.

solo da planície, tanto no que diz respeito ao depósito de material textural como na translocação química.

O trecho que compreende o estudo apresenta ampla predominância do planossolo, mas pode ser evidenciada a presença dos argissolos, remanescentes de deposições anteriores em condição de águas mais lânticas e com maior compressão e/ou cimentação.

A constância da cota elevada do rio, acima do esperado para a época, por um período de tempo maior ou igual a 180 dias, no rio São Francisco, foi fator agravante para acelerar o processo de remoção de partículas de solo, promovendo corrasão e conseqüente desmoronamento de blocos²⁵.

O SX16 refere-se a Planossolo Háplico eutrófico (ou seja solos simples e de boa fertilidade) associado a Glei Melânico eutrófico e com Argissolos acinzentados eutróficos (boa fertilidade) e PV6 associado a Argissolo vermelho distrófico (solos com saturação de base inferior a 50% e baixa ou média fertilidade) com vermelho-amarelo também distrófico²⁶.

A região abrangida pelo estudo tem forte exploração agropecuária baseada na lavoura de arroz, nas várzeas e terrenos planos, pelas lavouras de soja e milho e por campos nas zonas mais elevadas e secas. Assim, mesmo quando ocorre a presença de vegetação florestal, seja ela nativa ou exótica, raramente exclui-se a presença de gado no ambiente. Nestas áreas de domínio agropecuário, os solos são bastante manipulados por força dos cultivos.

Apenas nos últimos anos, com a ampliação da sistematização de várzeas para o cultivo de arroz, o pastoreio bovino passou a limitar-se às áreas não cultivadas neste processo. Da mesma forma, a introdução do cultivo da soja em várzea, vista como uma alternativa ao cultivo de arroz, tem trazido restrições do uso da pecuária sobre estas terras.

O excesso de água no solo entre a saturação e a capacidade de campo corresponde a água gravitacional. Esta água gravitacional escoar de pontos de maior potencial para pontos de menor potencial hidráulico. Assim, durante o processo de

²⁵ HOLANDA, Francisco S. R.; Rocha, Igor P. da; OLIVEIRA, Vandemberg S. Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. vol.12 no.6 Campina Grande Nov./Dec. 2008.

²⁶ IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de Solos do Brasil**. Disponível em ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/mapas_murais/solos.pdf. Acesso em 12 de maio de 2011.

encharcamento, o solo satura de água e tão logo ocorra o cessamento da fonte de água, o mesmo perde-a para os locais de menor potencial hidráulico, como as margens. Este refluxo da água solubiliza sais e dilui colóides do solo comprometendo a estabilidade do mesmo²⁷.

Conforme o Mapeamento de Risco em Encostas e Margens de Rios ²⁸, a estabilidade do solo nestes locais está sujeita à erosão marginal que constitui na remoção e transporte de solo dos taludes marginais dos rios provocados pela ação erosiva das águas do canal de drenagem. Isso está fortemente associado à presença de fluxo hídrico interno no solo, seja em condições de cheia ou de inundação.

2.3 Clima

A precipitação média anual na Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí é de 1.524,33 mm²⁹, no entanto são frequentes os extremos compreendidos por longos períodos de estiagem alternados com cheias de médias e grandes proporções.

Estes eventos episódicos que tem se alternado nas duas últimas décadas tem trazido grandes transformações morfológicas, sociais e ambientais na bacia, tendo-se em destaque a cheia de janeiro de 2010. Esta cheia, dada a sua excepcionalidade, constituiu-se num evento de característica catastrófica responsável inclusive pela queda da ponte sobre o Rio Jacuí, na RS 287, conforme a fotografia da Figura 03, ocasionado pelo excessivo represamento de água junto à rodovia.

A sucessiva alteração da paisagem no que se refere ao uso do solo mostra que projetos antigos, dimensionados quando a cobertura florestal era mais expressiva, precisam ser repensados agora, quando a cobertura do solo é mais agrícola.

²⁷ LIMA, Walter de P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba, USP. 2008, 253p.

²⁸ BRASIL, Ministério das Cidades/ IPT. **Mapeamento de risco em Encostas e Margens de Rios** / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura – organizadores. Brasília: MC/IPT. 2007, 176p.

²⁹ SANTOS, Elaine R. O. dos, (Coordenadora) – **Relatório Anual Sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, SEMA, 2002. 343p.



Figura 3 – Cheia do Rio Jacuí em janeiro de 2010.

Fonte: Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul ³⁰.

O clima, segundo a classificação de KÖPPEN, é tipificado como Cfa ou seja clima temperado úmido. Este enquadramento abrange os climas mesotérmicos cuja temperatura média do ar nos três meses mais frios está compreendida entre -3°C e 18°C , a temperatura média do mês mais quente superior a 10°C e com estações bem definidas para o inverno e verão. Com relação à precipitação sua distribuição é mais ou menos uniforme ao longo do ano sendo ausente uma estação seca definida, embora no mês mais quente do verão a temperatura média supere 22°C ³¹.

A região situa-se no Domínio Morfoclimático de transição entre os Planaltos Subtropicais com Araucárias e as Coxilhas Subtropicais com Pradarias Mistas, conforme Figura 04³². Segundo o mesmo autor, Os domínios morfoclimáticos brasileiros são definidos a partir das características climáticas, botânicas, pedológicas, hidrológicas e fitogeográficas; com esses aspectos é possível delimitar seis regiões de domínio morfoclimático. Devido à extensão territorial do Brasil ser muito grande, vamos nos defrontar com domínios muito diferenciados uns dos outros.

³⁰ Rio Grande do Sul, Defesa Civil- disponível em http://www.estado.rs.gov.br/governo/download.php?arq=arquivos/galeria_fotos/2010010518224705jan10_chuva_110.jpg

³¹ FABRES, Tanira M. Classificação climática segundo Köppen e Thornthwaite e caracterização edafoclimática referente à região de Santa Maria, RS. Piracicaba, 2009.127p.

³² AB'SABER, A. N. Potencialidades paisagísticas brasileiras. In: **RECURSOS NATURAIS, MEIO AMBIENTE E POLUIÇÃO: CONTRIBUIÇÕES DE UM CICLO DE DEBATES**. Rio de Janeiro, IBGE, Superintendência de Recursos Minerais e Meio Ambiente, 1977. v. 1. Recursos naturais.

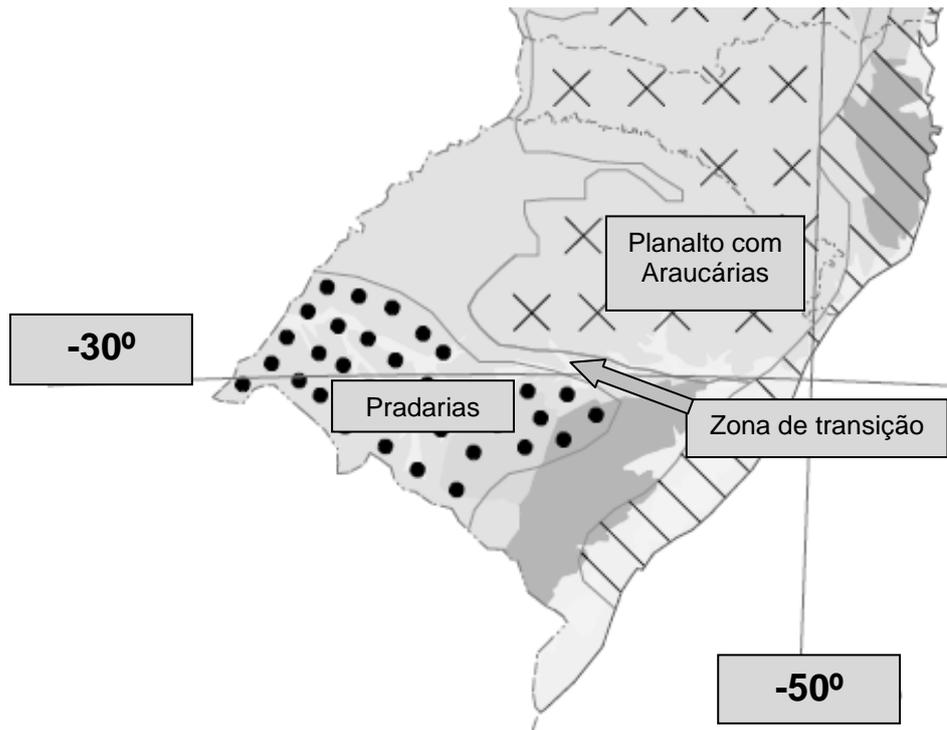


Figura 4 – Domínio Morfoclimáticos.

Fonte: IBGE (2011)

2.4 Vegetação

A vegetação, importante fator de estabilização ou de desestabilização dos taludes marginais, acha-se representada, na região, pela Floresta Estacional Decidual e a Estepe Estacional³³. Esta vegetação original acha-se fortemente antropizada, e assim, apresenta-se bastante descaracterizada pela presença acentuada da agricultura e pecuária, pela urbanização e pelo reflorestamento. A região de estudo encontra-se na área de transição ecológica entre dois importantes Biomas: a Mata Atlântica e o Pampa. A presença da mata ciliar íntegra é, de maneira geral, pouco expressiva, limitando-se a remanescentes e, ainda assim, com presença da ação antrópica, mesmo que eventual. De maneira geral, pode-se afirmar que a espécie arbórea dominante nas margens do rio é o Ingazeiro (*Inga vera* Willd). São ainda evidenciados exemplares de Grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel)

³³ LEITE, Pedro F. Contribuição ao conhecimento fitoecológico do sul do Brasil. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, V24, 2002.

J.F.Macbr.), Angico-vermelho (*Parapiptadenia rígida* (Benth.) Brenan), Marmeleiro-do-mato (*Ruprechtia laxiflora* Meisn.), Guajuvira (*Cordia americana* (L.) Gottshling & J.E.Mill.), Branquilho (*Sebastiania commersoniana* (Baill.) L.B.Sm. & Downs), Catiguá (*Trichilia clausenii* C.DC.), Chá-de-bugre (*Casearia sylvestris* Sw.) e Açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart. & Zucc.), entre outras. Quadros e Pillar (2002)³⁴. salienta a presença, na mata ciliar, da Grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr.), Angico-vermelho (*Parapiptadenia rígida* (Benth.) Brenan), Canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng) Taub.), Timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong), Louro-pardo (*Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex. Steud) e Canjerana (*Cabralea canjerana* (Vell.) Mart.). Destas espécies destaca-se que a presença de *Peltophorum dubium* é típica da região do Alto Uruguai, não estando presente, de forma natural, nas florestas da região do estudo.

2.5 Uso do solo

A região abrangida pelo estudo possui forte atividade agrossilvopastoril, sendo a lavoura de arroz uma das principais atividades na região do planossolo, com maior teor de argila e baixa capacidade de drenagem. Nas áreas de neossolos flúvicos, a permeabilidade maior do solo permite maior infiltração e conseqüentemente apresenta desvantagem para a lavoura arrozeira em virtude de necessitar de grande reposição de água. As atividades agrícolas encontram na rotação com a pecuária, a forma ideal de aproveitamento na intercalação de culturas ou mesmo no pousio.

Na área ocorre a presença de porções cobertas por vegetação em estágio inicial e médio de regeneração, oriunda do abandono de áreas agrícolas em razão das imposições legais, principalmente devido ao licenciamento ambiental.

A transição floresta-campo, própria desta região, configura-a como uma área de especial atenção nos aspectos conservacionistas. A pecuária, por ser atividade amplamente difundida, apresenta fortes impactos sobre os remanescentes florestais, em qualquer estágio de regeneração uma vez que o pisoteio e a herbivoria

³⁴ QUADROS, Fernando L. D. de e PILLAR, Valério de P. Transição Floresta-campo no Rio Grande do Sul. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, Vol 24 (janeiro a julho), 2002.

comprometem a regeneração da vegetação. O avanço ocorrido das áreas de cultivos e criações sobre a vegetação natural pode ser vista nas margens do próprio rio Jacuí, onde as florestas foram sistematicamente reduzidas ou alteradas em sua biodiversidade, embora se apresentem, agora, mais ou menos estabilizadas.

2.6 Aspectos hidrológicos do Rio Jacuí

A área do estudo possui regime hidrológico variável com a presença de enchentes periódicas. A vazão do rio Jacuí, a montante do trecho de estudo, tem média anual de 505,67 m³/s e mínima de 30,79m³/s (Q_{95%})³⁵. Estes dados de vazão referem-se aos apresentados no Relatório Anual dos Recursos Hídricos de 2002 e divergem em valor dos dados do mesmo relatório do ano de 2006, conforme pode ser observado no Quadro 01 demonstrado mais adiante. A região possui uma precipitação média de 1524,33 mm/ano, de acordo com a mesma fonte. Esta precipitação, conforme mencionado anteriormente, não está uniformemente distribuída durante o ano, fato que contribui para as enchentes e secas anuais. Este fato também é agravado, segundo relatos do Comitê Baixo Jacuí, pela intervenção no regime hídrico pelas hidrelétricas localizadas a montante do trecho, bem como pelo manejo irregular da abertura e fechamento das comportas das Barragens do Fandango e Dom Marco, estas destinadas ao controle do nível para navegação. Todo o trecho do estudo acha-se sob o regime de influência das barragens-eclusas, seja por retenção a montante ou liberação a jusante. O sistema hidrelétrico a montante da área compreenda as usinas hidrelétricas (UHE) de Passo Real, Jacuí, Itaúba e Dona Francisca.

A movimentação de sólidos no leito do rio dependem de seu tamanho, peso específico e da existência de velocidade da água acima da velocidade limite de transporte³⁶. A velocidade da água em um rio é dependente de múltiplos fatores, variando no sentido longitudinal, no lateral e em profundidade. A velocidade da água

³⁵ RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. **Relatório Anual dos Recursos Hídricos do RS**. CRH-SEMA/DRH. Porto Alegre, 2006, disponível em http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/pdf/Relatorio%20Anual_completo_210207.pdf

³⁶ DURLO, Miguel A., BRESSAN, Delmar A. e SUTILI, Fabricio J. Biotécnicas no Manejo de Curso de Água. **Ciência&Ambiente**. Santa Maria, n°41. p 69-90, Jul-dez. 2010.

em um curso altera-se não só com a variação da declividade, mas, também no sentido transversal e longitudinal do leito e canal³⁷. Ainda segundo estes autores, a velocidade da água em um canal aberto diminui da superfície para o fundo e do centro para as margens, como resultado da resistência oferecida pelas margens e pelo fundo.

A Figura 05 demonstra o processo de movimentação de material no leito de um rio.

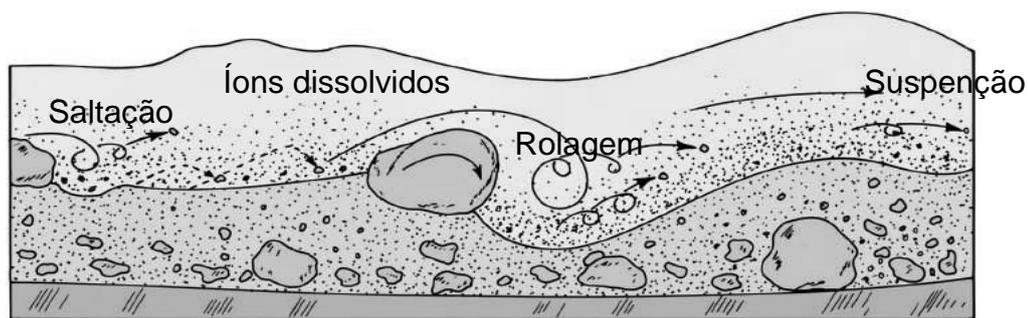


Figura 5 – Movimentação de material em leito de rio de acordo com o deslocamento da água e a presença de obstáculos.

Fonte: Modificado a partir de River Systems - Earth's Dynamic Systems. 10ª edição. (2008)³⁸

A variação existente na seção transversal do rio traz reflexos diretos sobre a velocidade da água. Como a vazão é acumulativa, ao longo de um trecho longitudinal do rio, sempre que ocorrer redução da seção transversal, no sentido da largura, a compensação se dará pelo aumento da profundidade.

Saltação é um movimento circular promovido pelas partículas sólidas quando carregadas pela água com maior velocidade. A rolagem consiste na movimentação de rochas que, ao obstruírem o deslocamento da água, criam um turbilhonamento a jusante da mesma, que remove material fino e promove o deslocamento rolado da mesma. A suspensão consiste no material particulado mais fino que não se precipita facilmente, causando a turbidez da água. Os íons dissolvidos advêm da dissolução de sais nas rochas do leito ou carregadas para o rio pela erosão do solo na bacia

³⁷ DURLO, Miguel A.; SUTILI, Fabrício J. Bioengenharia: Manejo Biotécnico de Cursos de Água. Porto Alegre. EST edições, 2005.

³⁸ CHRISTIANSEN, E. H.; HAMBLIN, W. K. - **River Systems – Earth's Dynamic Systems**. Disponível em <http://earths.info/pdfs.12.pdf>. Acesso em 12 de outubro de 2010.

hidrográfica³⁶. Estes movimentos são importantes no deslocamento de areia e cascalho no leito do rio, bem como para determinar a energia de transporte remanescente da água.

As análises realizadas no trecho do Rio Jacuí, a jusante da área deste estudo, afirmam que velocidades de 60cm/s são suficientes para transportar sedimento classificado como areia grossa (3 a 4 mm) e que velocidades acima de 30cm/s possuem energia suficiente para causar a erosão de taludes ou margens³⁹. No mesmo estudo, o autor demonstra que com velocidade de 49,85cm/s o rio é capaz de movimentar o equivalente a 319 toneladas por hora, de material em suspensão. Este dado, apesar de ser pontual e a jusante do trecho desse estudo, serve como ilustração da movimentação de material existente no rio. Se a velocidade diminui, o material se deposita, se a velocidade aumenta, mais material é removido. A velocidade é fator condicionado por características locais como a largura do leito e a vazão do momento.

O processo erosivo fluvial depende da interação de quatro diferentes mecanismos: a ação hidráulica da água; a ação corrosiva das partículas em suspensão na água (ou erosão mecânica); a abrasão sobre as partículas em suspensão na água e a diluição química provocada pela água⁴⁰. O primeiro mecanismo está presente quando a velocidade da água impõe um esforço maior que a resistência gravitacional sobre os produtos sólidos do leito e margens do rio. Enquanto a resistência gravitacional está sendo vencida pela força de deslocamento da água, o material permanece em suspensão ou sendo arrastado. Quando o processo se inverte, tem-se a deposição do material. O segundo mecanismo, a erosão mecânica ocorre pela ação do atrito do material sólido, deslocado por arraste de fundo ou por suspensão, contra o solo ou rochas das margens. O terceiro mecanismo propicia a redução volumétrica do material em arraste ou em suspensão pelo atrito com outros materiais suspensos ou fixos na margem ou leito do rio. Este processo faz com que o deslocamento para jusante torna os materiais cada vez menores passando pelos estágios de cascalhos, areia grossa, areia média e areia fina. O mecanismo da diluição química está relacionado com o caráter de solvente

³⁹ HARTMANN, C.; BULLA, L.A.S & FELLINI, B.D. – Uso do ADCP na avaliação do fluxo e no transporte de sedimentos no baixo rio Jacuí, Charqueadas, RS. **Relatório Técnico**. Gravel. Volume 8, nº 1 - Porto Alegre, 2010.

⁴⁰ CASTRO, Antonio L. C. **Manual de Desastres . Vol 1 Desastres Naturais**. Brasília.Ministério da Integração Nacional. 2009. 174p.

universal da água, responsável pela solubilização de sais dispostos nos espaços do solo.

O Quadro 01 demonstra a vazão de entrada em diferentes seções do trecho. SHR é a abreviatura de Seção Hidrográfica de Referência e refere-se a uma seção específica do rio, onde foi determinada a vazão. A vazão determinada baseia-se no parâmetro Q_{95} , ou seja, a vazão disponível em 95% do intervalo de tempo. Não expressa a vazão máxima ou mínima, mas aquela que permanece, seguramente, por mais tempo (no caso 95% deste tempo). A diferença entre duas seções incorpora a descarga de tributários e a supressão de água para fins diversos.

Desta forma o Quadro 01 demonstra a média da vazão, por exemplo, 632 m^3/s para o Passo do São Lourenço, a montante da foz do Irapuá. No entanto, a vazão de permanência em 95% do tempo é de apenas 17,32 m^3/s .

SHR	Nome	Vazão de entrada m^3/s		
		Q_{95} anual	Q_{95} de dezembro a março	Média
2	Passo do São Lourenço	17,32	11,27	632
5	Fandango - Jusante	23,75	19,66	639
9	Bexiga	21,69	24,76	675
12	Dom Marco – Jusante	20,84	22,34	728

Quadro 1 – Demonstrativo das vazões no rio Jacuí, em quatro seções de referência.

Fonte: RIO GRANDE DO SUL (Estado).(2002)⁴¹

Nos meses de dezembro a março, a supressão de água para irrigação das lavouras de arroz, aliada a redução da precipitação diminui o valor da vazão para 11,27 m^3/s . Este fenômeno que ocorre também no Fandango-Jusante. No entanto, a partir da localidade de Bexiga a situação se inverte, quando os meses de dezembro a março possuem incremento de vazão em relação à média anual. Este fenômeno

⁴¹ RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. **Relatório Anual Sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul.** – SEMA. 2002. 343p. disponível em [http://www.sema.rs.gov.br/upload/Relatorio_RH_Final_2002\(1\).pdf](http://www.sema.rs.gov.br/upload/Relatorio_RH_Final_2002(1).pdf). Acesso em 02 de março de 2012.

merece estudo mais detalhado, mas, provavelmente, relaciona-se a maior presença de reservação de água em açude e lagos que, quando utilizados na lavoura de arroz, geram descarte que retribui água ao sistema³⁹. No entanto, esta análise necessita de uma abordagem específica, não objeto deste estudo, mas certamente importante para a compreensão do comportamento hidrológico do rio.

2.7 As quedas de barranco

O processo hidrodinâmico do rio Jacuí reveste-se de complexidade uma vez que são bastante variadas as características regionais como, por exemplo, a geomorfologia, a composição do solo nas margens, a sinuosidade que provoca alterações entre margens destrutivas e construtivas, a conformação do leito e a seção transversal em seus diferentes pontos quilométricos (PKs). As seções transversais do leito podem alterar a velocidade da água uma vez que para garantir a mesma vazão, havendo redução da área da seção, a velocidade deverá aumentar, bem como no efeito contrário, a velocidade e profundidade da água diminuem.

A Figura 06 salienta o ponto inicial deste levantamento, PK 168, e demonstra os locais onde a curvatura acentuada, externa, determina margem destrutiva, enquanto que a oposta, determina a margem construtiva do tipo barra em pontal (Point Bars), onde ocorre a deposição de material cuja granulometria depende da velocidade da água. Materiais mais finos são facilmente removidos pela força da água, ou seja, água de baixa velocidade move materiais mais finos do leito e das margens.

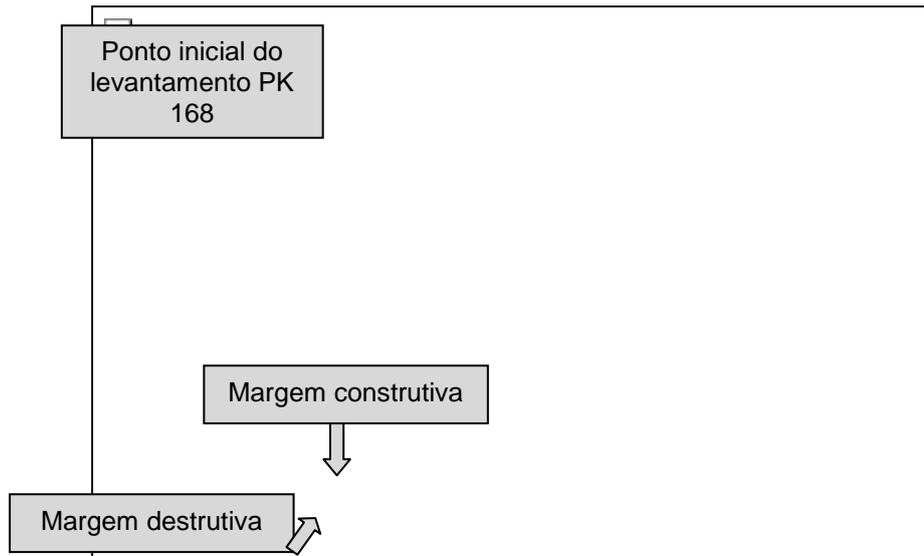


Figura 6 – Meandrância do rio junto a Barragem do Anel de Dom Marco.

Fonte: Mosaico aerofotográfico da empresa Gente & Terra Assessoria e Consultoria Ltda (2008).

A Figura 07 demonstra como ocorre a formação das margens construtivas e destrutivas em função da ação do deslocamento da água.

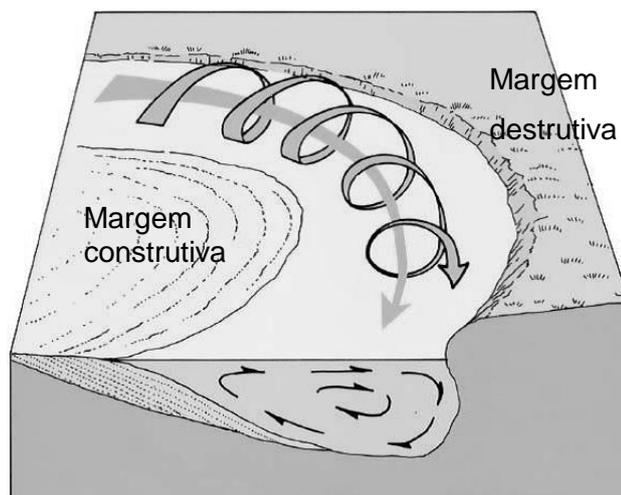


Figura 7 – Demonstração da movimentação da água em leito de um curso d'água, mostrando forças exercidas de maneira antagônica nas duas margens.

Fonte: Modificado a partir de River Systems - Earth's Dynamic Systems. 10ª edição. (2008)³⁷

À medida que aumenta a velocidade da água, aumenta o tamanho das partículas passíveis de carregamento. Nesta lógica, a perda de velocidade da água, por si só, é fator importante no processo deposicional das barras

Quando um rio descreve uma curva, a força centrífuga atuando sobre a corrente tende a concentrá-la e a intensificá-la na margem externa ou côncava, provocando correntes de retorno ou de fundo, em direção à margem interna ou convexa⁴². Tal dinâmica provoca constante erosão nos raios externos e deposição de materiais nos raios internos das curvas de cursos de água. Com o passar do tempo, em muitos casos, pode ocorrer um endireitamento e encurtamento, por anastomose, do canal do rio, formando os chamados paleomeandros: lagoas laterais falciformes ou em ferradura⁴³. A Figura 08 ilustra o processo de anastomose do rio, quando a força hidráulica do rio rompe com os limites dos talude originais e retifica segmentos de seu curso, dando origem a lagoas e ilhas.



Figura 8 – Demonstração do processo de anastomose do rio (no caso o rio Vacacaí, afluente do Jacuí) e formação de “oxbow lakes” (Paleomeandros)

Fonte: Google Earth⁴⁴

⁴² CASTRO, Antonio L. C. **Manual de Desastres . Vol 1 Desastres Naturais**. Brasília. Ministério da Integração Nacional. 2009. 174p.

⁴³ ESTEVES, Francisco de A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

⁴⁴ GOOGLE EARTH PLUS – Imagens disponíveis para uso gratuito com acesso direto ao programa.

As barras em pontal são feições de deposição muito comuns no sistema fluvial meandrante e, morfologicamente, são constituídas por uma sucessão de linhas desenvolvidas na margem convexa, que crescem em função da migração do canal⁴⁵. Ainda segundo a mesma fonte, outra forma de deposição apresentada em rios, resultantes de múltiplos eventos erosivos e deposicionais, que apresentam um crescimento longitudinal com a presença de barras mais antigas normalmente fixadas pela vegetação formando as ilhas fluviais arenosas, denomina-se barra de canal (Scroll Bars), conforme Figura 09.



Figura 9 – Ilhas fluviais formadas pelo processo de barra de canal (Scroll Bars)

Fonte: Manual Técnico de Geomorfologia, IBGE, 2009.

⁴⁵ Manual Técnico de Geomorfologia / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2009. 175p.

3 METODOLOGIA

O objeto de estudo é o conjunto dos taludes marginais do rio Jacuí, no trecho entre a foz do arroio Irapuá e a Barragem de Dom Marco, no que diz respeito à queda dos barrancos. Para isso foi uniformizada a terminologia de queda de barranco englobando nesta, os movimentos de massa, caracterizados, dos tipos escoamento e deslizamento⁴⁶. Os escoamentos, segundo estes autores apresentam duas formas: O rastejo e os fluxos ou corridas. O primeiro difere do segundo por ser um movimento lento em relação a este. Para efeitos hidrodinâmicos os fluxos ou corridas representam a aquisição de diferentes graus de fluidez cujo desencadeamento se dá por vibrações, por exemplo, trovões. Ainda segundo os autores, o deslizamento consiste em uma movimentação da massa, maior no sentido horizontal do que vertical.

A metodologia utilizada neste trabalho tem três fases:

- A análise teórica dos possíveis fatores que tem influência sobre a estabilidade de taludes.
 - Revisão bibliográfica
 - Visita ao local de estudo
 - Confecção de um mapa base para referência
- Elaboração do instrumento de captura de informações e o levantamento de dados, a campo e na base existente.
 - Localização da queda e medição do tamanho
 - Determinação de classes de queda
 - Determinação de classes de flecha
 - Determinação do tipo de margem
 - Determinação do tipo de solo
 - Determinação da tipologia do entorno da queda
 - Determinação do índice de Sinuosidade do rio e de trechos
- Inter-relação das variáveis levantadas a campo, com o mapa base e o estudo da associação destas variáveis com o processo de instabilidade dos taludes.
 - Compilação de resultados
 - Discussões

⁴⁶ Obra já citada

4 CONCLUSÕES

A primeira fase consistiu na revisão bibliográfica, visita ao local de estudo e confecção de um mapa base para referência. Assim, durante os anos de 2006 a 2010, foram feitos levantamentos que contemplavam o Projeto de Monitoramento do Rio Jacuí, desenvolvido pela empresa Gente & Terra – Assessoria e Consultoria Ambiental Ltda em parceria com empresas do setor da mineração da areia como a SOMAR-Sociedade Mineradora Arroio dos Ratos Ltda, Aro Mineração Ltda e SMARJA – Sociedade dos Mineradores do Rio Jacuí. Deste período foi extraída uma base de dados muito consistente, toda ela georreferenciada, que contemplava vinte e três tipos de ocorrências no leito do rio e no trecho marginal, no trajeto entre o Arroio Irapuá até a foz do Rio Jacuí, junto ao Delta do Guaíba. Destes vinte e três tipos de ocorrência, o trabalho contempla a análise somente das quedas de barranco, nas suas formas já anteriormente citadas.

A segunda fase do processo metodológico consistiu no trabalho de elaboração do instrumento de captura de informações e o levantamento de dados, a campo e na base existente, para a determinação dos processos de instabilidade de taludes marginais. Nesta etapa as quedas de barranco foram identificadas, medidas e georreferenciadas. Quando a queda de barranco, identificada a campo, tinha até 5m de comprimento, foi considerada como uma unidade de queda e aquelas cujo comprimento supera esta medida foram registradas com sua medida integral. A medida das quedas foi obtida pela diferença da coordenada UTM de Jusante com a de Montante, obtida com auxílio de GPS, e de software do tipo CAD.

A Figura 10 representa a configuração do relevo da área no entorno do trecho estudado. É uma referência importante, pois permite a visualização do trecho no contexto do relevo, mostrando as mudanças de rumo do rio, em função da existência de elevações ou depressões. Esta Figura pode ser vista ampliada no Apêndice 02.

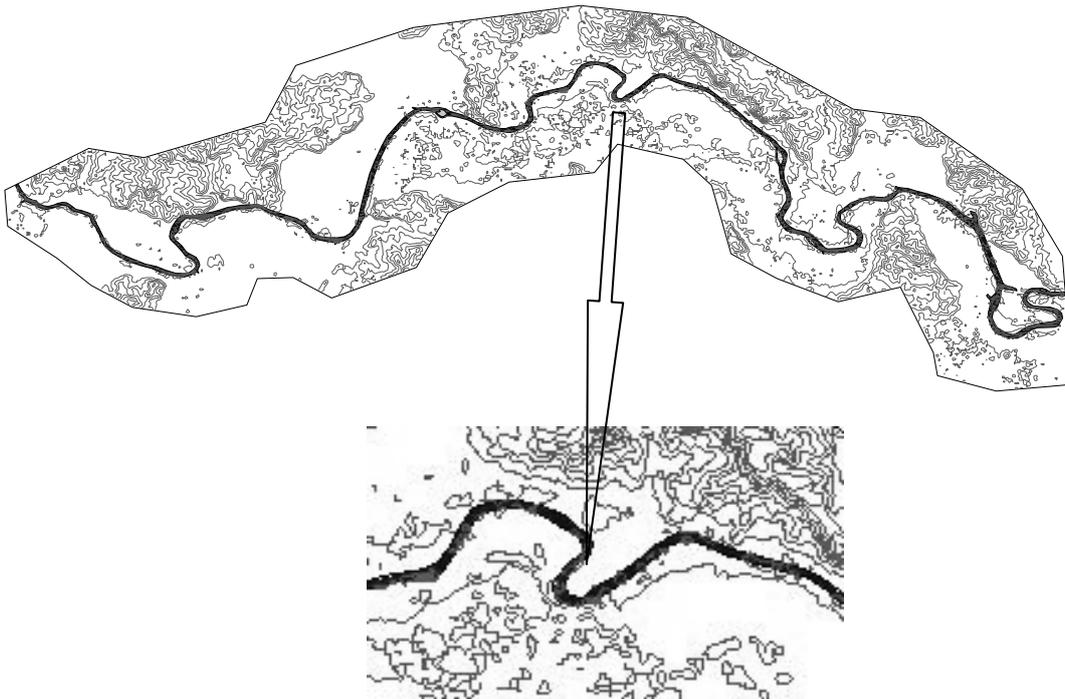


Figura 10 – Demonstrativo altimétrico do entorno do trecho de estudo, obtido a partir de imagens SRTM, com detalhe em destaque. Em destaque um trecho do leito do rio.

A terceira fase constitui na busca de inter-relação das variáveis levantadas a campo, com o mapa base e o estudo da associação destas variáveis com o processo de instabilidade dos taludes. Como o levantamento contemplou a totalidade dos PKs compreendidos no trecho, sua análise é feita com base no censo das informações, o que simplifica o processo estatístico.

As análises se baseiam em uma segmentação dos dados, separados por Classes de Queda. Primeiramente foi feita uma análise globalizada para duas classes distintas: Margens sem queda de barranco (Classe de queda zero, CQ-0) e margens com quedas de barranco (Classe de queda de 1 até 8). Em um segundo passo foram analisadas as classes de queda de 1 a 8, separadamente. As classes foram assim denominadas: CQ-0, CQ-1, CQ-2, CQ-3, CQ-4, CQ-5, CQ-6, CQ-7 e CQ-8, abrangidas numa amplitude de 0 a pouco mais de 800m. O cálculo do intervalo de classe resultou em 101,2m, sendo arredondado para 101,0m para a formação das classes, que possuem seus limites definidos no Quadro 02.

Classe de queda	
Amplitude de 809,6m	
Classe	Limite superior da Classe
0	0
1	101
2	202
3	303
4	404
5	505
6	606
7	707
8	809,6

Quadro 2 – Limites superiores das classes de queda, em m.

Para verificar a eventual influência do raio das curvas sobre a frequência e magnitude das quedas adotou-se como medidas das curvas o tamanho da flecha entre dois PKs consecutivos, conforme ilustrado na Figura 21.

Foram criadas sete Classes de Flecha: CF-1, CF-2, CF-3, CF-4, CF-5, CF-6 e CF-7, cujos limites dos valores para cada uma está demonstrado no Quadro 03. O termo flecha se refere ao comprimento da perpendicular entre o meio da linha secante da curva de dois PKs subsequentes, com a margem do rio, conforme a Figura 11. Esta Figura mostra que entre o início do PK 239 e o início do PK 241, a flecha é de 342,81m. Assim, quanto maior o valor da flecha, tanto mais fechada é a curva e, portanto, maior é, potencialmente, a formação de margem destrutiva.

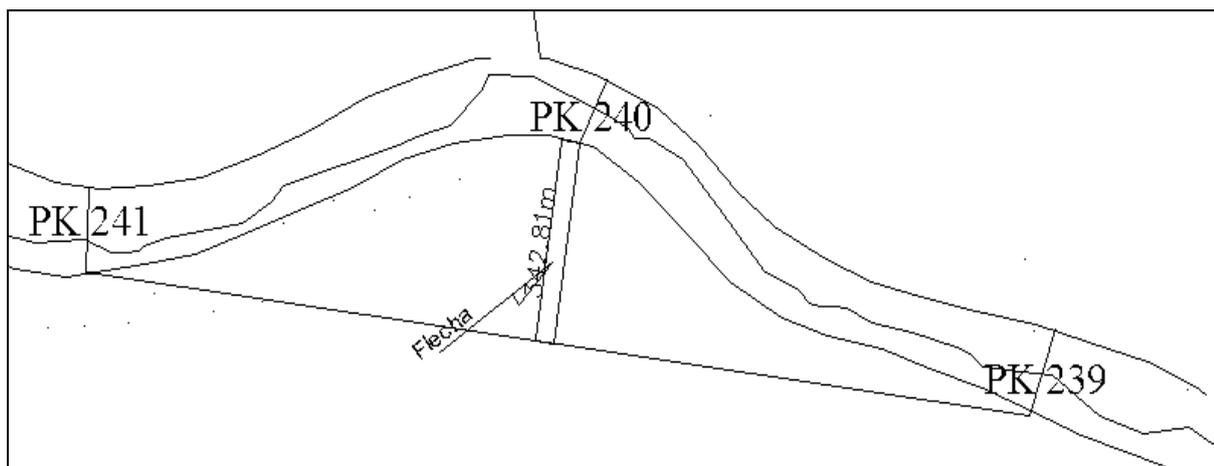


Figura 11 – Demonstrativo da medição de uma flecha entre os PKs para caracterização da magnitude de uma curva do rio.

O Quadro 03 apresenta a discriminação dos valores dos limites superiores dos intervalos de Classes de Flecha.

Limite superior da Classe (em m)	Classe
94	1
185	2
276	3
367	4
458	5
549	6
640	7

Quadro 3 – Demonstração do valor dos limites superiores dos intervalos das Classes de Flecha

O conjunto dos PKs foi dividido em dois tipos de margem: Construtiva ou Destrutiva. Cada divisão de margem foi classificada nos dois tipos de solo: Argissolo ou Planossolo.

Os valores foram tabulados em planilha específica conforme pode ser visto no Quadro 04. O quadro representa uma porção da planilha, de forma ilustrativa, compreendida apenas entre o PK 241 e 236 e apresenta o PK correspondente,

classificado por seu tamanho e classe de flecha, pelo tipo de margem, pelo tipo de solo, pelo comprimento total de suas quedas e pela classe de queda. Para cada margem do PK foi determinada a quantidade de quedas de barranco, separando-se em unidades (as quedas até 5m) e os trechos (quedas com mais de 5m). Ainda, a título de complementação do quadro, as quedas foram localizadas em relação ao seu entorno, na margem. Assim, por exemplo, no PK 241, na sua margem construtiva, possui uma só queda de barranco, com menos de 5m de comprimento (denominada unidade, U) e esta ocorreu num local onde o entorno é floresta nativa.

PK	TAMANHO DA FLECHA	CLASSE DE FLECHA	TIPO DE MARGEM	TIPO DE SOLO	COMPRIMENTO TOTAL DA QUEDA	CLASSE DE QUEDA	QUANTIDADE DE QUEDA DE BARRANCO		CARACTERÍSTICA DO LOCAL DE QUEDA			
							UNID+TRECHO	TOTAL DE QUEDAS	FLORESTA NATIVA	CAMPO	LAVOURA	REFLO-RESTAMENTO
241	282,44	4	1	1	5	1	1+0	1	1			
241	282,44	4	2	2	10	1	2+0	2	2			
240	326,7	4	1	2	0	0	0+0					
240	326,7	4	2	2	283,73	3	4+2	6	2	4		
239	193,07	3	1	2	0	0	0+0					
239	193,07	3	2	2	20	1	4+0	4		2	2	
238	105,26	2	1	2	0	0	0+0					
238	105,26	2	2	2	84	1	2+2	4	2		2	
237	219,53	3	2	2	40	1	8+0	8	2		6	
237	219,53	3	1	2	146,63	2	7+2	9	6		3	
236	120,34	2	2	2	30	1	6+0	6	3		3	
236	120,34	2	1	2	78,63	1	9+1	10	10			
...
168	154,52	2	2	2	0	0	0+0					

Quadro 4 – Resumo, parcial, do trecho, por PK e por característica de cada um.

Tipo de margem: 1 – Construtiva e 2 – Destrutiva

Tipo de solo: 1 – Argissolo e 2 - Planossolo

Esta classificação do entorno é baseada no mosaico aerofotográfico realizado sobre o local, confirmado na reambulação a campo para identificação dos padrões de fotointerpretação. De forma análoga, o PK 240 está na Classe de Flecha 4 (neste caso o tamanho da flecha é de 326,70m), a sua margem destrutiva, está localizada no planossolo. Enquadra-se na Classe de Queda 03, com um comprimento total de 283,73m constituído por quatro unidades (quedas inferiores a 5m) e dois trechos (queda com comprimento maior que 5m). Destas quedas duas tem no seu entorno em floresta nativa e quatro em campos.

Considerando-se o aspecto sinuoso e meandrante do rio, foi calculado o Índice de Sinuosidade conforme a equação $IS = L \div Dv$.

Na fórmula acima, IS indica o índice de sinuosidade entre dois pontos A e B, onde L representa o comprimento efetivo entre estes dois pontos e Dv a distância vetorial entre estes dois pontos. A interpretação deste índice é feita pela seguinte análise: Quanto mais próximo de 1 estiver o valor de IS mais retilíneo será o rio, conseqüentemente é um curso de muita energia e pouca sinuosidade. Quando o índice passa de 2, indica rio de baixa energia, muito sinuoso⁴⁷.

O trecho do estudo foi dividido em quatro segmentos que representam características morfológicas distintas e nestas, determinou-se os IS que foram correlacionados com o número de quedas por km, de cada segmento. A segmentação para determinação do IS foi por critério geomorfológico, onde o primeiro conjunto de PKs ficou entre 168 e 188, partindo da Barragem do Anel de Dom Marco até a foz do Sistema Iruí/Piquirí, no PK 188. O segundo conjunto ficou entre o 189 e o 212, na foz do Rio Botucaraí. O terceiro conjunto entre o PK 213 até a Barragem/Eclusa do Fandango, no PK 229. O quarto conjunto ficou entre o PK 230 e a foz do Arroio Irapuá, no 241. O primeiro conjunto constitui-se de um trecho do rio onde existe a maior ocorrência de lagoas naturais, aladiços e braços abandonados do leito do rio, próximos da margem, não apresentando barrancos altos. Representa um trecho de grande movimentação do leito do rio. O segundo conjunto é constituído de terras planas com margens em várzeas e que apesar da presença de algumas lagoas naturais e braços abandonados do leito do rio, difere da primeira por apresentar barrancos mais altos e também presença de argissolos. O início deste trecho mostra mudança significativa na orientação do fluxo de água do leito, que deixa o deslocamento para o norte e inflexiona-se para o leste. O terceiro trecho apresenta maior presença de argissolos e inicia-se com o barramento do Fandango que, por si só representa modificação expressiva na dinâmica da água. A água que passa pela Barragem apresenta aumento da sua capacidade erosiva uma vez que perdeu, por deposição de sedimentos, parte da sua carga. O quarto trecho compreende o leito a montante da Barragem do Fandango, até a Foz do Arroio Irapuá, ponto inicial do estudo.

⁴⁷ FELTRAN FILHO, A., LIMA, E.F. Considerações morfométricas da bacia do rio Uberabinha. Minas Gerais. *Sociedade e Natureza*. Uberlândia: UFU, v. 19, n. 1, p. 65-80, Jun. 2007.

Ainda, no sentido de ampliar o embasamento da discussão, usou-se a Análise de Agrupamento por Encadeamento Único (*Single Linkage*), onde se considerou cinco variáveis: A Var 01 correspondente a Classe de Flecha, a Var 02 para o Tipo de Margem, a Var 03 para o Tipo de Solo, a Var 04 para a Classe de Queda e a Var 05 para a Quantidade de Quedas. Este método, é baseado no vizinho mais próximo de forma que o primeiro agrupamento se dá entre as variáveis que tem menor distância entre si⁴⁸. Em cada estágio a distância entre dois grupos é definida como a distância entre seus dois pontos mais próximos.

Considerando-se ainda um dos aspectos de grande relevância no processo da dinâmica de margens, foram feitas relações da vazão do rio, em diferentes seções. Neste caso, considerando-se a hidrelétrica de Dona Francisca como a primeira estrutura de barramento antrópica, à montante do trecho do estudo, as relações existentes entre as variáveis de vazão e cota entre as estações de fluviometria de Rio Pardo (Código 85900000, Lat. -29°59'40,92" e Long. -52°22'37,92), Fandango (Código 85650001, Lat. -30°04'59,88" e Long -52°54'00,00"), Passo do São Lourenço (Código 85642000, Lat. -30°00'32,04" e Long -53°00'54,00") e Hidrelétrica de Dona Francisca (Código 85640000, Lat. -29°37'39,00" e Long -53°21'11,88")⁴⁹, apresentam informações importantes do comportamento hidrológico do rio em função do manejo das barragens.

A extração de areia, no leito do rio, no trecho estudado foi abordada com base nos dados do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) e fornecido pelas empresas usuárias. Assim, 33 processos de mineração disputam a extração de areia e cascalho, neste trecho⁵⁰, o que configura uma área de grande disputa por este recurso mineral, em pontos específicos, como por exemplo, o trecho montante da Barragem do Fandango. Nos demais trechos apesar de haver grande quantidade de processos de extração, a efetivação da exploração de areia pode ser considerada relativamente baixa, pois somente duas empresas atuam. A extração de areia em leito de rio está regrada pela legislação mineral brasileira e, do ponto de vista

⁴⁸ VINCINI, Lorena - Análise multivariada da teoria à prática / Lorena Vicini; orientador Adriano Mendonça Souza. – Santa Maria : UFSM, CCNE, , 2005.

⁴⁹ ANA – Agência Nacional das Águas, Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos, SNIRH, disponível em <http://portalsnirh.ana.gov.br/Esta%C3%A7%C3%B5esdaANA/tabid/359/Default.aspx>. Acesso em agosto de 2012.

⁵⁰ DNPM. Departamento Nacional de Pesquisas Minerais. Cadastro Mineiro, disponível em <https://sistemas.dnpm.gov.br/SCM/extra/site/admin/Default.aspx>. Acesso em 12 de outubro de 2012.

ambiental é prerrogativa da FEPAM, o licenciamento da atividade, no rio Jacuí. Cada empresa, legalmente atuando no setor, possui direito minerário sobre uma determinada área do rio, delimitada por uma poligonal registrada no DNPM. A extração, fora destes limites configura crime contra a União⁵¹ (por apropriação de bem público sem autorização) e do ponto de vista ambiental, por extrair fora de área licenciada⁵². Cada licença ambiental apresenta suas restrições quanto à exploração da areia e cascalho em leito de rio, sendo que para o Jacuí, o distanciamento mínimo, para estas extrações é de 50m de cada uma das margens.

⁵¹ Lei Federal 7.805, de 18 de julho de 1989, art. 4º.

⁵² CONSEMA -Conselho Estadual de Meio Ambiente: Resolução 085/2004, de 17 de dezembro de 2004.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Região Hidrográfica do Guaíba é composta por nove bacias hidrográficas: Alto Jacuí, Baixo Jacuí, Vacacaí, Pardo, Taquari-Antas, Sinos, Caí, Gravataí e Lago Guaíba. A Figura 12 demonstra a área de abrangência da bacia hidrográfica do Baixo Jacuí sendo na esquerda a posição em relação ao Estado e na direita a região de abrangência do estudo, dentro da bacia hidrográfica.

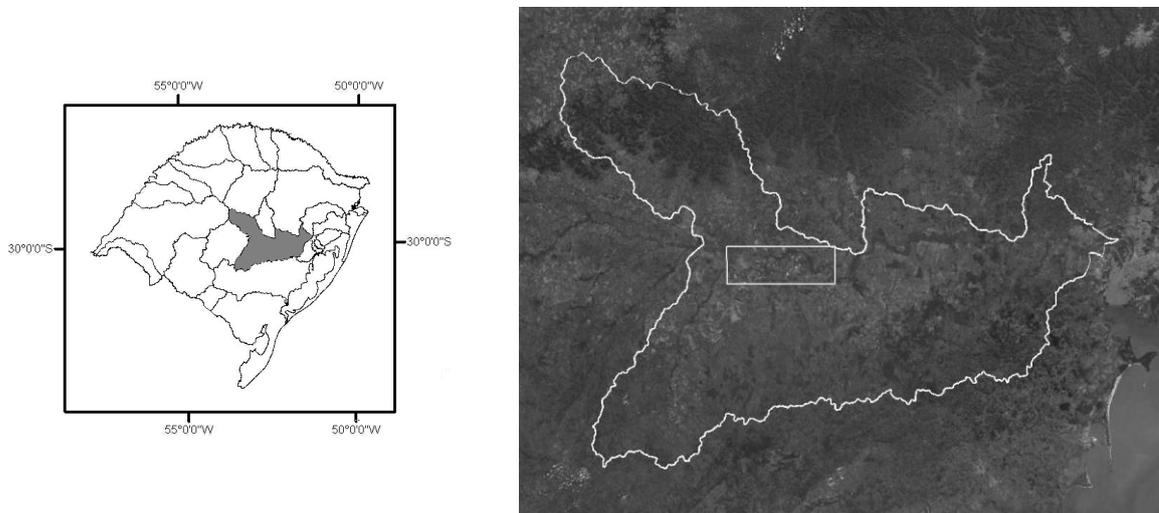


Figura 12 – Mapa Geral do posicionamento da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí. Em destaque na quadrícula, a área de abrangência do estudo.

Fonte: Compilado de DRH-SEMA, 2012 e pelo autor a partir de imagens CBERS-2b⁵³

Cada uma das bacias hidrográficas possui um Comitê de Gerenciamento associado ao processo de tomada de decisões sobre usos, dirimção de conflitos e política de gestão da água no domínio da sua territorialidade.

O Apêndice 01 demonstra a área total do estudo, na escala 1:150.000 e dois detalhes em escala 1:60.000 e 1:30.000.

⁵³ INPE Instituto Brasileiro de Pesquisas Especiais– **Projeto CBERS** - Disponível em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/manage.php?INDICE>. Acesso em 20 de junho de 2012.

A Figura 13 demonstra a Barragem Eclusa do Fandango, em Cachoeira do Sul, e representa o ponto de barramento mais a montante da área de estudo.

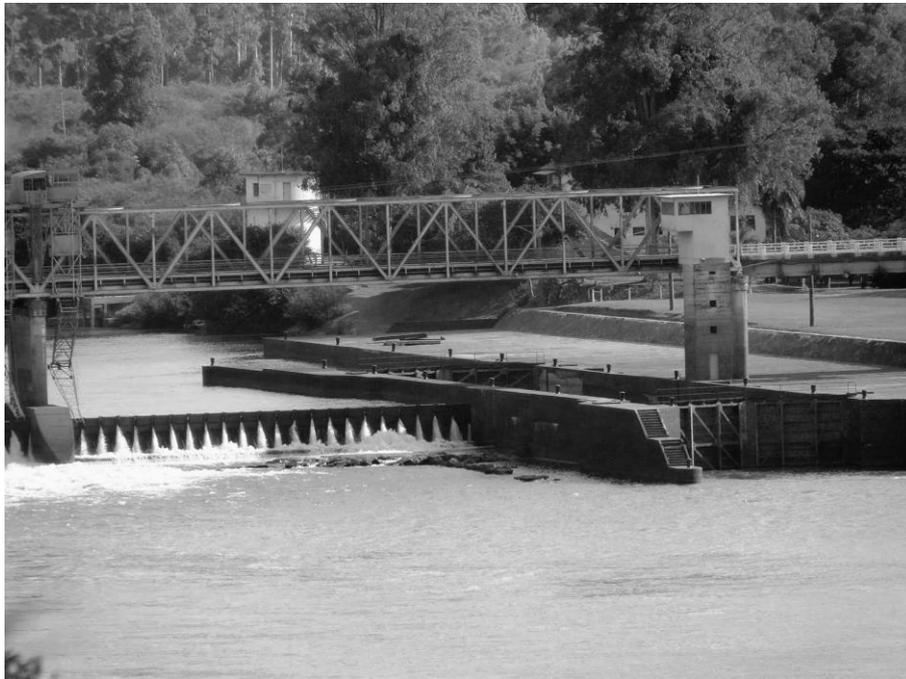


Figura 13 – Vista frontal da Ponte-eclusa do Fandango em Cachoeira do Sul, RS.

Fonte: Fabio Scoferneker Tamos (uso autorizado pelo autor)

A Figura 14 mostra a Barragem de Dom Marco, segundo e último ponto de barramento no trecho estudado. A presença deste barramento, bem como a de Fandango determinam zonas de influência distinta no rio. A montante dos mesmos existe a retenção da água e consequentemente alteração de sua hidrodinâmica, em relação aos trechos jusante.



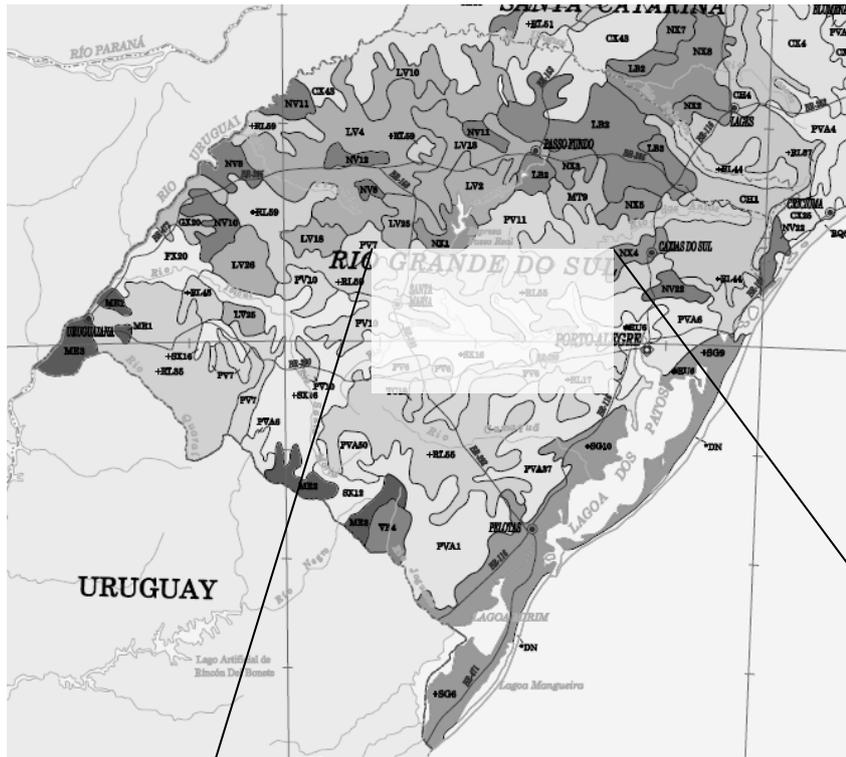
Figura 14 – Vista aérea da Barragem de Dom Marco em Rio Pardo, RS.

Fonte: Google Earth Plus – 2012.

Do ponto de vista edáfico há amplo predomínio da ocorrência dos planossolos em relação aos argissolos. A presença de planossolos com distintas características pedogênicas faz com que mesmo nesta classificação ocorra distinção de características entre os solos mal drenados e os bem drenados. A presença de camada de impedimento nos horizontes mais inferiores cria uma zona de encharcamento do solo, acima desta e força o fluxo horizontal da água, próximo a esta camada. Este deslocamento, associado ao encharcamento, é fator de grande importância para as quedas de barranco.

A alternância de unidades de planossolo com argissolos são facilmente identificadas pelas mudanças abruptas do sentido do fluxo de água na calha do rio, onde a presença de argissolos, mais estáveis, força o redirecionamento da água, no sentido de contorna-lo, mais do que no sentido da ruptura.

A Figura 15 destaca, respectivamente, o mapa de solos do RS e, em detalhe, os solos da região de estudo. Os solos definidos como SX16 e PV6, evidenciados na imagem, abrangem o entorno do trecho estudado.



Tipos de solos

- SX Planossolo háplico
- PV Podzólico vermelho-amarelo eutrófico e distrófico
- RL Neossolos regolíticos
- TC Luvissole crômico
- RU Neossolo fulvico



Figura 15 – Mapa de Solos do Rio Grande do Sul e na região do estudo

Fonte: IBGE (2011)⁵⁴

A Figura 16 demonstra um barranco em queda, com a presença de uma camada de impedimento à percolação da água.

⁵⁴ Idem citação em nota de rodapé nº 24.



Figura 16 – Fotografia de barranco em queda, com a presença de zona de impedimento ao deslocamento vertical da água no solo. Iruí, Cachoeira do Sul, RS.

A análise dos resultados iniciou considerando o primeiro conjunto de dados que foram agrupados segundo as classes de queda. Como visto anteriormente, os dados foram ordenados por PK, depois por Classe de Flecha, Tipo de Margem, Tipo de Solo, Classes de Queda, Total de Quedas e Característica do local de queda. Cada PK, com cada uma das suas margens, forma o que aqui é denominado segmento.

O Apêndice 01 mostra o trecho total compreendido pelo estudo. O trecho denominado Fandango Montante situa-se entre a foz do Arroio Irapuá e a Barragem do Fandango. O trecho denominado Fandango Jusante abrange o intervalo entre a Barragem do Fandango e o PK 199 e o trecho denominado Dom Marco Montante abrange o intervalo entre o PK 198 e a Barragem de Dom Marco, conforme pode ser evidenciado nos apêndices 01-a, 01-b e 01-c.

Ainda com relação à análise dos resultados é necessário que se pondere que a margem definida como construtiva ou destrutiva pode-se apresentar de forma mista quando ocorre a inflexão em que uma margem destrutiva a montante e é

substituída por uma construtiva a jusante. O inverso não apresenta problema com relação à contagem uma vez que as quedas a jusante não se atribuem a estabilidade de montante.

Outro ponto que merece destaque são as áreas de forte influência da mineração de areia, mais expressivamente centrada entre os PKs 230 e 241. Neste trecho quatro empresas de mineração de areia e cascalho atuam diretamente suprindo os mercados de Cachoeira do Sul, Novo Cabrais, Cerro Branco, Paraíso do Sul, Sobradinho e Candelária.

A presença da Barragem Eclusa do Fandango induz a uma alteração do regime hidrológico do trecho em função da retenção do fluxo, para correção do nível de navegação.

A Figura 17 mostra a foz do Arroio Irapuá, ponto final do levantamento. No local ocorre menor sinuosidade no rio, embora, mesmo assim, existe grande rugosidade nas margens quebrando o sentido do deslocamento da água, gerando, em menor escala, pontos de destruição de margens e pontos de deposição de material (areia e cascalho).

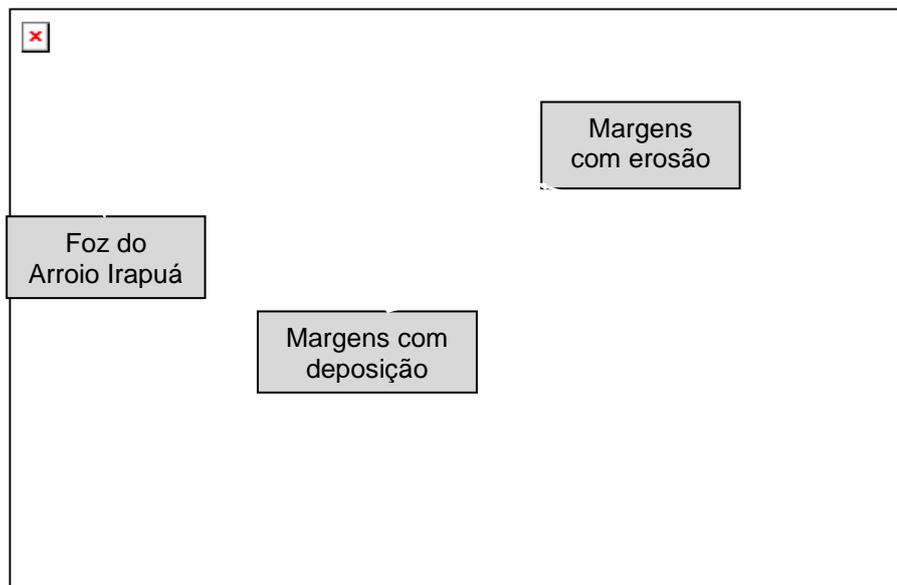


Figura 17 – Trecho do Rio Jacuí, onde se nota a foz do arroio Irapuá, no canto superior esquerdo, ponto final deste estudo.

Fonte: Mosaico aerofotográfico da empresa Gente & Terra Assessoria e Consultoria Ltda (2008).

As quedas de barranco são movimentos de massa e tem origens distintas dependendo das condições de solo, do uso da superfície, da composição das forças hidrodinâmicas (direção e velocidade), e do grau de liquefação dos espaços interparticulares do solo.

No rio Jacuí, ocorrem trechos em que a presença de material mais estável, como os siltitos, argilitos ou mesmo afloramentos rochosos conferem maior resistência à degradação e, em muitos casos, são capazes de redirecionarem o rio para outro lado. Isto ocorre, por exemplo, no PK 229, a jusante da Barragem do Fandango, onde o siltito do paredão do Cemitério das Irmandades (Figura 19) desloca o alinhamento do rio em 60° para o NE.

As fotografias apresentadas nas Figuras de 18 a 24, demonstram diferentes situações de quedas de barranco identificadas no trabalho.



Figura 18 – Barranco em queda, expondo sistema radicular de exemplar de *Eucalyptus* sp. Capão Grande, Cachoeira do Sul.

A Figura 18 demonstra um problema crítico nas margens do rio Jacuí, a presença de grandes árvores junto à margem. Seus sistemas radiculares aliados a

pressão que exercem sobre o solo são fatores de desestabilização dos taludes marginais. Isto contrapõe a ideia de que as árvores sempre auxiliam na fixação das margens. Árvores de grande porte podem ser prejudiciais à estabilidade do talude, dependendo da sua posição e distribuição radicular, especialmente quando há a ocorrência de ventos fortes ou encharcamento do solo.

A fotografia da Figura 19 apresenta um dos grandes agentes do processo erosivo dos taludes marginais – a presença de camadas descontínuas de solo que criam impedimento a infiltração da água. No caso, a cobertura vegetal é formada por uma malha de taquaireiras, *Bambusa sp.*, que se desenvolveu sobre uma camada de solo de cerca de 2m de profundidade, mais arenosa, de fácil percolação. Nesta profundidade, existe um siltito, mais estruturado, com textura mais fina, onde a taxa de infiltração é substancialmente menor.



Figura 19 – Barranco em queda, em siltito, devido à infiltração e a presença de zona de impedimento ao deslocamento vertical da água no solo. Local Paredão do Cemitério das Irmandades. Cachoeira do Sul, RS.

A presença de camadas de textura e cimentação diferentes faz com que a infiltração rápida na primeira camada do solo, encontra resistência ao seu

deslocamento vertical e acabe por deslocar-se, horizontalmente, para a lateral de menor pressão. Tal movimento pode ser causa de deslizamento da camada superficial do solo e da vegetação.

A Figura 20 mostra o esquema de um barranco arenoso, pouco consolidado com a presença de água escorrendo linearmente devido à presença de uma camada de impedimento à infiltração, acima do nível do rio. No mesmo esquema é possível ver o deslizamento gradativo do barranco. A camada de impedimento, em trechos do rio, apresenta agregados unidos por óxido de ferro, formando regiões onde a infiltração de água é menos rápida do que nos horizontes superiores. Esta retenção da água, no seu escoamento vertical, obriga a mesma a desviar-se, no sentido horizontal. Este desvio provoca saturação dos macroporos com água, liquefazendo a união dos horizontes e, quando provocado por algum efeito vibratório, como o caso de trovadas, pode gerar a instabilidade do sistema e seu consequente colapso.

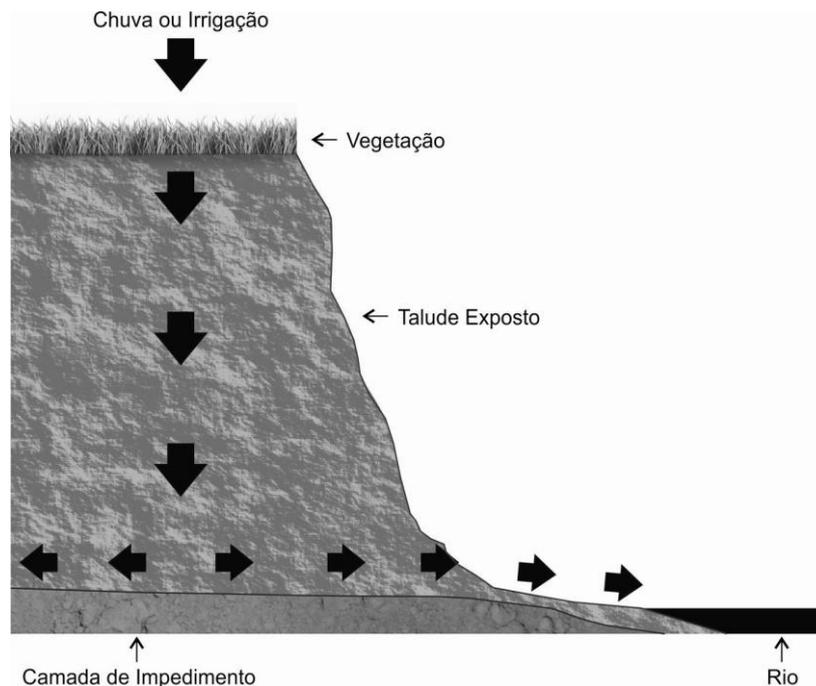


Figura 20 – Demonstrativo da ação da camada de impedimento no solo, quanto ao fluxo da água infiltrada.

A presença de vegetação arbórea, alta, na borda de um barranco como este pode ser fator motivador da sua queda. Nestas mesmas condições de saturação dos

macroporos, dependendo da mobilidade do sistema radicular conduzida pelo vento ou pela pressão da porção aérea, podem ocorrer desbarrancamentos verticais.

A fotografia da Figura 21 demonstra outra forma de queda de barranco, por um sistema denominado de escorregamento. É uma movimentação e massa onde parte do material se desagrega do principal e, ao invés de tombar para frente da zona de ruptura, desliza para frente e para baixo, concomitantemente, gerando um processo em que o material literalmente escorrega sobre uma base mais consolidada.



Figura 21 – Barranco em queda, com a presença de zona de impedimento ao deslocamento vertical da água no solo. Cachoeira do Sul, RS.

A Figura 22 demonstra que, no escorregamento, não ocorre a formação de talude vertical e sim de um gradiente capaz de manter a revegetação. Isto tem papel importantíssimo no processo de recuperação de áreas degradadas.

O escorregamento representa uma forma de suavização do talude, fato que muitas vezes faz passar despercebido o efeito da queda. A granulometria do

material mineral do solo, bem como seu grau de agregação, determinarão o grau final da inclinação do talude.

O óxido de ferro e a matéria orgânica representam substâncias cimentantes muito comuns nos solos da região e ambos são facilmente diluíveis e carreáveis pela água da chuva ou do próprio leito do rio.



Figura 22 – Barranco em escorregamento, com a presença de zona de impedimento ao deslocamento vertical da água no solo. Local Bexiga, Cachoeira do Sul, RS.

Salienta-se que, mesmo aparentemente estabilizado, o barranco, pode constituir-se em material facilmente mobilizado por enchentes, dando o aspecto espreado demonstrado na Figura 23 e contribuindo para sedimentação no próprio rio. Nestes locais a revegetação depende mais do tempo de permanência do nível baixo do que propriamente a existência prévia de estoques de sementes ou estolões na área do entorno, até por que estes são abundantes nas áreas de movimentação da água. Muitas vezes, a permanência do rio em leito baixo, proporciona o surgimento de gramíneas, ervas e arbustos pioneiros, com grande rapidez, formando uma cobertura importante para esta porção de solo exposto.



Figura 23 – Barranco em deslizamento com formação de espraído, com a presença vegetação em estágio inicial de regeneração. Local Ilha dos Corvos, Rio Pardo, RS.

A fotografia da Figura 24 ilustra um tipo de queda frequente no rio, quando uma porção do barranco cede à pressão exercida pela cobertura vegetal e cai. Não havendo o imediato transporte destas árvores e arbustos, os mesmos exercem influência sobre a dinâmica da água e, em alguns casos, geram redemoinhos que acabam agravando o próprio processo erosivo, até que a vegetação se desprenda e encalhe em trechos a jusante.

Estes redemoinhos são por vezes denominados vórtices, na literatura, e tem grande influência na dinâmica local do fluxo de água do leito do rio. Por sua facilidade de ocorrência junto às margens atua como elemento de desagregação do talude marginal. Este efeito é observado no leito do rio, quando da presença de obstáculos como pedras e troncos encalhados, conforme pode ser visto na Figura 10, anteriormente apresentada, gerando a rolagem de pedras e materiais no fundo do mesmo.



Figura 24 – Barranco em queda, com a presença de vegetação viva. Local Pederneiras, Rio Pardo, RS.

O tipo de queda demonstrado nesta Figura ocorre quando o rio provoca erosão nos horizontes inferiores e o superior apresenta um entrelaçamento de raízes que evita a queda individual das árvores e arbustos, fazendo com que os mesmos caiam em bloco. Assim, remanesce, ainda, uma ligação com conjunto vegetal que permanece na margem, em solo ainda não afetado.

A variação na altura da lâmina d'água do rio, no trecho entre os PKs 230 e 241, evidenciada na análise dos parâmetros hidrológicos do rio em função do manejo das hidrelétricas também se apresenta como fator de importância na análise dos resultados. Assim, pode-se perceber que este trecho apresenta a maioria das quedas de barranco, da área de estudo. Das 255 quedas totais de barranco, 95 estão neste trecho, o que corresponde a 37,2% do total das quedas. Com relação à expressividade destas quedas pode-se ver que 2.920,0m de comprimento, de um total de 15.711,0m, ou seja 18,6% estão neste trecho.

O Quadro 05 mostra a relação dos PKs onde não houve quedas de barranco, listados numericamente do menor para o maior, seguido do valor absoluto da flecha gerada pela curvatura do mesmo em relação ao de montante, bem como da classe

em que esta flecha se situa. Continua, ainda, demonstrando o tipo de margem e o do solo predominante no PK.

PK	FLECHA (m)	CLASSE DE FLECHA	TIPO DE MARGEM	TIPO DE SOLO
168	154,52	2	Destrutiva	Planossolo
169	10,39	1	Destrutiva	Planossolo
170	2,99	1	Construtiva	Planossolo
171	155,16	2	Destrutiva	Argissolo
172	101,62	2	Construtiva	Planossolo
176	144,05	2	Construtiva	Planossolo
176	144,05	2	Destrutiva	Planossolo
178	226,72	3	Construtiva	Planossolo
179	570,59	7	Destrutiva	Planossolo
180	77,21	1	Construtiva	Planossolo
181	598,84	7	Construtiva	Planossolo
184	27,55	1	Construtiva	Planossolo
185	503,67	6	Destrutiva	Planossolo
186	9,97	1	Construtiva	Planossolo
188	156,44	2	Construtiva	Planossolo
191	59,95	1	Destrutiva	Planossolo
192	65,65	1	Destrutiva	Planossolo
193	26,27	1	Construtiva	Planossolo
194	200,36	3	Construtiva	Planossolo
195	119,1	2	Construtiva	Planossolo
195	119,1	2	Destrutiva	Planossolo
196	443,43	5	Construtiva	Planossolo
198	219,16	3	Construtiva	Planossolo
199	613,68	7	Destrutiva	Planossolo
200	465,81	6	Construtiva	Planossolo
201	259,26	3	Construtiva	Planossolo
202	298,65	4	Construtiva	Planossolo
203	296,44	4	Construtiva	Planossolo
203	296,44	4	Destrutiva	Planossolo
204	350,76	4	Destrutiva	Planossolo
208	385,97	5	Construtiva	Planossolo

Quadro 5 – Demonstração dos PKs, sem ocorrência de quedas de barranco, classificados por flecha, classe de flecha, tipo de margem e tipo de solo.

Continua

Continuação

PK	FLECHA (m)	CLASSE DE FLECHA	TIPO DE MARGEM	TIPO DE SOLO
208	385,97	5	Destrutiva	Planossolo
209	185,99	3	Destrutiva	Planossolo
210	137,26	2	Construtiva	Planossolo
211	102,98	2	Construtiva	Planossolo
212	88,97	1	Construtiva	Planossolo
213	366,45	4	Construtiva	Planossolo
214	103,57	2	Construtiva	Planossolo
215	122	2	Construtiva	Planossolo
215	122	2	Destrutiva	Planossolo
216	44,29	1	Destrutiva	Planossolo
216	44,29	1	Destrutiva	Planossolo
217	18,46	1	Destrutiva	Planossolo
218	35,21	1	Destrutiva	Planossolo
218	35,21	1	Destrutiva	Planossolo
220	247,64	3	Destrutiva	Planossolo
223	70,75	1	Construtiva	Planossolo
223	70,75	1	Destrutiva	Planossolo
224	55,97	1	Construtiva	Planossolo
225	110,93	2	Destrutiva	Argissolo
226	170,08	2	Construtiva	Planossolo
226	170,08	2	Destrutiva	Argissolo
227	69,69	1	Construtiva	Argissolo
228	57,63	1	Destrutiva	Argissolo
231	62,72	1	Construtiva	Planossolo
238	105,26	2	Construtiva	Planossolo
239	193,07	3	Construtiva	Planossolo
240	326,7	4	Construtiva	Planossolo

Quadro 05. Demonstração dos PKs, sem ocorrência de quedas de barranco, classificados por flecha, classe de flecha, tipo de margem e tipo de solo.

5.1 A Classe sem queda (CQ-0)

Esta classe compreende o conjunto dos segmentos que não possuem queda de barranco, ao longo de seu trecho. Esta classe representa a antítese das demais, uma vez que por razões específicas não houve presença de queda de barranco nestes segmentos.

O Quadro 06 representa o conjunto dos segmentos onde não houve queda de barranco, em consonância com o tipo de margem e de solo.

CLASSE DE QUEDA 0	Nº ocorrências	Margens				Solos			
		Construtiva		Destrutiva		Argissolo		Planossolo	
		Nº Segmentos	% sobre total						
Classe de Flecha 01	22	11	7,4	11	7,4	2	1,4	20	13,5
Classe de Flecha 02	17	10	6,8	7	4,7	3	2,0	14	9,5
Classe de Flecha 03	7	5	3,4	2	1,4	0	0,0	7	4,7
Classe de Flecha 04	6	4	2,7	2	1,4	0	0,0	6	4,1
Classe de Flecha 05	3	2	1,4	1	0,7	0	0,0	3	2,0
Classe de Flecha 06	2	1	0,7	1	0,7	0	0,0	2	1,4
Classe de Flecha 07	3	1	0,7	2	1,4	0	0,0	3	2,0
Total	60	34	23,0	26	17,6	5	3,4	55	37,2

Quadro 6 – Distribuição dos segmentos sem queda de barranco de acordo com o tipo de margem e de solo.

Assim, os 60 segmentos que não possuem quedas de barranco, representam 40,6% dos 148 existentes. Por diferença, 59,4% dos segmentos apresentam no mínimo uma queda de barranco.

Na CQ-0, 56,7% dos segmentos estão na margem construtiva e 43,3% na destrutiva. Nesta classe, 91,7% dos segmentos estão localizados em Planossolos e 8,3% em Argissolos.

Quando se compara a ocorrência dos segmentos nas associações Argissolo com Margem Construtiva, Argissolo com Margem Destrutiva, Planossolo com Margem Construtiva e Planossolo com Margem Destrutiva, encontra-se, respectivamente 1,67%, 6,67%, 54,33% e 38,33%.

O resultado para não ocorrência de queda, CQ 0, mostra-se coerente com o esperado, uma vez que, a medida que aumenta a curvatura do rio, evidenciada no aumento da Classe de Flecha, diminui a quantidade de segmentos com este atributo. Vale ainda salientar que a não constatação de queda, neste levantamento não exclui a possibilidade de quedas anteriores, já recompostas por rebaixamento dos taludes ou revegetação, apresentando, desta forma, uma sensação de falsa estabilidade.

O Quadro 07 apresenta os PKs que tiveram pelo menos uma queda de barranco, seja ela classificada como unidade ou como trecho. Ainda classifica-se o PK por tamanho da sua flecha e sua respectiva classe, pelo tipo de margem e solo, pelo comprimento total da(s) queda(s) e sua classe. Este quadro traz também a quantidade de quedas de barranco expressa por um n° que representa o total de unidades de quedas no PK, seguido do símbolo + e após o número de quedas classificadas como trecho. O quadro traz ainda a característica do local das quedas, com o seu respectivo número de ocorrências.

PK	FLECHA	CLASSE DE FLECHA	TIPO DE MARGEM	TIPO DE SOLO	COMPRIMENTO TOTAL DA QUEDA	CLASSE DE QUEDA	QUANTIDADE DE QUEDAS DE BARRANCO		CARACTERÍSTICA DO LOCAL DE QUEDA			
							UNID+TRECHO	TOTAL DE QUEDAS	FLORESTA NAT	CAMPO	LAVOURA	REFLOR
168	154,52	2	Destrutiva	Planossolo	83,76	1	0+1	1		1		
169	10,39	1	Destrutiva	Planossolo	224,25	3	0+1	1		1		
170	2,99	1	Destrutiva	Planossolo	56,85	1	0+1	1		1		
171	155,16	2	Construtiva	Planossolo	5	1	1+0	1				1
172	101,62	2	Destrutiva	Planossolo	87,19	1	2+1	3		2		1
173	10,8	1	Construtiva	Planossolo	10	1	2+0	2		1		1
173	10,8	1	Destrutiva	Planossolo	162,29	2	2+2	4	4			
174	154,5	2	Destrutiva	Planossolo	179,29	2	0+2	2	2			
174	154,5	2	Destrutiva	Planossolo	193,49	2	3+2	5	5			
175	172,21	2	Construtiva	Argissolo	73,01	1	4+1	5	4	1		
175	172,21	2	Destrutiva	Planossolo	153,36	2	1+1	2		2		
177	62,91	1	Construtiva	Planossolo	5	1	1+0	1	1			
177	62,91	1	Destrutiva	Planossolo	77,36	1	0+1	1	1			
178	226,72	3	Destrutiva	Planossolo	5	1	1+0	1	1			
179	570,59	7	Construtiva	Planossolo	5	1	1+0	1	1			
180	77,21	1	Destrutiva	Planossolo	114,62	2	2+1	3	3			

Quadro 7 – Demonstração dos PKs, com ocorrência de quedas de barranco, classificados por flecha, classe de flecha, tipo de margem e tipo de solo, comprimento total das quedas no PK, classe de queda, quantidade de queda (em unidades e trechos) e o número de quedas de acordo com as tipologias do entorno.

Continua

PK	FLECHA	CLASSE DE FLECHA	TIPO DE MARGEM	TIPO DE SOLO	COMPRIMENTO TOTAL DA QUEDA	CLASSE DE QUEDA	QUANTIDADE DE QUEDAS DE BARRANCO		CARACTERÍSTICA DO LOCAL DE QUEDA			
							UNID+TRECHO	TOTAL DE QUEDAS	FLORESTA NAT	CAMPO	LAVOURA	REFLOR
181	598,84	7	Destrutiva	Planossolo	20	1	4+0	4			4	
182	290,22	4	Construtiva	Planossolo	25	1	5+0	5			5	
182	290,22	4	Destrutiva	Planossolo	64,33	1	2+1	3	3			
183	109,02	2	Construtiva	Planossolo	5	1	1+0	1	1			
183	109,02	2	Destrutiva	Planossolo	257,11	3	1+2	3	3			
184	27,55	1	Destrutiva	Planossolo	167,68	2	10+1	11	11			
185	503,67	6	Construtiva	Planossolo	309,88	4	3+1	4	4			
186	9,97	1	Destrutiva	Planossolo	20	1	4+0	4	4			
187	84,9	1	Construtiva	Planossolo	5	1	1+0	1	1			
187	84,9	1	Destrutiva	Planossolo	5	1	1+0	1	1			
188	156,44	2	Destrutiva	Planossolo	568,77	6	3+0	3	3			
189	391,25	5	Construtiva	Planossolo	5	1	1+0	1	1			
189	391,25	5	Destrutiva	Planossolo	654,36	7	0+3	3	3			
190	63,99	1	Destrutiva	Planossolo	20	1	4+0	4	4			
190	63,99	1	Destrutiva	Planossolo	528,92	6	1+2	3	3			
191	59,95	1	Destrutiva	Planossolo	185,73	2	1+1	2	2			
192	65,65	1	Destrutiva	Planossolo	94,31	1	3+1	4	4			
193	26,27	1	Destrutiva	Planossolo	437,28	5	0+3	3	1	2		
194	200,36	3	Destrutiva	Planossolo	300,49	3	1+3	4	1	3		
196	443,43	5	Destrutiva	Planossolo	57,69	1	0+1	1	1			
197	85,85	1	Construtiva	Planossolo	5	1	1+0	1	1			
197	85,85	1	Destrutiva	Planossolo	116,94	2	0+1	1			1	
198	219,16	3	Destrutiva	Planossolo	432,24	5	0+1	1			1	
199	613,68	7	Construtiva	Planossolo	96,78	1	0+1	1	1			
200	465,81	6	Destrutiva	Planossolo	777,04	8	1+3	4	4			
201	259,26	3	Destrutiva	Planossolo	550,38	6	0+1	1	1			
202	298,65	4	Destrutiva	Planossolo	406,54	5	1+3	4	4			

Quadro 07 – Demonstração dos PKs, com ocorrência de quedas de barranco, classificados por flecha, classe de flecha, tipo de margem e tipo de solo, comprimento total das quedas no PK, classe de queda, quantidade de queda (em unidades e trechos) e o número de quedas de acordo com as tipologias do entorno.

Continuação

PK	FLECHA	CLASSE DE FLECHA	TIPO DE MARGEM	TIPO DE SOLO	COMPRIMENTO TOTAL DA QUEDA	CLASSE DE QUEDA	QUANTIDADE DE QUEDAS DE BARRANCO		CARACTERÍSTICA DO LOCAL DE QUEDA			
							UNID+TRECHO	TOTAL DE QUEDAS	FLORESTA NAT	CAMPO	LAVOURA	REFLOR
204	350,76	4	Construtiva	Planossolo	364,02	4	1+1	2	1	1		
205	48,28	1	Destrutiva	Planossolo	533,59	6	0+2	2	1		1	
206	367,16	5	Construtiva	Planossolo	10	1	2+0	2	2			
206	367,16	5	Destrutiva	Planossolo	53,14	1	0+1	1			1	
207	38,68	1	Construtiva	Planossolo	184,27	2	0+1	1	1			
209	185,99	3	Construtiva	Planossolo	507,93	5	1+2	3	3			
210	137,26	2	Destrutiva	Planossolo	502,93	5	0+2	2	2			
211	102,98	2	Destrutiva	Planossolo	809,6	8	1+2	3	3			
212	88,97	1	Destrutiva	Planossolo	555,59	6	0+2	2	1		1	
213	366,45	4	Destrutiva	Planossolo	734,47	8	0+2	2	1		1	
214	103,57	2	Destrutiva	Planossolo	278,73	3	0+1	1			1	
217	18,46	1	Destrutiva	Planossolo	5	1	1+0	1	1			
219	5,71	1	Destrutiva	Argissolo	5	1	1+0	1	1			
219	5,71	1	Construtiva	Planossolo	161,69	2	0+1	1	1			
220	247,64	3	Construtiva	Planossolo	93,44	1	0+1	1	1			
221	378,5	5	Construtiva	Planossolo	5	1	1+0	1	1			
221	378,5	5	Destrutiva	Planossolo	42,48	1	3+1	4	4			
222	319,96	4	Construtiva	Planossolo	10	1	2+0	2	1			1
222	319,96	4	Destrutiva	Planossolo	5	1	1+0	1	1			
224	55,97	1	Destrutiva	Planossolo	10	1	2+0	2	1			1
225	110,93	2	Construtiva	Planossolo	161,3	2	1+1	2	1			1
227	69,69	1	Destrutiva	Planossolo	5	1	1+0	1				1
228	57,63	1	Construtiva	Planossolo	34,35	1	0+1	1				1
229	457,17	5	Destrutiva	Argissolo	35	1	7+0	7		4		3
229	457,17	5	Construtiva	Planossolo	131,75	2	0+2	2				2
230	472,73	6	Construtiva	Planossolo	30	1	6+0	6		2	4	
230	472,73	6	Destrutiva	Planossolo	5	1	1+0	1	1			
231	62,72	1	Destrutiva	Planossolo	677,6	7	0+3	3			3	
232	639,87	7	Construtiva	Planossolo	55,2	1	3+1	4			4	

Quadro 07 – Demonstração dos PKs, com ocorrência de quedas de barranco, classificados por flecha, classe de flecha, tipo de margem e tipo de solo, comprimento total das quedas no PK, classe de queda, quantidade de queda (em unidades e trechos) e o número de quedas de acordo com as tipologias do entorno.

Continua

PK	FLECHA	CLASSE DE FLECHA	TIPO DE MARGEM	TIPO DE SOLO	COMPRIMENTO TOTAL DA QUEDA	CLASSE DE QUEDA	QUANTIDADE DE QUEDAS DE BARRANCO		CARACTERÍSTICA DO LOCAL DE QUEDA			
							UNID+TRECHO	TOTAL DE QUEDAS	FLECHA	NAT	CAMPO	LAVOURA
232	639,87	7	Destrutiva	Planossolo	213,98	3	5+2	7	5		2	
233	380,87	5	Destrutiva	Planossolo	25	1	5+0	5			5	
233	380,87	5	Construtiva	Planossolo	306,59	4	1+2	3		3		
234	56,51	1	Destrutiva	Planossolo	284,66	3	3+2	5	3		2	
235	39,87	1	Destrutiva	Planossolo	155,16	2	3+2	5	3		2	
235	39,87	1	Construtiva	Planossolo	332,43	4	1+2	3	1	1	1	
236	120,34	2	Construtiva	Planossolo	78,63	1	9+1	10	10			
236	120,34	2	Destrutiva	Planossolo	30	1	6+0	6	3		3	
237	219,53	3	Construtiva	Planossolo	146,63	2	7+2	9	6		3	
237	219,53	3	Destrutiva	Planossolo	40	1	8+0	8	2		6	
238	105,26	2	Destrutiva	Planossolo	84	1	2+2	4	2		2	
239	193,07	3	Destrutiva	Planossolo	20	1	4+0	4		2	2	
240	326,7	4	Destrutiva	Planossolo	283,73	3	4+2	6	2	4		
241	282,44	4	Construtiva	Argissolo	5	1	1+0	1	1			
241	282,44	4	Destrutiva	Planossolo	10	1	2+0	2	2			

Quadro 07 – Demonstração dos PKs, com ocorrência de quedas de barranco, classificados por flecha, classe de flecha, tipo de margem e tipo de solo, comprimento total das quedas no PK, classe de queda, quantidade de queda (em unidades e trechos) e o número de quedas de acordo com as tipologias do entorno.

Interpretando-se os dados disponíveis no Quadro 07, verifica-se, por exemplo, que o PK 168 possui uma flecha de 154,52m, classificada como classe 2, pelos critérios descritos na metodologia. A margem que apresenta queda é a classificada como destrutiva, o solo predominante neste PK é o planossolo.

O comprimento total de sua queda de barranco é de 83,76m, enquadrada como classe 1. Possui no total apenas uma queda, sendo ela classificada como trecho. Esta ocorrência se dá em local cujo entorno é campo. E assim, sucessivamente, todos os PKs estão qualificados e classificados.

5.2 A Classe de Queda 1 (CQ-01)

Esta classe compreende o conjunto de 47 segmentos que possuem queda de barranco, ao longo de seu trecho, cuja soma dos seus comprimentos é menor ou igual a 101m.

O Quadro 08 representa o conjunto dos segmentos enquadrados na Classe de Queda 1 segregados por tipo de margem e de solo.

CLASSE DE QUEDA 1	Nº ocorrências	Margens				Solos			
		Construtiva		Destrutiva		Argissolo		Planossolo	
		Nº	% sobre	Nº	% sobre	Nº	% sobre	Nº	% sobre
		Segmentos	total	Segmentos	total	Segmentos	total	Segmentos	total
Classe de Flecha 01	15	5	3,4	10	6,8	1	0,7	14	9,5
Classe de Flecha 02	8	4	2,7	4	2,7	1	0,7	7	4,7
Classe de Flecha 03	4	1	0,7	3	2,0	0	0,0	4	2,7
Classe de Flecha 04	6	3	2,0	3	2,0	1	0,7	5	3,4
Classe de Flecha 05	8	3	2,0	5	3,4	1	0,7	7	4,7
Classe de Flecha 06	2	1	0,7	1	0,7	0	0,0	2	1,4
Classe de Flecha 07	4	3	2,0	1	0,7	0	0,0	4	2,7
Total	47	20	13,5	27	18,2	4	2,7	43	29,1

Quadro 8 – Distribuição dos segmentos da Classe de Queda 1 de acordo com o tipo de margem e de solo.

Os 47 segmentos que representam a CQ-1, correspondem a 31,7% dos 148 existentes. Apenas 27,70% dos segmentos apresentam queda de barranco cuja soma passa de 101,0m.

Na CQ-1, 42,6% dos segmentos estão na margem construtiva e 57,4% na destrutiva. Nesta classe, 91,5% dos segmentos estão localizados em Planossolos e 8,5% em Argissolos.

Quando se compara a ocorrência dos segmentos nas associações Argissolo com Margem Destrutiva, Argissolo com Margem Construtiva, Planossolo com Margem Destrutiva e Planossolo com Margem Construtiva, encontra-se, respectivamente 4,3%, 4,3%, 40,4% e 51,0%.

De maneira geral pode-se afirmar que há concordância com o resultado esperado, de que as margens destrutivas sejam mais vulneráveis à queda de

barranco. A exceção, no entanto, ocorre na classe de flecha 07 quando o número de segmentos com queda de barranco na margem construtiva supera a da destrutiva. Isto ocorre nos PKs 179, 199 e 232. No PK 179, a queda de barranco é constituída de uma só queda de 5m. O PK 199 possui a queda de 96,8m, na sequência da queda apresentada no PK 200, esta classificada como CQ 3. O PK 232 apresenta quedas que totalizam 55,2m sendo que neste PK encontra-se, no lado da margem destrutiva, o segmento com a quinta maior quantidade de quedas e no trecho crítico da extração de areia e da influência do manejo das barragens do setor hidrelétrico.

5.3 A Classe de Queda 2 (CQ-2)

Esta classe compreende o conjunto de 15 segmentos que possuem queda de barranco, ao longo de seu trecho, cuja soma dos seus comprimentos está entre 101,0m e 202,0m.

O Quadro 09 representa o conjunto dos segmentos onde houve queda de barranco, cujo comprimento total situa-se nesta classe, em consonância com o tipo de margem e de solo.

CLASSE DE QUEDA 2	Nº ocorrências	Margens				Solos			
		Construtiva		Destrutiva		Argissolo		Planossolo	
		Nº Segmentos	% sobre total						
Classe de Flecha 01	9	3	2,0	6	4,1	0	0,0	9	6,1
Classe de Flecha 02	4	1	0,7	3	2,0	0	0,0	4	2,7
Classe de Flecha 03	1	1	0,7	0	0,0	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 04	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 05	1	1	0,7	0	0,0	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 06	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 07	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Total	15	6	4,1	9	6,1	0	0,0	15	10,1

Quadro 9 – Distribuição dos segmentos da Classe de Queda 2 de acordo com o tipo de margem e de solo.

Os 15 segmentos que representam esta CQ-2, correspondem a 10,13% dos 148 existentes.

Na CQ-2 40,0% dos segmentos estão na margem construtiva e 60,0% na destrutiva. Nesta classe 100% dos segmentos estão localizados em Planossolos

Quando se compara a ocorrência dos segmentos nas associações Argissolo com Margem Destrutiva, Argissolo com Margem Construtiva, Planossolo com Margem Destrutiva e Planossolo com Margem Construtiva, encontra-se, respectivamente 0%, 0%, 40,0% e 60,0%.

Os resultados obtidos nesta Classe de Queda são coerentes com o esperado, uma vez que ocorrem em maior número nas margens naturalmente destrutivas. No PK 237, as quedas de barranco ocorrem em abundância nas duas margens tanto que representam a terceira e quarta maior quantidade de queda por PK, no trecho. Este PK situa-se na zona crítica da extração de areia e da influência do regime hidrológico condicionado pelo manejo das barragens do setor hidrelétrico. No PK 229, a jusante da Barragem do Fandango, a queda se dá em margem construtiva e não na destrutiva, nesta Classe de Queda em função de que a mesma é imediatamente influenciada pela turbulência da água que passa pelo barramento.

5.4 A Classe de Queda 3 (CQ-3)

Esta classe compreende o conjunto de 7 segmentos que possuem queda de barranco, ao longo de seu trecho, cuja soma dos seus comprimentos está entre 202,0m e 303,0m.

Os sete segmentos que representam esta CQ-3, correspondem a 4,73% dos 148 existentes. Nesta CQ-3, a distribuição dos segmentos por CF se dá conforme o Quadro 10.

O Quadro 10 representa o conjunto dos segmentos onde houve queda de barranco, cujo comprimento total situa-se nesta classe, em consonância com o tipo de margem e de solo.

Na CQ-3 100% dos segmentos estão na margem destrutiva. Nesta classe, também, 100% dos segmentos estão localizados em Planossolos

CLASSE DE QUEDA 3	Nº ocorrências	Margens				Solos			
		Construtiva		Destrutiva		Argissolo		Planossolo	
		Nº Segmentos	% sobre total						
Classe de Flecha 01	2	0	0,0	2	1,4	0	0,0	2	1,4
Classe de Flecha 02	2	0	0,0	2	1,4	0	0,0	2	1,4
Classe de Flecha 03	1	0	0,0	1	0,7	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 04	1	0	0,0	1	0,7	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 05	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 06	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 07	1	0	0,0	1	0,7	0	0,0	1	0,7
Total	7	0	0,0	7	4,7	0	0,0	7	4,7

Quadro 10 – Distribuição dos segmentos da Classe de Queda 3 de acordo com o tipo de margem e de solo.

Quando se compara a ocorrência dos segmentos nas associações Argissolo com Margem Destrutiva, Argissolo com Margem Construtiva, Planossolo com Margem Destrutiva e Planossolo com Margem Construtiva, encontra-se, respectivamente, 0%, 0%, 0% e 100%. Este resultado corrobora totalmente com o esperado uma vez que se apresentam 100% nas margens destrutivas e planossolos

5.5 A Classe de Queda 4 (CQ-4)

Esta classe compreende o conjunto de 4 segmentos que possuem queda de barranco, ao longo de seu trecho, cuja soma dos seus comprimentos está entre 303,0m e 404,0m.

Os 4 segmentos que representam esta CQ-4, correspondem a 2,70% dos 148 existentes.

O Quadro 11 representa o conjunto dos segmentos onde houve queda de barranco, cujo comprimento total situa-se nesta classe, separados por tipo de margem e de solo.

CLASSE DE QUEDA 4	Nº ocorrências	Margens				Solos			
		Construtiva		Destrutiva		Argissolo		Planossolo	
		Nº Segmentos	% sobre total						
Classe de Flecha 01	1	1	0,7	0	0,0	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 02	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 03	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 04	1	1	0,7	0	0,0	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 05	1	1	0,7	0	0,0	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 06	1	1	0,7	0	0,0	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 07	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Total	4	4	2,7	0	0,0	0	0,0	4	2,7

Quadro 11 – Distribuição dos segmentos da Classe de Queda 4 de acordo com o tipo de margem e de solo.

Na CQ-4, 100% dos segmentos estão na margem construtiva. Nesta classe, também, 100% dos segmentos estão localizados em Planossolos

Quando se analisa a ocorrência dos segmentos nas associações Argissolo com Margem Destrutiva, Argissolo com Margem Construtiva, Planossolo com Margem Destrutiva e Planossolo com Margem Construtiva, encontra-se, respectivamente 0%, 0%, 100% e 0%. Estes resultados concordam com o esperado para o planossolo mas mostram-se contraditórios ao esperado para as margens construtivas.

Ao analisar-se individualmente os PKs envolvidos, nesta Classe de Queda, tem-se que o PK 235 ocorre na sequencia do 236 que representa o PK com o segundo maior número de quedas , o PK 204 é subsequente ao 205. Neste PK ocorre a inversão de margem onde a 205 destrutiva é imediatamente substituída pela construtiva do 204. As quedas neste segmento podem estar associadas à inflexão das margens.

O PK 233 encontra-se na área mais conturbada das quedas de barranco em área de intensa extração de areia e o PK 185 em área de inflexão de margem onde passa da destrutiva do 186 para a construtiva do 185.

5.6 A Classe de Queda 5 (CQ-5)

Esta classe compreende o conjunto de 5 segmentos que possuem queda de barranco, ao longo de seu trecho, cuja soma dos seus comprimentos está entre 404,0m e 505,0m.

O Quadro 12 representa o conjunto dos segmentos onde houve queda de barranco, cujo comprimento total situa-se nesta classe, em consonância com o tipo de margem e de solo.

CLASSE DE QUEDA 5	Nº ocorrências	Margens				Solos			
		Construtiva		Destrutiva		Argissolo		Planossolo	
		Nº Segmentos	% sobre total						
Classe de Flecha 01	1	0	0,0	1	0,7	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 02	1	0	0,0	1	0,7	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 03	2	1	0,7	1	0,7	0	0,0	2	1,4
Classe de Flecha 04	1	0	0,0	1	0,7	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 05	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 06	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 07	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Total	5	1	0,7	4	2,7	0	0,0	5	3,4

Quadro 12 – Distribuição dos segmentos da Classe de Queda 5 de acordo com o tipo de margem e de solo.

Os 5 segmentos que representam a CQ-5, correspondem a 3,38% dos 148 existentes.

Na CQ-5 20,00% dos segmentos estão na margem construtiva e 80,00% na destrutiva. Nesta classe, também, 100% dos segmentos estão localizados em Planossolos

Quando se confronta a ocorrência dos segmentos nas associações Argissolo com Margem Destrutiva, Argissolo com Margem Construtiva, Planossolo com Margem Destrutiva e Planossolo com Margem Construtiva, encontra-se 0%, 0%, 20,00% e 80,00%, respectivamente. Os resultados obtidos corroboram com o esperado para o tipo de margem e o solo.

5.7 A Classe de Queda 6 (CQ-6)

Esta classe compreende o conjunto de 5 segmentos que possuem queda de barranco, ao longo de seu trecho, cuja soma dos seus comprimentos está entre 505,01m e 6060m.

Os 5 segmentos que representam esta CQ-6, correspondem a 3,38% dos 148 existentes.

O Quadro 13 representa o conjunto dos segmentos onde houve queda de barranco, cujo comprimento total situa-se nesta classe, em consonância com o tipo de margem e de solo.

CLASSE DE QUEDA 6	Nº ocorrências	Margens				Solos			
		Construtiva		Destrutiva		Argissolo		Planossolo	
		Nº Segmentos	% sobre total						
Classe de Flecha 01	3	0	0,0	3	2,0	0	0,0	3	2,0
Classe de Flecha 02	1	0	0,0	1	0,7	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 03	1	0	0,0	1	0,7	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 04	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 05	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 06	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 07	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Total	5	0	0,0	5	3,4	0	0,0	5	3,4

Quadro 13 – Demonstrativo da distribuição dos segmentos da Classe de Queda 6 de acordo com o tipo de margem e de solo.

Na CQ-6 100% dos segmentos estão na margem destrutiva. Nesta classe, também, 100% dos segmentos estão localizados em Planossolos.

Ao comparar a ocorrência dos segmentos nas associações Argissolo com Margem Destrutiva, Argissolo com Margem Construtiva, Planossolo com Margem Destrutiva e Planossolo com Margem Construtiva, encontra-se, respectivamente 0%, 0%, 0% e 100%. Os resultados obtidos também corroboram com o esperado para o tipo de margem e de solo.

5.8 A Classe de Queda 7 (CQ-7)

Esta classe compreende o conjunto de 2 segmentos que possuem queda de barranco, ao longo de seu trecho, cuja soma dos seus comprimentos está entre 606,0m e 707,0m.

O Quadro 14 representa o conjunto dos segmentos onde houve queda de barranco, cujo comprimento total situa-se nesta classe, em consonância com o tipo de margem e de solo. Na CQ-7 100% dos segmentos estão na margem destrutiva. Nesta classe, também, 100% dos segmentos estão localizados em Planossolos. Ao verificar a ocorrência dos segmentos nas associações Argissolo com Margem Destrutiva, Argissolo com Margem Construtiva, Planossolo com Margem Destrutiva e Planossolo com Margem Construtiva, encontra-se, respectivamente 0%, 0%, 0% e 100%. Os resultados obtidos também corroboram o esperado para o tipo de margem e solo.

CLASSE DE QUEDA 7	Nº ocorrências	Margens				Solos			
		Construtiva		Destrutiva		Argissolo		Planossolo	
		Nº Segmentos	% sobre total						
Classe de Flecha 01	1	0	0,0	1	0,7	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 02	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 03	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 04	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 05	1	0	0,0	1	0,7	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 06	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 07	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Total	2	0	0,0	2	1,4	0	0,0	2	1,4

Quadro 14 – Demonstrativo da distribuição dos segmentos da Classe de Queda 7 de acordo com o tipo de margem e de solo.

5.9 A Classe de Queda 8 (CQ-8)

Esta classe compreende o conjunto de três segmentos que possuem queda de barranco, ao longo de seu trecho, cuja soma dos seus comprimentos está entre 707,0m e 809,60m.

Os três segmentos que representam esta CQ-8, correspondem a 2,03% dos 148 existentes.

O Quadro 15 representa o conjunto dos segmentos onde houve queda de barranco, cujo comprimento total situa-se nesta classe, separados por tipo de margem e de solo.

CLASSE DE QUEDA 8	Nº ocorrências	Margens				Solos			
		Construtiva		Destrutiva		Argissolo		Planossolo	
		Nº Segmentos	% sobre total						
Classe de Flecha 01	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 02	1	0	0,0	1	0,7	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 03	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 04	1	0	0,0	1	0,7	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 05	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Classe de Flecha 06	1	0	0,0	1	0,7	0	0,0	1	0,7
Classe de Flecha 07	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Total	3	0	0,0	3	2,0	0	0,0	3	2,0

Quadro 15 – Distribuição dos segmentos da Classe de Queda 8 de acordo com o tipo de margem e de solo.

Na CQ-8 100% dos segmentos estão na margem destrutiva. Nesta classe, também, 100% dos segmentos estão localizados em Planossolos.

Quando comparamos a ocorrência dos segmentos nas associações Argissolo com Margem Destrutiva, Argissolo com Margem Construtiva, Planossolo com Margem Destrutiva e Planossolo com Margem Construtiva, encontramos, respectivamente 0%, 0%, 0% e 100%. Os resultados obtidos também corroboram o esperado para o tipo de margem e solo.

5.10 Análise conjunta dos dados

De maneira resumida, os Quadros 16 a 18 representam o conjunto dos dados acima descritos.

CQ	N° segmentos	Porcentagem sobre o total	Distribuição absoluta dos segmentos por classe de flecha							Agrupamento solo x margem			
			CF-1	CF-2	CF-3	CF-4	CF-5	CF-6	CF-7	1 x 1	1 x 2	2 x 1	2 x 2
CQ-0	60	40,54	22	17	7	6	3	2	3	1	4	33	22
CQ-1	47	31,76	15	8	4	6	8	2	4	2	2	18	25
CQ-2	15	10,14	9	4	1	0	1	0	0	0	0	6	9
CQ-3	7	4,73	2	2	1	1	0	0	1	0	0	0	7
CQ-4	4	2,70	1	0	0	1	1	1	0	0	0	4	0
CQ-5	5	3,38	1	1	2	1	0	0	0	0	0	1	4
CQ-6	5	3,38	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	5
CQ-7	2	1,35	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
CQ-8	3	2,03	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	3
TOTAL	148	100	54	34	16	16	14	6	8	3	6	62	77

Quadro 16 – Frequência absoluta dos segmentos por classe de flecha e interação solo e margem.

O agrupamento solo x margem 1 x 1 é representado pela integração Argissolo e margem construtiva; 1 x 2 pela Argissolo e margem destrutiva, 2 x 1 pelo Planossolo com margem construtiva e o 2 x 2 quando Planossolo com margem destrutiva.

CQ	N° segmentos	Porcentagem sobre o total	Distribuição percentual dos segmentos por classe de flecha em relação ao total da Classe de Queda							Agrupamento solo x margem			
			CF-1	CF-2	CF-3	CF-4	CF-5	CF-6	CF-7	1 x 1	1 x 2	2 x 1	2 x 2
CQ-0	60	40,54	36,67	28,33	11,67	10,00	5,00	3,33	5,00	1,67	6,67	55,00	36,67
CQ-1	47	31,76	31,91	17,02	8,51	12,77	17,02	4,26	8,51	4,26	4,26	38,30	53,19
CQ-2	15	10,14	60,00	26,67	6,67	0,00	6,67	0,00	0,00	0,00	0,00	40,00	60,00
CQ-3	7	4,73	28,57	28,57	14,29	14,29	0,00	0,00	14,29	0,00	0,00	0,00	100,00
CQ-4	4	2,70	25,00	0,00	0,00	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
CQ-5	5	3,38	20,00	20,00	40,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00	80,00
CQ-6	5	3,38	60,00	20,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
CQ-7	2	1,35	50,00	0,00	0,00	0,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
CQ-8	3	2,03	0,00	33,33	0,00	33,33	0,00	33,33	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
TOTAL	148	100,00											

Quadro 17 – Frequência relativa dos segmentos por classe de flecha e interação solo e margem na respectiva classe de queda

O agrupamento solo x margem 1 x 1 é representado pela integração Argissolo e margem construtiva; 1 x 2 pela Argissolo e margem destrutiva, 2 x 1 pelo Planossolo com margem construtiva e o 2 x 2 quando Planossolo com margem destrutiva.

CQ	N° segmentos	Porcentagem sobre o total	Distribuição percentual dos segmentos por classe de flecha em relação ao total de segmentos							Agrupamento solo x margem			
			CF-1	CF-2	CF-3	CF-4	CF-5	CF-6	CF-7	1 x 1	1 x 2	2 x 1	2 x 2
CQ-0	60	40,54	14,86	11,49	4,73	4,05	2,03	1,35	2,03	0,68	2,70	22,30	14,86
CQ-1	47	31,76	10,14	5,41	2,70	4,05	5,41	1,35	2,70	1,35	1,35	12,16	16,89
CQ-2	15	10,14	6,08	2,70	0,68	0,00	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	4,05	6,08
CQ-3	7	4,73	1,35	1,35	0,68	0,68	0,00	0,00	0,68	0,00	0,00	0,00	4,73
CQ-4	4	2,70	0,68	0,00	0,00	0,68	0,68	0,68	0,00	0,00	0,00	2,70	0,00
CQ-5	5	3,38	0,68	0,68	1,35	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	2,70
CQ-6	5	3,38	2,03	0,68	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,38
CQ-7	2	1,35	0,68	0,00	0,00	0,00	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,35
CQ-8	3	2,03	0,00	0,68	0,00	0,68	0,00	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	2,03
TOTAL	148	100,00	36,49	22,97	10,81	10,81	9,46	4,05	5,41	2,03	4,05	41,89	52,03

Quadro 18 – Frequência relativa dos segmentos por classe de flecha e interação solo e margem em relação ao total.

O agrupamento solo x margem 1 x 1 é representado pela integração Argissolo e margem construtiva; 1 x 2 pela Argissolo e margem destrutiva, 2 x 1 pelo Planossolo com margem construtiva e o 2 x 2 quando Planossolo com margem destrutiva.

A análise do resultado demonstrado nos quadros 17 e 18 mostra coerência com o esperado, quando se evidencia que as Classes de Queda a partir da 6 somente ocorrem em margens destrutivas e o mesmo se dando em 80% da Classe 5.

Os Planossolos correspondem a 93,9% do total dos solos dos segmentos do trecho, enquanto os Argissolos correspondem aos demais 6,1%. Esta discrepância atribui obrigatoriamente maior expressividade nas ocorrências em planossolos em relação aos argissolos. Ao ser feita a análise comparativa do comprimento das quedas, em metros, por km de margem para cada tipo de solo, os resultados são de 13,1m/km para o argissolo e 115,5m/km para o planossolo. Esta comparação demonstra o expressivo predomínio das quedas de barranco, do tipo trechos, nos planossolos, quando comparadas com os argissolos. Quando se compara as quedas de barranco, do tipo unidades, vê-se que nos argissolos existe, em média, uma unidade de queda, por km de margem com este solo, enquanto que no planossolo o número de unidades por km de margem é de 1,1. Estes valores ajudam na percepção de que os dois tipos de quedas de barranco, unidade e trecho, são episódios distintos.

Com relação ao tipo de margem, cabe ainda salientar que nas construtivas a relação entre o comprimento médio das quedas, em metros por km de margem é de 50,8. Nas margens destrutivas a relação é 149,5m de queda, por km de margem. No entanto se analisado pela ótica das unidades de queda, vê-se que as margens construtivas apresentam em média 0,9 unidades por km, enquanto na destrutiva a relação é de 1,3.

A Tabela 01 apresenta os percentuais dos segmentos enquadrados de acordo com a classe de flecha, tipo de margem e solo e por classe de queda. Sintetiza os resultados obtidos do ponto de vista da percentagem que cada uma das integrações de variáveis representa sobre o total.

Tabela 1 – Percentuais dos segmentos presentes em cada uma das configurações de classe de flecha, tipo de margem e solo e classe de queda

Classe de Flecha	Margem	Solo	Percentagem de segmentos inseridos nas Classes de Queda de acordo com as Classes de Flecha, Tipo de margem e de solo										% Total da configuração
			CQ 0	CQ 1	CQ 2	CQ 3	CQ 4	CQ 5	CQ 6	CQ 7	CQ 8		
1	Destrutiva	Argissolo	0,68										0,68
1	Destrutiva	Planossolo	0,68	0,68									1,35
1	Construtiva	Argissolo	6,76	3,38	2,03		0,68						12,84
1	Construtiva	Planossolo	6,76	6,08	4,05	1,35		0,68	2,03	0,68			21,62
2	Destrutiva	Argissolo		0,68									0,68
2	Destrutiva	Planossolo	2,03										2,03
2	Construtiva	Argissolo	6,76	2,03	0,68								9,46
2	Construtiva	Planossolo	2,70	2,70	2,03	1,35		0,68	0,68		0,68		10,81
3	Destrutiva	Argissolo											0,00
3	Destrutiva	Planossolo											0,00
3	Construtiva	Argissolo	3,38	0,68	0,68			0,68					5,41
3	Construtiva	Planossolo	1,35	2,03		0,68		0,68	0,68				5,41
4	Destrutiva	Argissolo		0,68									0,68
4	Destrutiva	Planossolo											0,00
4	Construtiva	Argissolo	2,70	1,35			0,68						4,73
4	Construtiva	Planossolo	1,35	2,03		0,68		0,68			0,68		5,41
5	Destrutiva	Argissolo											0,00
5	Destrutiva	Planossolo		0,68									0,68
5	Construtiva	Argissolo	1,35	2,03	0,68		0,68						4,73
5	Construtiva	Planossolo	0,68	2,70						0,68			4,05
6	Destrutiva	Argissolo											0,00
6	Destrutiva	Planossolo											0,00
6	Construtiva	Argissolo	0,68	0,68			0,68						2,03
6	Construtiva	Planossolo	0,68	0,68							0,68		2,03
7	Destrutiva	Argissolo											0,00
7	Destrutiva	Planossolo											0,00
7	Construtiva	Argissolo	0,68	2,03									2,70
7	Construtiva	Planossolo	1,35	0,68		0,68							2,70
TOTAL			40,54	31,76	10,14	4,73	2,70	3,38	3,38	1,35	2,03		100,00

Interpretando os resultados expressos na tabela pode-se evidenciar que as maiores ocorrências de não queda de barranco; 6,76% estão nos solos argissolos

ou nos planossolos, mas sempre nas margens construtivas, o que corresponde com o esperado. Ao interpretar os percentuais pela ocorrência de queda vê-se que os resultados não objetivam as respostas, pois ocorrem em ambas as margens e em ambos os tipos de solo. Isso se deve ao fato de que existe diferença entre o tipo de queda e conseqüentemente seus fatores condicionantes. Quedas na forma de unidade diferem frontalmente das quedas na forma de trecho na margem do rio.

5.11 O entorno das quedas

O entorno das quedas foi identificado a partir do mosaico aerofotográfico do trecho de estudo e com auxílio das imagens de satélite disponíveis no Google Earth. A partir da análise dos resultados percebe-se que há diferença entre as quedas de barranco do tipo denominado unidade e os trechos, definidos conforme a metodologia. Os quinze segmentos com maiores comprimentos de queda, quando comparados com os quinze segmentos com maiores quantidades de quedas, nos mostra que não existe coincidência na ocorrência. Desta forma nenhum dos segmentos que possuem os quinze maiores comprimentos de queda está na relação dos que representam os quinze com maiores números de quedas. Isto indica que existem distintamente duas formas de quedas de barranco e que as mesmas não se modelam pelos mesmos parâmetros, ou seja, o que motiva um tipo não é necessariamente o motivador do segundo tipo.

Ao analisar-se as quedas com o tipo de entorno do local onde ocorreram, o Quadro 19 apresenta o total, em quilômetros, abrangido por cada uma das tipologias e quanto elas representam proporcionalmente ao total do comprimento dos segmentos (148 km). Além disso, o quadro demonstra o nº de ocorrências por tipologia e o nº de ocorrências, por quilômetro de tipologia.

Tipologia do entorno	Extensão total em km	% sobre o total de margem	Nº de ocorrências na tipologia	Nº de ocorrência, por km de tipologia
Floresta	122,725	82,9	154	1,3
Campo	8,05	5,4	33	4,1
Lavoura	11,53	7,8	55	4,8
Reflorestamento	3,835	2,6	13	3,4
Urbanização	1,86	1,3	0	0,0
TOTAL	148	100	255	1,7
TOTAL somente com queda de talude	88	59,5	255	Média = 2,9

Quadro 19 – Abrangência das quedas de barranco segundo as tipologias do entorno.

Os resultados demonstrados no Quadro 19 evidenciam um maior número de ocorrências, por quilômetro de lavoura, do que de campo e deste em relação ao reflorestamento e deste em relação à floresta, o que concorda com o senso comum da visão antropogênica destas quedas. Por esta visão a ação do homem sobre as margens se evidencia mais nas lavouras, depois nos campos e posteriormente nas florestas. Dentro desta análise o reflorestamento precede a cobertura florestal nativa.

15 segmentos com maiores comprimentos de queda (em ordem decrescente).						
Segmento	Tipo de margem	Comprimento em metros	CQ	CF	Solo	Tipologia do entorno
211	Destrutiva	809,6	8	2	Planossolo	Floresta
200	Destrutiva	777,04	8	6	Planossolo	Floresta
213	Destrutiva	734,47	8	4	Planossolo	Floresta e Lavoura
231	Destrutiva	677,6	7	2	Planossolo	Lavoura
189	Destrutiva	654,36	7	5	Planossolo	Floresta
188	Destrutiva	568,77	6	2	Planossolo	Floresta
212	Destrutiva	555,59	6	1	Planossolo	Floresta e Lavoura
201	Destrutiva	550,38	6	3	Planossolo	Floresta
205	Destrutiva	533,59	6	1	Planossolo	Floresta e Lavoura
190	Destrutiva	528,92	6	1	Planossolo	Floresta
209	Construtiva	507,93	5	3	Planossolo	Floresta
210	Destrutiva	502,93	5	2	Planossolo	Floresta
193	Destrutiva	437,28	5	1	Planossolo	Floresta e Campo
198	Destrutiva	432,24	5	3	Planossolo	Lavoura
202	Destrutiva	406,54	5	4	Planossolo	Floresta

Quadro 20 – Demonstrativo dos 15 segmentos com maiores comprimentos de quedas de barranco.

Os quinze segmentos com maior número de quedas de barranco representam 39,2% do número total das quedas de barranco, da mesma forma que englobam 69% do total das unidades de queda (60 unidades em 87 unidades totais). O Quadro 20 demonstra a influência do tipo de margem no gradiente de comprimento das quedas. Pode ser visto que dos 15 segmentos com maiores comprimentos de queda, 14 estão em margem destrutiva e todos no planossolo. Quanto a tipologia de entorno a floresta predomina em 9 destes segmentos, 4 apresentam lavoura e floresta como ambiente dominante e apenas 2 deles são de ocorrência dominante de lavoura.

15 segmentos com maiores n° de quedas (em ordem decrescente).						
Segmento	Tipo de margem	N° de quedas	CQ	CF	Solo	
184	Destrutiva	11	2	2	Planossolo	Floresta
236	Construtiva	10	1	2	Planossolo	Floresta
237	Construtiva	9	2	3	Planossolo	Floresta e Lavoura
237	Destrutiva	8	1	3	Planossolo	Floresta e Lavoura
229	Destrutiva	7	1	5	Argissolo	Campo e Reflorestamento
232	Destrutiva	7	3	7	Planossolo	Floresta e Lavoura
236	Destrutiva	6	1	2	Planossolo	Floresta e Lavoura
230	Construtiva	6	1	6	Planossolo	Campo e Lavoura
240	Destrutiva	6	3	4	Planossolo	Floresta e campo
233	Destrutiva	5	1	5	Planossolo	Lavoura
235	Destrutiva	5	4	1	Planossolo	Floresta, Campo e Lavoura
175	Construtiva	5	1	2	Planossolo	Floresta e campo
174	Destrutiva	5	2	2	Planossolo	Floresta
182	Destrutiva	5	1	4	Planossolo	Lavoura
234	Destrutiva	5	1	5	Planossolo	Lavoura

Quadro 21 – Demonstrativo dos 15 segmentos com maiores número de quedas de barranco.

Quando se compara os dois quadros 20 e 21, vê-se que 100% dos segmentos que ocorrem em um, divergem no outro, ou seja, dos quinze segmentos com maiores quedas nenhum deles está entre os quinze com maior número de

quedas. Isto, por si só, demonstra dissociação entre os dois tipos de queda de barranco: a unidade e o trecho. Assim é possível estabelecer que fatores determinantes para a queda ser em unidade ou em segmento são, em maior escala, independentes embora reserva-se a condição de que segmentos de margem destrutiva em planossolo com tipologia de entorno de floresta ou lavoura são marcantes para ambos.

5.12 As margens do rio

O Quadro 22 demonstra os valores da Correlação de Pearson entre as classes de flecha e flecha com classes de queda, dos trechos e total das quedas.

CORRELAÇÃO DE PEARSON		
Parâmetros considerando-se somente a existência de queda	P/ Margem Construtiva	P/ Margem Destrutiva
Classe de flecha x classe de queda	0,067	0,129
Classe de flecha x Classe dos trechos	0,045	0,104
Flecha x Comprimento total das quedas	-0,019	0,127
Flecha x Comprimento total dos trechos	-0,018	0,121
Classe de flecha x total de quedas	-0,008	0,114

Quadro 22 – Correlação de Pearson entre variáveis do levantamento.

Para a margem destrutiva os valores das correlações são expressivamente mais significativos que na margem construtiva, mas ainda mostram-se muito baixos, ou seja não possuem correlação. De uma maneira geral já era esperado que a correlação apresentasse pouca interação uma vez que os comprimentos de flecha variam, na mesma classe, de forma dissociada da variação do comprimento das quedas, em relação às suas classes.

5.13 O estudo do agrupamento das variáveis

Outro método de análise de dados foi buscado por meio do Método de Agrupamento por Encadeamento Único, onde se procurou a formação de grupos por meio da técnica do vizinho mais próximo a partir das distâncias euclidianas. As variáveis foram denominadas de acordo com o Quadro 23.

Variável	Nome da variável
Var 01	Classe de Flecha
Var 02	Tipo de Margem
Var 03	Tipo de Solo
Var 04	Classe de Queda
Var 05	Total de Quedas

Quadro 23 – Denominação das variáveis para a análise de agrupamentos

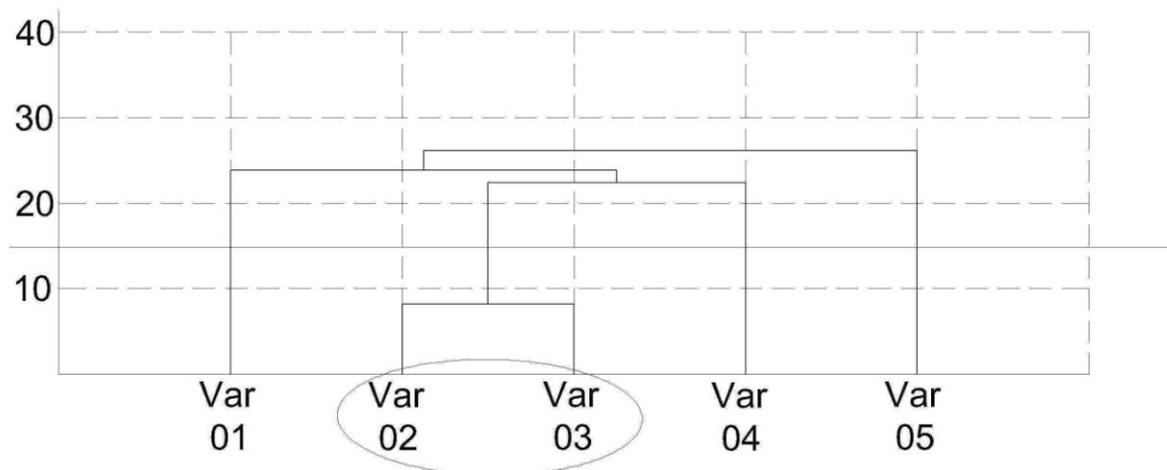


Figura 25 – Dendrograma dos Agrupamentos entre as variáveis analisadas.

A análise dos agrupamentos formados leva ao grupo destaque formado pelo tipo de margem (Var 02) e tipo de solo (Var 03). Isto demonstra que a relação entre o tipo de margem e o tipo de solo tem significativa importância no processo de

desmoronamento de taludes marginais, quando associados, o que corrobora a análise dos Quadros 21 e 22..

5.14 O Índice de Sinuosidade

Para se analisar a relação entre o Índice de Sinuosidade e o total de quedas, foi preciso estabelecer critérios de segmentação, já explicitados na Metodologia. O Quadro 24 demonstra o trecho, representado pelo PK inicial e o PK final, a diferença entre os PKs, em Km, a distância vetorial (em linha reta) entre os extremos do trecho, o Índice de Sinuosidade, o Total de Quedas e o N^o de quedas por km.

Pkinicial	Pkfinal	km por dif. De PK	Km em linha reta	IS	Total de Quedas	N ^o de quedas/km
230	241	12	7,061	1,699	95	7,917
213	229	17	13,082	1,299	30	1,765
189	212	24	16,451	1,459	56	2,333
168	188	21	12,245	1,715	74	3,524
241	167	74	44,725	1,655	255	3,446

Quadro 24 – Comportamento dos trechos quanto ao Índice de Sinuosidade, Total de Quedas e N^o de Quedas.

Os quatro primeiros trechos representam as partes de todo o trajeto, representado pela última linha do quadro. Assim, o primeiro trecho, possui 12km de distância efetiva pelo rio. A distância vetorial (em linha reta) entre os extremos deste trecho é de 7,061km. Dividindo-se um pelo outro, foi determinado o Índice de Sinuosidade de 1,699. Neste trecho, entre o PK 230 e 241, foram encontradas 95 quedas, resultando numa média de 7,917km, e, assim sucessivamente, para todos os trechos e, da mesma forma para o trajeto total (última linha do Quadro 24).

Apesar do pequeno número de amostras (4 trechos), calculou-se o Coeficiente de Correlação de Pearson entre o IS e o número de quedas em cada

trecho. O resultado foi um Coeficiente de Correlação positiva de 0,93661, o que demonstra forte grau de correlação. Mesmo levando em conta a base de dados pequena, a expressividade da Correlação mostra a grande vinculação entre o Índice de Sinuosidade e o nº de quedas havidas no trecho. Para ver se esta relação não estaria vinculada à diferença de comprimento de trecho, na análise, resolveu-se fazer a Correlação entre o Índice de Sinuosidade e o nº médio de quedas, por km. Desta forma se elimina o efeito da diferença de comprimento entre os trechos. Neste novo cálculo a Correlação determinada foi de 0,725834, positiva, também considerada forte. Em ambos os casos o aumento do IS determina aumento seja do número absoluto de quedas ou mesmo da média de quedas, por km.

Para aumento do grau de segurança nesta análise, resolveu-se fazer a correlação entre o tamanho efetivo do trecho, em km, e o número de quedas totais no trecho. Nesta determinação, o Coeficiente de Correlação foi negativa de 0,39436. Ora, esta interpretação nos mostra uma dissociação completa entre estas variáveis, uma vez que quanto maior o trecho, em km, menor seria o número total de quedas. Desta forma a relação entre o comprimento do trecho, em km, não serve para explicar a distribuição das quedas.

Com relação ao exposto acima, vê-se que o IS, valor associado do comprimento total efetivo do trecho com seu comprimento vetorial, é capaz de explicar satisfatoriamente a tendência de que quanto maior a sinuosidade, maior o número absoluto de quedas no trecho, bem como o número de quedas por km. Isto pode ser evidenciado no gráfico da Figura 25.

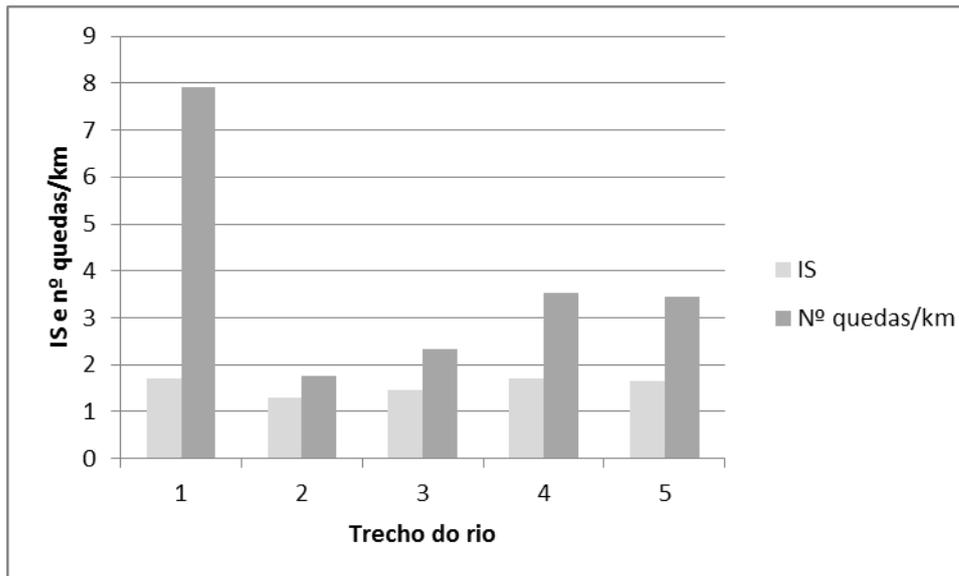


Figura 26 – Demonstrativo do Índice de Similaridade e do nº de Quedas, por Km de cada um dos quatro trechos, extraídos do Quadro 24.

A Figura 26 demonstra concordância entre a variação do Índice de Sinuosidade e a do número de quedas por PK, embora em escalas de grandezas diferentes. Isto se explica pelo fato de que a sinuosidade está intimamente ligada com as diferenças de orientação no fluxo da água. A alteração na orientação do fluxo da água é fator relacionado com a presença de obstáculos ao seu prosseguimento ou pela facilitação do desvio. No casos do rio Jacuí a presença de obstáculos refere-se a resistência edáfica dos argissolos e relação aos planossolos, sendo estes, principalmente quando de natureza em neossolos flúvicos, mais frágeis e conseqüentemente facilitadores das inflexões do fluxo.

5.15 Aspectos hidrológicos

Considerando-se os aspectos hidrológicos do rio Jacuí, cabe a avaliação da oscilação periódica do nível do mesmo, uma vez que facilmente pode ser visto flutuações consideráveis ao longo de um só dia. Assim, para a análise hidrológica foram obtidos dados de vazão média mensal da Barragem de Dona Francisca, do

Passo do São Lourenço e de Rio Pardo. Desta forma é possível um estudo com base em dados a montante e jusante da área.

O Quadro 25 apresenta os valores médios mensais das vazões (Q) em m³/s, em três pontos de coletas.

Período		Q em m ³ /s		
ANO	Mês	Barragem Dona Francisca	São Lourenço	Rio Pardo
2008	Janeiro	296,95	425,19	267,04
2008	Fevereiro	253,51	405,59	202,41
2008	Março	237,09	343,66	373,57
2008	Abril	176,05	285,28	241,72
2008	Mai	170,70	330,75	399,36
2008	Junho	295,29	555,62	879,44
2008	Julho	337,84	698,77	1027,48
2008	Agosto	366,00	1077,27	1757,07
2008	Setembro	314,38	711,35	1118,68
2008	Outubro	697,32	1067,97	1368,40
2008	Novembro	735,36	1033,13	1474,86
2008	Dezembro	232,46	410,92	309,34

Quadro 25 – Vazão média mensal para o ano de 2008, na Barragem de Dona Francisca, São Lourenço e Rio Pardo, no ano de 2008.

Com relação às cotas de nível do rio, os dados estão disponíveis para o Passo do São Lourenço e para montante e jusante da Barragem do Fandango. Considerando que o ano de 2008 foi de precipitação média, se comparado com 2009 e 2010 (anos de grandes enchentes), foram utilizados dados relacionados com os doze meses deste ano.

Em destaque, merece atenção as médias de vazões dos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro onde a vazão crescente de Dona Francisca para São Lourenço não se verifica com a mesma tendência de São Lourenço a Rio Pardo. Cabe salientar que este período é de grande atividade na lavoura arrozeira e evidencia-se que entre São Lourenço e Rio Pardo, há mais supressão de água para a lavoura do que aporte dos tributários, no trecho.

O Quadro 26 demonstra as cotas do nível do rio no Passo de São Lourenço, e a montante e jusante da Barragem do Fandango. Este aspecto trás importante

parâmetro de avaliação que é a flutuação do nível da barragem, principalmente a montante. A oscilação, neste nível da água, altera os padrões de encharcamento do solo, e conseqüentemente a pressão exercida pelas árvores sobre o mesmo é fator associado com a queda de barranco em unidades.

Período		Cotas de nível do Rio em cm		
ANO	Mês	São Lourenço	Fandango Montante	Fandango Jusante
2008	Janeiro	1470	1735,02	1411,58
2008	Fevereiro	1360	1727,1	1390,91
2008	Março	1020	1653,92	1444,23
2008	Abril	720	1647,07	1388,95
2008	Maiο	950	1669,24	1417,13
2008	Junho	2040	1691,78	1579,6
2008	Julho	2700	1731,02	1644,82
2008	Agosto	4230	1857,1	1799,74
2008	Setembro	2720	1740,23	1639,95
2008	Outubro	4020	1873,1	1720,52
2008	Novembro	3850	1835,83	1728
2008	Dezembro	1390	1726,5	1385,56

Quadro 26 – Cota média mensal do nível do rio para o ano de 2008, no Passo do São Lourenço e a montante e jusante da barragem do Fandango no ano de 2008.

A vazão de um rio é calculada por uma razão entre a velocidade da água e a seção transversal do curso hídrico. Assim, conforme pode ser visto no Quadro 27, era esperado que houvesse correlação positiva e alta, entre as vazões e as cotas, conforme foi observado. Fazendo a média das cotas e o desvio médio dos dados obteve-se 2205,8 cm e 1081,8 cm, respectivamente, para São Lourenço, 1740,6 cm e 57,34 cm para Fandango Montante e 1545,9 cm e 139,5 cm para Fandango Jusante. Isto demonstra que apesar da forte oscilação em nível do Passo do São Lourenço, a barragem do Fandango exerce grande eficiência no controle da cota de nível médio do rio. Isto determina maior estabilidade no encharcamento das margens no trecho à montante da mesma. O Quadro 27 demonstra a correlação estabelecida entre estas variáveis.

ESTUDO DAS CORRELAÇÕES	
ATRIBUTOS	r
Q (m ³ /s)	
Dona Francisca x São Lourenço	0,847
Dona Francisca x Rio Pardo	0,723
São Lourenço x Rio Pardo	0,961
Q (m ³ /s) e Cota	
São Lourenço x São Lourenço	0,998
Cotas	
São Lourenço x Fandango Montante	0,930
São Lourenço x Fandango Jusante	0,964
Fandango Mont. X Fandango Jus.	0,802

Quadro 27 – Estudo das correlações entre vazões, vazões e cotas e cotas nos pontos de amostragem no ano de 2008.

O cálculo da correlação entre vazão e cota no Passo do São Lourenço serve como teste do método. Considerando-se a sequência de pontos de coleta de informações como sendo Dona Francisca, São Lourenço, Fandango Montante e Jusante e Rio Pardo, as correlações apesar de altas e positivas apresentam flutuações devido a entrada de água pelos afluentes e supressão de água pelos usuários da mesma.

O gráfico da Figura 26 representa uma amostra da variação diária da vazão e a precipitação também diária, na Barragem de Dona Francisca. Este gráfico ilustra uma das repetidas queixas de arroseiros e pescadores, nas reuniões do Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí⁵⁵ que se refere a grande oscilação que existe no nível do rio em função do manejo adotado pelo Sistema Hidrelétrico do Jacuí, operado pela Companhia Estadual de Energia Elétrica – CEEE. Esta oscilação deve-se ao fato de que nos finais de semana ocorre queda do consumo de energia e, portanto o sistema aproveita para fechar comportas, reservando mais água no lago, porem comprometendo a estabilidade da vazão a jusante. Os picos de oscilação, para baixo, no gráfico, representam exatamente os domingos e segundas, uma vez que é nestes dias que a barragem sente a retenção provocada pelo fechamento das comportas de Passo Real, principal hidrelétrica do sistema.

⁵⁵ Atas 10/2009 e 04/2010 do Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí.

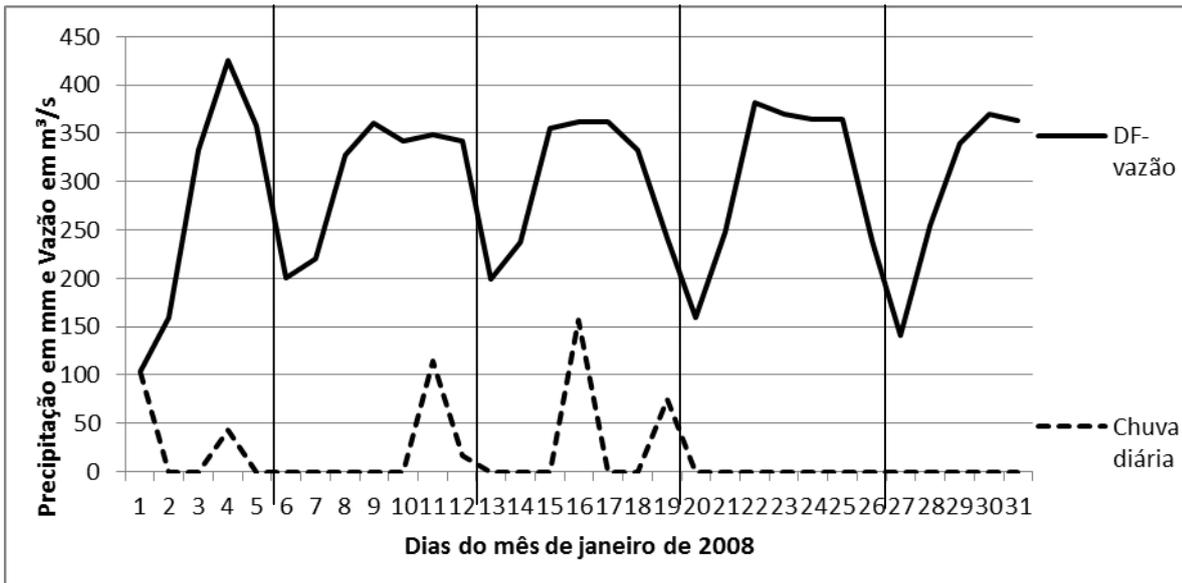


Figura 27 – Demonstrativo da variação diária da vazão e da precipitação pluviométrica na Barragem de Dona Francisca, no mês de janeiro de 2008.

No gráfico acima, o eixo das abscissas representa os trinta e um dias do mês de janeiro de 2008 e o das ordenadas o volume de chuva em mm para a precipitação e a vazão em m^3/s . As linhas verticais nos dias 6, 13, 20 e 27 indicam os domingos, deste mês. Vê-se que a flutuação da vazão nas condições apresentadas não possui relação com a precipitação. Assim evidencia-se a forte dependência da retenção de água nos finais de semana, pelos lagos das hidrelétricas à montante.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande importância que o Rio Jacuí tem para o Rio Grande do Sul e, particularmente para a região que banha, por si só, é fator fundamental para que se conheça, com mais detalhes, os processos hidrológicos a ele associados em seus vários aspectos.

Com relação às hipóteses levantadas nos objetivos deste trabalho: *Ho – Não é possível encontrar variáveis que esclareçam a ocorrência de quedas de taludes marginais no Rio Jacuí, no trecho estudado e H1 – Em função da observação de variáveis das margens do Rio Jacuí, pode-se determinar trechos com maior ou menor probabilidade de ocorrência de queda ou movimentação de taludes*, evidencia-se que:

- a) É possível determinar variáveis que esclareçam a ocorrência de quedas, mas nenhuma delas explica isoladamente o evento.
- b) As quedas decorrem de processos integrados que diferem quando se refere a quedas de trechos e de unidades. Estes processos integram a sinuosidade do rio, a geomorfologia (fator determinante também da sinuosidade), o tipo de margem, o tipo de solo, a tipologia de ocupação do entorno, as flutuações de vazão decorrentes de ações naturais e antrópicas e a curvatura apresentada pelo segmento do rio.
- c) Não foi possível determinar uma probabilidade de queda, padronizada, para o trecho, em função da variabilidade de interações e pela diferenciação entre os tipos de queda.

O estudo conclui que as quedas de barranco, especificamente, são eventos associados a um grande número de fatores, de diferentes naturezas, e não podem ser explicados de forma direta por uma só variável. No entanto, o índice de Sinuosidade do rio é fator bastante significativo na probabilidade de ocorrência de queda, tanto em números absolutos como na sua relação por km.

Cabe inferir que sinuosidade num rio é fator dependente de múltiplos fatores e que, dentre eles a geomorfologia é caráter fundamental. Ora, a geomorfologia determina as condicionantes de solo e relevo de uma área e, a sinuosidade está

diretamente ligada à presença alternada de margens destrutivas e construtivas no trecho. Assim, solo e variação nas margens estão intimamente relacionadas com a sinuosidade. A análise de agrupamento demonstra que tipo de solo e tipo de margem formam um grupo de variáveis isolado das demais variáveis.

Conclui-se que a combinação dada por elevado índice de sinuosidade (IS) mais margem destrutiva em planossolo indica uma chance maior de queda de barranco, se comparada com IS menores, ou com argissolos e ou com margens construtivas.

Há uma dissociação entre os tipos de queda de barranco que precisa ser considerada para compreende-se o porquê desta não homogeneização. Quando se comparam os quinze PKs com maiores comprimentos de queda e os quinze com maiores números de quedas vê-se que nenhum dos segmentos presentes no primeiro aparece no segundo. Com relação à distribuição do número de quedas vê-se que 166 do total de 255 estão apenas na forma de unidades (65,1%). Destas 166 unidades de queda, 124 ocorrem onde o entorno do ponto é coberto com floresta natural. No entanto se for observado o número de quedas por km nesta tipologia do entorno, encontra-se o menor valor (1,3 ocorrências/km) em relação a outras tipologias (campo, lavoura, reflorestamento e urbanização)

A sucessiva alteração da paisagem no que se refere ao uso do solo mostra que projetos antigos, dimensionados quando a cobertura florestal era mais expressiva, precisam ser repensados agora, quando a cobertura do solo é mais agrícola.

Os instrumentos de planejamento em nível de bacia hidrográfica, em especial o Plano de Bacia, para o Baixo Jacuí, encontram neste trabalho subsídios importantes para a tomada de decisão em relação a ocupação das margens do rio, neste trecho. Fatores limitantes à estabilidade dos taludes marginais, como a presença de planossolos, elevadas curvas no rio, ocupação de margens com lavoura e ou floresta detectadas neste estudo pode trazer restrições de ocupação para determinados terrenos no entorno do rio.

Considerando os objetivos específicos propostos pode-se afirmar que o trabalho atingiu-os dentro do que era esperado. Para trabalhos futuros sugere-se que sejam pesquisados, de forma independente, as quedas na forma de trechos e as unidades de queda, pois o estudo mostrou que há dissociação no comportamento de ambas em relação às variáveis estudadas.

Cabe, ainda, a trabalhos futuros, que se amplie a pesquisa sobre o processo de oscilação o nível da água no trecho, decorrente da flutuação da vazão pelo manejo do setor hidrelétrico e de navegação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E OBRAS CONSULTADAS

AB'SABER, A. N. Potencialidades paisagísticas brasileiras. In: **Recursos naturais, meio ambiente e poluição: contribuições de um ciclo de debates**. Rio de Janeiro, IBGE, Superintendência de Recursos Minerais e Meio Ambiente, 1977. v. 1. Recursos naturais.

ANA – Agência Nacional das Águas, Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos, SNIRH, disponível em <http://portalsnirh.ana.gov.br/Esta%C3%A7%C3%B5esdaANA/tabid/359/Default.aspx>. Acesso em agosto de 2012.

BRASIL, Ministério das Cidades/ IPT. **Mapeamento de risco em Encostas e Margens de Rios** / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura – organizadores. Brasília: MC/IPT. 2007, 176p.

BRASIL. **Lei Federal 7.805**, de 18 de julho de 1989, art. 4º.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 12 de março de 2012

CASTRO, Antonio L. C. **Manual de Desastres . Vol 1 Desastres Naturais**. Brasília Ministério da Integração Nacional, 2003.174p.

CHRISTIANSEN, E. H. e HAMBLIN, W. K. - **River Systems – Earth's Dynamic Systems**. Disponível em <http://earths.info/pdfs.12.pdf>. Acesso em 12 de outubro de 2010.

CONSEMA. Conselho Estadual de Meio Ambiente - **Resolução 085/2004**, de 17 de dezembro de 2004.

CPRM. **Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul – Escala 1:750.000**. Convênio SOPS-SEMA/DRH-CPRM. Porto Alegre, 2005.

CRUZ, Jussara C. **Disponibilidade Hídrica para Outorga : Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais**. 2001. 199p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.

DNPM. Departamento Nacional de Pesquisas Minerais –Cadastro Mineiro, disponível em <https://sistemas.dnpm.gov.br/SCM/extra/site/admin/Default.aspx>. Acesso em 12 de outubro de 2012.

DNPM – CFEM – Arrecadação da Compensação Financeira, 2011, disponível em https://sistemas.dnpm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorios/arrecadacao_cfem_substancia.aspx. Acesso em 10 de abril de 2012.

DEPREC. **Relatório Técnico do Departamento Estadual de Portos, Rio e Canais.** Porto Alegre, Grupograf.1973.

DURLO, Miguel A., BRESSAN, Delmar A. e SUTILI, Fabricio J. **Biotécnicas no Manejo de Curso de Água.** Ciência&Ambiente. Santa Maria, n°41. p 69-90. Jul-dez. 2010.

DURLO, Miguel A.;SUTILI, Fabrício J. **Bioengenharia: Manejo Biotécnico de Cursos de Água.** Porto Alegre. EST edições, 2005.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ).**Definição e notação de horizontes e camadas do solo.** 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1988. 54p.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Agência de Informações, 2005 disponível em http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_95_10112005101956.html, acesso em 05 de abril de 2011.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — **Cultivo de Arroz Irrigado no Brasil**, 2005. disponível em <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/cap03.htm>, acesso em 03 de janeiro de 2011.

ESTEVES, Francisco de A. **Fundamentos de Limnologia.** 2ª ed. Rio de Janeiro, Interciência, 1998. 602p.

FABRES, Tanira M. Classificação climática segundo Köppen e Thornthwaite e caracterização edafoclimática referente à região de Santa Maria, RS. Piracicaba, 2009.127p.

FELTRAN FILHO, A., LIMA, E. F. Considerações morfométricas da bacia do rio Uberabinha. Minas Gerais. *Sociedade e Natureza*. Uberlândia: UFU, v. 19, n. 1, p. 65-80, Jun. 2007

GOOGLE EARTH PLUS – Imagens disponíveis para uso gratuito com acesso direto ao programa.

HARTMANN, C.; BULLA, L. A.S & FELLINI, B. D. – **Uso do ADCP na avaliação do fluxo e no transporte de sedimentos no baixo rio Jacuí, Charqueadas, RS.** Gravel. Volume 8, nº 1 - Porto Alegre, 2010.

HOLANDA, Francisco S. R.; Rocha, Igor P. da; OLIVEIRA, Vandemberg S. Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. vol.12 no.6 Campina Grande Nov./Dec. 2008.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Especiais. **Projeto CBERS** - Disponível em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/manage.php?INDICE>. Acesso em 20 de junho de 2012

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Especiais.. **Mapa de Solos do Brasil**. Disponível em ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/mapas_murais/solos.pdf. Acesso em 12 de maio de 2011.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Especiais.. **Manual técnico de geomorfologia**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2009. Centro de Documentação e Disseminação de Informações. Gráfica Digital, 175p.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Especiais.. **Manual técnico de pedologia**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2007. Centro de Documentação e Disseminação de Informações. Gráfica Digital, 316p

LEITE, Pedro F. **Contribuição ao conhecimento fitoecológico do sul do Brasil**. Ciência & Ambiente 24, Santa Maria, UFSM, 2002.

LIMA, Walter de P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. USP – 2008. 253p.

MAPA DE SOLOS DO RS – disponível em <http://w3.ufsm.br/ifcrs/solos.htm>, acesso em 22 de março de 2012

MINISTÉRIO PÚBLICO ESTADUAL, **AÇÃO CIVIL PÚBLICA Nº 2006.71.00.028285-1/RS**. Disponível em http://www.mp.rs.gov.br/areas/ambiente/arquivos/bola_jur_nov/71000282851.pdf. acesso realizado em 10 de setembro de 2010.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL, Procuradoria da República no Rio Grande do Sul. **Informativo on line**. Disponível em <http://www.prrs.mpf.gov.br/iw/iol/public.php?publ=24779>, acesso realizado em 10 setembro de 2010.

MMA-Ministério do Meio Ambiente – **CNRH . Conjunto de Normas Legais – Recursos Hídricos**. 7ª ed. Brasília, Kaco Gráfica e Editora, 2011.

Plano Nacional de Recursos Hídricos. **Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil**: Volume 1 / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006. 4 v.

QUADROS, Fernando L. D. de e PILLAR, Valério de P. **Transição Floresta-campo no Rio Grande do Sul**. Ciência & Ambiente, UFSM, Vol 24 (janeiro a julho), Santa Maria, RS, 2002.

RICKLEFS, Robert E. (Tradutor: Pedro P. de Lima-e-Silva, Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2010. Disponível em <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/relevo.htm#mapa>. Acesso em 12 de janeiro de 2010.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). **Relatório Anual Sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul**. Secretaria Estadual de Meio Ambiente – SEMA. 2002. 343p. disponível em [http://www.sema.rs.gov.br/upload/Relatorio_RH_Final_2002\(1\).pdf](http://www.sema.rs.gov.br/upload/Relatorio_RH_Final_2002(1).pdf). Acesso em 02 de março de 2012.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Defesa Civil. disponível em http://www.estado.rs.gov.br/governo/download.php?arg=arquivos/galeria_fotos/2010_010518224705jan10_chuva_110.jpg

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Relatório Anual dos Recursos Hídricos do RS**. CRH-SEMA/DRH. Porto Alegre, 2006, disponível em http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/pdf/Relatorio%20Anual_completo_0207.pdf

RIO GRANDE DO SUL (Estado) – **Lei 10350** de 30 de dezembro de 1994, art. 38. Porto Alegre, DOE 01 de janeiro de 1995.

ROTA, Álvaro M. – **Avaliação da Irrigação por Sulcos em Solos com Camada de Impedimento**. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. 2001.136p

SANTOS, Elaine R. O. dos, (Coordenadora) – **Relatório Anual Sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, SEMA, 2002. 343p.

SCHAFER, Alois. Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das Águas Continentais. Porto Alegre. Ed. da Universidade. 1985.

SCHWARZBOLD, Albano. **Teoria Ecológica Sobre Rios**. Ciência&Ambiente. Santa Maria, nº 41. p 5-20.2010.

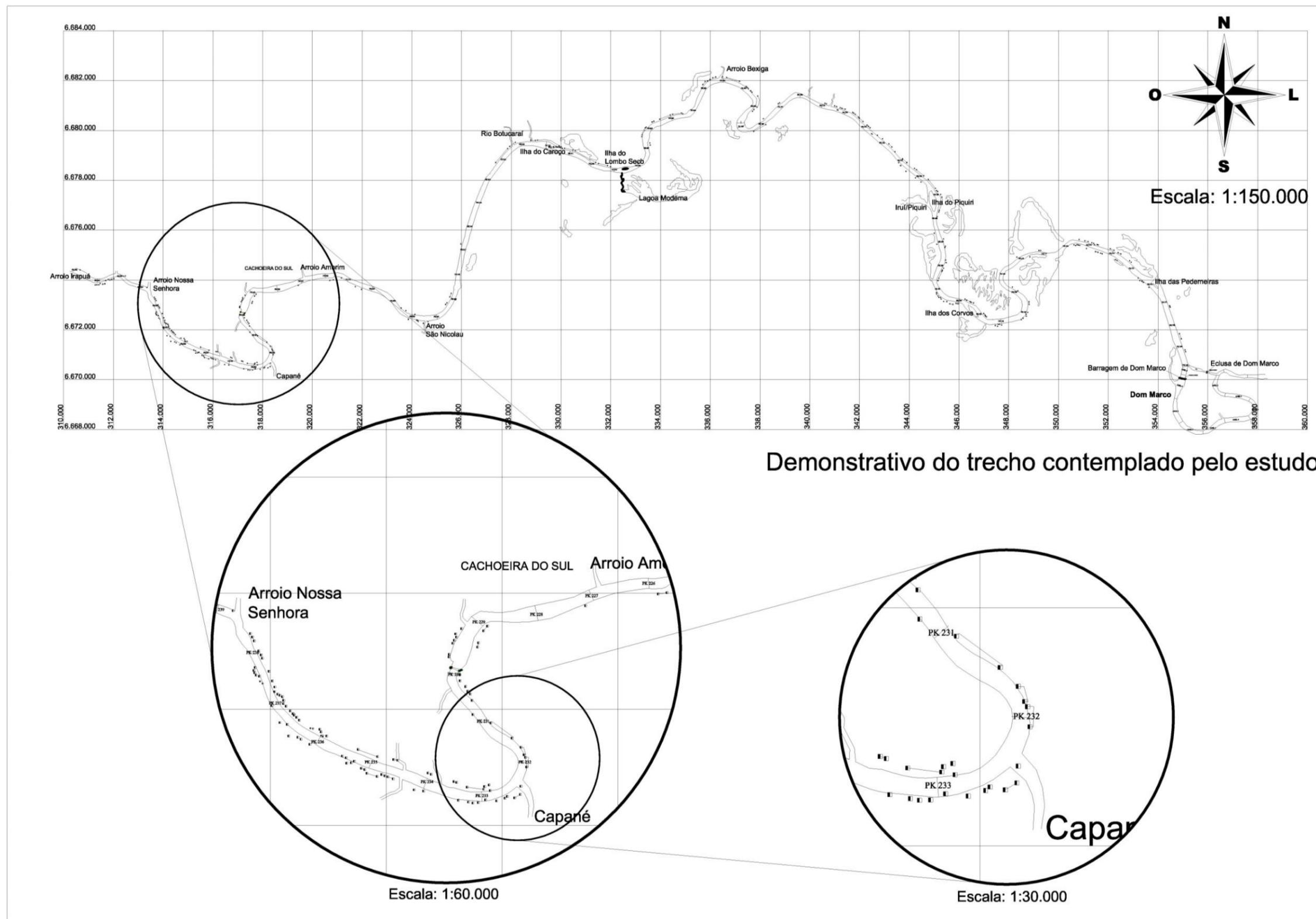
SEPLAG. **Atlas Sócioeconômico do RS**. 2008. Disponível em <http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/default.asp>. Acesso em 22 de setembro de 2008

SILVA, Jocélio R. e MORAIS, João P. **Relatório Anual do Monitoramento Ambiental do Rio Jacuí**. Gente & Terra Assessoria e Consultoria Ltda, Cachoeira do Sul: 2007.

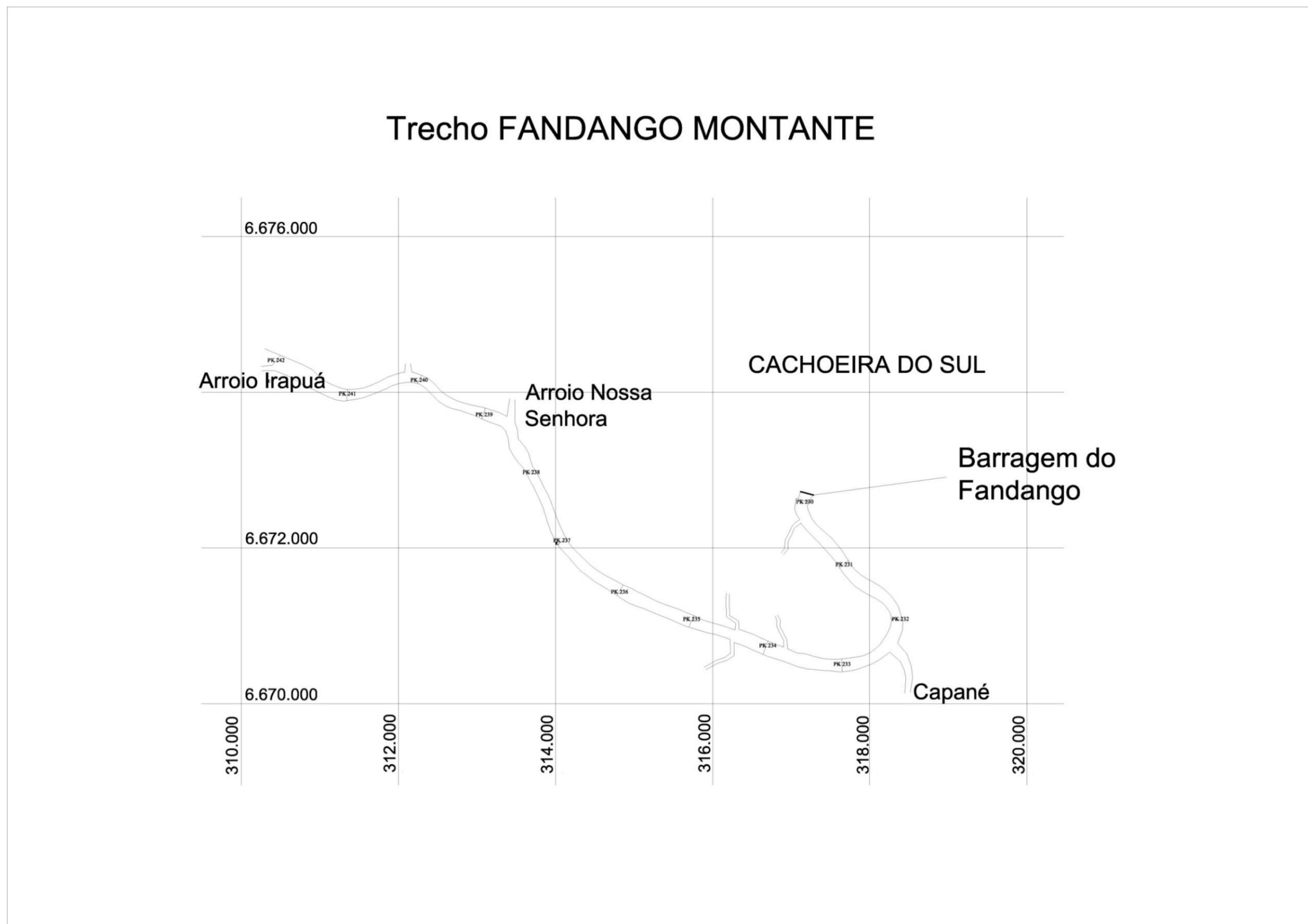
VINCINI, L. - **Análise multivariada da teoria à prática** / Lorena Vicini ; orientador Adriano Mendonça Souza. – Santa Maria : UFSM, CCNE, , 2005.

APÊNDICES

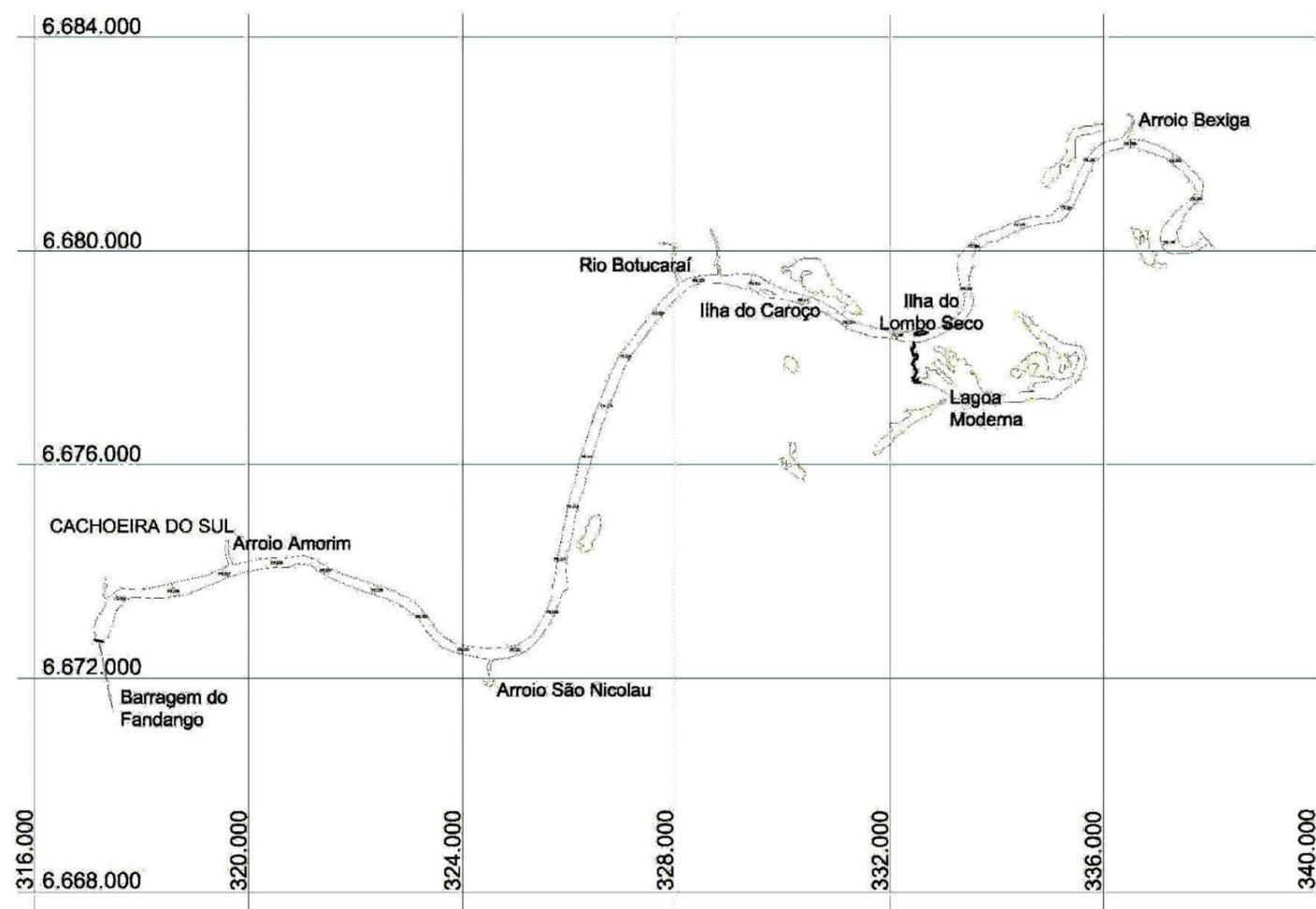
APÊNDICE 1 – Planta geral da área de estudo, georreferenciada com destaque em detalhes.



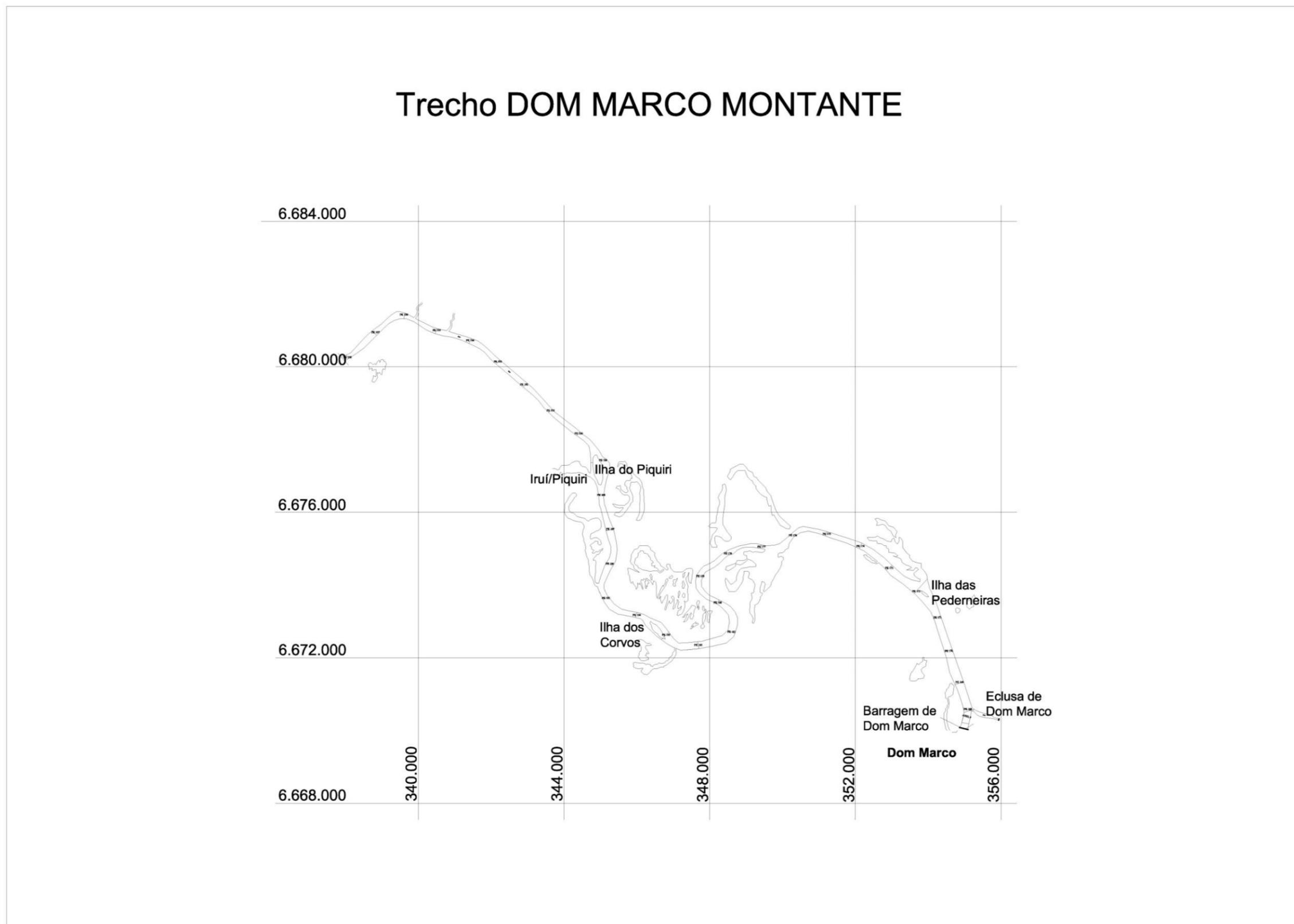
APÊNDICE 2 – Trecho denominado Fandango Montante



Trecho FANDANGO JUSANTE



APÊNDICE 3 – Trecho denominado Dom Marco Montante



APÊNDICE 4 – Planta geral da área de estudo, com representação do relevo.

