

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ELAINE PATRICIA ARANTES

EROSÃO EM MARGEM DE RESERVATÓRIO: MODELAGEM DAS ONDAS NO
TRECHO INFERIOR DA USINA HIDRELÉTRICA ROSANA (SP/PR)

MARINGÁ-PR

2019

ELAINE PATRICIA ARANTES

**EROSÃO EM MARGEM DE RESERVATÓRIO: MODELAGEM DAS ONDAS NO
TRECHO INFERIOR DA USINA HIDRELÉTRICA ROSANA (SP/PR)**

Tese de doutorado apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geografia, Área de concentração: Análise Regional e Ambiental, Linha de Pesquisa: Análise Ambiental

Orientadora: Profa. Dra. Marta Luzia de Souza

MARINGÁ - PR

2019

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

A662e	<p>Arantes, Elaine Patricia</p> <p>Erosão em margem de reservatório: modelagem das ondas no trecho inferior da UHE Rosana (SP/PR) / Elaine Patricia Arantes. – Maringá, PR, 2019. 234 f.: il. color., figs., tabs., maps.</p> <p>Orientadora: Profa. Dra. Marta Luzia de Souza. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2019.</p> <p>1. Modelagem Paramétrica Bidimensional (MPB) . 2. Fetch. 3. Energia das ondas. I. Souza, Marta Luzia de , orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Departamento de Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.</p> <p>CDD 23.ed. 910</p>
-------	--

**EROSÃO EM MARGEM DE RESERVATÓRIO: MODELAGEM DAS ONDAS NO
TRECHO INFERIOR DA USINA HIDRELÉTRICA ROSANA (SP/PR)**


Tese de Doutorado apresentada a Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental, linha de pesquisa Análise Ambiental.

Aprovada em **21 de março de 2019**.


BANCA EXAMINADORA



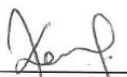
Prof.ª Dr.ª Marta Luzia de Souza
Orientadora - UEM



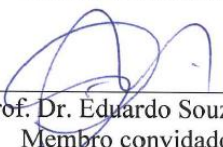
Prof. Dr. Irani dos Santos
Membro convidado – UFPR



Prof. Dr. Fernando Oliveira de Andrade
Membro convidado - UTFPR



Prof.ª Dr.ª Cristhiane Michiko Passos Okawa
Membro convidado- UEM



Prof. Dr. Eduardo Souza de Moraes
Membro convidado - UEM

Dedico
ao meu marido e aos meus filhos Rodrigo e Fernanda
aos meus pais, Carmen e Juversino

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Maringá - UEM pela concessão de afastamento em regime integral e ao Programa de Pós-graduação em Geografia da UEM.

Ao Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente - GEMA pelo suporte oferecido, e aos professores Manoel Luiz dos Santos, Eduardo Souza de Moraes, Nelson Vicente Lovatto Gasparetto, e ao técnico do Laboratório de Sedimentologia, Pedologia e Palinologia do GEMA, Vanderlei Grzegorzcyk.

A Isabela Ferreira, aluna da graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá, pelo inestimável auxílio nos campos realizados.

Ao professor Fernando Oliveira de Andrade, pelo auxílio com a modelagem de ondas através do módulo de ondas SWAN do software Delft3D.

Ao professor Marcelo Marques, pelas discussões e sugestões que tanto enriqueceram esse trabalho, e por disponibilizar o programa computacional ONDACAD.

A Professora e minha irmã Luciane Cristina Arantes pelas valiosas sugestões durante a parte qualitativa desta pesquisa.

Um agradecimento especial a minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Marta Luzia de Souza pela orientação e incentivo na realização deste trabalho.

Aos meus pais, principalmente a minha mãe por sempre ensinar a importância dos estudos para as suas filhas e por ter fornecido todo o apoio e incentivo na minha vida.

Ao meu marido e filhos pelo amor incondicional, a paciência e compreensão nos momentos difíceis.

A todos que, de alguma forma, me apoiaram e auxiliaram na execução desta pesquisa.

À Deus por me abençoar e por sempre estar ao meu lado.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

A erosão em margens ao longo de reservatórios é uma ocorrência “prevista”, devido a formação do mesmo ser relacionada aos fatores intervenientes do meio físico e antrópico, que pode afetar alguns corpos d'água mais do que outros. Dentre as consequências desta estão a perda de terras produtivas, devido ao recuo das margens, a interferência na qualidade d'água do reservatório e o assoreamento do mesmo. Embora algumas das margens possam erodir sem graves consequências, as áreas mais propensas ao desenvolvimento delas devem ser identificadas segundo o grau erosivo para que sejam tomadas medidas preventivas, mitigadoras e ou corretivas no controle da erosão marginal. Apesar dos tipos de feições erosivas possíveis de identificação neste ambiente ser geralmente conhecidas, a quantidade de erosão causada por um determinado processo, como o ocasionado pelas ondas geradas pelo vento, necessitam de estudos específicos nos reservatórios do Brasil. O objetivo principal da presente pesquisa foi o desenvolvimento de um modelo de simulação matemática para o estudo da interação entre a ação de ondas geradas pela intensidade do vento e o *fetch* em reservatórios. A aplicação do modelo foi realizada em uma área teste, o trecho inferior do reservatório da UHE Rosana (SP/PR). Foram identificados e analisados conjuntamente os seguintes fatores intervenientes que consistiram da energia da onda, através do *fetch* e da intensidade do vento, a frequência do vento, a declividade do leito próximo a margem, a orientação da margem, a altura do talude, a variação da cota do nível d'água do reservatório, a precipitação e a textura do solo. Foram também realizadas medições em pontos de controle para determinar o recuo das margens. O modelo matemático partiu de uma equação paramétrica obtida especificamente para o reservatório em estudo, através da técnica MPB (Modelagem Paramétrica Bidimensional), pela utilização dos modelos computacionais, SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) e ONDACAD. Através de um conceito originalmente proposto nesta pesquisa, o conceito de energia equivalente ativa, o qual depende das energias das ondas atuantes sobre a margem e da orientação da mesma, obteve-se uma correlação estatisticamente significativa para a estimativa do recuo das margens. Associado, a espacialização da energia equivalente ativa nas margens mostrou uma excelente concordância com as feições erosivas cadastradas, anteriormente, no trecho inferior do reservatório. Os resultados indicam que o principal fator predisponente do processo erosivo na área teste, no período analisado, é a energia das ondas que atingem as margens, sendo a magnitude do recuo dependente da energia equivalente ativa das ondas. Outro novo conceito foi proposto, o do *fetch* equivalente ativo. Este último pode ser utilizado como indicador dos trechos mais críticos com relação à possível ocorrência de erosões por ondas em margens de reservatórios. O conceito de energia equivalente ativa, requer apenas dados acessíveis, que poderão ser obtidos em estações meteorológicas no raio de abrangência do reservatório e com base na geometria de cada um, não necessitando do conhecimento da complexa dinâmica das ondas, podendo ser utilizado por qualquer Ciência. Apresenta-se, portanto, como uma técnica com grande potencial para a estimativa dos processos erosivos em margens de reservatórios. Ademais, consiste em um parâmetro de análise inicial na proposta de delimitação das áreas a serem desapropriadas, bem como na definição das que requerem maior atenção com relação a medidas preventivas.

Palavras-chave: Modelagem Paramétrica Bidimensional (MPB). *Fetch*. Energia das ondas.

ABSTRACT

Shoreline erosion in reservoirs is an “anticipated” occurrence, due to it being related to acting factors of both the physical and man-made environments, which may affect some bodies of water more than others. Among the consequences of erosion are: the loss of productive land due to shoreline retraction, interference in the quality of the water in the reservoir and silting. Although some of the margins may erode with no major consequences, the areas more prone to their development must be identified according to their level of erosion, so that preventive, mitigating or corrective measures against shoreline erosion may be taken. Even though the types of identifiable erosive features in this environment are usually known, the quantity of erosion caused by a determined process, as the one caused by wind-generated waves, need specific studies in the reservoirs of Brazil. The main goal of this research was the development of a mathematical simulation model for studying the interaction between the action of wind-generated waves and the fetch in reservoirs. The application of this model was done in the lower stretch of the UHE Rosana reservoir, which is a testing area. The following acting factors were jointly identified and analyzed: wave energy, through fetch and wave intensity and frequency; riverbed slope close to the margins; margin direction; slope gradient; variation in the water level of the reservoir; precipitation and soil texture. The mathematical model came from a parametric equation obtained specifically for the concerning reservoir, through the BPM (Bidimensional Parametric Modelling) method and two computing methods: SWAN (Simulating Waves Nearshore) and ONDACAD. Through the concept of active equivalent energy, originally proposed in this research, which depends on the energy of waves acting on the shorelines and its orientation, a significant statistic correlation for shoreline erosion estimation was obtained. In association, the spatialization of the active equivalent energy on the shores presented an excellent match to formerly registered erosive features from the lower stretch of the reservoir. Results indicate that the main acting factor in erosive process of the testing area during the period of analysis is the energy of waves that act on the shorelines, being the magnitude of retraction dependent on equivalent active energy of the waves. Another new concept was proposed: equivalent active fetch. It can be used preliminarily as an indicator of the most critical stretches, in relation to possible occurrence of wave-caused erosion in the shorelines of reservoirs. The concept of active equivalent energy requires only accessible data, which can be obtained from meteorological stations in the reservoir’s area of influence and based on each one’s geometry, not requiring any knowledge of complex wave dynamics, enabling any field of Science to use it. Thus, it shows itself as a method of great potential for estimating erosive processes in the shorelines of reservoirs. Furthermore, it consists in an initial analysis parameter for demarcation of future expropriated lands, as well as the definition of which of those lands will demand more attention in relation to preventive measures.

Keywords: Bidimensional Parametric Modeling (BPM). Fetch. Wave energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Classificação da tipologia das massas d'água.....	27
Figura 2 -	Características básicas de uma onda senoidal.....	39
Figura 3 -	Levantamento do perfil transversal do talude.....	45
Figura 4 -	<i>Fetch</i> efetivo esquemático para a direção norte	46
Figura 5 -	Aplicação esquemática do método SPM para vento norte.....	47
Figura 6 -	<i>Fetch</i> Oceânico na direção norte.....	48
Figura 7 -	(a) Geração de uma malha estruturada quadrangular; (b) Processamento propositalmente interrompido para mostrar os nós da malha sendo percorridos; (c) Ampliação de parte da Figura 7b.....	55
Figura 8 -	Mapa de localização da área teste na UHE Rosana (SP/PR).....	57
Figura 9 -	Distância entre reservatórios do rio Paranapanema a partir do rio Paraná e cotas altimétricas em relação ao nível do mar.....	58
Figura 10 -	Segmentação da UGRH Paranapanema em Unidades de Gestão Hídrica (UGRHs) e em Unidades de Planejamento Hídrico (UPHs).....	59
Figura 11 -	Mapa Geológico Regional - Reservatório UHE Rosana (SP/PR).....	61
Figura 12 -	Mapa Pedológico Regional - Reservatório UHE Rosana (SP/PR).....	63
Figura 13 -	Mapa com a localização das UCs Estação Ecológica do Caiuá, Reserva Estadual do Pontal do Paranapanema e do Parque Estadual do Morro do Diabo.	64
Figura 14 -	Mapa da cobertura do solo na área de influência direta do reservatório UHE Rosana (SP/PR).....	66
Figura 15 -	Precipitação média mensal na UGH Pontal do Paranapanema (1970-2012).....	67
Figura 16 -	Precipitação média mensal na UGH Piraponema (1970-2012).....	67
Figura 17 -	Fluxograma metodológico utilizado na obtenção do modelo de simulação matemática para o estudo da interação entre a ação de ondas em margens de reservatório.....	69
Figura 18 -	Imagem com a localização dos pontos de controle e da Estação Meteorológica de Diamante do Norte (PR).....	71
Figura 19 -	Estaca e árvore utilizada como referência.....	72
Figura 20 -	Levantamento de campo com o ecobatímetro.....	76
Figura 21 -	Mesa agitadora e quarteador.....	77
Figura 22 -	Estufa para secagem das amostras e balança eletrônica de precisão 0,01g.....	77
Figura 23 -	Balança eletrônica de precisão 0,0001g e provetas utilizadas no método da pipetagem.....	77
Figura 24 -	Agitador mecânico utilizado nos ensaios de peneiramento.....	78
Figura 25 -	Fator de correção devido à localização em terra do ponto de medição.....	80
Figura 26 -	Diagrama adimensional de <i>fetch</i> versus altura de onda.....	85
Figura 27 -	Vista geral da área do entorno dos pontos de controle em 25/11/2016, nas margens do reservatório da UHE Rosana (SP/PR).....	97

Figura 28 -	Solapamento da base dos talude nos pontos de controle, no reservatório da UHE Rosana (SP/PR).....	98
Figura 29 -	Largura da praia no mês de setembro de 2017 (a esquerda) e em dezembro de 2017 (a direita).....	99
Figura 30 -	Presença de sedimentos acumulados na praia nos pontos de controle 3 e 5, em junho de 2017, no reservatório da UHE Rosana (SP/PR).....	99
Figura 31 -	Feições erosivas no ponto de controle 1, (A) referente a seção 1.1 em novembro de 2016, (B) e (C) referentes a seção 1.2, em novembro de 2016 e em junho de 2017 respectivamente.....	100
Figura 32 -	Feições erosivas no ponto de controle 2, (A) seções 2.1 (estaca a direita) e 2.2 (estaca a esquerda) em novembro de 2016 e (B) seções 2.1 e 2.2 em junho de 2018.....	101
Figura 33 -	Feições erosivas no entorno das margens próximas do ponto de controle 3, referentes ao mês de novembro de 2016 (A), e referentes aos monitoramentos 1 ao 5, de (B) a (F) respectivamente.....	102
Figura 34 -	Varição temporal das feições erosivas adjacente ao ponto de controle 3 em junho de 2017 (A), em dezembro de 2017 (B) e em junho de 2018 (C).....	103
Figura 35 -	Perfis transversais referentes as seções 3.1, 3.2 e 3.3.....	104
Figura 36 -	Evolução da paisagem no ponto de controle 4, na seção 4.1 (A) posição da estaca de referência em novembro de 2016, (B) vista da face do talude em novembro de 2016, (C) posição da estaca de referência no monitoramento 1, (D) e (E) vista do local no monitoramento 5.....	105
Figura 37 -	Feições erosivas no ponto de controle 4, (A) e (B) seções 4.2 e 4.3 respectivamente, no primeiro monitoramento e (C) abrangendo ambas as seções no último monitoramento.....	105
Figura 38 -	Feições erosivas no ponto de monitoramento 5, abrangendo o primeiro levantamento de campo em 25/11/2016 (A) e os monitoramentos 1 (B), 2 (C), 3 (D), 4 (E) e 5 (F).....	106
Figura 39 -	Gráficos exibindo a distribuição granulométrica em profundidade dos perfis de solo nos pontos de controle 1, 3, 4, e 5.....	109
Figura 40 -	Pontos de reflorestamento com perda de mata ciliar.....	113
Figura 41 -	Precipitação média mensal para o período de 2008-2015 (Estação meteorológica de Diamante do Norte - PR).....	115
Figura 42 -	Precipitação mensal durante o período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).....	115
Figura 43 -	Precipitação mensal durante o período de monitoramento total e precipitação média mensal para o período de 2008-2015.....	116
Figura 44 -	Precipitação durante cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5).....	117
Figura 45 -	Recuo total para cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5).....	117
Figura 46 -	Recuos em cada ponto de controle referentes aos períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5).....	118
Figura 47 -	Precipitação e recuo médio mensal durante os períodos de monitoramento.....	118
Figura 48 -	Cota do nível d'água, máxima e mínima anual, para o período de 1988-2015 na UHE Rosana (SP/PR).....	121

Figura 49 -	Curva de permanência da cota horária do reservatório da UHE Rosana (SP/PR) referente ao período 1988-2015.....	122
Figura 50 -	Cotas máxima, mínima e média mensal para o período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).....	123
Figura 51 -	Amplitude mensal da cota durante o período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).....	123
Figura 52 -	Curva de permanência da cota horária do nível d'água do reservatório da UHE Rosana (SP/PR) referente ao período de nov/2016 a jun/2018 (monitoramento total).....	124
Figura 53 -	Curva de permanência da cota horária do reservatório da UHE Rosana (SP/PR) referente aos períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5).....	125
Figura 54 -	Localização dos perfis de velocidade realizados através do uso do ADCP, UHE Rosana (SP/PR).....	127
Figura 55 -	Perfil de velocidade da seção medida com o ADCP no Reservatório da UHE Rosana (SP/PR), no ponto de controle 1 em 26/11/2016.....	128
Figura 56 -	Perfil de velocidade da seção medida com o ADCP no Reservatório da UHE Rosana (SP/PR), no ponto de controle 2 em 26/11/2016.....	128
Figura 57 -	Perfil de velocidade da seção medida com o ADCP no Reservatório da UHE Rosana (SP/PR), no ponto de controle 3 em 26/11/2016.....	129
Figura 58 -	Perfil de velocidade da seção medida com o ADCP no Reservatório da UHE Rosana (SP/PR), no ponto de controle 4 em 25/11/2016.....	129
Figura 59 -	Distribuição percentual de ocorrência do vento horário para cada direção do vento. Estação Diamante do Norte - PR (2008-2014).....	132
Figura 60 -	Mapa de <i>fetch</i> pelo Método de Saville em alta resolução (1 grau) para ventos provenientes de Leste.....	133
Figura 61 -	Mapa de <i>fetch</i> pelo Método de Saville com resolução de 5 graus para ventos provenientes de Leste.....	133
Figura 62 -	Mapa de <i>fetch</i> pelo Método de Saville com resolução de 15 graus para ventos provenientes de Leste.....	134
Figura 63 -	Mapa de <i>fetch</i> pelo Método de Saville com resolução de 45 graus para ventos provenientes de Leste.....	134
Figura 64 -	Mapa de <i>fetch</i> pelo Método do <i>Fetch</i> Oceânico para ventos provenientes de Leste.....	135
Figura 65 -	Mapa de desvio dos <i>fetchs</i> pelos Método de Saville em alta resolução e o Método do <i>Fetch</i> Oceânico para ventos provenientes de Leste.....	136
Figura 66 -	Mapa de <i>fetch</i> pelo Método de Saville em alta resolução para ventos provenientes de Leste.....	137
Figura 67 -	Mapa de <i>fetch</i> pelo Método de Saville em alta resolução para ventos provenientes de Nordeste.....	137
Figura 68 -	Mapa de <i>fetch</i> pelo Método de Saville em alta resolução para ventos provenientes de Norte.....	138
Figura 69 -	Mapa de <i>fetch</i> pelo Método de Saville em alta resolução para ventos provenientes de Noroeste.....	138

Figura 70 -	Mapa de <i>fetch</i> pelo Método de Saville em alta resolução para ventos provenientes de Oeste.....	139
Figura 71 -	Mapa de <i>fetch</i> pelo Método de Saville em alta resolução para ventos provenientes de Sudoeste.....	139
Figura 72 -	Mapa de <i>fetch</i> pelo Método de Saville em alta resolução para ventos provenientes de Sul.....	140
Figura 73 -	Mapa de <i>fetch</i> pelo Método de Saville em alta resolução para ventos provenientes de Sudeste.....	140
Figura 74 -	Mapa do <i>fetch</i> equivalente para as 8 direções do vento e localização dos pontos de controle.....	142
Figura 75 -	Mapa de alturas de ondas modeladas pelo SWAN para vento leste de 5, 10, 15 e 20 m/s.....	143
Figura 76 -	Diagrama adimensional da altura da onda obtida pelo modelo SWAN e do <i>fetch</i> determinado pelo modelo ONDACAD para ventos de 5, 10, 15 e 20m/s....	143
Figura 77 -	Correlação entre as alturas das ondas obtidas pela equação paramétrica e pelo modelo SWAN para os cinco pontos de controle e para as intensidades do vento de 5, 10, 15 e 20m/s, para a direção Leste do vento.....	146
Figura 78 -	Mapas de altura das ondas resultantes dos modelos ONDACAD e SWAN para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para vento de 5m/s.....	147
Figura 79 -	Mapas de altura das ondas resultantes dos modelos ONDACAD e SWAN para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para vento de 10m/s.....	147
Figura 80 -	Mapas de altura das ondas resultantes dos modelos ONDACAD e SWAN para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para vento de 15m/s.....	148
Figura 81 -	Mapas de altura das ondas resultantes dos modelos ONDACAD e SWAN para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para vento de 20m/s.....	148
Figura 82 -	Mapa de desvios relativos H_{SWAN} e $H_{ONDACAD}$	149
Figura 83 -	Mapa batimétrico gerado a partir das seções realizadas durante o levantamento batimétrico.....	151
Figura 84 -	Simulação do mapa das alturas das ondas com inserção de dados de batimetria do trecho (Figura superior) e batimetria fictícia de águas profundas (Figura inferior) para a direção Leste com ventos de 5 m/s.....	152
Figura 85 -	Simulação do mapa das alturas das ondas com inserção de dados de batimetria do trecho (Figura superior) e batimetria fictícia de águas profundas (Figura inferior) para a direção Leste com ventos de 10 m/s.....	152
Figura 86 -	Simulação do mapa das alturas das ondas com inserção de dados de batimetria do trecho (Figura superior) e batimetria fictícia de águas profundas (Figura inferior) para a direção Leste com ventos de 15 m/s.....	153
Figura 87 -	Simulação do mapa das alturas das ondas com inserção de dados de batimetria do trecho (Figura superior) e batimetria fictícia de águas profundas (Figura inferior) para a direção Leste com ventos de 20 m/s.....	153
Figura 88 -	Perfil batimétrico (A'B') realizado na direção do ponto de controle 3.....	154
Figura 89 -	Mapa da distribuição espacial da direção e velocidade do vento abrangendo parte dos Estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul, pelo método do inverso ponderado da distância - 11 de fevereiro de 2017.....	156

Figura 90 -	Mapa da distribuição espacial da direção e velocidade do vento no Reservatório da UHE Rosana (SP/PR), pelo método do inverso ponderado da distância, referentes ao mês de fevereiro de 2017.....	156
Figura 91 -	Amplitude da intensidade do vento para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para os meses de setembro, U= 9,1 m/s (A); outubro, U= 8 m/s (B); novembro, U= 10 m/s (C) e dezembro de 2016, U= 9,2 m/s (D).....	158
Figura 92 -	Amplitude da intensidade do vento para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para os meses de janeiro, U= 8,3 m/s (E); fevereiro, U= 9,4 m/s (F); março, U= 8,4 m/s (G) e abril de 2017, U= 7,3 m/s (H).....	159
Figura 93 -	Amplitude da intensidade do vento para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para os meses de maio, U= 6,9 m/s (I); junho, U= 7,5 m/s (J); julho, U= 7,2 m/s (K) e agosto de 2017, U= 9 m/s (L).....	160
Figura 94 -	Amplitude da direção do vento para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para os meses de setembro (A); outubro (B); novembro (C) e dezembro de 2016 (D).....	161
Figura 95 -	Amplitude da direção do vento para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para os meses de janeiro (E), fevereiro (F), março (G) e abril de 2017 (H).....	162
Figura 96 -	Amplitude da direção do vento para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para os meses de maio (I), junho (J), julho (K) e agosto de 2017 (L).....	163
Figura 97 -	Intensidades horárias máximas mensais referentes aos meses de setembro de 2016 a agosto de 2017.....	164
Figura 98 -	Distribuição percentual de ocorrência do vento horário para cada direção do vento, para os períodos de monitoramento - Estação Meteorológica de Diamante do Norte (PR).....	166
Figura 99 -	Velocidade média do vento para cada direção do vento, para os períodos de monitoramento - Estação Diamante do Norte (PR).....	167
Figura 100-	Velocidade média e máxima mensal durante o período de monitoramento (novembro de 2016 a junho de 2018).....	168
Figura 101-	<i>Fetch</i> equivalente nos pontos de controle nos períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5).....	171
Figura 102-	Correlação entre o recuo da margem e o <i>fetch</i> equivalente para o período de monitoramento 2.....	172
Figura 103-	Mapa de <i>fetch</i> pelo Método de Saville com resolução de 1 grau para ventos provenientes de E, W, SE, SW, NE, NW, N e S.....	174
Figura 104-	Processos erosivos cadastrados no trecho inferior do reservatório da UHE Rosana (SP/PR).....	175
Figura 105-	Mapa do <i>fetch</i> equivalente para as 8 direções principais do vento, para o período de 2008 a 2014.....	177
Figura 106-	Mapa do <i>fetch</i> equivalente para as 8 direções principais do vento, para o período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).....	178
Figura 107-	<i>Fetch</i> equivalente ativo nos pontos de controle nos períodos de monitoramentos.....	179
Figura 108-	Correlação entre o recuo da margem (m) e o <i>fetch</i> equivalente ativo para o período de monitoramento 2.....	180

Figura 109-	Correlação entre o recuo da margem (m) e o <i>fetch</i> equivalente ativo para o período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).....	181
Figura 110-	Mapa do <i>fetch</i> equivalente para as 8 direções principais do vento, com relação ao período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).....	181
Figura 111-	Mapa do <i>fetch</i> equivalente ativo para as 8 direções principais do vento, com relação ao período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).....	182
Figura 112-	Mapa dos maiores <i>fetchs</i> equivalentes (20%) para as 8 direções principais do vento, com relação ao período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).....	183
Figura 113-	Mapa dos maiores <i>fetchs</i> equivalentes ativos (20%) para as 8 direções principais do vento, com relação ao período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).....	183
Figura 114-	Energia equivalente nos pontos de controle nos períodos de monitoramentos (1, 2, 3,4 e 5).....	185
Figura 115-	Energia equivalente ativa nos pontos de controle nos períodos de monitoramentos (1, 2, 3, 4 e 5).....	187
Figura 116-	Recuo total de cada ponto de controle durante o período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).....	190
Figura 117-	Relação entre o recuo da margem (m) e a energia equivalente ativa (J/m^2) durante o período de monitoramento 2 ($P<0,05$).....	192
Figura 118-	Relação entre o recuo da margem (m/ano) e a energia equivalente ativa (J/m^2) durante o período de monitoramento total ($P<0,05$).....	192
Figura 119-	Recuos anuais estimados e localização dos pontos de aferição para a área delimitada de estudo no reservatório da UHE Rosana (SP/PR).....	199
Figura 120-	Pontos de aferição visual utilizados para confrontação com as estimativas de recuo obtidas.....	201

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Localização das estações meteorológicas pertencentes ao INMET selecionadas para a determinação dos campos de ventos.....	82
Tabela 2 -	Características dos pontos de controle levantadas na área teste, UHE Rosana (SP/PR).....	95
Tabela 3 -	Recuo da margem nos pontos de controle durante os períodos de monitoramentos (1, 2, 3, 4 e 5) e no monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).....	96
Tabela 4 -	Composição granulométrica dos pontos de controle.....	108
Tabela 5 -	Nível médio mensal d'água a montante (1988-2015).....	121
Tabela 6 -	Distribuição percentual de ocorrência do vento horário para cada direção do vento. Estação Diamante do Norte - PR (2008-2014).....	132
Tabela 7 -	Coefficientes do ajuste exponencial entre altura de onda e <i>fetch</i> adimensionais para o reservatório de Rosana (SP/PR).....	143
Tabela 8 -	Coefficientes do ajuste exponencial entre altura de onda e <i>fetch</i> adimensionais para os lagos de Vossoroça (PR), Molinos (Argentina), Mangueira (RS) e Michigan (EUA).....	144
Tabela 9 -	Coefficientes do ajuste exponencial entre altura de onda e <i>fetch</i> adimensionais.....	144
Tabela 10 -	Velocidade média do vento (m/s) para cada direção do vento. Estação de Diamante do Norte - PR (2008-2014).....	145
Tabela 11 -	Distribuição percentual de ocorrência do vento horário e da velocidade média do vento para cada direção do vento, para os períodos de monitoramento - Estação Meteorológica de Diamante do Norte (PR).....	166
Tabela 12 -	Seno do ângulo entre a direção do vento e a orientação da margem nos pontos de controle - UHE Rosana (SP/PR).....	169
Tabela 13 -	<i>Fetch</i> para cada direção do vento nos pontos de controle.....	170
Tabela 14 -	<i>Fetch</i> equivalente em cada ponto de controle, nos períodos de monitoramentos (1, 2, 3, 4 e 5) e no monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).....	170
Tabela 15 -	<i>Fetch</i> equivalente ativo em cada ponto de controle, nos períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e no monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).....	179
Tabela 16 -	Energia equivalente em cada ponto de controle durante os períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e no monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).....	184
Tabela 17 -	Energia equivalente ativa em cada ponto de controle durante os períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e no monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2017).....	186
Tabela 18 -	Recuo médio mensal da margem nos pontos de controle durante os períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5).....	190
Tabela 19 -	Aplicação do modelo de regressão linear simples (Equação 19) nos pontos de controle do recuo marginal no reservatório da UHE Rosana (SP/PR).....	196

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>ADCP</i>	<i>Acoustic Doppler Current Profiler</i>
<i>AGEVAP</i>	Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
<i>ANA</i>	Agência Nacional de Águas
<i>ANEEL</i>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<i>APP</i>	Área de Preservação Permanente
<i>CESP</i>	Companhia Energética de São Paulo
<i>CONAMA</i>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<i>COPEP</i>	Comitê Permanente de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Estadual de Maringá
<i>CPRM</i>	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
<i>CTG</i>	<i>China Three Gorges Corporation</i>
<i>DGPS</i>	<i>Differential Global Positioning System</i>
<i>EIA</i>	Estudo de Impacto Ambiental
<i>EMA</i>	Estação Meteorológica Automática
<i>EMBRAPA</i>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<i>EMC</i>	<i>Environmental Modeling Center</i>
<i>EUA</i>	Estados Unidos da América
<i>FO</i>	<i>Fetch</i> Oceânico
<i>FUNCEME</i>	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
<i>GEMA</i>	Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente
<i>GPS</i>	<i>Global Position System</i>
<i>IAC</i>	Instituto Agrônomo de Campinas
<i>IAP</i>	Instituto Ambiental do Paraná
<i>IAPAR</i>	Instituto Agrônomo do Paraná

<i>IBGE</i>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<i>ICOLD</i>	<i>International Commission on Large Dams</i>
<i>IGC</i>	Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo
<i>INMET</i>	Instituto Nacional de Meteorologia
<i>IPT</i>	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
<i>IPTU</i>	Imposto Predial e Territorial Urbano
<i>ITR</i>	Imposto Territorial Rural
<i>LIDAR</i>	<i>Light Detection and Rangin</i>
<i>LISP</i>	<i>List Processing</i>
<i>M.D.</i>	Margem Direita
<i>M.E.</i>	Margem Esquerda
<i>MI</i>	Ministério da Integração Nacional
<i>MPB</i>	Modelagem Paramétrica Bidimensional
<i>MS</i>	Método de Saville
<i>NCEP</i>	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
<i>OMB</i>	<i>Ocean Modeling Branch</i>
<i>OMM</i>	<i>Organización Meteorológica Mundial</i>
<i>ONS</i>	Operador Nacional do Sistema Elétrico
<i>RIMA</i>	Relatório de Impacto Ambiental
<i>SEMA</i>	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
<i>SMB</i>	Acrônimo referente às iniciais dos sobrenomes dos idealizadores do método (Sverdrup, Munk e Bretschneider)
<i>SNIRH</i>	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
<i>SPM</i>	Referência à publicação norte americana <i>Shore Protection Manual</i>
<i>SRTM</i>	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
<i>SWAN</i>	<i>Simulating Waves Nearshore</i>

<i>TIN</i>	<i>Triangular Irregular Network</i>
<i>UC</i>	Unidade de Conservação
<i>UEM</i>	Universidade Estadual de Maringá
<i>UGH</i>	Unidade de Gestão Hídrica
<i>UGRH</i>	Unidade de Gestão de Recursos Hídricos
<i>UHE</i>	Usina Hidrelétrica
<i>UPH</i>	Unidade de Planejamento
<i>USACE</i>	<i>U.S. Army Corps of Engineers</i>
<i>UTM</i>	Universal Transversa de Mercator
<i>WAM</i>	<i>Wave Model</i>
<i>WW3</i>	WAVEWATCH III

LISTA DE SÍMBOLOS

F	Comprimento do <i>fetch</i>
x_i	Comprimento entre o ponto no corpo d'água e o contorno na direção secundária
α_i	Ângulo entre a direção do vento e a direção secundária
\cos	Função cosseno
H	Altura da onda
L	Comprimento de onda
a	Amplitude da onda
T	Período de onda
η	Elevação
c	Celeridade ou velocidade de propagação da onda
d	Profundidade d'água
H_s	Altura significativa da onda
U_{10}	Velocidade do vento a 10 metros de altura
g	Aceleração da gravidade
\tanh	Função tangente hiperbólica
T_s	Período significativo da onda
f	Frequência da onda
θ	Direção da onda
c_g	Velocidade de grupo
ρ	Massa específica da água
S	Termo fonte composto de três componentes (S_{ds} , S_{in} , S_{nl})
S_{in}	Incorporação de energia pela onda devido ao vento
S_{nl}	Deslocamentos de energia no interior do espectro pelas interações entre ondas
S_{ds}	Perdas dissipativas de energia pela onda
u^*	Velocidade de atrito
E	Densidade de energia
α, β	Coefficientes do ajuste exponencial entre altura de onda e <i>fetch</i> adimensionais
H^*	Altura da onda adimensional
F^*	<i>Fetch</i> adimensional
R_L	Fator de correção da velocidade do vento devido à localização
U_W	Velocidade do vento sobre a água
U_L	Velocidade do vento sobre o solo
E_{eq}	Energia equivalente
i	Direção do vento
f_i	Frequência com que o vento sopra na direção "i"
E_a	Energia equivalente ativa
\sin	Função seno
θ_i	Ângulo formado entre a direção do vento e a orientação da margem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
1.1	<i>Hipóteses.....</i>	22
1.2	<i>Objetivos</i>	23
1.3	<i>Justificativas</i>	23
1.4	<i>Organização da Tese.....</i>	24
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	26
2.1	<i>Barragens e geração de energia.....</i>	26
2.2	<i>Erosão em margem de reservatório.....</i>	28
2.3	<i>Fatores intervenientes no desenvolvimento da erosão em margem de reservatório.....</i>	30
2.3.1	<i>Aspectos geológicos.....</i>	32
2.3.2	<i>Aspectos pedológicos.....</i>	32
2.3.3	<i>Aspectos geomorfológicos.....</i>	34
2.3.4	<i>Aspectos climáticos.....</i>	35
2.3.5	<i>Aspectos ondulatório e hidrodinâmico.....</i>	38
2.3.6	<i>Aspectos de uso e ocupação do solo das margens.....</i>	41
2.3.7	<i>Aspectos de operação do reservatório.....</i>	42
2.4	<i>Técnicas de medições das erosões marginais.....</i>	44
2.5	<i>Modelagens para a obtenção de fatores intervenientes nas erosões em margem.....</i>	45
2.5.1	<i>Modelagem do Fetch.....</i>	45
2.5.2	<i>Modelagem das ondas geradas pelo vento.....</i>	48
2.5.2.1	<i>Modelagem paramétrica.....</i>	48
2.5.2.2	<i>Modelagem computacional.....</i>	50
3	ÁREA EM ESTUDO.....	56
3.1	<i>Localização e características do Reservatório da UHE Rosana (SP/PR).....</i>	56
3.2	<i>Características da paisagem regional.....</i>	58
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	68
4.1	<i>Atividades preliminares.....</i>	68
4.2	<i>Atividades de campo.....</i>	70
4.2.1	<i>Medição dos recuos nos pontos de controle e traçado dos perfis transversais.....</i>	72
4.2.2	<i>Coleta de materiais inconsolidados.....</i>	74

4.2.3	<i>Medições das velocidades dos fluxos d'água em seções transversais.....</i>	74
4.2.4	<i>Levantamento batimétrico em trecho delimitado.....</i>	74
4.3	<i>Atividade de laboratório.....</i>	76
4.4	<i>Atividades de gabinete.....</i>	78
4.4.1	<i>Obtenção e tratamento dos dados de vento, precipitação e cota do nível d'água do reservatório.....</i>	78
4.4.2	<i>Análise de sensibilidade dos métodos de obtenção do fetch e determinação dos mapas de fetch.....</i>	83
4.4.3	<i>Aplicação da técnica de Modelagem Paramétrica Bidimensional (MPB)</i>	84
4.4.4	<i>Avaliação da hipótese de águas profundas.....</i>	88
4.4.5	<i>Determinação dos campos de vento.....</i>	88
4.4.6	<i>Determinação do fetch equivalente e do fetch equivalente ativo.....</i>	90
4.4.7	<i>Obtenção da energia equivalente e da energia equivalente ativa.....</i>	91
4.4.8	<i>Análises estatísticas.....</i>	92
4.4.9	<i>Proposição do mapa de estimativa do recuo.....</i>	93
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	94
5.1	<i>Caracterização dos pontos de controle.....</i>	95
5.2	<i>Fatores intervenientes no processo erosivo.....</i>	107
5.2.1	<i>Texturas dos perfis pedológicos e classificação dos tipos de solos.....</i>	107
5.2.2	<i>Uso do solo nos pontos de controle.....</i>	112
5.2.3	<i>Precipitação.....</i>	114
5.2.4	<i>Cota do nível d'água do reservatório.....</i>	120
5.2.5	<i>Caracterização hidrodinâmica do escoamento nos pontos de controle.....</i>	126
5.2.6	<i>Campos de fetch.....</i>	131
5.2.7	<i>Definição da Equação Paramétrica.....</i>	142
5.2.7.1	<i>Campo de ondas considerando a hipótese de águas profundas e a batimetria da área teste.....</i>	151
5.2.7.2	<i>Campos de vento.....</i>	155
5.2.8	<i>Fetch equivalente.....</i>	169
5.2.9	<i>Fetch equivalente ativo.....</i>	178
5.2.10	<i>Energia equivalente.....</i>	184
5.2.11	<i>Energia equivalente ativa.....</i>	186
5.3	<i>Mapa dos recuos estimados na área de estudo.....</i>	197
6	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	205
	REFERÊNCIAS.....	211

GLOSSÁRIO.....	223
APÊNDICE A - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DOS PONTOS DE CONTROLE 1, 3, 4 e 5.....	225
APÊNDICE B - CAMPOS DE VENTO.....	229
APÊNDICE C - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DOS PONTOS DE AFERIÇÃO VISUAL.....	233

1 INTRODUÇÃO

Corpos d'água, tais como lagos e reservatórios, constituem-se em componentes indissociáveis da paisagem brasileira. A crescente demanda de energia no Brasil e a opção do país pela hidroeletricidade indicam a possibilidade de ocorrência da manutenção dos reservatórios em pleno funcionamento e a construção de novos reservatórios. A implantação de um reservatório está associada a uma série de alterações no meio físico, com consequentes impactos ambientais e socioeconômicos, sendo que tanto a erosão quanto a instabilidade de taludes marginais configuram-se entre tais impactos. Muitas pesquisas atribuem as ondas geradas pelo vento ao principal fator de ação deflagrador do processo erosivo nas margens dos reservatórios, pois a área superficial formada pela construção destes torna propícia a formação desses tipos de ondas, que podem atuar contra as margens. Isso faz com que o embate destas provoque a desagregação de materiais rochosos e inconsolidados, podendo haver o desenvolvimento de margens cujas inclinações favoreçam a atuação dos processos gravitacionais. Tal processo pode provocar o recuo das margens com a redução de áreas produtivas, além de prejudicar a qualidade da água devido ao aumento da turbidez ocasionado por um acréscimo na concentração de partículas sólidas em suspensão, assim como contribuir para o assoreamento do reservatório devido ao aporte de sedimentos.

Ao longo das últimas décadas no Brasil, iniciaram-se pesquisas sobre a erosão causada por ondas geradas pelo vento nas margens de reservatórios com o intuito de compreender a dinâmica desse processo bem como suas reações na morfologia dos reservatórios. A produção científica sobre tal tema abordando diferentes climas no Brasil, frio e temperado, é bastante expressiva, sendo que aponta também fatores intervenientes a serem analisados, como ondas geradas pelo vento.

Os seguintes reservatórios estão dentre aqueles já estudados relacionados ao tema no Brasil: Itaipu (Brasil/Paraguai), Porto Primavera (SP/MS), Chavantes e Rosana, estes dois últimos na divisa entre os estados de São Paulo e Paraná.

Estudos sobre as ondas geradas pelo vento ganharam grande impulso durante a Segunda Guerra Mundial, pois a previsão das condições da superfície do mar era necessária para a gestão do desembarque de tropas junto à costa. Já estudos sobre ondas em lagos e reservatórios não tiveram o mesmo impulso, sendo que as investigações em tais corpos hídricos basearam-se na elaboração de procedimentos que adaptassem os métodos desenvolvidos às águas oceânicas de modo a permitir sua aplicação modificada nesses tipos

diferenciados de corpos d'água. Não obstante a importância da temática de erosão em margens de reservatórios, a maioria dos trabalhos tem focado em uma abordagem muito mais qualitativa que quantitativa da questão.

Com base no exposto, é necessário quantificar espacialmente a energia das ondas atuantes nas margens de reservatórios de modo a identificar os locais mais críticos em virtude de sua atuação para que seja possível estimar a taxa erosiva e tomar as necessárias medidas preventivas, mitigadoras e corretivas. Uma das formas de obtenção desses dados é a partir de um modelo de simulação matemática e da aquisição de dados dos fatores intervenientes atuantes no processo. Como, por exemplo, a partir, de dados de vento, que poderão ser obtidos em estações meteorológicas no raio de abrangência do reservatório e com base na geometria de cada um. Tais fatores são característicos de um determinado ambiente, devendo ser avaliados e correlacionados para que seja possível verificar como interferem no fenômeno erosivo.

1.1 Hipóteses

Apesar do conhecimento prévio de que as ondas geradas pelo vento podem se configurar como um dos fatores principais no desenvolvimento do processo erosivo em margens de reservatórios, algumas hipóteses foram levantadas:

- O *fetch*¹ ponderado pela frequência de ocorrência do vento pode ser um indicador das margens propícias a erosão devido às ondas geradas pelo vento?
- As hipóteses de campo de vento uniforme e águas profundas utilizadas na obtenção de uma equação paramétrica específica para a área de estudo são adequadas para a simulação das ondas que atingem as margens do reservatório?
- A energia das ondas que atingem as margens agem aleatoriamente no decorrer de um período de tempo qualquer devido ao caráter transiente do vento. A consideração de uma energia constante provocaria a mesma erosão que a energia real referente a um determinado período?

Caso comprovadas, tais hipóteses permitirão demonstrar que em reservatórios de geração de energia, a energia das ondas que têm impacto sobre as margens provocando erosão, pode ser prevista a partir de dados de vento e com base na geometria do reservatório.

¹ O *fetch* é definido como a superfície da água na qual a intensidade e a direção do vento podem ser consideradas constantes (U. S. ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER, 1984).

1.2 Objetivos

O objetivo principal desta pesquisa é o desenvolvimento de um modelo de simulação matemática para o estudo da interação entre a ação de ondas geradas pela intensidade do vento e o *fetch* em reservatórios, de modo a estimar o recuo das margens, com aplicação em uma área teste no reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Rosana (SP/PR).

Para atingir esse objetivo geral e fundamentado no estado da arte do tema incluindo outros fatores intervenientes que interagem conjuntamente, foram estruturados 4 objetivos específicos:

- 1) Identificar os fatores intervenientes que atuam na área teste;
- 2) Verificar a validade das hipóteses de águas profundas e campo de vento uniforme consideradas na obtenção da equação paramétrica;
- 3) Avaliar como o *fetch*, a frequência do vento e a energia das ondas se relacionam com os processos erosivos marginais;
- 4) Propor um modelo estatístico entre a magnitude do recuo marginal, a energia das ondas e os demais fatores intervenientes quantificados.

1.3 Justificativas

- Do Tema:

Como a hidroeletricidade é a principal fonte de energia no Brasil, trata-se de um tema de grande relevância científica para a sociedade brasileira, pois a erosão marginal em reservatórios ocorre com diferentes graus de criticidades.

A despeito da existência de estudos sobre o processo erosivo marginal em reservatórios, em termos nacionais não se verificou até o momento nenhum método de quantificação espacial da energia das ondas atuante nas margens de reservatório com o objetivo de estimar o recuo destas. Isso pode ser muito útil na análise de desapropriação de terras, em estudos prévios da estimativa do aporte de sedimentos nos reservatórios e na elaboração de propostas de prevenção e contenção dos processos erosivos.

Sendo assim, é necessário prever e simular as taxas de erosão em margens de reservatórios para avaliar, gerenciar e reduzir possíveis impactos ambientais, econômicos e sociais de modo a gerar a menor interferência possível derivada do processo de ocupação sobre as formas do relevo.

Atividades socioeconômicas, tais como a construção e operação de reservatórios, provocam transformações na paisagem, as quais possuem variabilidade espacial e temporal. Tais transformações exigem estudos mais detalhados e na escala de monitoramento para aprimorar seu entendimento.

- Da Área Teste:

É importante justificar o porquê da escolha do reservatório da UHE Rosana (SP/PR) como área teste. Após revisões bibliográficas preliminares de pesquisas desenvolvidas na temática em reservatórios hidrelétricos e tentativas de disponibilidade de dados básicos em reservatórios do Paraná, foram obtidos com a “Duke Energy Geração Paranapanema S/A”, concessionária da época, dados cartográficos e do meio físico. A UHE Rosana (SP/PR) está atualmente sob concessão da *China Three Gorges Corporation* (CTG). Ademais, o fato de já haver estudos preliminares sobre temática afim, caracterizando o local e o fornecimento de informações essenciais para esta pesquisa, culminou na escolha da área teste.

1.4 Organização da Tese

A estrutura desta tese é composta de seis partes, incluindo a Introdução. Na parte dois são apresentadas primeiramente informações básicas sobre as barragens para geração de energia no Brasil e no Paraná, apontando para a importância da hidroeletricidade na matriz energética brasileira. Na sequência foram apresentados os conceitos básicos para o entendimento da dinâmica das ondas bem como o estado da arte sobre a erosão marginal em reservatórios com a explanação de fatores que podem intervir no desenvolvimento de tais processos.

A parte 3 caracteriza a área de estudo e apresenta sua localização, bem como as características da sua paisagem. Já a parte 4 compreende os procedimentos metodológicos nos quais são descritas as atividades realizadas em campo, em laboratório e em gabinete a fim de alcançar os objetivos propostos.

Na parte 5 são apresentados os resultados obtidos bem como sua discussão simultânea, sendo inicialmente apresentadas as características dos pontos de monitoramento e o processo erosivo visualizado nos levantamentos de campo realizados. Na sequência, essa parte foi itemizada procurando manter a ordem dos procedimentos realizados para a obtenção dos resultados, porém, apresentando separadamente os fatores intervenientes considerados no

desenvolvimento da erosão nas margens. Finalmente, a parte 6 refere-se às conclusões e considerações finais, nas quais são relacionadas a aplicabilidade da pesquisa, as contribuições alcançadas e as sugestões para pesquisas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta parte da tese trata do estado da arte sobre o tema da pesquisa, desde as informações básicas sobre barragens e geração de energia no Brasil e no Paraná até o levantamento dos fatores relacionados aos processos erosivos que se desenvolvem nas margens dos reservatórios, caracterizando-se por elevada complexidade devido aos diversos condicionantes envolvidos no fenômeno.

2.1 Barragens e geração de energia

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2018), as barragens são as estruturas físicas que represam um curso d'água. Já os reservatórios são o acúmulo de água resultante da construção dessas barragens pelo ser humano. Ainda, segundo a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002, o reservatório artificial é definido como a acumulação não natural d'água destinada a quaisquer de seus múltiplos usos (BRASIL, 2002).

No Brasil, foi realizado um mapeamento das suas massas d'água com o propósito de subsidiar as ações de planejamento e gestão do setor de recursos hídricos e integrar a base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Este compreende todas as massas d'água do país, classificadas basicamente segundo a tipologia: naturais e artificiais e o domínio das águas: federal e estadual (ANA, 2016a).

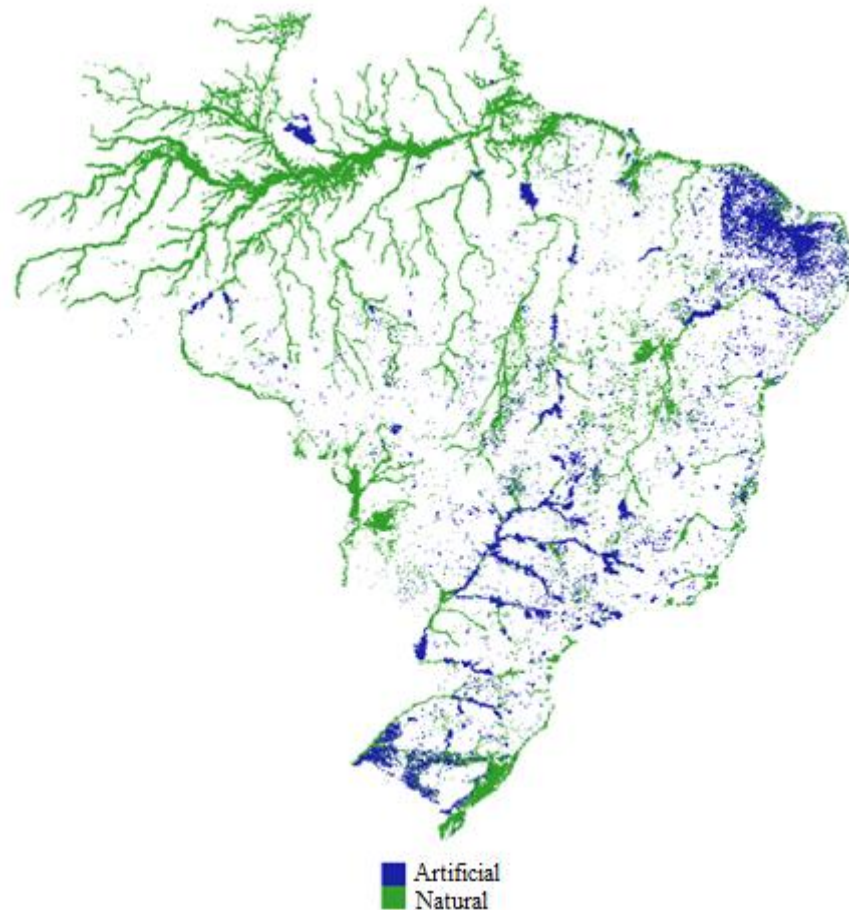
O mapeamento consistiu-se da junção do mapeamento dos espelhos d'água do Brasil, realizado a partir de um convênio estabelecido entre o Ministério da Integração Nacional (MI) e a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) para identificar e quantificar os espelhos d'água naturais e artificiais do país (BRASIL, 2008) com a base de dados de reservatórios de usinas hidrelétricas conforme a Nota Técnica nº 024/2013/SPR (ANA, 2013).

De acordo com a Nota Técnica nº 74/2016/SPR (ANA, 2016a), a qual trata da atualização e complementação da base de dados nacional de referência de massas d'água, tem-se 42.838 (68,9%) massas d'água naturais e 19.361 (31,1%) artificiais, sendo que esta última corresponde a uma área de 41.825,8Km². A Figura 1 ilustra tais dados.

Com relação às barragens existentes no Brasil, de acordo com a *International Commission on Large Dams* (ICOLD, 2018), dentre os seus países membros, o Brasil possui

1.364 grandes barragens, sendo superado apenas pela China (23.841), pelos Estados Unidos (9.265), pela Índia (5.100) e pelo Japão (3.119).

Figura 1 - Classificação da tipologia das massas d'água



Fonte: ANA (2016a)

Para que uma barragem considerada grande, esta deve ter uma altura igual ou superior a 15m a partir do alicerce ou uma altura entre 5 e 15m, desde que tenha capacidade de armazenar um volume superior a três milhões de metros cúbicos de água em seu reservatório (ICOLD, 2018).

Nos últimos 130 anos, construiu-se, em média, uma grande barragem por dia, retendo várias gigatoneladas de sedimentos por ano (SALES et al., 2017). Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2019a), a utilização da energia hidráulica na geração de energia elétrica corresponde atualmente a 60,3% da potência gerada no Brasil.

De acordo com Rubio (2014), outros empreendimentos hidrelétricos ainda deverão ser implantados no Brasil considerando o conhecimento da tecnologia para geração desse tipo de energia e a experiência do Brasil na construção destes.

Ainda, com base nas informações obtidas no Banco de Informações de Geração da ANEEL, há no estado do Paraná 15 Usinas Hidrelétricas em operação, gerando 14.624.774 KW de potência, correspondendo a 87,56% da produção de energia no estado (ANEEL, 2019b). O número de barragens existentes no estado do Paraná faz com que este seja considerado o maior produtor de hidroeletricidade dentre todos os estados brasileiros, porém consumindo muito pouco da energia produzida (ALBUQUERQUE E ANDRADE, 2014).

Podemos observar que a hidroeletricidade se destaca na matriz energética brasileira. A quantidade de reservatórios implica a formação de extensas margens passíveis à formação e ao desenvolvimento de processos erosivos. Tais processos têm sido verificados em vários reservatórios brasileiros. Para citar apenas alguns: os reservatórios da UHE Itaipu (Brasil/Paraguai), UHE Porto Primavera (SP/MS), UHE Chavantes e UHE Rosana, estes dois últimos na divisa entre os estados de São Paulo e Paraná.

Ainda, segundo Rubio (2014, p.2), com relação à erosão em margens nos reservatórios, " [...] uma questão que atinge praticamente todos os empreendimentos hidrelétricos, em maior ou menor escala". Esse assunto e seus desdobramentos serão tratados na sequência.

2.2 Erosão em margem de reservatório

É fato que a construção de reservatórios propicia uma nova dinâmica no espaço em questão, acarretando diversos problemas, tais quais as erosões marginais. De acordo com D'Armada (2012), as margens dos reservatórios ficam sujeitas às novas condições físicas e à ação do lago, tendo sido comuns registros de ocorrência de erosões nas faixas marginais dos reservatórios. Com relação às condições físicas citadas, segundo Muller (1995, p. 191), "A nova linha de costa que surge com a formação do reservatório artificial é estabelecida em uma superfície geologicamente e biologicamente não preparada para essa situação".

A ação do lago se manifesta, dentre outras formas, gerando condições propícias ao desenvolvimento de ondas geradas pelo vento, as quais alcançam a margem podendo causar erosão. Internacionalmente tal fenômeno já vem sendo estudado há tempos, principalmente pela *U.S. Army Corps of Engineers* (USACE) abrangendo seus diversos reservatórios nos

Estados Unidos (EUA). O trabalho de Elci e Work (2003) aponta para a magnitude do problema devido às 1516 permissões para implantação de estruturas de contenção no Lago Hartwell no ano de 2002. O lago é um reservatório pertencente ao *U.S. Army Corps of Engineers*, construído entre 1955 e 1963 com o objetivo de usos múltiplos e possui 1.548Km de margem. Outros autores que estudaram o assunto foram Brown et al. (2005), no Lago Michigan (EUA), e Alberta Environment (2006), no Lago Gleniffer (Canadá).

A erosão do solo é um fenômeno bastante conhecido e estudado no Brasil, ocorrendo com forte intensidade em diversas partes do território, contudo, o estudo do fenômeno em margens de reservatório teve início apenas a partir da década de 1980.

Dentre os estudos desenvolvidos a partir desse período, tem-se os trabalhos de De Jorge (1984) e De Ávila et al. (1984). De Jorge (1984) analisa e discute os mecanismos de formação e desenvolvimento dos escorregamentos em encostas marginais de reservatórios, apresentando exemplos de casos nacionais, como os ocorridos no reservatório de Paraibuna-Paraitinga (SP), Furnas (MG) e Ponte Nova (SP). De Ávila et al. (1984) propuseram estruturas de contenção de baixo custo para proteção contra os escorregamentos nos entornos do reservatório de Paraibuna-Paraitinga (SP), onde estes ocorrem principalmente devido à ação das ondas. Porém, a pesquisa realizada por Fernandez (1995) no lago de Itaipu (Brasil/Paraguai) pode ser considerada um marco no que diz respeito ao estudo envolvendo as relações processo-magnitude do fenômeno erosivo marginal.

Solera (2010) realizou um estudo na Barragem de Porto Primavera, localizada no rio Paraná, na divisa entre os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, com o objetivo de analisar e pesquisar técnicas alternativas de proteção a serem instaladas em taludes de encostas de reservatórios. A autora cita que o principal fator de instabilização de taludes naquela barragem é o processo erosivo devido às ondas geradas pelo vento que têm impacto sobre os taludes com grande energia, pois a área do espelho d'água proporciona condições favoráveis ao desenvolvimento de ondas e as encostas são altamente suscetíveis aos processos erosivos.

D'Armada (2012) investigou a correlação entre as características físicas e operacionais do reservatório da UHE Porto Colômbia (SP/MG), as condições do vento predominante na região, as características da vegetação ciliar e os efeitos erosivos em suas margens. Dentre os resultados obtidos, o autor observou uma correlação direta entre a altura das ondas e o processo erosivo. Há também evidências claras da capacidade erosiva das ondas no lago de Ilha Solteira (SP/MS), segundo Neves, Maciel e Rosauo (2006).

Além das ondas, outros agentes podem causar erosão nas margens de reservatórios, sendo que, de acordo com Rubio (2014), são quatro os agentes deflagradores principais nos processos geradores de erosões em margens de reservatório: ação das águas pluviais superficiais, ação da água e de outros mecanismos em subsuperfície, ação da gravidade e de alívios de tensão e ação das ondas dos reservatórios. Ainda, para o autor, a ação das ondas é o principal processo erosivo existente nos reservatórios da bacia do rio Paranapanema, cujos reservatórios foram todos verificados, sendo que o processo apresenta velocidades diferentes conforme o tipo de material da margem, a ação dos ventos e ondas assim como a oscilação de nível dos reservatórios.

Nos reservatórios brasileiros são encontradas feições erosivas distintas em função de suas condições ambientais, sendo que cada região apresenta a predominância de determinados tipos de processo, como os escorregamentos marginais estudados por Colângelo (1990) no lago de barragem de Paraibuna (SP), bem como os solapamentos estudados por Fernandez (1995) em Itaipu (Brasil/Paraguai). Cada local tem características únicas e a importância de um processo ou condição varia espacial e temporalmente.

No Brasil, além dos trabalhos citados anteriormente abordando a erosão marginal em reservatórios, podem ainda ser citados os de Hernández (2014), no reservatório de Ilha Solteira (SP), e Soares et al. (2014), no reservatório de Capivari-Cachoeira (PR).

2.3 Fatores intervenientes no desenvolvimento da erosão em margem de reservatório

Como já dito, no Brasil, a partir da década de 1980, foram desenvolvidas pesquisas sobre a erosão marginal em reservatórios, com o intuito de entender a origem e o desenvolvimento desses processos. Siqueira e Azevedo (2011) consideram poucos os estudos realizados no Brasil e indicam a necessidade de contínuo acompanhamento do processo. Ainda para os autores, o interesse recente no tema é decorrente das leis e diretrizes da Política Nacional de Meio Ambiente, vigentes no Brasil.

Na realidade, o Brasil possui várias leis com a função de proteção ao meio ambiente, as quais incluem certamente tanto a etapa de construção quanto de funcionamento dos reservatórios de UHEs. Para Sales et al. (2017), o combate aos problemas ambientais ligados aos reservatórios, tais como as erosões de borda, possuem inclusive sede constitucional.

Segundo a Constituição Brasileira de 1988, em seu artigo 225 (BRASIL, 2016), "Todos tem direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do

povo e essencial a sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e a coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações". Ademais, de acordo com a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981), a qual dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, o poluidor é obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros afetados por sua atividade.

A observação da legislação vigente permite evitar ou minimizar o dano ambiental com relação à construção e operação de reservatórios hidrelétricos. Para que seja possível o cumprimento da legislação pertinente com relação a erosões em margens de reservatório, é imprescindível conhecer os fatores intervenientes e a significância relativa destes na dinâmica erosiva. Diversos fatores, naturais e antrópicos, interagem no fenômeno erosivo em margens de reservatórios, podendo variar espacial e temporalmente dificultando correlações, atividades de simulação e tentativas de quantificação da taxa de erosão.

O Quadro 1 mostra alguns dos fatores que intervêm no processo erosivo, bem como os respectivos locais de estudo e seus autores.

Quadro 1 – Fatores considerados no processo erosivo por diferentes autores

Fatores	Local de estudo	Autor
Condições geomorfológicas, pedológicas, climáticas, biológica, variação do nível do reservatório, ocupação territorial, onda, fetch, orientação da linha da margem e batimetria da área marginal	Itaipu (Brasil/Paraguai)	Fernandez (1995)
Características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, climáticas, ocupação do solo e ondas	UHE Paraibuna (SP)	AGEVAP (2007)
Características geológicas-geotécnicas das encostas, escoamento superficial, posição do lençol freático, configuração do relevo, uso e ocupação das margens e ondas	UHE Engº Sérgio Motta (SP/MS)	Azevedo e Duarte (2013)
Forma do reservatório, relevo, geologia das margens, condições operacionais do reservatório, ocupação da orla, ventos e ondas	UHE Porto Colômbia (MG/SP)	D'Armada (2012)

Os fatores intervenientes no fenômeno erosivo em margens são nomeados de diferentes formas por diversos autores. Para Reid (1993), tais fatores são os ativos e os passivos, já Fernandez (1995) os nomeia em predisponentes e efetivos, Stara et al. (2002) em fatores dinâmicos e estáticos, Azevedo e Duarte (2013) falam em fatores extrínsecos e intrínsecos aos maciços rochosos e/ou terrosos, enquanto Rubio (2014) os denomina de fatores condicionantes. Serão descritos na sequência alguns dos fatores, naturais e antrópicos,

comumente considerados na dinâmica erosiva em margem em estudos realizados principalmente no Brasil.

2.3.1 Aspectos geológicos

Os aspectos geológicos das margens tratam dos fatores relacionados ao substrato rochoso, podendo influenciar de vários modos a instabilidade de uma encosta, como em função do tipo de solo sobre a rocha e das discontinuidades existentes no maciço rochoso. Segundo De Ávila et al. (1984, p.224), no reservatório de Paraibuna-Paraitinga (SP), "Na rocha, o escorregamento evolui pela liberação de blocos individualizados pelas estruturas (foliação e fraturas) ou pelos processos intempéricos".

Para De Jorge (1984), os escorregamentos de rochas são mais impactantes devido ao seu volume e sua velocidade de deslocamento maiores, podendo gerar grandes ondas. Ainda para o autor, "os deslocamentos translacionais de rochas se deslocam predominantemente ao longo de superfícies com controle estrutural ou zonas de fraqueza, tais como: discontinuidades, falhas, juntas e planos de acamamento" (DE JORGE, 1984, p. 52).

No reservatório da UHE Rosana (SP/PR), com relação às condições geológicas das margens, três formações são apresentadas: Depósitos Aluvionares, Formação Caiuá, predominando arenitos e Formação São Bento, cuja principal rocha é o basalto. A Formação Caiuá corresponde a 61,09% do comprimento total das margens do reservatório, os Depósitos Aluvionares correspondem a 33,69% e a Formação São Bento a 5,22% (RUBIO, 2014).

Segundo Rubio (2014), a análise do percentual de participação de cada unidade litológica nas áreas erodidas e no total do reservatório indicou maior erodibilidade das rochas da Formação Caiuá em relação às rochas formadas por Depósitos Aluvionares. Ainda segundo o autor, esperava-se que estes últimos apresentassem maior erodibilidade, porém acrescenta-se que tal fato pode ser devido à influência de outros fatores intervindo no processo erosivo ou até mesmo em função da escala do mapa utilizado para a extração das informações.

2.3.2 Aspectos pedológicos

Agrupam as principais características da cobertura pedológica, como tipo de solo, espessura, composição granulométrica dos horizontes e as características mecânicas do solo (FERNANDEZ, 1995). Tais proporcionam comportamentos diferenciados diante dos agentes

erosivos. Mantendo constante os demais fatores que atuam no processo erosivo, alguns solos são mais erodíveis que outros. De acordo com De Lima (2003), os fatores que exercem maior influência na resistência do solo à erosão são textura, estrutura (estabilidade dos agregados), infiltração, permeabilidade e capacidade de armazenamento de água, bem como o conteúdo de matéria orgânica.

Segundo Rubio (2014), os principais atributos do solo a serem considerados são: granulometria, porosidade, umidade, colapsividade e resistência ao cisalhamento. Ademais, há organização dos horizontes dos solos, que pode demonstrar se o contato entre água e solo ocorre em horizontes mais susceptíveis ou menos susceptíveis à ação da água.

As características do solo existentes nas margens dos reservatórios ditam sua maior ou menor resistência ao desgaste, sendo que solos arenosos de baixa coerência desagregam-se com facilidade, enquanto solos residuais jovens com boa coerência são resistentes à erosão (CARVALHO et al., 2006). Na margem direita do reservatório de Porto Primavera (SP/MS), a erosão é facilitada pela baixa coesão dos sedimentos arenosos do terraço colúvio-aluvionar. Já a margem esquerda possui maior resistência ao embate de ondas devido a uma maior exposição de arenito mais coeso (SOLERA, 2010).

Hernández (2014) definiu as classes de suscetibilidade à erosão para os solos das margens do reservatório de Ilha Solteira (SP/MS) de acordo com o determinado por Ross (1990). Os Latossolos (Roxo, Vermelho escuro e Vermelho Amarelo Argiloso), Latossolos Amarelo e Vermelho amarelo textura média/argilosa foram definidos como de baixa suscetibilidade. Já os solos Terra Roxa, Terra Bruna, Latossolos e Podzólicos de textura média/argilosa foram definidos como de média suscetibilidade e os Podzólicos de textura média/arenosa, Cambissolos, Podzolizados com cascalho, Litólicos e Areias Quartzosas foram definidos como de alta suscetibilidade.

Ou seja, os diferentes tipos de solo foram utilizados para avaliar a fragilidade à erosão das margens do reservatório de Ilha Solteira (SP/MS), juntamente aos dados de altura de ondas e declividade do terreno nas margens. Os resultados obtidos no estudo indicaram que as áreas que apresentaram alta fragilidade à erosão são aquelas atingidas por ventos provenientes de direções de maior frequência e intensidade e que também apresentam os solos com alta suscetibilidade à erosão.

Rubio (2014) estabeleceu uma comparação entre as taxas de evolução das erosões e as espessura dos solos para os reservatórios das UHEs Chavantes (SP/PR) e Rosana (SP/PR). Na UHE Chavantes (SP/PR) verificou-se que as maiores taxas de evolução das erosões estão

associadas às menores espessuras dos solos, porém, para a UHE Rosana (SP/PR) não foi verificada nenhuma correlação quanto a tal parâmetro. Quando comparou as taxas de evolução das erosões com a granulometria dos solos na UHE Chavantes (SP/PR), observou que os pontos de monitoramento com maiores taxas de evolução das erosões são os que apresentaram maiores teores de silte, enquanto os que tiveram as menores taxas também continham maiores teores de argila. Já para a UHE Rosana (SP/PR), segundo o autor, a característica predominantemente arenosa dos solos exige maior detalhamento.

Ainda segundo Rubio (2014), quanto à permeabilidade dos solos na UHE Chavantes (SP/PR), os pontos de monitoramento com maior evolução das taxas das erosões são os que apresentaram maiores permeabilidades, enquanto na UHE Rosana (SP/PR) as maiores taxas ocorreram nos pontos com menores permeabilidades (RUBIO, 2014).

2.3.3 Aspectos geomorfológicos

O tipo de relevo e a morfologia do reservatório são variáveis que determinam o comportamento das ondas, pois influenciam tanto no valor do *fetch* quanto na distribuição do vento e na posição do talude em relação à direção do vento. Segundo Buckler e Winter (1983), a orientação da margem é um dos fatores que influencia no recuo da encosta.

Corroboram com eles Fernandez (1995, p. 77) ao afirmar que "A orientação das margens é um importante fator predisponente que determina a exposição de trechos da costa à ação das ondas geradas pelos ventos predominantes". Ainda, com relação à orientação da margem, para De Ávila et al. (1984), as ondas atingem com mais intensidade as encostas marginais cujas faces estão voltadas para a direção dos ventos predominantes".

Portanto, as pesquisas apontam que a orientação da margem possui relação com as ondas, sendo uma variável que deve ser considerada em qualquer análise cujo interesse seja o conhecimento da dinâmica do processo erosivo. Tal fato poderia então ser analisado mais profundamente a partir da confrontação dos locais com processos instaurados e a orientação das margens com relação aos ventos.

De acordo com De Jorge (1984), a intensidade e o alcance da ação abrasiva das ondas se verificam de forma mais acentuada em encostas de taludes íngremes constituídos por materiais facilmente erodíveis. Nas margens do reservatório de Itaipu (Brasil/Paraguai), a magnitude da erosão é diretamente controlada pela altura da margem, segundo Fernandez (1995). Ainda, de acordo com Casado et al. (2002), com relação à altura do barranco, aqueles

de maiores alturas mostraram-se mais facilmente instáveis com a retirada do material de base pelo solapamento.

No reservatório de Rosana (SP/PR), segundo Rubio (2014), a homogeneidade do relevo resulta em um reservatório delgado, com condições semelhantes das margens, diminuindo o peso dessa condicionante (tipos de relevo) na análise das erosões marginais realizada por ele.

No reservatório de Rosana (SP/PR), a quase totalidade dos processos erosivos ocorre em terrenos planos, classificados como tal de acordo com os critérios do Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2007), o qual define terrenos planos como "superfície de topografia lisa ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades inferiores a 3%" (RUBIO, 2014).

As variáveis morfométricas das margens a serem analisadas no estudo de feições erosivas dependem dos agentes predominantes no processo. Os pesquisadores geralmente definem as variáveis a serem analisadas em virtude do processo dominante, como é o caso de Fernandez (1995). De acordo com o autor, os processos dominantes que atuam nas margens do reservatório de Itaipu (Brasil/Paraguai) são a corrasão na base, o desmoronamento na face e do topo do barranco. A corrasão, devido à ação das ondas, conduz ao estudo de variáveis, como, por exemplo, a batimetria das margens e a largura das praias.

Fernandez (1995) definiu "praia" como o acúmulo de sedimentos grossos na base do barranco, o qual é exposto pelas descidas ocasionais da cota do nível d'água.

2.3.4 Aspectos climáticos

A consideração de fatores climáticos, tais como a precipitação e o vento, é imprescindível em estudos acerca de processos erosivos em margens de reservatórios. O conhecimento da distribuição temporal da precipitação é relevante devido a sua relação com os processos erosivos, sendo um dos principais deflagradores dos escorregamentos. A água está entre os vários fatores que promovem o aumento da tensão cisalhante do solo, influenciando na estabilização do talude por aumentar a pressão neutra e conseqüentemente reduzir a resistência ao cisalhamento

De acordo com De Jorge (1984), a precipitação provoca infiltração d'água podendo alterar a estabilidade dos taludes marginais em função da saturação do solo ou do preenchimento das discontinuidades existentes nos maciços rochosos. Neste último, a ação da

água infiltrada depende do tipo de discontinuidades existentes, se intensamente fraturado ou se apresenta sistemas de discontinuidades de várias atitudes. Para o autor, salvo raras exceções, as precipitações isoladamente não são capazes de impor movimentos às margens de reservatórios, mas sim quando atuam em conjunto com outros fatores, como a inclinação dos taludes, a cobertura vegetal, as condições geológicas, entre outros.

No lago de Itaipu (Brasil/Paraguai), a precipitação intensa ocorre com maior frequência dentre os meses de setembro a março, provocando a saturação dos solos e sua perda de coesão aparente, ocasionando o desmoronamento generalizado dos barrancos, ou seja, das margens do reservatório, principalmente das do tipo saliências. Tais saliências são geradas pela ação abrasiva das ondas, as quais provocam o solapamento durante o período seco, promovendo o descalçamento das porções superiores do barranco (das saliências). Os blocos desmoronados permanecem na base do barranco com o topo voltado para seu lado de fora, sendo fragmentados e removidos pela ação das ondas (FERNANDEZ, 1995).

Em sua área de estudo, Fernandez (1995) constatou ainda que a época de maior erosão nas margens coincidiu com o período chuvoso. O histórico de precipitação, a sua intensidade e duração, bem como o teor de umidade antecedente do solo são fatores a serem analisados no estudo da erosão em margem de reservatórios. É fato conhecido que a instabilidade de encostas ocorre frequentemente após períodos de chuvas intensas.

Já os ventos influenciam na geração das ondas que atingem as margens de um reservatório. Rubio (2014) considera o vento um fator com maior peso que a precipitação no processo erosivo em grandes reservatórios devido ao seu potencial para formação das ondas. As ondas, por sua vez, se sobrepõem a todas as condicionantes ambientais analisadas pelo autor, apesar de reconhecer a importância da precipitação afetando a coesão dos solos, seja em vertentes emersas ou em margens de reservatórios.

Conforme os ventos atuam sobre a superfície d'água transferem sua energia para a superfície d'água e provocam a formação de ondas. Essa transferência da energia ocorre por meio da atuação de tensões cisalhantes, atuando na formação e crescimento das ondas. Com a continuidade da ação do vento, "O fluxo turbulento do ar, próximo à superfície livre, gera uma intensa variação das tensões cisalhantes e do campo de pressões, quando estas oscilações entram em fase com as ondas já existentes ocorre uma intensificação no processo de geração das ondas" (ASSIS; BELUCO; ALMEIDA, 2013, p.22).

Vários trabalhos (D'ARMADA, 2012; HERNANDEZ, 2014; MARQUES, 2013; SOARES, 2015) admitem o campo de vento como uniforme em se tratando da determinação

de alturas de ondas em reservatórios. Assim, é comum a estimativa das alturas de ondas considerando os dados disponibilizados por estações meteorológicas, os quais são adotados para o reservatório todo, independentemente da sua dimensão ou da distância da estação meteorológica em relação ao reservatório, apesar de sempre serem utilizados dados das estações mais próximas.

O vento possui variabilidade espacial e temporal, porém, de acordo com *U. S. Army Coastal Engineering Research Center* (1984), o vento é considerado constante quando o desvio de direção for inferior a 45° e a variação da intensidade for inferior a $2,5 \text{ ms}^{-1}$ em relação à velocidade média do vento.

Na geração de um campo de ondas em função de um campo de vento, o *U. S. Army Coastal Engineering Research Center* (1984) recomenda algumas correções nos dados de vento obtidos, tais como: correções na velocidade do vento devido à elevação, efeitos de localização, instabilidades devido à diferença de temperatura, velocidade média no tempo e coeficiente de arraste.

É muito comum determinar as características das ondas (como altura, comprimento, período, energia etc) utilizando a velocidade do vento e o comprimento do *fetch* como parâmetros. De acordo com Fendrich (1993), na maioria das equações que determinam elementos de onda em reservatórios, equações paramétricas, aparece a variável *fetch*.

O *fetch*, também chamado de pista de vento, representa a área da superfície d'água em contato com o vento para geração da onda em um determinado ponto. De acordo com *U. S. Army Coastal Engineering Research Center* (1984), o *fetch* é definido como a superfície da água na qual a intensidade e a direção do vento podem ser consideradas constantes. Portanto, as ondas geradas pelo vento são condicionadas por tal variável.

A determinação do *fetch* influencia na quantificação da magnitude de elementos como: [1] altura de ondas progressivas geradas pela ação do vento (MARQUES et al., 2014a), [2] profundidade de mistura provocada pela onda ao propagar-se (ARANTES et al., 2014) e [3] correlação com o desenvolvimento de bancos de macrófitas em reservatórios de barragens (PIERINI, 2005). Alguns pesquisadores têm indicado a influência dos maiores *fetch* como determinante sobre os processos erosivos marginais.

Segundo Siqueira e Azevedo (2011), a atuação das ondas constitui-se no processo erosivo mais destrutivo e ocorre principalmente em reservatórios que apresentam *fetchs* significativos. Conforme Azevedo e Duarte (2013), no Reservatório de Porto Primavera (SP/MS), o processo erosivo é intenso e decorrente, entre outros, de *fetchs* de valores

elevados. No reservatório de Itaipu (Brasil/Paraguai) os maiores recuos das margens foram verificados nos locais onde o *fetch* é maior (FERNANDEZ, 1995). Segundo Soares et al. (2014) e Arantes e Souza (2016a), os maiores valores de *fetch* possibilitam identificar as margens do reservatório sujeitas a processos erosivos, pois são candidatas à ocorrência de ondas com maiores níveis de energia.

2.3.5 Aspectos ondulatório e hidrodinâmico

Devido à importância das ondas e da quantificação da sua energia no desagregamento de material das margens, um entendimento mais detalhado desse fator é fundamental para o desenvolvimento da tese. Estudos referentes à erosão nas margens de lagos e reservatórios atribuem às ondas grande importância no processo erosivo. Ondas geradas pelo vento são a causa predominante da erosão em reservatórios (AGEVAP, 2007; SIQUEIRA; AZEVEDO, 2011; QUIGLEY; GÉLINAS, 1976; RUBIO, 2014 e SAINT-LAURENT et al., 2001).

As ondas podem ser definidas como um fenômeno de propagação de energia sem que haja transporte de matéria, ou seja, o que ocorre é apenas uma movimentação local das partículas de água (KINSMAN, 1984). Elas se formam na chamada área de geração, o local que recebe os efeitos iniciais do vento. Nessa área, as ondas são chamadas de vagas (*sea*), apresentando uma forma desorganizada. Com a contínua ação do vento, as ondas vão se modificando, de modo que ao sair da área de geração, assumem uma forma mais regular e simétrica, sendo chamada de ondulação (*swell*), propagando-se em grupos denominados "trens de onda" (MORAIS, 2009).

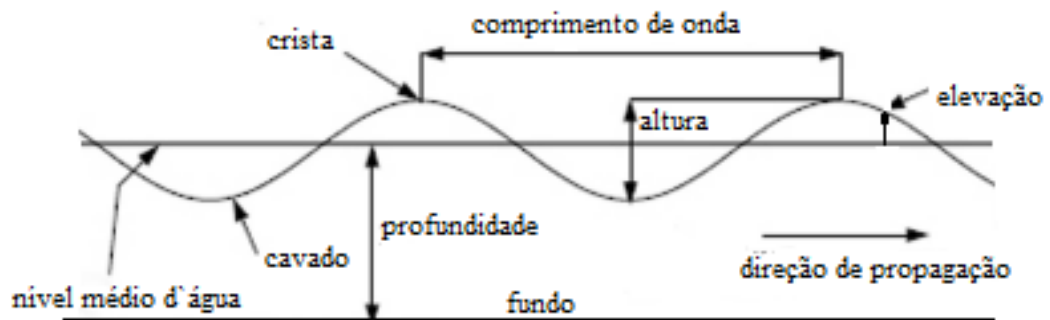
As ondas perfeitamente senoidais (onda oscilatória com a forma de um senóide) não são comuns na natureza. No entanto, a conceituação senoidal continua sendo importante para representar as soluções aproximadas das equações físicas que regem as ondas na superfície d'água (KAMPHUIS, 2000). Os principais parâmetros que caracterizam uma onda senoidal são mostrados pela Figura 2, adaptada de Meirelles e Violante-Carvalho (2007) e descritas a seguir, em cada segmento.

A forma senoidal facilita o desenvolvimento de soluções matemáticas, porém a ocorrência das ondas é representada pelo registro da variação da superfície d'água.

Para Marques (2013), quando se trata de uma onda solitária (onda que não é seguida por uma outra, constituindo em uma única elevação da superfície da água), é natural definir sua altura como a distância vertical entre a crista e o cavado adjacente, porém, a observação da altura das ondas em um ponto fixo no decorrer do tempo mostra sua variabilidade esse

ponto. Desse modo, é comum em se tratando de altura de ondas ser adotada a altura significativa (H_s), ou seja, a altura associada à média do último terço da distribuição cumulativa de frequência das alturas.

Figura 2 - Características básicas de uma onda senoidal



Fonte: Adaptada de Meirelles e Violante-Carvalho, 2007

Crista da onda: Porção mais superior da onda.

Cavado (Vale de onda): Depressão entre duas cristas.

Altura da onda (H): Distância vertical entre o topo de uma crista e o fundo de um cavado.

Comprimento de onda (L): Distância horizontal entre qualquer ponto de uma onda e o ponto correspondente da próxima onda.

Amplitude da onda (a): Deslocamento vertical máximo do nível médio da superfície d'água na ausência de ondas. Equivale a metade da altura da onda.

Período de onda (T): Intervalo de tempo entre a ocorrência de cristas (ou cavados) sucessivos, numa posição fixa.

Elevação(η): Distância vertical de um ponto da superfície até o nível médio da superfície d'água.

Velocidade da onda (c): Velocidade que uma onda passa por um ponto estacionário.

A onda apresenta comportamento diferenciado em função da sua propagação ocorrer em águas rasas ou profundas. Com a ação do vento, as partículas da água movem-se em órbitas circulares, que diminuem de diâmetro com a profundidade. Em águas rasas, ou seja, quando a profundidade d'água é igual ou menor que a metade do comprimento da onda, o movimento orbital torna-se mais elíptico que circular, com as elipses diminuindo e tornando-se achatadas próximo ao fundo (GARRISON, 2010).

Portanto, uma onda se modifica a partir do momento em que começa a interagir com o fundo. A profundidade máxima de movimentação da água equivale à metade do comprimento da onda e é definida como a profundidade máxima na qual a onda pode mover partículas e erodir os sedimentos finos do leito (MORETZ-SOHN; CAVALCANTI; BITTENCOURT, 2010).

A velocidade de deslocamento de uma onda não afetada pelo fundo é função do seu comprimento, sendo que ondas com comprimento mais longo possuem velocidade maior do que ondas curtas, ocorrendo, portanto, dispersão. Já para águas rasas, a velocidade é influenciada pela profundidade d'água. Conforme a profundidade decresce, a influência do fundo torna-se importante, causando uma redução da velocidade de propagação do "trem de ondas". Portanto, em águas rasas não existe o fenômeno dispersivo.

As ondas podem ser classificadas a partir de diversos critérios, como, por exemplo, em função das forças perturbadoras, das forças restauradoras e do seu período. O conceito de ondas considerado nesta pesquisa se refere a ondas superficiais de gravidade cuja força originária é o vento, elas possuem a aceleração gravitacional como restauradora do movimento e restringem-se a períodos entre 1 e 30 segundos (KINSMAN, 1984). É muito comum determinar a altura dessas ondas por meio de modelos paramétricos baseados na intensidade do vento e do *fetch*. A magnitude das ondas pode ser influenciada pela presença de correntes, a qual também em canais fluviais é a principal causa dos processos erosivos marginais.

Burrows e Hedges (1985 apud NICOLODI, TOLDO E FARINA, 2010) mostraram que apenas velocidades de fluxo superiores a 0,5m/s interferirão significativamente nas alturas de ondas. Já para um estudo realizado por Nicolodi (2007), no lago Guaíba (RS), a influência das correntes sobre o clima de ondas foi descartada pelo autor em função das baixas velocidades existentes no lago, ou seja, velocidade média de 10 cm/s e máxima de 15 cm/s.

Estudos sobre processos erosivos marginais devem atentar-se para qual é a força hidrodinâmica atuante nas margens, portanto, é importante saber a magnitude da velocidade do fluxo d'água.

Uma pesquisa realizada por Fernandez e Fulfaro (1993) sobre as magnitudes e processos erosivos marginais no trecho de Porto Rico, no Rio Paraná, revelou que as margens onde ocorreram desmoronamento estavam submetidas a fortes correntes, superiores a 80cm/s.

Os autores caracterizaram a velocidade do fluxo como forte quando superior a 80cm/s e como moderada quando menor que 80cm/s.

A formação de reservatórios provoca alterações nas características hidráulicas do escoamento, sendo que à montante da barragem, com o aumento da seção transversal, ocorre redução da velocidade do escoamento. Segundo Coelho (2008), os reservatórios do tipo fio d'água usam um pequeno ou nenhum volume de armazenamento, operando na maior parte das vezes próximos aos padrões de fluxo naturais do rio. Corroborando com o autor, segundo De Moraes (2016), o fluxo d'água no reservatório da UHE Rosana (SP/PR) tem características mais próximas à realidade de um rio. Apesar dessa constatação, o autor não quantificou a magnitude do fluxo.

2.3.6 Aspectos de uso e ocupação do solo das margens

O tipo de uso e ocupação do entorno do reservatório deve ser avaliado para verificar sua influência nos processos erosivos marginais em reservatórios. A presença da vegetação como inibidora do processo erosivo é fato conhecido, porém, quando se estuda a erosão em margens de reservatórios ocasionada por ondas, sua presença passa a ser discutível. Vários pesquisadores chegaram a conclusões diversas sobre a cobertura vegetal e sua relação com a ação de ondas, tais como De Jorge (1984), De Ávila et al. (1984), Fernandez (1995), D'Armada e Lelis (2012), Hirose (2013) e Rubio (2014).

Para De Jorge (1984, p.105), "A presença de cobertura vegetal em encostas sujeitas à ação de embate das ondas, em geral não constitui, por si só, uma proteção muito eficaz contra a erosão por abrasão, principalmente se estas encostas estão sujeitas a um grau de abrasão muito intenso". De acordo com De Ávila et al. (1984), o uso de vegetação para proteção contra os escorregamentos de encostas gerados por ondas no reservatório é problemático, devido ao tempo de submersão das espécies.

No lago de Itaipu (Brasil/Paraguai), com estações de monitoramento instaladas em trechos com diferentes tipos de cobertura vegetal, observou-se que a erosão foi maior nos trechos cobertos por mata natural remanescente ou vegetação secundária, demonstrando que em tal reservatório a maior densidade de vegetação não diminuiu as taxas de erosão (FERNANDEZ, 1995). O autor descreve que o reflorestamento das margens do lago de Itaipu (Brasil/Paraguai) protege o solo contra o escoamento superficial, porém, a erosão marginal causada pelas ondas não é amenizada por nenhum tipo de vegetação.

Em sua área de pesquisa, D'Armada e Lelis (2012) mostraram que a evolução do processo erosivo por ondas é influenciada pela presença de matas ciliares e por atividades agropastoris, funcionando como proteção ou agravante do processo respectivamente.

Ainda com relação ao uso de vegetação para a proteção das margens contra os processos erosivos, Hirose (2013) elaborou sua tese de doutorado, intitulada “Potencial de contribuição de espécies nativas de hábitos distintos para o controle de erosão e restauração de margens de corpos hídricos”. De acordo com a autora, para avaliar o potencial de espécies na contenção de processos erosivos, é necessário a combinação de critérios tais como microhabitat de ocorrência, hábitos de crescimento e morfologia do sistema aéreo e radicular e ciclo de vida das espécies.

Para Rubio (2014), a interferência da vegetação no processo erosivo depende do seu estágio, pois esta pode dificultar o surgimento do processo, mas uma vez iniciado, pode auxiliar na sua aceleração.

Uma comparação das taxas de erosão nos reservatórios de Rosana (SP/PR) e Chavantes (SP/PR), com as respectivas condições de uso e ocupação do solo das margens, revelou que o uso do solo não possui uma relação direta com o desenvolvimento dos processos erosivos nas margens do reservatório e que a presença de gado não interfere significativamente nas taxas de evolução dos processos (RUBIO, 2014).

2.3.7 Aspectos de operação do reservatório

As condições de operações do reservatório também são consideradas um fator atuante, uma vez que o nível das águas na face do talude influencia na posição de atuação das ondas. Sendo assim, para De Jorge (1984), após o enchimento do reservatório, os escorregamentos nas margens ocorrem pela atuação de chuvas e ventos bem como oscilações de nível devido ao seu regime de operação.

Segundo o mesmo autor, o regime operacional dos reservatórios expõe níveis diferentes das encostas em relação à ação do embate das ondas, aumentando sua faixa de atuação e alterando seu comportamento ao longo do tempo. Isso se dá porque para reservatórios com variação do nível d'água lenta e pouco frequente, há uma maior exposição de um mesmo local ao embate das ondas.

Conforme Holmstead (2003), menores flutuações dos níveis d'água causam menor perturbação nas margens devido à incidência das ondas e os ciclos de

umedecimento/ressecamento, sendo a estabilidade do solo maior nesses casos. As variações do nível d'água e sua relação com os processos erosivos marginais foram tratadas também por outros pesquisadores brasileiros, como Fernandez (1995), D'Armada (2012), Rubio (2014) e Soares (2015).

De acordo com Fernandez (1995 p. 68), "A efetividade da direção, intensidade e duração do vento estão diretamente relacionadas com a oscilação do nível do lago", demonstrando a influência do nível d'água na posição de atuação da energia das ondas agindo sobre a margem. Ainda para Fernandez (1995, p.87) "[...] a oscilação tem demonstrado significativa importância na ocorrência da erosão marginal", sendo que os períodos de maior erosão coincidiram com o aumento do nível do lago.

Segundo D'Armada (2012), as pequenas variações de níveis no reservatório da UHE de Porto Colômbia (SP/MG), cuja faixa de depleção, em grande parte do ano é de 80cm, propicia a incidência de ondas em uma faixa restrita da margem, diferentemente dos reservatórios de acumulação, nos quais podem ocorrer a ação de outros agentes atuando no processo erosivo, como as intempéries.

Para verificar se o sistema operacional do reservatório, ou seja, a variação da cota do nível d'água, influencia nos processos erosivos marginais, Rubio (2014) comparou o percentual de margens com erosões dos reservatórios das UHEs Chavantes, Jurumirim, Rosana e Salto Grande, todos localizados no rio Paranapanema (SP/PR), sendo os dois primeiros reservatórios de acumulação e os outros dois reservatórios a fio d'água. Contudo, o autor não conseguiu obter correlações que indicassem a influência do regime operacional nos processos erosivos marginais. Comparou ainda outros parâmetros que são dependentes da operação do reservatório, tais como perímetro das margens no nível d'água máximo normal, área do reservatório e nível de deplecionamento dos reservatórios para os quatro reservatórios citados, não encontrando nenhuma correlação com os dados relativos ao percentual de margem neles erodida.

Para verificar a dependência do processo erosivo ao nível d'água, Soares (2015) correlacionou a erosão na margem de depleção do reservatório da UHE Capivari-Cachoeira (PR) em 19 pontos com a permanência da cota do reservatório. A influência do nível do reservatório sobre o volume erodido apresentou correlação de 37% a 92% entre os pontos avaliados. Quando analisados conjuntamente, observou que 64% da erosão são explicadas pela permanência específica do nível d'água.

De acordo com Rubio (2014), é necessário aprofundar as análises de modo a concluir se o pior efeito é o da variação do nível d'água, com a energia das ondas atuando sobre diferentes porções do talude ou um mesmo ponto recebendo toda a energia das ondas. No caso do processo erosivo pela atuação de ondas, a influência do nível d'água deve ser analisada, pois define a cota da margem a qual será exposta.

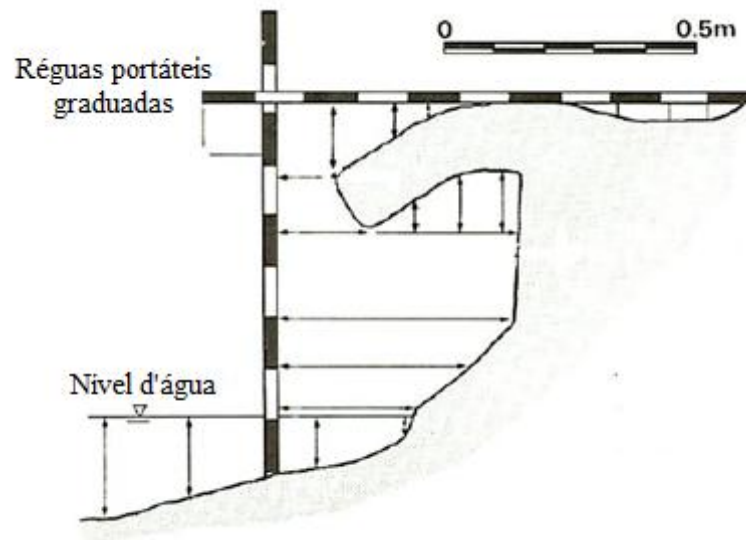
2.4 Técnicas de medições das erosões marginais

Uma série de técnicas para medição das erosões em margens de reservatório é apresentada por Gatto (1988), como, por exemplo, interpretação de fotografias aéreas, utilização dos pinos de erosão, elaboração de perfis do talude, acompanhamento de estacas de referência, entre outros. Tais técnicas, de acordo com Gatto (1988), são função das medidas que serão realizadas, ou seja, mudanças na face do talude, regressão da crista do talude ou determinação de sedimentos removidos das margens. A escolha da técnica depende dos objetivos, da precisão e acurácia da pesquisa, equipamentos disponíveis, verba, limitações de recursos humanos e tempo, características das margens, condições do local e a taxa de erosão e recuo presumidos nos locais a serem estudados.

Um dos métodos de uso comum é o Método das Perfilagens Sucessivas, proposto por Hudson (1982). A técnica permite identificar e caracterizar os processos pelos quais as margens recuam, além de apresentar baixo custo de implantação e possuir boa precisão (BORGES, 2004). O método consiste no levantamento do perfil transversal do talude de modo a obter a evolução da face do talude, possibilitando a identificação do processo erosivo atuante e a morfologia da seção transversal. O Método das Perfilagens Sucessivas foi também utilizado por Fernandez (1995) em seu estudo sobre os processos erosivos nas margens do reservatório de Itaipu (Brasil/Paraguai). A Figura 3 exemplifica o uso do método, no qual o perfil é realizado utilizando duas réguas, uma na posição vertical e outra na posição horizontal.

De acordo com Hudson (1982), para elaborar um perfil de uma margem complexa de 2 m de altura, consome-se um tempo de aproximadamente cinco minutos, cuja precisão é de + ou - 5 cm. A acurácia e a precisão da medida melhoram quanto menor a complexidade das margens. As principais limitações da técnica ocorrem no caso de margens altas, ou seja, maior que o alcance do pesquisador, no qual a definição da seção não permite descrever a margem com precisão. Para aplicação do método são necessárias duas pessoas.

Figura 3 - Levantamento do perfil transversal do talude



Fonte: Hudson (1982)

De acordo com Rubio (2014), atualmente existem novas tecnologias para tais medições, como as técnicas de topografia de alta resolução, as imagens LIDAR (*Light Detection and Rangin*) e o uso de *scanner laser* terrestre, sendo esta última utilizada em sua pesquisa juntamente com imagens de satélite de alta resolução (*Ikonos*) e levantamentos topográficos tradicionais.

2.5 Modelagens para a obtenção de fatores intervenientes nas erosões em margem

Entre os fatores previamente abordados passíveis de atuarem no fenômeno erosivo em margens de reservatórios estão o *fetch* e as ondas geradas pelo vento. Devido ao procedimento metodológico desenvolvido nesta pesquisa para a determinação da energia das ondas, conforme será apresentado na parte 4, optou-se por uma descrição mais detalhada do *fetch* e das ondas em relação aos demais.

2.5.1 Modelagem do Fetch

Vários métodos têm sido utilizados para a determinação do *fetch* em reservatórios, porém, de acordo com Marques (2013), não existe um consenso sobre o método mais adequado para a sua determinação. Tal fato é causador de insegurança técnica por dificultar a quantificação dos fenômenos condicionados pela determinação prévia desse comprimento.

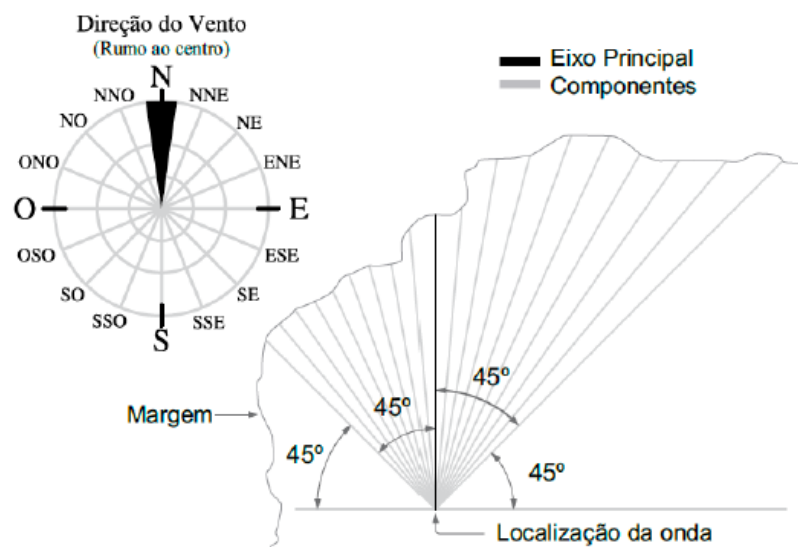
Marques et al. (2014b) compararam dois métodos amplamente difundidos no meio técnico para a determinação do *fetch*: o Método de Saville (1954) em alta resolução, o qual consiste no Método de Saville (1954), adaptado por Marques (2013), e o Método do *fetch* Oceânico (FO). O estudo foi realizado para o reservatório de Capivari-Cachoeira, localizado no estado do Paraná. De acordo com o estudo comparativo, tanto a localização do maior *fetch* quanto a magnitude do comprimento são condicionados pelo método adotado, ou seja, os métodos utilizados na determinação do *fetch* geraram resultados significativamente diferentes. Resultados semelhantes foram obtidos também por Arantes e Souza (2016b) ao compararem o método do Shore Protection Manual e o Método de Saville (1954) em alta resolução para o reservatório da UHE Mourão (PR).

A seguir, apresentamos três dos métodos mais utilizados em vários reservatórios: o Método de Saville (MS), o Método do *Shore Protection Manual* (SPM) e o Método do *Fetch* Oceânico (FO).

- Método de Saville (MS)

Saville (1954) propôs um método amplamente utilizado no meio técnico para águas interiores. Consiste em um método que considera a influência das margens na atenuação da intensidade do vento que gera a onda. Envolve a construção de 16 linhas radiais a partir do ponto de incidência da onda em intervalos de 6° de tal modo a atingir-se uma amplitude máxima de 90° , cuja bissetriz é a direção do vento, conforme a Figura 4.

Figura 4 - *Fetch* efetivo esquemático para a direção norte



Fonte: Marques (2013)

O comprimento do *fetch* determinado por tal método recebeu a denominação de *fetch* efetivo, adotada pelo autor de modo a diferenciá-lo do *fetch* Oceânico.

O *fetch* efetivo é obtido pela média das projeções dos segmentos sobre a direção do vento ponderada pelos cossenos dos ângulos conforme a equação (1) a seguir:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{16} x_i \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^{16} \cos \alpha_i} \quad (1)$$

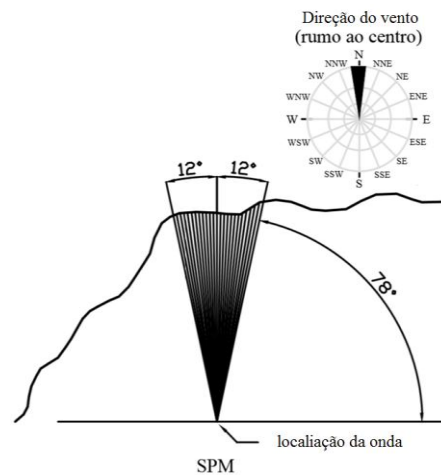
Sendo: α_i o ângulo entre a direção do vento e a direção secundária e x_i o comprimento entre a posição considerada no corpo d'água e o contorno na direção secundária.

O método proposto por Saville (1954) foi modificado por Marques (2013) para uma condição de alta resolução. Na modificação proposta, o autor considera as linhas radiais a cada um grau, enquanto o método original, conforme explicitado anteriormente, é a cada 6°. Adiante, o Método de Saville (1954), modificado por Marques (2013), será denominado de Método de Saville (1954) em alta resolução.

- Método do *Shore Protection Manual* (SPM)

Pelo método SPM, denominação dada por Marques (2013), a obtenção do *fetch* se baseia no traçado de linhas radiais a partir do ponto de interesse até a margem a barlavento, a cada grau, em determinada direção. O *fetch* é determinado como o comprimento médio dos segmentos de reta. Esse método foi apresentado por *U. S. Army Coastal Engineering Research Center* (1984) recomendando a construção de 24 radiais, conforme a Figura 5.

Figura 5 - Aplicação esquemática do método SPM para vento norte

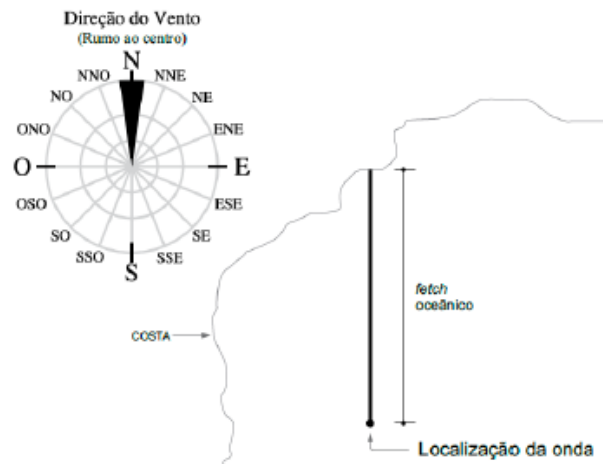


Fonte: Marques et al. (2014c)

- Método do *Fetch* Oceânico (FO)

O *fetch* Oceânico corresponde ao comprimento livre do segmento de reta, no sentido oposto ao que sopra o vento, traçado a partir do ponto considerado até atingir-se a margem a barlavento, conforme a Figura 6.

Figura 6 - *Fetch* Oceânico na direção norte



Fonte: Marques (2013)

Em áreas oceânicas é comum desprezar o efeito da largura da pista de vento por possuírem larguras tão grande ou superiores ao comprimento. Porém, em reservatórios, a influência das margens não pode ser desprezada devido à ocorrência de pistas de vento de grande comprimento se comparado à largura (MARQUES, 2005).

2.5.2 Modelagem das ondas geradas pelo vento

A seguir são descritos alguns dos modelos utilizados para determinar as características das ondas, tais como os modelos paramétricos, os quais utilizam a intensidade do vento e o comprimento do *fetch* como parâmetros, bem como o estado da arte com relação aos modelos computacionais de previsão de ondas.

2.5.2.1 Modelagem paramétrica

Para Marques (2013, p.56), "os modelos de previsão de ondas tiveram um marco com o trabalho de Sverdrup e Munk (1947) a partir, do qual foram introduzidos os conceitos dos

modelos de altura significativa da onda e foi sistematizado o uso de relações adimensionais". Ainda de acordo com o autor, essa inovação influenciou os estudos posteriores, que passaram a propor equações paramétricas compostas por grupos adimensionais. Desse modo, foram desenvolvidas metodologias que permitiam estimar ou prever as características de agitação com base nas condições do vento e do *fetch*. Algumas dessas equações são apresentadas a seguir, inseridas em cada tipo de método para sua obtenção, ou seja, os seguintes: (a) Método SMB (Sverdrup, Munk e Bretschneider) e (b) Método MPB (Modelagem Paramétrica Bidimensional).

(a) Método SMB

O método SMB envolve a previsão de ondas e foi desenvolvido a partir de relações empíricas. Segundo Bretschneider (1966), foi proposto inicialmente por Sverdrup e Munk (1947). "O método foi objeto de inúmeras revisões, com modificações nos coeficientes que relacionam os parâmetros adimensionais do método" (MARQUES 2013, p.57). A versão do método atribuída ao *United States Department of the Interior – Bureau of Reclamation* (1987) é mostrada nas equações 2 e 3:

$$H_s = \frac{U^2}{g} 0,283 \tanh \left[0,0125 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0,42} \right] \quad (2)$$

$$T_s = \frac{U}{g} 7,54 \tanh \left[0,077 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0,25} \right] \quad (3)$$

sendo:

H_s : altura significativa da onda (m);

T_s : período significativo da onda (s);

g : aceleração da gravidade (m/s^2);

U : velocidade do vento a 10m de altura (m/s) e

F : *fetch* (km)

De acordo com Moraes (2009), o método SMB é amplamente empregado em função da sua simplicidade e eficiência.

(b) Método MPB

Marques (2013) propôs uma técnica denominada de Modelagem Paramétrica Bidimensional (MPB), a partir da qual obtêm-se uma equação paramétrica específica para o corpo d'água para determinação da altura de onda, em função do *fetch* e da velocidade do vento. Tal técnica foi utilizada nesta pesquisa de forma a obter uma equação específica para o reservatório em estudo. Desse modo, ela será detalhada na parte 4 desta tese.

A partir da determinação da altura da onda, pode-se obter a energia da onda.

Considerando-se ondas regulares e águas profundas, a energia média por unidade de área superficial (J/m^2), conhecida como densidade de energia ou energia específica de uma onda, é dada por (KINSMAN, 1984):

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (4)$$

Sendo: ρ a massa específica da água (Kg/m^3), g a aceleração gravitacional (m/s^2) e H a altura significativa da onda (m).

A energia da onda ponderada pela frequência do vento nas oito direções principais do vento, bem como a consideração do ângulo de incidência das ondas no talude com relação a orientação da margem, ou seja, a obtenção da energia das ondas perpendicular a margem, permitiu quantificar a energia equivalente ativa.

2.5.2.2 Modelagem computacional

A aplicação de modelos na gestão de recursos hídricos é essencial. De acordo com Rosman (2016, p.12), "A necessidade da aplicação de modelos para estudos, projetos e auxílio à gestão de recursos hídricos é inquestionável, face à complexidade do ambiente em corpos de água naturais, especialmente em lagos, reservatórios [...]". Segundo Piumbini (2009, p.19) "[...] o uso de modelos permite um aumento, no espaço e no tempo, da quantidade de dados para interpretação de fenômenos e por esta razão os modelos de previsão de ondas têm se mostrado uma importante ferramenta [...]".

Desde a década de 1950 modelos baseados no princípio de conservação de energia vem sendo desenvolvidos com o objetivo de prever a propagação das ondas, permitindo tanto estudar eventos passados como prever situações futuras, segundo Cuchiara et al. (2006).

Fatores como a falta de medições de parâmetros de onda, seu caráter pontual e de alto custo bem como a possibilidade de estudo de vários cenários de forma rápida tornam muito

atrativa a utilização de modelos computacionais. Os modelos numéricos são desenvolvidos a partir de informações sobre o vento, aplicando os princípios da física das ondas, sendo que a exatidão das estimativas depende em grande parte da qualidade dos campos de ventos utilizados como dados de entrada no modelo, segundo a *Organización Meteorológica Mundial* (OMM, 1998). De acordo com Nicolodi (2007), não só a qualidade dos dados de vento, mas também a batimetria é importante para a obtenção de resultados satisfatórios quando se utilizam modelos matemáticos de previsão de ondas.

A descrição mais utilizada para o campo de ondas ocorre a partir do espectro de densidade de energia. De forma geral, os modelos numéricos estão baseados na solução de uma equação de balanço de energia espectral, a qual descreve o desenvolvimento do campo de ondas superficiais de gravidade no tempo e no espaço.

É comum classificar os modelos de ondas em modelos de primeira, segunda e terceira geração baseando-se no método empregado para determinar o termo fonte não linear. Segundo a OMM (1998), o cálculo eficiente desse termo, somado à existência de computadores mais potentes, tornou possível desenvolver modelos espectrais de terceira geração, eles são similares na estrutura e representam os conhecimentos mais avançados da física da evolução das ondas. O estado da arte dos modelos espectrais encontra-se nos modelos de terceira geração, como o WAM (*Wave Model*), o WW3 (WAVEWATCH III) e o SWAN (*Simulating Waves Nearshore*).

O primeiro modelo de ondas de terceira geração desenvolvido foi o *Wave Model* - WAM (TOLMAN; CHALIKOV, 1996). Neste, o espectro de ondas superficiais foi resolvido por meio da integração da equação do transporte de energia. O modelo utiliza a parametrização da fonte de transferência não-linear de energia e especifica uma função representativa da dissipação que feche o balanço de energia (WAMDI GROUP, 1988).

Dentre os processos físicos considerados no WAM estão as interações não-lineares quádruplas, necessárias para descrever apropriadamente a evolução do espectro em águas com profundidade maiores que 100 m (PIUMBINI, 2009).

Segundo Innocentini, Oliveira e Prado (2003), o modelo WAM é o resultado de um esforço de um grupo formado por pesquisadores de modo a produzir um modelo numérico de terceira geração, combinando o mais completo conhecimento científico com o desenvolvimento computacional disponível.

O WAVEWATCH III foi desenvolvido pelo *Ocean Modeling Branch* (OMB) do *Environmental Modeling Center* (EMC) do *National Centers for Environmental Prediction*

(NCEP). Ele é baseado no WAVEWATCH I (*Delft University of Technology*) e WAVEWATCH II (*NASA Goddard Space Flight Center*). O WAVEWATCH III difere de seus antecessores em vários aspectos, tais como equações governantes, estrutura do programa, abordagens físicas e numéricas (TOLMAN, 1999).

Quanto às diferenças entre o WAVEWATCH III e o WAM, o WAVEWATCH III, ao contrário do WAM, é baseado em uma equação da densidade da ação espectral totalmente instável, possibilitando a consideração das interações onda corrente em grande escala, e também, o fato de o WAVEWATCH III utilizar novas parametrizações físicas para muitos termos fonte e esquemas de integração numérica mais precisa (TOLMAN et al., 2002). Apesar da física desses modelos incluir diversos processos físicos, estes não são apropriados para águas rasas e para grades com espaçamento acima de um quilômetro (NICOLODI, 2007).

Outro modelo de terceira geração é o SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) desenvolvido por Booij, Ris e Holthuijsen (1999). Segundo Absalonsen, Cassiano e Siegle (2007), o SWAN foi proposto para solucionar determinadas dificuldades de aplicação de modelos de onda, como o WAM, em regiões costeiras.

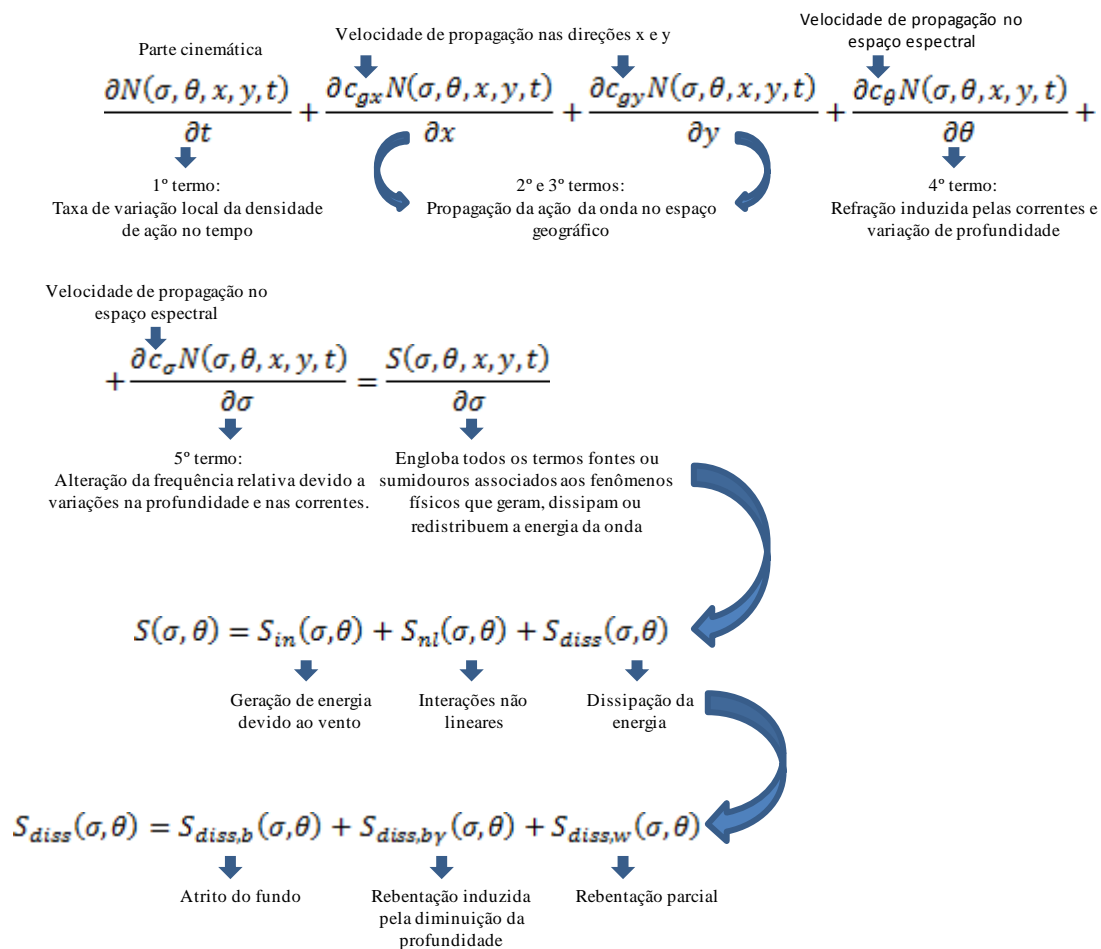
Segundo Booij, Ris e Holthuijsen (1999), para a formulação de águas rasas, os processos de águas profundas necessitaram ser adaptados, seguindo algumas considerações, como, por exemplo, os seguintes fatores: uso da velocidade de fase de águas costeiras nas expressões da entrada de energia do vento; interações não-lineares onda-onda quádruplas dependentes da profundidade; reformulação do encapelamento (*whitecapping*), de forma que este fique em função mais do número de ondas que da frequência, a adição da dissipação do fundo e também a adição de formulações para quebra induzida pela profundidade e interações onda-onda triplas.

A modelagem da propagação das ondas em zonas costeiras utilizando o modelo SWAN baseia-se na evolução da densidade de ação $N(x,t,\sigma,\theta)$, no espaço x e no tempo t , ao invés do espectro de densidade de energia $E(\sigma,\theta)$. Isso porque a densidade de ação é conservada na presença de correntes, ao contrário da densidade de energia (Whitham *et al.*, 1974 apud Holthuijsen, 2007), conforme a equação a seguir:

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma} \quad (5)$$

sendo σ a frequência angular e θ a direção das ondas.

As equações base do modelo SWAN são apresentadas a seguir.



O SWAN é um modelo de domínio público (*freeware*) em constante desenvolvimento pela *Delft University of Technology* da Holanda e que permite a fácil atualização de versões sempre que necessário (MATOS et al., 2013). Nicolodi (2007) apresenta os principais processos incluídos no conjunto de equações do modelo SWAN e suas limitações, conforme o Quadro 2.

De acordo com Cuchiara et al. (2006), o SWAN é projetado para obter uma estimativa realista dos parâmetros de agitação marítima em regiões costeiras e estuários, partindo do conhecimento das condições de vento, batimetria e correntes na área em estudo. O modelo SWAN é utilizado mundialmente por instituições de pesquisa e foi validado por Ris, Holthuijsen e Booij (1999) em estudos na Alemanha e Holanda totalizando cinco estudos de casos (NICOLODI, 2007).

Segundo Vieira (2013), “Uma das grandes vantagens do modelo SWAN é a sua versatilidade: pode ser aplicado a grandes zonas costeiras abertas ou pode ser aplicado a zonas confinadas [...]”.

Quadro 2- Resumo das principais potencialidades e limitações do modelo SWAN

Processos de propagação de ondas	Processos de geração e dissipação de energia	Limitações
Propagação no espaço geográfico	Geração de ondas pelo vento	Correntes: o SWAN não calcula correntes induzidas por ondas que ocorrem próximos a praia. Se necessárias, devem ser fornecidas por outro modelo Difração: Versões anteriores a de 2006 não modelavam difração
Refração devido a variações espaciais no fundo e correntes	Dissipação tipo <i>whitecapping</i>	
Shoaling devido a variações espaciais no fundo e correntes	Dissipação de quebra de ondas induzida pelo fundo raso	
Reflexão por correntes opostas	Dissipação devido ao fundo	
Difração. Incluído no modelo a partir da versão de 2006	Interações não lineares (triplas e quádruplas)	

Fonte: Nicolodi (2007)

A escolha de um modelo depende de vários fatores, como dos dados de entrada requeridos pelo modelo, da exatidão requerida, sua validade, objetivos a serem atingidos, facilidade de uso, exigências de *hardware*, entre outros.

O modelo ONDACAD é um modelo computacional que vem sendo desenvolvido desde 2005 visando à simulação do campo de ondas geradas pela ação do vento em corpos d'água como lagos e reservatórios. Esse modelo determina o campo de altura da onda mediante a utilização de uma equação paramétrica desenvolvida com base no módulo de ondas do modelo SWAN, viabilizando a concepção de um modelo paramétrico de representação bidimensional. O modelo gera inicialmente um campo de *fetch*, ou seja, a representação bidimensional do *fetch*.

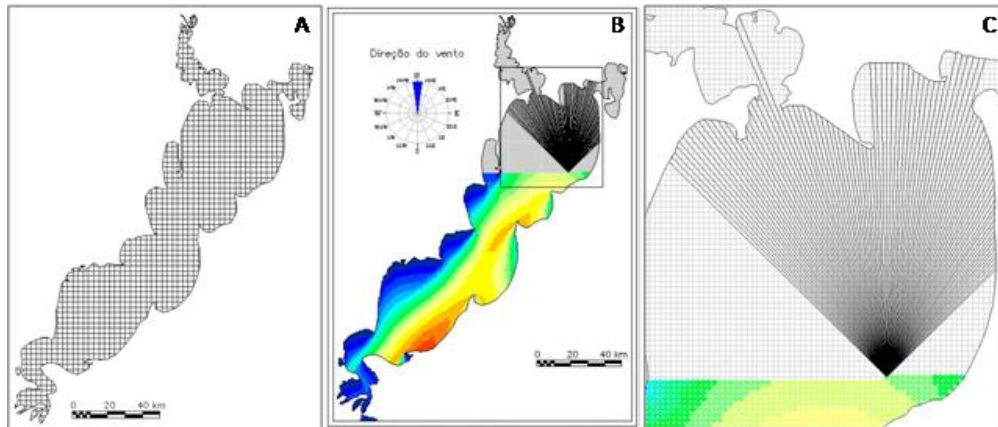
De acordo com Marques (2005), os métodos de determinação do *fetch* constituem-se em métodos de aplicação trabalhosa por exigir uma excessiva quantidade de operações gráficas, fato este que incita o operador a determinar o *fetch* para poucos pontos, inserindo um fator de subjetividade à aplicação do método. Ainda segundo o autor, a identificação do maior *fetch* e sua localização é mais precisa quanto maior for a quantidade de pontos considerados.

O modelo computacional ONDACAD foi proposto para superar tais dificuldades. Concebido em linguagem LISP (*List Processing*), o programa gera a distribuição do *fetch* com base na discretização da superfície do corpo de água pela geração de uma malha estruturada quadrangular, tendo a margem como limite (Figura 7a). Os nós da malha são percorridos respeitando-se a direção do vento adotada e aplicando o método de determinação do *fetch* indicado pelo operador. Nas Figuras 7b e 7c são mostradas as aplicações do método de Saville (1954) em alta resolução, ou seja, com resolução de um grau entre as linhas radiais.

A Figura 7 foi extraída de resultados de estudos realizados por Arantes et al. (2015) na Lagoa dos Patos (RS).

O modelo permite a obtenção do *fetch* em aproximadamente 15 mil pontos distribuídos no reservatório, gerando regiões identificadas a partir de cores.

Figura 7 - (a) Geração de uma malha estruturada quadrangular; (b) Processamento propositalmente interrompido para mostrar os nós da malha sendo percorridos; (c) Ampliação de parte da Figura 7b



Fonte: Arantes et al. (2015)

Para a geração de um mapa de altura de ondas pelo modelo ONDACAD é necessário indicar no modelo a equação paramétrica a ser utilizada, a direção e a velocidade do vento.

3 ÁREA EM ESTUDO

A seguir é apresentada a localização da área teste e algumas características técnicas do reservatório da UHE Rosana (SP/PR) e da paisagem na qual está inserido.

3.1 Localização e características do Reservatório da UHE Rosana (SP/PR)

A Figura 8 apresenta a área delimitada para o estudo e a localização do reservatório da UHE Rosana (SP/PR) entre os Estados de São Paulo e Paraná. A formação do reservatório da UHE Rosana (SP/PR) inundou terras dos municípios de Diamante do Norte, Terra Rica, Paranaíba, Santo Antonio do Caiuá, Inajá, Paranapoema, Jardim Olinda e Itaguajé, no Paraná; e dos municípios de Rosana, Euclides da Cunha Paulista, Teodoro Sampaio, Mirante do Paranapanema e Sandovalina, em São Paulo (DUKE ENERGY, 2004).

O reservatório foi concluído em novembro de 1986, possui uma área de 220Km², perímetro de 433Km e volume total de $1.920 \times 10^6 \text{ m}^3$ (DUKE ENERGY, 2013). O eixo da barragem se localiza entre os municípios de Diamante do Norte (PR) e Rosana (SP), a 20km da foz do rio Paranapanema (KIPPER; BIALETZKI; SANTIN, 2011). O reservatório é a fio d'água, ou seja, sem capacidade de acumulação, apresenta 116km de extensão, profundidade média de 12m na região fluvial e intermediária e 30m na lacustre (FELISBERTO; RODRIGUES, 2011).

O reservatório da UHE Rosana (SP/PR), em função do seu tipo de funcionamento, ou seja, a fio d'água, possui características distintas de um reservatório de acumulação. Neves (2008) descreve algumas características desses tipos de reservatório.

O reservatório a fio d'água possui forma simples, profundidade não muito elevada, com oscilação do nível d'água diária e de menor amplitude, enquanto um reservatório de acumulação apresenta formato dendrítico e maior profundidade, conseqüentemente possui grande área inundada, elevado volume de água e oscilação do nível d'água de grande amplitude, com variação sazonal (NEVES, 2008, p.2).

A UHE Rosana (SP/PR) integra o complexo energético das onze hidrelétricas presentes no Rio Paranapanema (SP/PR), conforme a Figura 9. O rio possui uma série de reservatórios em cascata, sendo que o primeiro é o reservatório de Jurumirim (568m de altitude) e o último o reservatório de Rosana (258m de altitude). De acordo com Feitosa (2011), o curso principal do rio, direção leste-oeste, tem uma extensão de 929km, com 570m de desnível, desenvolvendo-se entre as altitudes de 809 e 239m.

Figura 8 - Mapa de localização da área teste na UHE Rosana (SP/PR)

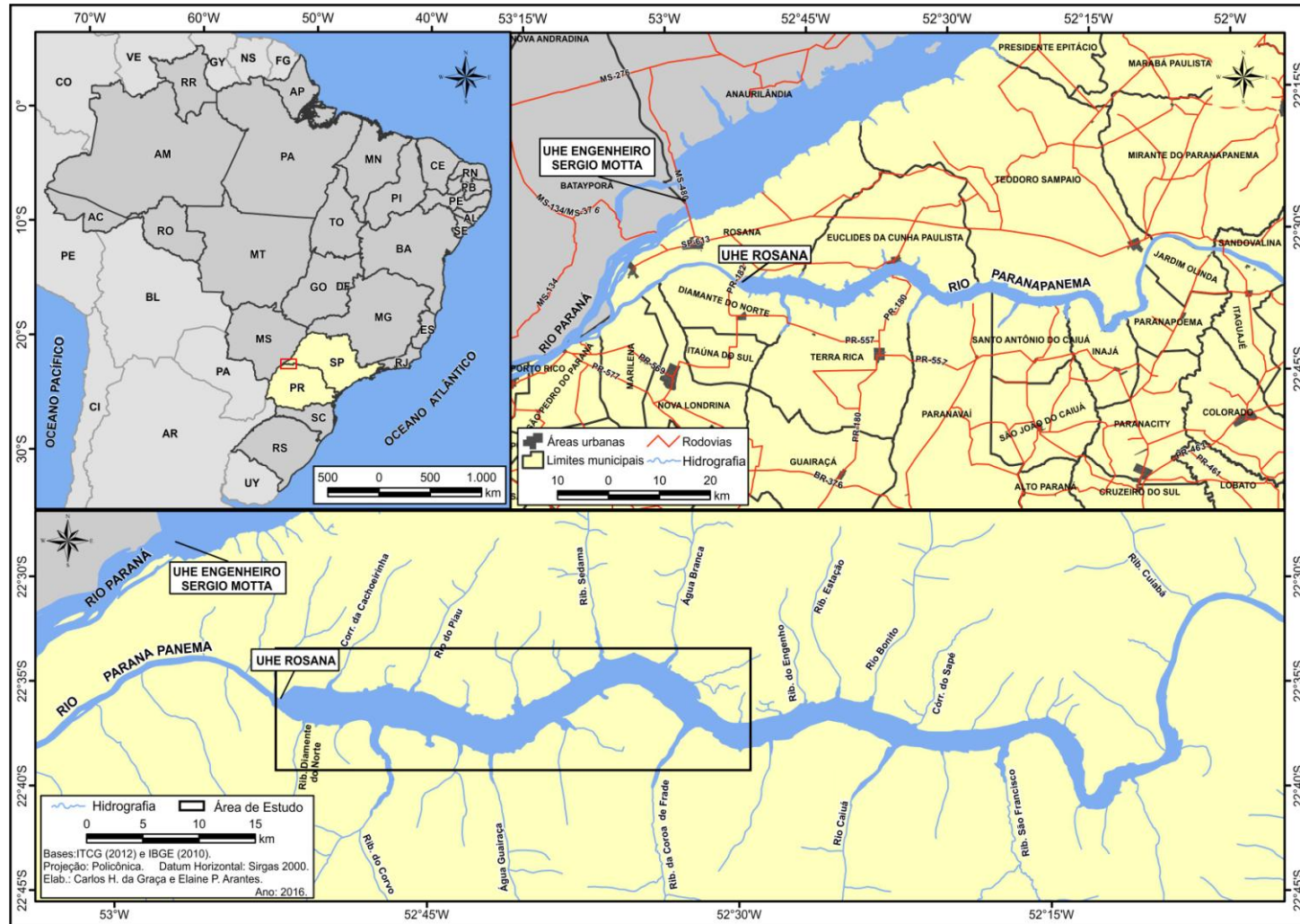
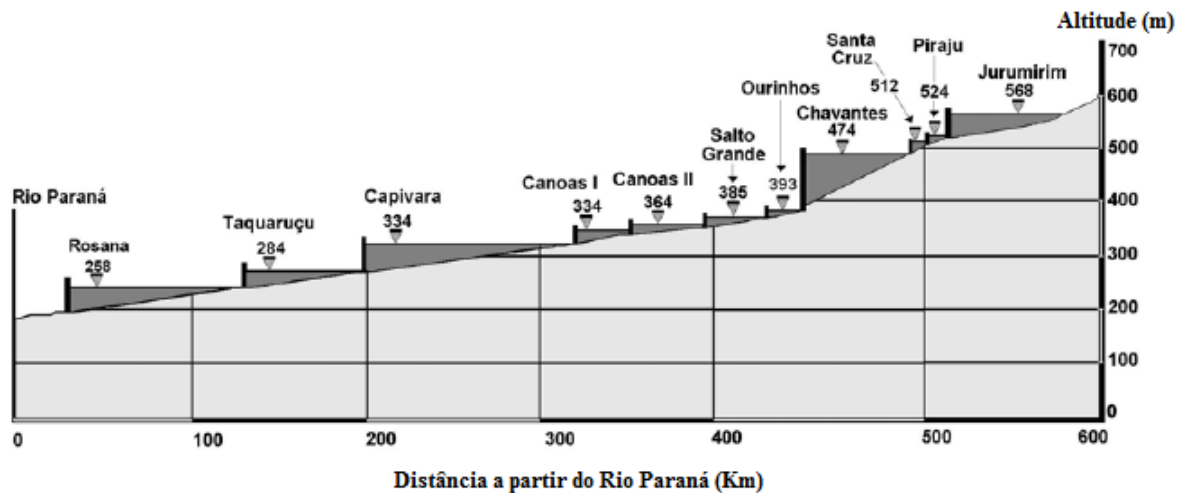


Figura 9 - Distância entre reservatórios do rio Paranapanema a partir do rio Paraná e cotas altimétricas em relação ao nível do mar



Fonte: Neves (2008)

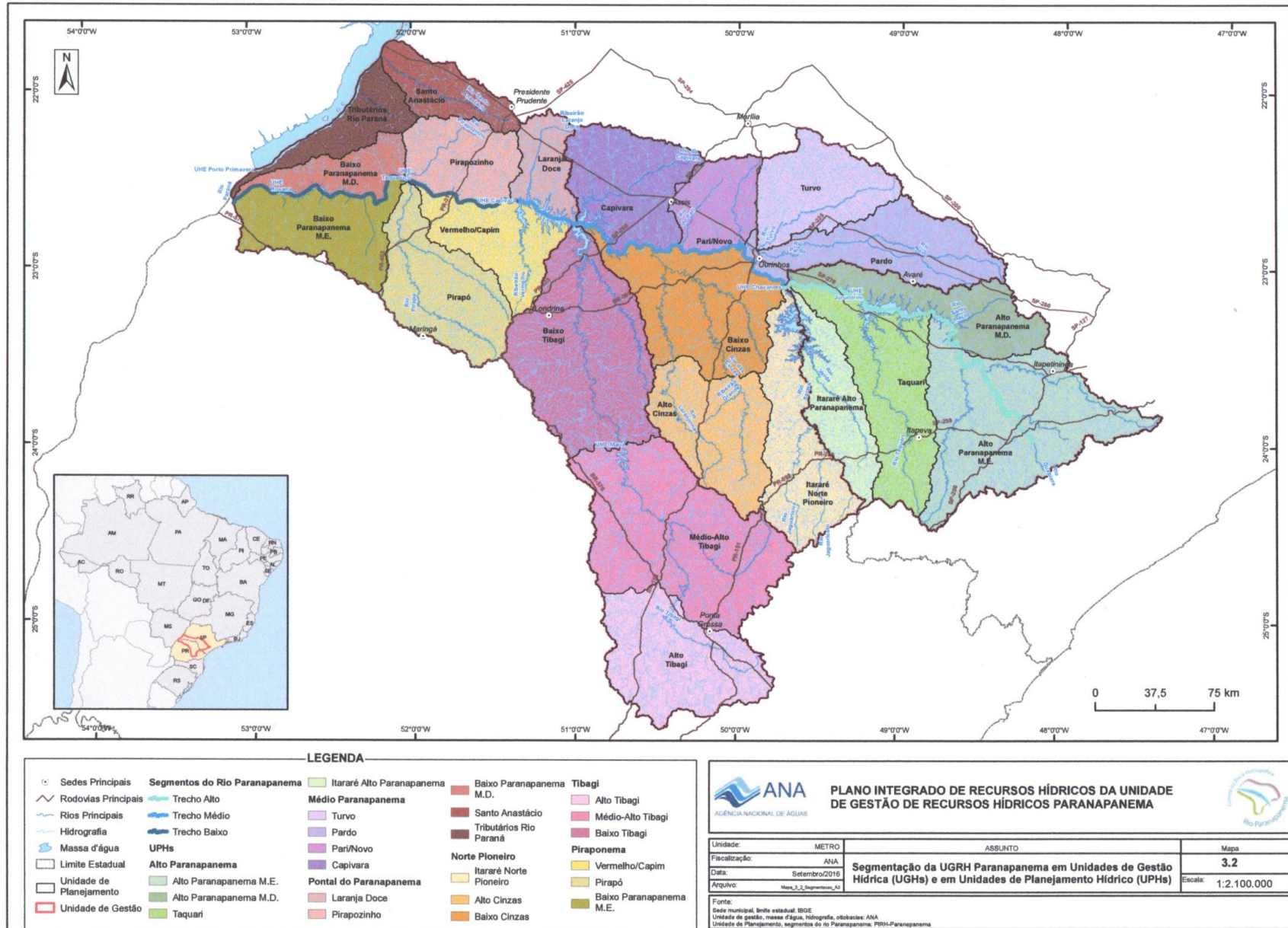
Atualmente, a UHE Rosana (SP/PR) está sob concessão da *China Three Gorges Corporation* (CTG), a qual adquiriu os ativos da Duke Energy no Brasil em 2016 (CTG, 2016).

3.2 Características da paisagem regional

O rio Paranapanema é um dos principais afluentes do rio Paraná, nasce na Serra de Paranapiacaba, no município de Capão Bonito (SP) e marca a divisa natural entre os Estados de São Paulo e Paraná. Pode ser dividido em três grandes trechos: Baixo Paranapanema com 421km de extensão (da foz, no rio Paraná, até Salto Grande), Médio Paranapanema com 328km de extensão (de Salto Grande até a confluência do rio Apiaí-Guaçu) e o Alto Paranapanema com 180km de extensão (da confluência do rio Apiaí-Guaçu até as nascentes), segundo Duke Energy (2013). Alguns dos afluentes na margem direita do rio Paranapanema são os rios: Turvo, Claro, Novo, Capivara e Pirapozinho. Na margem esquerda, os rios: Verde, das Cinzas, Tibagi e Pirapó. A bacia hidrográfica do rio Paranapanema localiza-se entre a latitude 22° - 26° S e longitude 47° - 54°W, estendendo-se pelo sudoeste do estado de São Paulo e norte do estado do Paraná, drenando uma área de 100.800km², sendo 47% no território paulista e 53% no Paraná (FEITOSA, 2011).

Com relação à gestão de recursos hídricos, conforme a Figura 10, o reservatório da UHE Rosana localiza-se na Unidade de Gestão de Recursos Hídricos (UGRH) Paranapanema.

Figura 10 - Segmentação da UGRH Paranapanema em Unidades de Gestão Hídrica (UGRHs) e em Unidades de Planejamento Hídrico (UPHs)



Fonte: ANA (2016b)

O reservatório situa-se entre a UPH (Unidade de Planejamento) do Baixo Paranapanema M.D. (Margem Direita) e a UPH do Baixo Paranapanema M.E. (Margem Esquerda). As UPHs constituem as unidades de análise do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Paranapanema (ANA, 2016b).

A oeste da bacia do Paranapanema estão localizadas as rochas do Grupo Bauru, em especial no baixo curso do rio Paranapanema. Na margem paranaense e no extremo Oeste Paulista, ocorrem rochas do tipo arenito, que compõem a Formação Caiuá e se sobrepõem aos derrames basálticos da Formação Serra Geral. De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1981 apud ANA, 2014), os arenitos possuem coloração arroxeadada, com marcante estratificação cruzada (nos afloramentos paulistas), de granulação fina a média, podendo estar associada localmente a cimento carbonático ou silicoso.

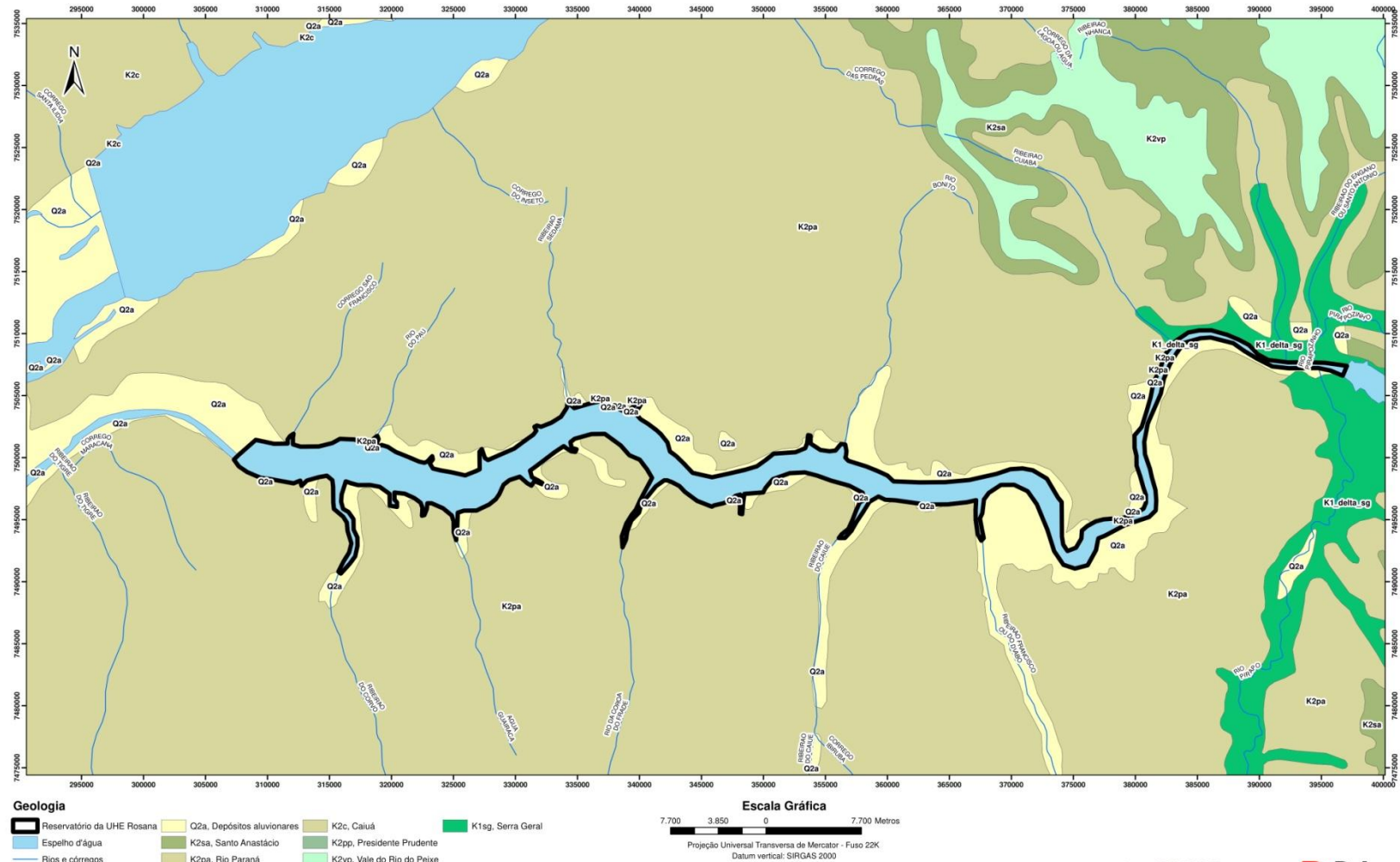
Na Figura 11, encontra-se o mapa geológico, que mostra parte da Geologia Regional, na qual a área de estudo está inserida, segundo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2004). Ponto e entorno da área de estudo nos quais foram identificadas as rochas pertencentes à Bacia Sedimentar do Paraná, das Formações Santo Anastácio, Rio Paraná, Caiuá, Presidente Prudente, Vale do Rio do Peixe e Serra Geral, incluindo também os depósitos aluvionares.

O Extremo Oeste Paulista faz parte do Planalto Ocidental, é caracterizado por feições geomorfológicas apresentando uma sucessão de colinas suavizadas compostas por espigões areníticos que vão se rebaixando até o rio Paraná. Na área do Pontal do Paranapanema o relevo é uniforme, com predominância de colinas amplas e médias (TORRES; SILVA JUNIOR, 2010).

O Planalto Ocidental foi subdividido de acordo com seu caráter morfológico, pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1981) por meio de mapeamento geomorfológico na escala 1:1.000.000. Neste, o relevo do Oeste Paulista apresenta quatro subdivisões, são elas: relevo de agradação; relevo de degradação, em planaltos dissecados; relevos residuais suportados por litologias particulares e relevo de transição. Além dessas unidades, são ainda destacadas as ocorrências de processos acelerados de erosão, mapeadas como feições de relevo subordinadas (BOIN, 2000).

Com relação à Geomorfologia, o reservatório está situado sob a morfoestrutura da Bacia Sedimentar do Paraná, já no que diz respeito às morfoescultura, a margem paulista está situada no Planalto Ocidental Paulista e a margem paranaense no Terceiro Planalto Paranaense, segundo Nunes et al. (2016).

Figura 11 - Mapa Geológico Regional - Reservatório UHE Rosana (SP/PR)



Fonte: CPRM (2004) "Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo". Folha SF 22 - Paranapanema.



Geologia Regional - Reservatório de Rosana

Código Regea	Desenho	Escala	Data
1683-R4-2013	07	Indicada	04/04/2013

Nas margens do reservatório da UHE Rosana (SP/PR), foram identificados por Rubio (2014): Depósitos aluvionares (33,69%), Formação Caiuá (61,09%) e Formação São Bento (5,22%). No Pontal do Paranapanema os solos são na sua maioria arenosos, pouco ácidos, pobres em argila, apresentando uma grande quantidade de areia em sua composição. São bem profundos, bem drenados, sendo na sua maioria friáveis demonstrando sua fragilidade (MENEQUETTI, 2001).

Conforme Rubio (2014), estão presentes nas margens do reservatório da UHE Rosana (SP/PR) os solos das seguintes classes: Argissolos Vermelho-Amarelos (57,07%), Gleissolos (7,56%), Latossolos Vermelhos (23,72%) e Neossolos Flúvicos (11,65%), que foram definidos segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006).

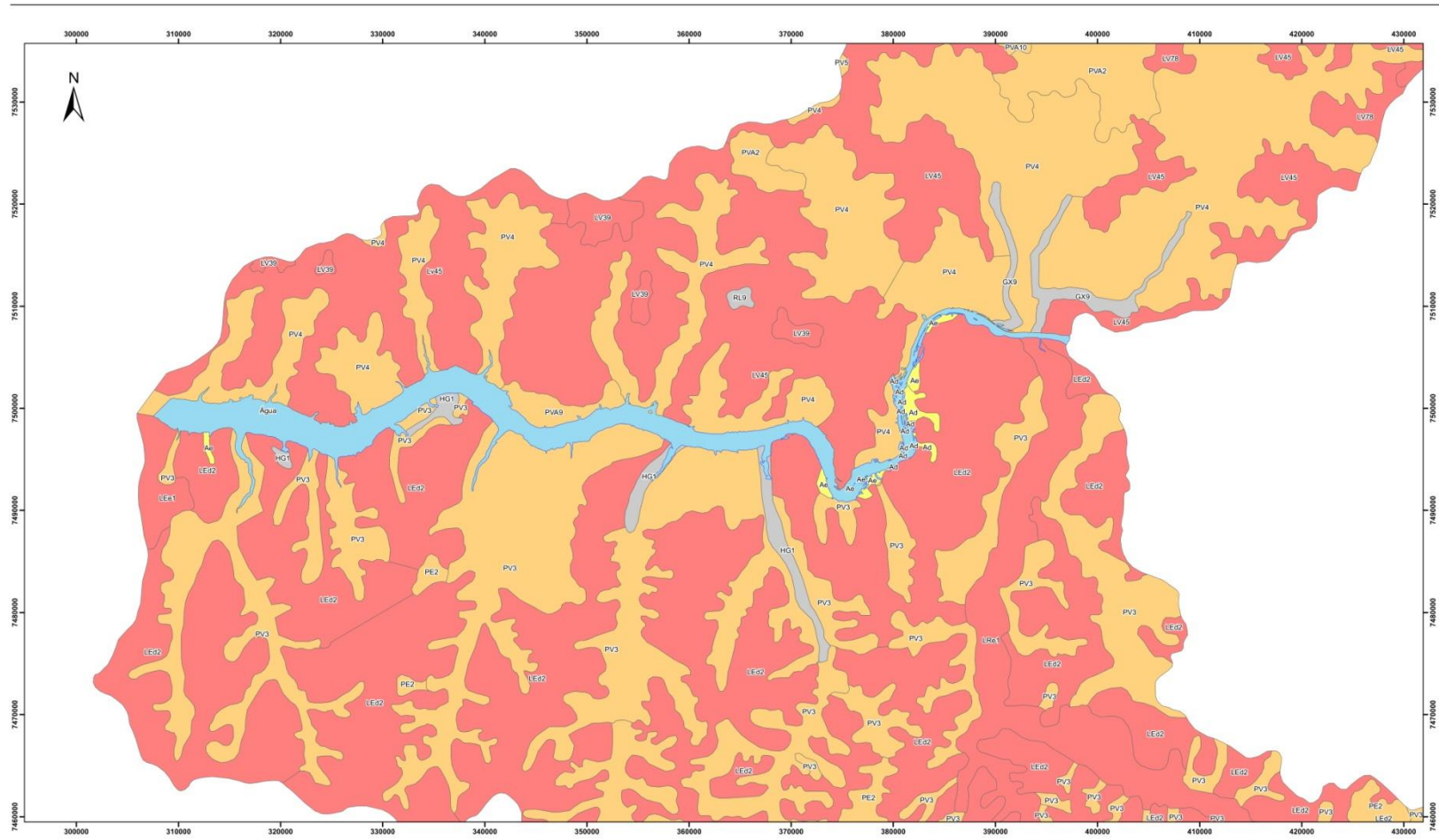
Na Figura 12, encontra-se o mapa pedológico, mostrando parte da Pedologia Regional, na qual a área de estudo está inserida, segundo os mapas pedológicos do IAC (1999) e IAPAR (1981), adaptados à nomenclatura vigente (EMBRAPA, 2006). Os solos identificados foram: Latossolos Vermelho-escuros (Latossolos Vermelhos), Latossolos Roxos (Latossolos Vermelhos), Podzólicos Vermelho-amarelos (Argissolos Vermelho-amarelos), Solos hidromórficos Gleizados Indiscriminados (Gleissolos), Solos Litólicos (Neossolos Litólicos) e Solos Aluviais (Neossolos flúvicos).

Com relação ao uso e à cobertura do solo da UGRH Paranapanema, as classes de uso mais representativas são: pastagem (36,3%), cultura temporária de milho e soja (14,8%), florestal (13,9%), cultura temporária de cana de açúcar (10,1%), silvicultura (8,3%) e cultura temporária não especificada (7,8%). As demais classes de uso ocupam menos de 10% da bacia (ANA, 2016b).

As UPHs Baixo Paranapanema M.D. e M.E. possuem três usos predominantes; a cultura temporária de cana de açúcar, florestal e pastagem, representando mais de 80% do uso dos solos.

Nessas UPHs foram definidas as seguintes classes de usos e cobertura do solo: pastagem, área urbanizada, florestal, campestre, cultura temporária de cana de açúcar, de milho e soja, corpos d'água e silvicultura. Tanto na UPH Baixo Paranapanema M.D. quanto na UPH Baixo Paranapanema M.E., destaca-se o uso de pastagem, sendo de aproximadamente 52% para a M.D. e de 66,2% na M.E. Na UPH Baixo Paranapanema M.D.

Figura 12 - Mapa Pedológico Regional - Reservatório UHE Rosana (SP/PR)



Base Topográfica

- Água
- Latossolos Vermelho-escuros (Latossolos Vermelhos)
- Latossolos Roxos (Latossolos Vermelhos)
- Podzólicos Vermelho-amarelos (Argissolos Vermelho-amarelos)
- Solos Aluviais (Neossolos flúvicos)
- Solos Hidromórficos Gleizados Indiscriminados (Gleissolos)
- Solos Litólicos (Neossolos Litólicos)

Escala Gráfica

9.250 4.625 0 9.250 Metros

Projeção Universal Transversa de Mercator - Fuso 22K
Datum vertical: SIRGAS 2000

Fonte: Estado de São Paulo: IAC - Instituto Agronômico. 1999. Mapa Pedológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000.
Estado do Paraná: IAPAR - Fundação Instituto Agronômico do Estado do Paraná. 1981. Levantamentode reconhecimento de solos no Estado do Paraná. Escala 1:600.000.



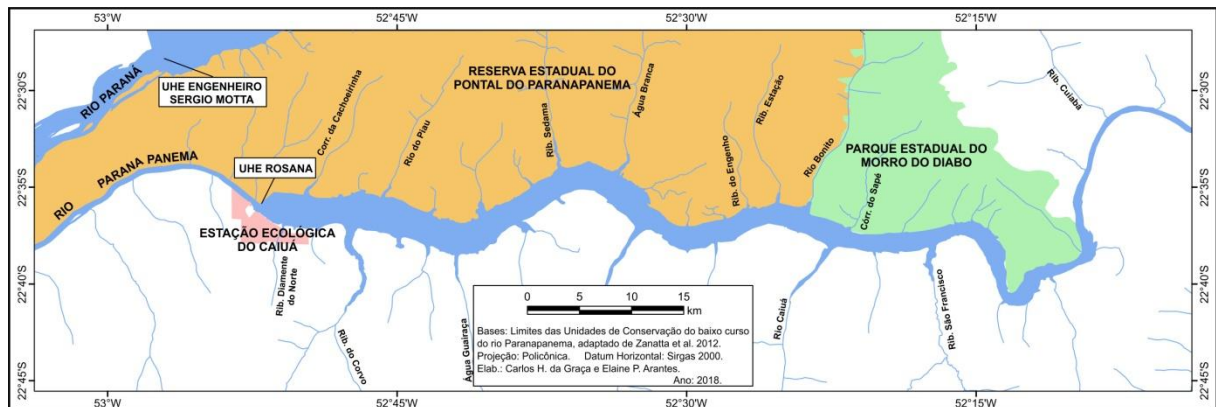
Pedologia Regional - Reservatório de Rosana

Código Regea	Desenho	Escala	Data
1683-R4-2013	08	Indicada	04/04/2013

O segundo uso dominante é o florestal, sendo que essas áreas representam 19% do total (correspondendo em sua maioria a unidades de conservação de proteção integral), enquanto que para a M.E. é o uso da cultura temporária de cana de açúcar com 18% (ANA, 2016b).

A classe de pastagem é predominante na maioria das UPHs do lado paulista, sendo que nas UPHs do Paraná ocupam entre 20 e 30% da área na maioria das UPHs (ANA, 2016b). Na área de influência do reservatório da UHE Rosana (SP/PR) encontram-se três Unidades de Conservação (UC) legalmente instituídas (DUKE ENERGY, 2004), sendo duas no estado de São Paulo e uma no estado do Paraná (Figura 13).

Figura 13- Mapa com a localização das UCs Estação Ecológica do Caiuá, Reserva Estadual do Pontal do Paranapanema e do Parque Estadual do Morro do Diabo



Criada com os recursos do processo indenizatório da implantação da UHE Rosana (SP/PR), tem-se a Estação Ecológica do Caiuá, localizada na microregião homogênea do norte novíssimo de Paranaíba, no município de Diamante do Norte (PR). A Estação possui uma área de 1.427,30ha e protege uma das últimas amostras significativas da Floresta Estacional Semidecidual do estado do Paraná (DUKE ENERGY, 2004). Essa UC é gerida pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP).

A Floresta Estacional Semidecidual compreende as formações florestais das regiões norte e oeste do Estado do Paraná, entre 800 m e 200 m de altitude. Sua flora é condicionada a um período de baixa precipitação pluviométrica, quando 20 a 50% das árvores do dossel da floresta perdem suas folhas, o que modifica fortemente a fisionomia da vegetação (RODERJAN et al., 2002).

O Parque Estadual do Morro do Diabo situa-se no município de Teodoro Sampaio (SP). É administrado pelo Instituto Florestal de São Paulo desde 1985, tendo sido

reenquadrado na categoria de Parque Estadual em 04/06/1986, pelo Decreto Estadual nº 25.342, de 4 de junho de 1986 (DUKE ENERGY, 2004).

Outra Unidade de Conservação é a Reserva Estadual do Pontal do Paranapanema, criada pelo Decreto-lei Estadual nº 13.075, de 25 de novembro de 1942, abrangendo os municípios de Rosana (SP), Euclides da Cunha Paulista (SP), Teodoro Sampaio (SP), Mirante do Paranapanema (SP), Marabá Paulista (SP) e Presidente Epitácio (SP), totalizando uma área de 246.840 hectares. Pertencente à bacia hidrográfica do Pontal do Paranapanema, é margeada a oeste pelo rio Paraná e ao sul pelo rio Paranapanema (DUKE ENERGY, 2004).

Em 2014, as margens do reservatório de Rosana eram ocupadas por culturas (6,05%), matas (26,52%), solo exposto (0,41%) e por vegetação rasteira (67,02%), segundo Rubio (2014). Ainda de acordo com o autor, as áreas de pastagem são maiores quanto maior é a proximidade da foz do rio Paranapanema, ou seja, desde os municípios de Euclides da Cunha Paulista (SP) e Paranapoema (PR) até os municípios de Rosana (SP) e Diamante do Norte (PR). Dados mais atualizados com relação ao uso do solo nas margens não foram encontrados por esta pesquisadora, mas os trabalhos de campo realizados na área indicam ainda a presença das categorias citadas.

Na Figura 14, encontra-se um mapa da cobertura do solo na área de influência direta do reservatório da UHE Rosana (SP/PR), que mostra os principais tipos de usos e ocupação do solo. Ou seja, corpo d'água, áreas antropizadas, área campestre, solo exposto, fragmento florestal, área úmida ou brejosa, área urbana, culturas agrícolas, mineração, pastagem e silvicultura.

Com relação às características climáticas na área do reservatório da UHE Rosana (SP/PR), de acordo com Duke Energy (2001, apud FEITOSA, 2011), a região foi caracterizada com um clima temperado quente.

Temperatura atmosférica média anual de 21°C, com valores mais baixos entre maio e agosto (média mínima de 13°C) e mais altos entre janeiro e março (média máxima de 32°C) e duas estações climáticas em função do regime pluviométrico, estação chuvosa e de seca.

Com base na análise da precipitação de 180 estações que possuem mais de 25 anos de dados entre 1970 e 2012, demonstrou-se que em toda a bacia o trimestre mais seco do ano compreende o período de junho a agosto, já o mais úmido de dezembro a fevereiro.

As Figuras 15 e 16 apresentam respectivamente a precipitação média mensal nas UGHs (Unidades de Gestão Hídrica) Pontal do Paranapanema e Piraponema (ANA, 2016b).

Figura 14 - Mapa da cobertura do solo na área de influência direta do reservatório UHE Rosana (SP/PR)

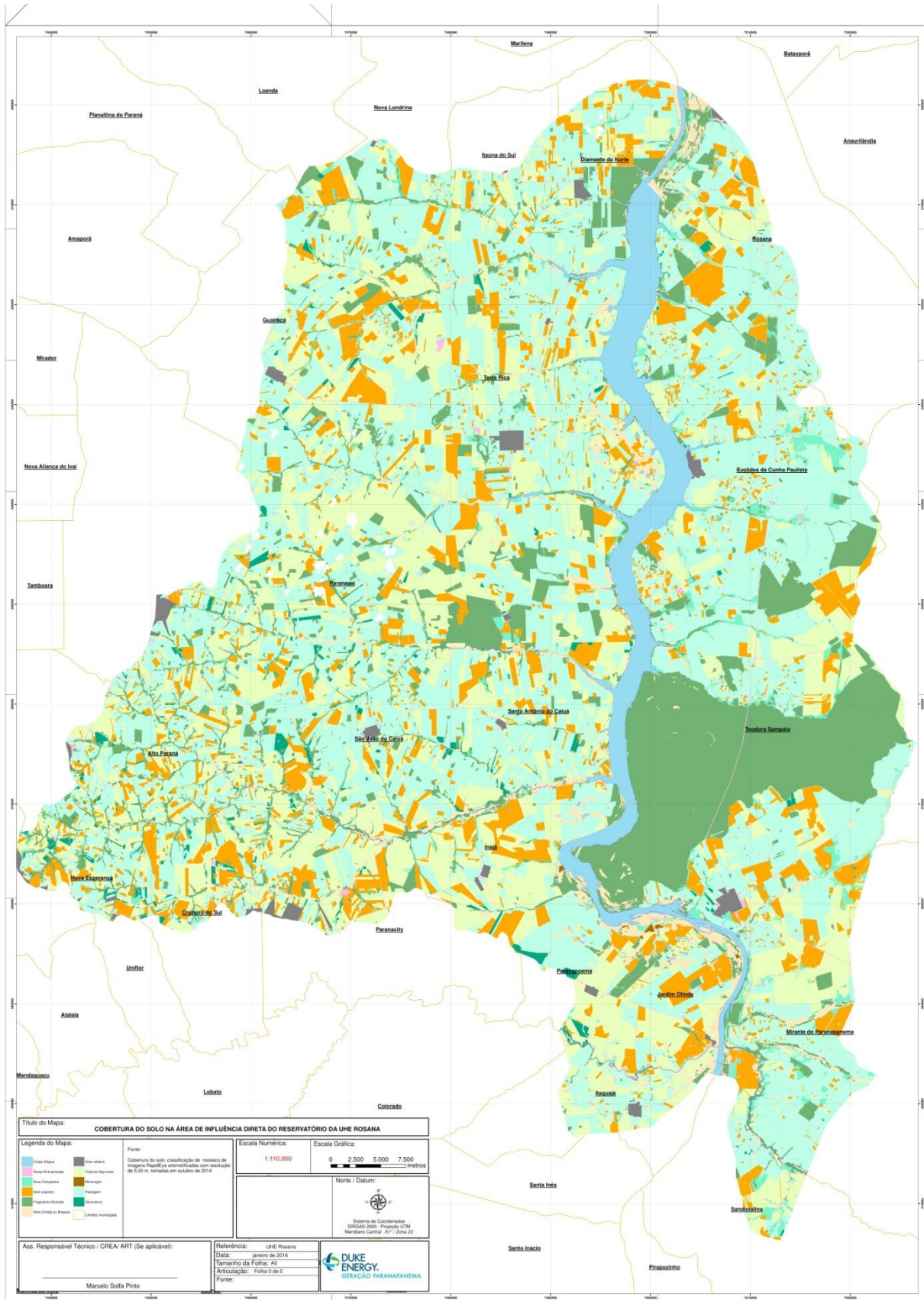
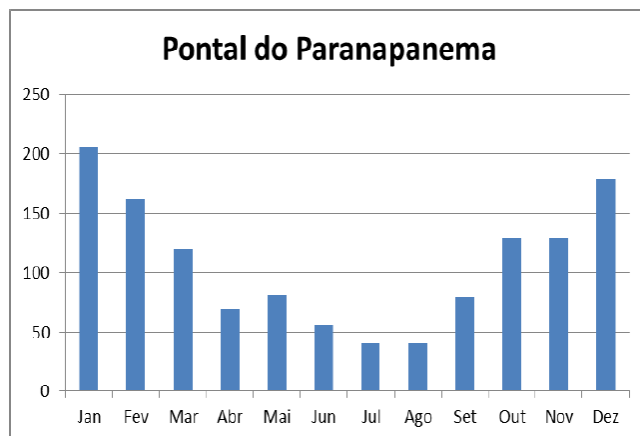
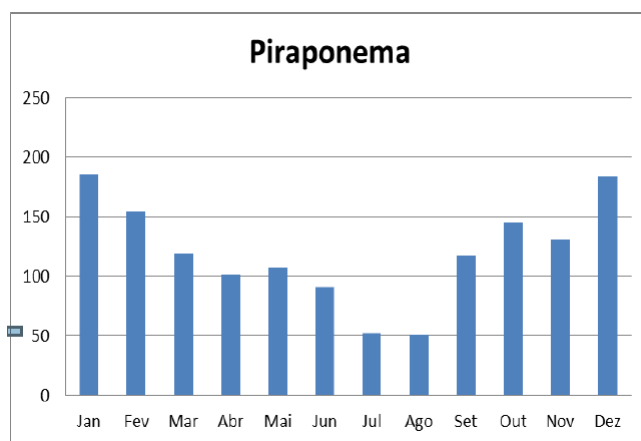


Figura 15 - Precipitação média mensal na UGH Pontal do Paranapanema (1970-2012)



Fonte: ANA (2016b)

Figura 16 - Precipitação média mensal na UGH Piraponema (1970-2012)



Fonte: ANA (2016b)

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As normas bibliográficas utilizadas nesta tese estiveram de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2012a; ABNT, 2012b; ABNT, 2011; ABNT, 2003; ABNT, 2002a; ABNT, 2002b). Primeiramente, as características desta pesquisa levaram à seleção do método a ser utilizado neste estudo, o método hipotético-dedutivo. A pesquisa foi classificada segundo o critério de Gerhardt e Silveira (2009) da seguinte maneira: quanto à abordagem, como pesquisa quantitativa, quanto à natureza, como uma pesquisa aplicada, quanto aos objetivos, do tipo explicativa e quanto aos procedimentos, estudo de caso.

A seguir são descritos os procedimentos metodológicos adotados para alcançar os objetivos propostos da pesquisa, conforme o fluxograma metodológico, exposto na Figura 17. Os procedimentos foram separados em termos das atividades realizadas em campo, em laboratório e em gabinete. Porém, para um melhor entendimento destas, foram descritas inicialmente as atividades desenvolvidas preliminarmente, que auxiliaram na definição da delimitação da área da pesquisa e dos pontos de controle.

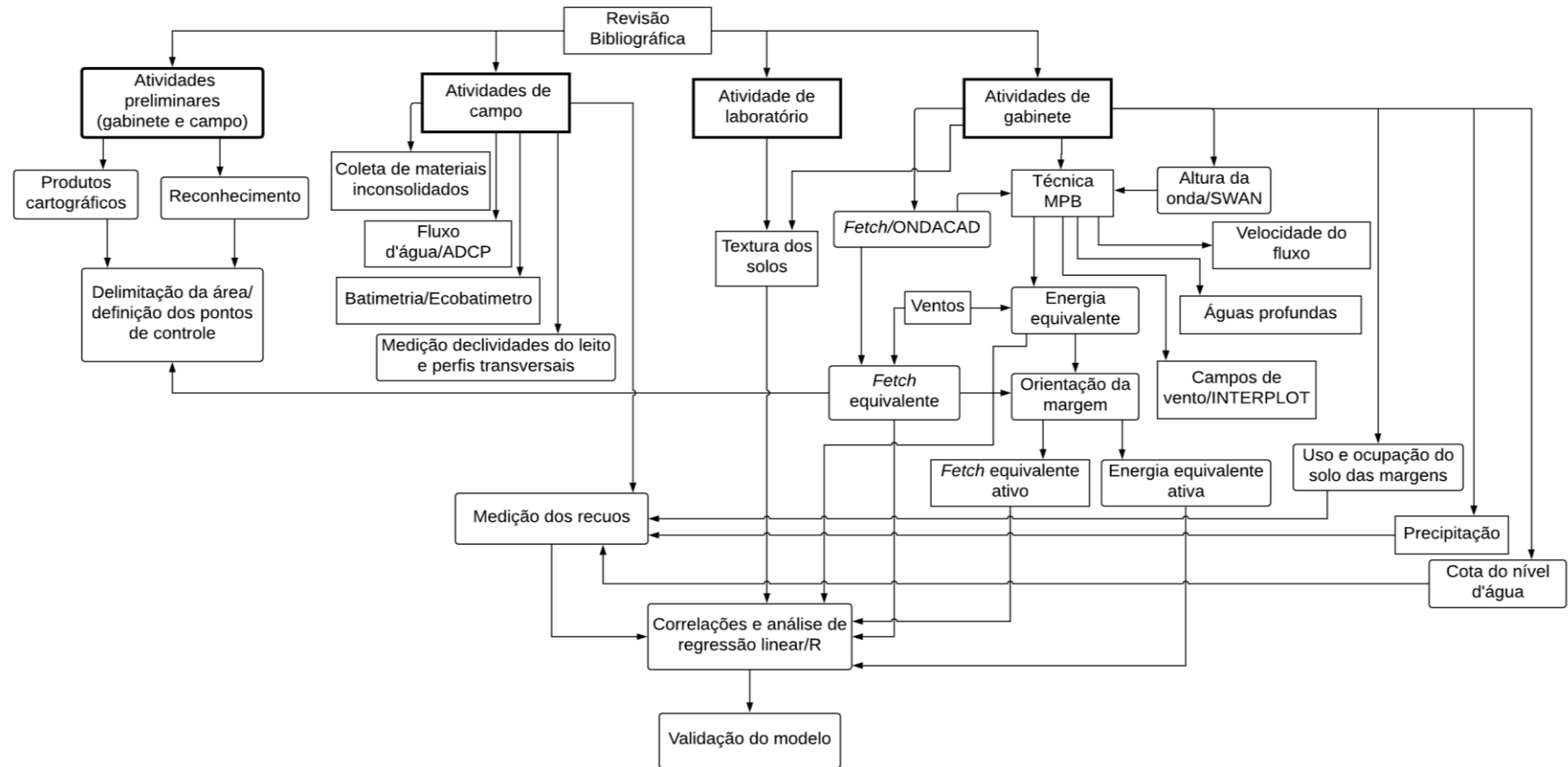
Todos os mapas apresentados nesta pesquisa foram produzidos abrangendo toda a extensão do reservatório da UHE Rosana (SP/PR), mas as análises e correlações foram realizadas apenas para a área delimitada de estudo, o trecho inferior do reservatório da UHE Rosana (SP/PR).

4.1 Atividades preliminares

Nesta etapa foram realizadas atividades em gabinete e em campo. Primeiramente, foi realizada uma revisão bibliográfica do tema e dos reservatórios no Paraná. Em seguida, escolheu-se o reservatório para ser a área teste da pesquisa, sendo escolhido o reservatório da UHE Rosana (SP/PR) devido aos dados do meio físico, como os mapas geológico, pedológico e de cobertura do solo apresentados na parte 3, disponibilizados pela Duke Energy Geração Parapanema S/A, adiante citada no texto como Duke Energy. Além da disponibilidade de dados de cadastramento das erosões no reservatório, segundo Rubio (2014).

A primeira atividade preliminar de campo foi realizada em 07/10/2016 com o intuito de conhecer o local e verificar os pontos erosivos mapeados e apresentados por Rubio (2014).

Figura 17 - Fluxograma metodológico utilizado na obtenção do modelo de simulação matemática para o estudo da interação entre a ação de ondas em margens de reservatório



Foram marcados os locais com feições erosivas pela anotação das suas coordenadas geográficas a partir do uso do GPS (*Global Position System*) contando ainda com a elaboração do seu registro fotográfico para posterior análise.

A segunda campanha, em 12/10/2016, foi realizada para a escolha dos pontos de controle, que considerou a facilidade de acesso para medição, diferentes valores de *fetch* equivalente e procurando-se contemplar as variações do substrato rochoso, dos solos e de cobertura do solo da área, associando-as aos processos erosivos reconhecidos nas margens do reservatório. Tais pontos de controle foram definidos com o objetivo de avaliar a velocidade do recuo das margens.

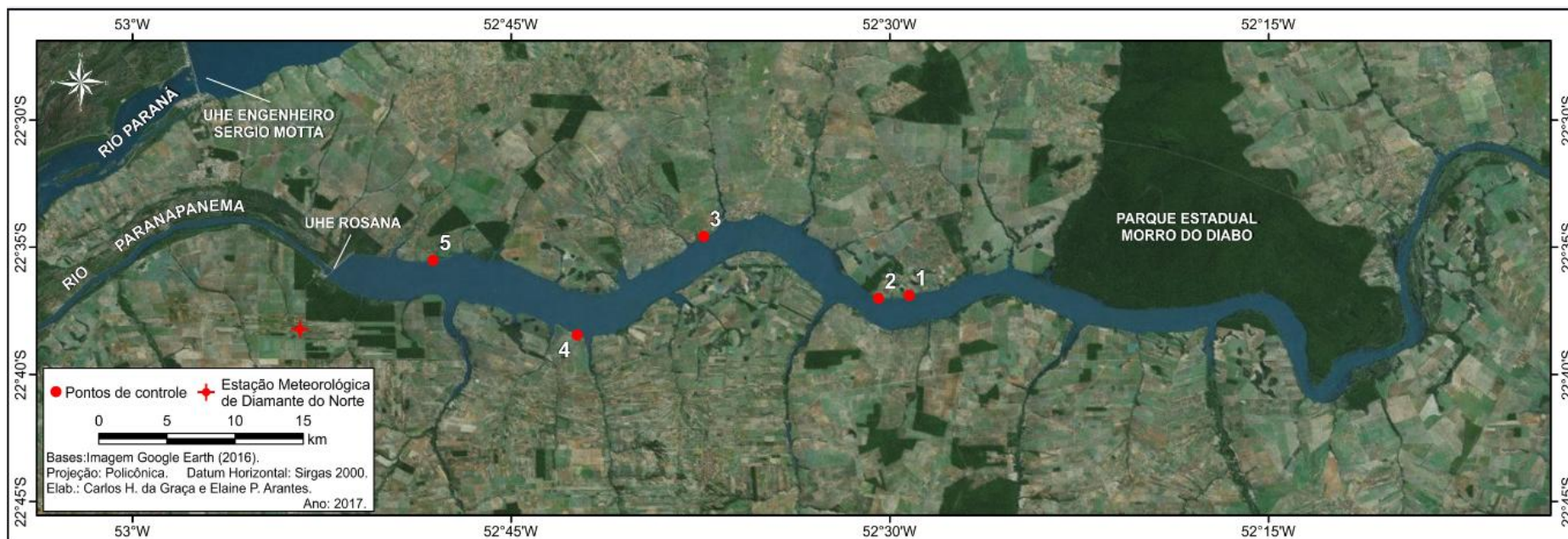
Os pontos selecionados foram encaminhados para a Duke Energy solicitando autorização para a realização das medições, sendo que dos nove pontos encaminhados, apenas cinco foram autorizados. Os pontos de controle foram nomeados em ordem numérica crescente, a partir da montante em direção à jusante do reservatório, tendo sido referenciados como pontos 1, 2, 3, 4 e 5, conforme a Figura 18. Nessa Figura também está localizada a Estação Meteorológica de Diamante do Norte (PR), da qual foram obtidos os dados de vento utilizados nesta pesquisa.

A área teste foi delimitada ao trecho inferior do reservatório da UHE Rosana (SP/PR), com aproximadamente 40Km de extensão, atendendo ao objetivo proposto. A extensão total do reservatório é de 116Km, o que acarretaria uma demanda maior de tempo de deslocamento nas atividades de campo e de recursos financeiros. Além disso, a existência de reservatórios em cascata no rio Paranapanema (SP/PR), implica que o trecho à montante da UHE Rosana (SP/PR), ou seja, à jusante da UHE Taquaruçu (SP/PR) pode haver uma dinâmica fluvial diferenciada em relação ao trecho inferior da UHE Rosana (SP/PR).

4.2 Atividades de campo

Após as atividades preliminares, as campanhas de campo foram desenvolvidas no decorrer do período que compreendeu os meses de novembro de 2016 a junho de 2018. Consistiram de campanhas para as seguintes finalidades: medições dos recuos das margens e traçado dos perfis transversais; coleta de amostras de solos; medições das velocidades do fluxo d'água em seções transversais selecionadas e levantamento batimétrico de um trecho delimitado do reservatório.

Figura 18 - Imagem com a localização dos pontos de controle e da Estação Meteorológica de Diamante do Norte (PR)

Fonte: *Google Earth* (2016)

4.2.1 Medição dos recuos nos pontos de controle e traçado dos perfis transversais

Os procedimentos descritos a seguir permitiram a obtenção das medidas dos recuos das margens, sendo estas indicadoras da erosão da margem, bem como das alturas dos taludes, da declividade do leito próximo as praias, bem como o traçado dos perfis transversais. Para a quantificação das taxas de recuo da margem em cada ponto de controle, foi utilizado o método das estacas (HUGHES, 1977) e para a identificação e descrição do processo erosivo, o método das perfilagens sucessivas (HUDSON, 1982).

Os processos erosivos foram acompanhados durante um período de aproximadamente 19 meses. O intervalo entre as medições teve como objetivo abranger as variações sazonais, ou seja, os trimestres mais secos e úmidos.

Para facilitar a apresentação e discussão dos resultados obtidos, cada período de monitoramento foi referenciado como monitoramento 1, 2, 3, 4 e 5, referentes às datas de 25/11/2016 a 15/06/2017, de 16/06/2017 a 22/09/2017, de 23/09/2017 a 09/12/2017, de 10/12/2017 a 10/03/2018 e de 11/03/2018 a 21/06/2018, respectivamente. Quando a apresentação e discussão dos resultados chegaram a abranger todo o período de monitoramento, este foi referenciado como monitoramento total.

As medições dos recuos foram realizadas utilizando-se estacas de madeira e/ou árvores como referência (Figura 19), as quais foram fixadas na terceira campanha de campo, realizada nos dias 25 e 26 de novembro de 2016.

Figura 19 - Estaca e árvore utilizada como referência



As estacas foram posicionadas próximas à margem, a uma distância de 3m da borda do talude, de forma que não fossem afetadas por desmoronamentos. Foram fixadas na posição vertical e georreferenciadas com GPS. O número de estacas utilizadas em cada ponto de controle variou em virtude das características da área, sendo utilizadas duas estacas nos pontos 1 e 2, e três estacas/árvores nos pontos 3, 4 e 5, com um espaçamento de 3m entre elas. Nos locais com a presença de árvores com troncos sólidos, estas foram utilizadas como referência, pois desse modo evita-se a perda da estaca por retirada das pessoas que transitam nos locais, embora as árvores também possam ser cortadas.

Como referencial para a realização das leituras, também foram cravadas estacas de madeira ao longo do alinhamento do perfil de cada seção de controle. O recuo foi medido a partir das estacas/árvores com uma trena, e a taxa de erosão foi calculada a partir da média do recuo de cada estaca/árvore em cada ponto de controle.

As estacas/árvores utilizadas para as medidas dos recuos foram também utilizadas como referência para a realização do método das perfilagens sucessivas (HUDSON, 1982), a partir do qual foram medidas as alturas dos taludes e realizado o acompanhamento das alterações em sua face.

A altura média da margem foi determinada e corresponde à média das alturas dos taludes em cada ponto de controle medidas no primeiro campo realizado em 25 de novembro de 2016. Foi determinada também a declividade média do leito próximo as margens de cada ponto de controle, correspondente à média das medições realizadas durante os períodos de monitoramento.

Para estas medições foram utilizadas duas réguas portáteis e trena.

As seções de referência de cada ponto de controle (estacas) foram indicadas por dois números, sendo que o primeiro refere-se ao ponto de controle e o segundo à seção referenciada considerando a sequência de montante para jusante do reservatório.

O traçado dos perfis transversais foi realizado apenas para o ponto de controle 3, pois foi o único ponto que apresentou recuo em todos os períodos de monitoramentos, com exceção do último monitoramento. Nos demais pontos, a presença de material desmoronado na base do talude e/ou a presença de vegetação em sua face impediu a realização dos perfis na maioria dos monitoramentos. Porém, foram conduzidos registros fotográficos para o acompanhamento da evolução do processo durante todo o período de monitoramento.

4.2.2 Coleta de amostras de materias inconsolidados

Foi realizada a investigação preliminar dos solos a partir da identificação tátil-visual, utilizando-se de procedimentos de análises pedológicas, conforme descritos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997). Após a delimitação dos horizontes e identificação das características morfológicas de cada ponto de controle, com exceção do ponto de controle 2, o qual consiste de um depósito aluvial, foram realizadas as coletas das amostras de forma deformada de cada horizonte do solo.

4.2.3 Medições das velocidades dos fluxos d'água em seções transversais

Foram obtidos os perfis de velocidades dos fluxos d'água em quatro seções transversais, ou seja, nos pontos de controle 1, 2, 3 e 4 utilizando o ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*), modelo Riverway 600 da Teledyne. O ADCP foi instalado na borda do barco por um suporte de alumínio para evitar que a magnetização interferisse na medição, e um *notebook* foi usado para registrar os dados coletados.

A distância foi percorrida de uma margem à outra com velocidade contínua, sendo os dados automaticamente registrados. Para iniciar o uso do ADCP foi necessário conduzir sua calibração, testar o envio e o recebimento de sinais entre o computador e o aparelho e o funcionamento dos *beens* (sensores de medição).

Após os testes, foram informados alguns parâmetros para o *software WinRiver*, inserindo dados de profundidade máxima do canal, velocidade máxima da água e do barco, profundidade na qual os *beens* foram posicionados e local para armazenamento dos dados. O programa *WinRiver* armazena, processa e exibe os dados registrados pelo ADCP. Dentre as informações fornecidas pelo programa, as utilizadas foram as medidas de velocidades do fluxo.

4.2.4 Levantamento batimétrico em trecho delimitado

Foi escolhido um trecho na área teste de modo a abranger um dos pontos de controle (Ponto 3) e também um dos trechos mais críticos com relação aos processos erosivos na área delimitada para a pesquisa.

Primeiramente foi realizado o planejamento do levantamento visando à determinação preliminar da disposição e distanciamento entre os transectos para o local de estudo de modo a otimizar o trabalho de campo. Com relação à determinação da localização dos transectos, os métodos geralmente utilizados são baseados na área do reservatório e no objetivo do levantamento (CARVALHO et al., 2000; FERREIRA; RODRIGUES; SANTOS, 2012; MATOS; ESTIGONI; MAUAD, 2011).

De acordo com Lopes, Ribeiro Neto e Cirilo (2013), em levantamentos batimétricos, pode-se melhorar o delineamento dos transectos utilizando as cartas topográficas do local existentes anteriormente ao fechamento da barragem.

Optamos na presente pesquisa pela utilização da carta topográfica para a definição da localização dos transectos, a qual foi adquirida no Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC), na escala 1:10.000, referente ao ano de 1984. Foi utilizada apenas uma carta topográfica, a carta do Porto Euclides da Cunha (SF-22-Y-A-VI-2-NE-C), no sistema de referência Córrego Alegre, a qual se encontra na Zona UTM (Universal Transversa de Mercator) 22S.

Portanto, os espaçamentos entre as seções foram definidos em função do relevo conhecido antes do enchimento do reservatório, de modo que as distâncias entre os transectos foram definidas em função das mudanças observadas nestas, e dando preferência a seções com menores espaçamento próximas ao ponto de monitoramento. Desse modo, conseguimos diminuir o tempo e os custos envolvidos no procedimento. Após a definição das seções, foi realizada a coleta de dados, seu processamento e a elaboração do mapa batimétrico.

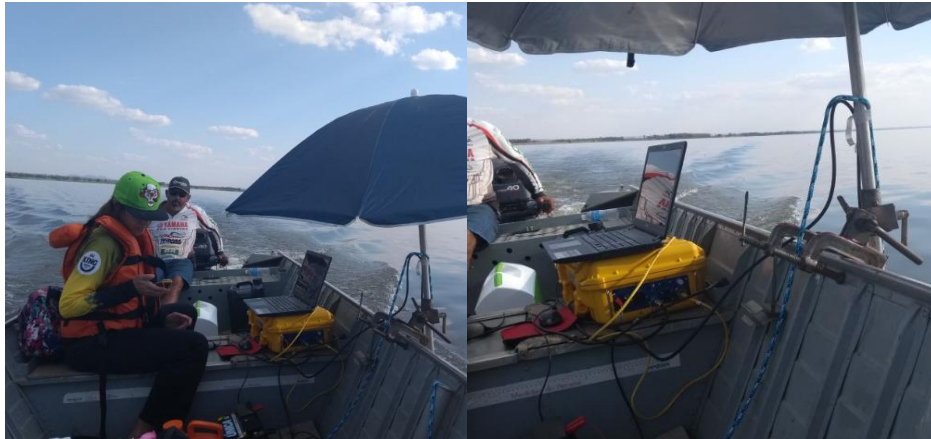
Os dados foram coletados utilizando o ecobatímetro MX *Echosounder* (Figura 20).

A utilização da ecosonda requer um *notebook* no qual é instalado o *software Visual Acquisition*, versão 6.3.1.10980, contendo três funções principais: configurar e controlar a ecosonda, visualizar os dados adquiridos e registrar os dados coletados em um formato que pode ser reproduzido em uma variedade de *software* de pós-processamento e análise de dados.

O transdutor do ecobatímetro foi posicionado verticalmente a uma profundidade de 40cm em uma das laterais do barco, suspenso por uma haste.

Por meio do *notebook*, a partir do *software Visual Acquisition*, os dados obtidos pela ecosonda eram visualizados em tempo real por meio de um ecograma que descreve a profundidade do relevo submerso e a presença ou ausência de macrófitas aquáticas submersas, para então serem armazenados em arquivos individuais para cada transecto.

Figura 20 - Levantamento de campo com o ecobatímetro



Foram realizadas 13 seções batimétricas transversais, com distâncias variadas entre as seções, conforme descrito anteriormente, em função da carta topográfica. Os resultados da batimetria foram inseridos no modelo SWAN, gerando um campo de ondas o qual foi comparado com o campo gerado quando utilizada a batimetria fictícia constante.

4.3 Atividade de laboratório

Devido à necessidade de detalhamento para um melhor entendimento da dinâmica erosiva presente nas margens do reservatório, foi realizada a identificação dos tipos de solos, em perfis verticais envolvendo a análise granulométrica realizada para os pontos de monitoramento.

As amostras de solo coletadas em campo foram manuseadas no laboratório de Sedimentologia, Pedologia e Palinologia localizado na sede do Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente (GEMA) da Universidade Estadual de Maringá ao longo do período de 12/12/2016 a 21/12/2016. Conduziu-se sua análise granulométrica, composta de duas fases: peneiramento e sedimentação. O método utilizado para a análise foi o da Embrapa (1997).

As Figuras 21 a 24 mostram os equipamentos utilizados na análise granulométrica.

Para a classificação textural dos horizontes, foram empregados os seguintes grupamentos segundo Embrapa (2006):

Textura arenosa - compreende as classes texturais areia e areia franca;

Textura média - compreende classes texturais ou parte delas, tendo na composição granulométrica menos de 35% de argila e mais de 15% de areia, excluídas as classes texturais areia e areia franca;

Textura argilosa - compreende classes texturais ou parte delas, tendo na composição granulométrica de 35% a 60% de argila;

Textura muito argilosa - Compreende classe textural com mais de 60% de argila;

Textura siltosa - Compreende parte de classes texturais que tenham menos de 35% de argila e menos de 15% de areia.

Figura 21 - Mesa agitadora e quarteador



Figura 22 - Estufa para secagem das amostras e balança eletrônica de precisão 0,01g



Figura 23 - Balança eletrônica de precisão 0,0001g e provetas utilizadas no método da pipetagem

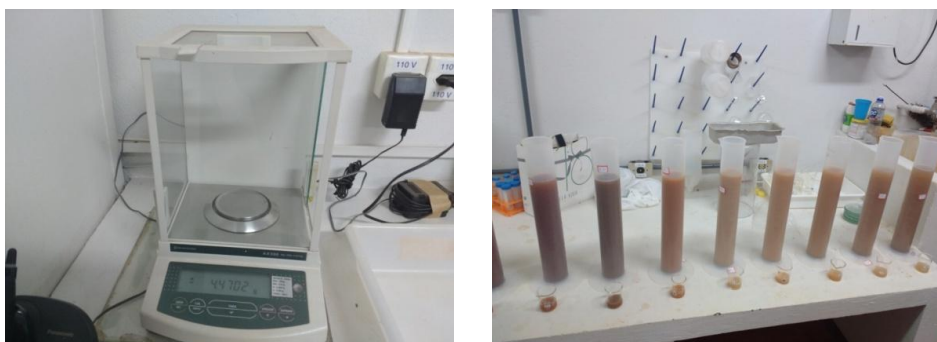


Figura 24 - Agitador mecânico utilizado nos ensaios de peneiramento



4.4 Atividades de gabinete

A seguir são descritos os meios de obtenção e tratamento dos dados climáticos (vento e precipitação) e de cota do nível d'água do reservatório, assim como a determinação do *fetch*, da energia das ondas pela técnica de Modelagem Paramétrica Bidimensional (MPB), da validade das hipóteses adotadas no uso dessa técnica e os desdobramentos dos fatores *fetch*, como os *fetchs* equivalente e o *fetch* equivalente ativo, e da energia das ondas, como as energia equivalente e energia equivalente ativa. Ademais, é descrita a forma de obtenção do modelo de regressão linear para estimativa do recuo das margens. As análises, de modo geral, foram realizadas considerando duas escalas, ou seja, a local e a espacial. Em cada tópico são descritas as comparações e correlações realizadas, bem como os *softwares* utilizados.

4.4.1 Obtenção e tratamento dos dados de vento, precipitação e cota do nível d'água do reservatório

Ventos

Inicialmente, os dados de ventos foram processados para o período de 2008 a 2014 por serem os disponíveis na época das análises iniciais realizadas. Os dados horários foram agrupados por direção do vento de modo a determinar a frequência do vento para cada direção do vento considerada, ou seja, considerando as oito direções principais do vento (E, N, S, W, NE, SE, SW e NW). Tal processo deu-se para verificar o padrão de distribuição temporal das direções dos ventos e obter as frequências do vento para cada direção do vento durante o

período para a determinação do campo de *fetch* equivalente. Tal campo foi utilizado como um dos parâmetros na definição dos pontos de controle.

Posteriormente, foram processados também os dados de ventos referente ao período de monitoramento, o qual compreendeu os meses de novembro de 2016 a junho de 2018, com relação à velocidade e à frequência dos ventos. Foram determinadas tanto as velocidades médias mensais quanto as máximas referentes a esse período para a caracterização dos ventos quanto às velocidades médias e frequências do vento para cada direção do vento para cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5), bem como considerando o monitoramento total (aproximadamente 19 meses). Essas determinações foram necessárias tanto para a determinação do *fetch* equivalente, para o qual é necessário o conhecimento da frequência dos ventos, quanto para a determinação da energia das ondas que atingem as margens do reservatório, para qual é necessária os dados de velocidade e frequência dos ventos.

Para tais processamento dos ventos foram utilizados os dados de intensidade e direção do vento obtidos da estação de Diamante do Norte (PR), código OMM/ 86861, em funcionamento desde 08/03/2008, altitude de 368 m, latitude de $-22^{\circ} 38' 21,72''$ S e longitude de $-52^{\circ} 53' 24,56''$ W. Trata-se de uma Estação Meteorológica Automática (EMA), pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O *U. S. Army Coastal Engineering Research Center* (1984) recomenda algumas correções nos dados de velocidade do vento quando forem utilizados para a geração de um campo de ondas, tais como: correções na velocidade do vento devido à elevação, velocidade média no tempo, efeitos de localização, instabilidades devido à diferença de temperatura entre o ar e a água e coeficiente de arraste. Tais correções também foram realizadas em estudos sobre reservatórios hidrelétricos no Brasil (HERNANDEZ, 2014; MARQUES, 2005; MORAIS, 2009). Desse modo, as correções foram realizadas atendendo a recomendação do *U. S. Army Coastal Engineering Research Center* (1984).

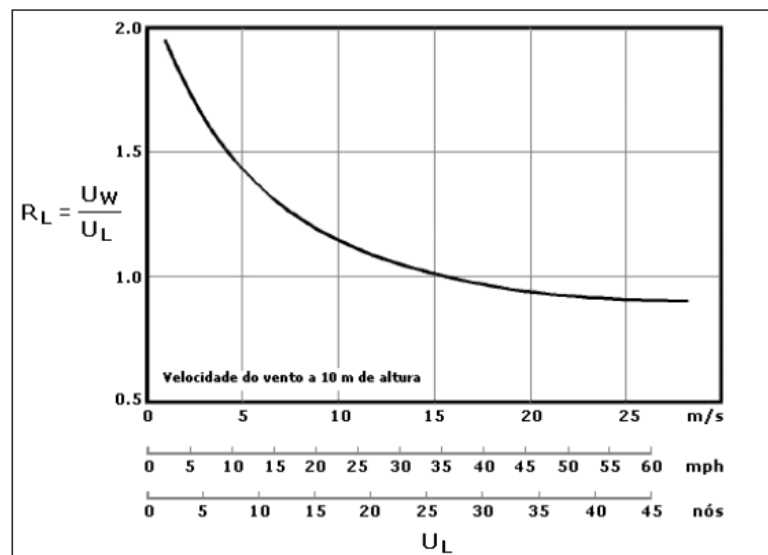
A correção devido à elevação deve ser conduzida quando as medições do vento são realizadas em uma altura diferente de 10m; uma vez que os dados utilizados, adquiridos na Estação Meteorológica de Diamante do Norte (PR), referem-se à velocidade medida à altura de 10m, não foi necessário realizar esta correção. Também não foi necessária a correção com relação à velocidade média no tempo, a qual deve ser considerada na geração de ondas, já que os dados de vento utilizados são os valores médios (no tempo) e não os máximos. Sendo assim, os valores das velocidades médias do vento obtidos para cada uma das direções foram

corrigidos apenas devido aos efeitos de localização, estabilidade térmica e coeficiente de arraste.

Como os dados de vento não foram medidos sobre a água, foi realizado o ajuste dos mesmos por terem sido coletados em terra. O coeficiente de conversão (R_L) entre essas duas velocidades a uma altura de 10 metros foi obtido pela Figura 25, na qual U_W e U_L representam, respectivamente, a velocidade do vento sobre a água e sobre a terra, sendo estimados os coeficientes R_L para a intensidade do vento para cada direção considerada.

Para a correção de estabilidade, devido à diferença de temperatura entre o ar e a água, foi adotado o coeficiente de 1,1, sendo este o valor recomendado quando não se dispõe de dados de temperatura d'água.

Figura 25 - Fator de correção devido à localização em terra do ponto de medição



Fonte: Adaptado de *U.S. Army Coastal Engineering Research Center* (1984)

Com relação ao coeficiente de arraste, as equações de geração de ondas do *U. S. Army Coastal Engineering Research Center* (1984) são empíricas e expressam a velocidade de atrito (u^*) em termos da velocidade do vento (U). Sendo assim, o ajuste foi realizado conforme a Equação 6:

$$u^* = 0,71U^{1,23} \quad (6)$$

As correções foram realizadas para cada direção do vento, sendo em seguida obtidas as médias das velocidades corrigidas para cada direção. Tais valores corrigidos foram os utilizados para a determinação da energia das ondas.

A determinação do campo de altura de ondas, como será visto posteriormente, foi baseada na hipótese de campo de vento uniforme. Sendo assim, para avaliar esta hipótese, foi utilizado o modelo INTERPLOT, desenvolvido por Marques (2013), para a geração dos campos de velocidade e direção do vento. Para a aplicação do modelo INTERPLOT, foram utilizados dados de direção e velocidade dos ventos para um período de 12 meses, referentes a 39 estações automáticas selecionadas, pertencentes ao INMET, instaladas em municípios dos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. A Tabela 1 apresenta a localização geográfica de cada estação meteorológica. Como a estação meteorológica automática de Diamante do Norte (PR) é a mais próxima da área de estudo, foram selecionadas com base nesta a maior velocidade horária e a respectiva direção do vento para cada mês, referentes ao período de setembro de 2016 a agosto de 2017, sendo que foram obtidos das demais estações selecionadas as intensidades e direções do vento referentes ao mesmo dia e hora.

Precipitação

Os dados de precipitação foram processados para dois períodos diferenciados. Primeiramente, foram processados para avaliar a sua distribuição temporal na região referentes ao período de 2008 a 2015. Após, abrangeu-se o período referente ao período de monitoramento total, de novembro de 2016 a junho de 2018. Os dados de precipitação referentes ao período de 2008 a 2015 foram provenientes da Estação de Diamante do Norte (PR), sendo os dados desse período disponibilizados pela Duke Energy.

Os valores precipitados em cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e no monitoramento total foram confrontados com os recuos das margens correspondentes ao mesmo período. Para tal, utilizaram-se os dados de precipitação referentes à estação automática de Diamante do Norte (PR), fornecidos pelo INMET.

Contudo, devido a uma falha nos equipamentos de coleta e/ou na transmissão dos dados, tivemos ausência de medições em alguns meses. Sendo assim, para esses meses foram solicitados os dados à Agência Nacional de Águas (ANA), preenchendo assim as falhas nos dados de precipitação por tais dados disponibilizados referentes à estação fluviométrica UHE Rosana Barramento (SP), a qual situa-se próxima à estação de Diamante do Norte (PR), na altitude de 261m, latitude de $-22^{\circ} 36' 15''$ S e longitude de $-52^{\circ} 52' 31''$ W. Estes foram referentes aos meses de novembro de 2016, junho e outubro de 2017, e março e abril de 2018.

Tabela 1 - Localização das estações meteorológicas pertencentes ao INMET selecionadas para a determinação dos campos de ventos

Código	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (m)
A849	Diamante do Norte (PR)	-22.639366°	-52.890156°	368
A756	Água Clara (MS)	-20.44444°	-52.87583°	324
A750	Amambai (MS)	-23.002530°	-55.329357°	434
A719	Aquidauana (MS)	-20.475420°	-55.784006°	151
A759	Bataguassu (MS)	-21.750123°	-52.471294°	392
A702	Campo Grande (MS)	-20.447195°	-54.722615°	528
A721	Dourados (MS)	-22.193920°	-54.911355°	463
A709	Ivinhema (MS)	-22.300421°	-53.822895°	377
A758	Jardim (MS)	-21.478529°	-56.137717°	252
A749	Juti (MS)	-22.857210°	-54.605634°	375
A731	Maracaju (MS)	-21.609036°	-55.177531°	389
A703	Ponta Porã (MS)	-22.552448°	-55.716317°	668
A743	Rio Brilhante (MS)	-21.774940°	-54.528108°	324
A751	Sete Quedas (MS)	-23.966893°	-55.024227°	398
A754	Sidrolândia (MS)	-20.981637°	-54.971870°	471
A704	Três Lagoas (MS)	-20.7900°	-51.7122°	329
B803	Campina da Lagoa (PR)	-24.570861°	-52.800256°	598
A819	Castro (PR)	-24.786954°	-49.999266°	994
A869	Cidade Gaúcha (PR)	-23.359156°	-52.931912°	366
A824	Icaraima (PR)	-23.390380°	-53.635933°	381
A821	Joaquim Tavora (PR)	-23.505266°	-49.946387°	513
A820	Marechal Candido Rondon (PR)	-24.533303°	-54.019248°	392
A835	Maringá (PR)	-23.405357°	-51.932828°	549
A842	Nova Fátima (PR)	-23.415284°	-50.577744°	664
A822	Nova Tebas (PR)	-24.437346°	-51.963020°	656
A850	Paranapoema (PR)	-22.658273°	-52.134526°	309
A736	Ariranha (SP)	-21.132937°	-48.840426°	525
A725	Avaré (SP)	-23.101749°	-48.940997°	776
A705	Bauru (SP)	-22.358052°	-49.028877°	636
A762	Dracena (SP)	-21.457699°	-51.552254°	720
A737	Ibitinga (SP)	-21.855567°	-48.799717°	497
A714	Itapeva (SP)	-23.981918°	-48.885818°	743
A735	José Bonifácio (SP)	-21.085675°	-49.920388°	408
A727	Lins (SP)	-21.666045°	-49.734854°	461
A716	Ourinhos (SP)	-22.949000°	-49.894546°	443
A707	Presidente Prudente (SP)	-22.119867°	-51.408637°	432
A718	Rancharia (SP)	-22.372832°	-50.974710°	399
A734	Valparaíso (SP)	-21.319138°	-50.930158°	382
A729	Votuporanga (SP)	-20.403221°	-49.966031°	510

Cotas do nível d'água do reservatório

De modo a caracterizar a amplitude da faixa de depleção no reservatório da UHE Rosana (SP/PR), foram tratados os dados de cotas históricas do nível d'água, disponibilizados também pela Duke Energy, e referentes ao período de 1988 a 2015. Os dados foram processados a partir dos dados da cota horária do nível d'água, sendo apresentados graficamente e na forma de tabela. Referem-se aos níveis máximo e mínimo para cada ano bem como aos níveis médios mensais. Foi também elaborada a curva de permanência referente ao período citado.

A curva de permanência representa uma curva de distribuição das frequências acumuladas de ocorrências das cotas do reservatório. O gráfico informa com que frequência a cota de dada magnitude é igualada ou superada durante o período de registro das cotas. O traçado da curva é elaborado com a cota no eixo da ordenada contra a porcentagem do tempo em que essa cota é igualada ou superada no eixo da abscissa.

A caracterização da amplitude da faixa de depleção durante o monitoramento total também foi realizada com base nas cotas máximas e mínimas referentes a cada mês, sendo também elaborada a curva de permanência com relação ao monitoramento total e aos monitoramentos 1, 2, 3, 4 e 5. Os dados referentes às cotas horárias do nível d'água para tal período foram fornecidos pela ANA, a qual enviava os dados após a realização de cada campo, mediante solicitação.

4.4.2 Análise de sensibilidade dos métodos de obtenção do fetch e determinação dos mapas de fetch

Para identificar o método de obtenção do *fetch* que gera resultados mais adequados para esta pesquisa, foram testados dois métodos consagrados na literatura: o Método de Saville (MS) e o método do *Fetch* Oceânico (FO). Com relação ao Método de Saville, foram comparadas diferentes resoluções (ângulos de 1, 5, 15 e 45 graus entre as linhas radiais). Os mapas foram gerados apenas para ventos provenientes da direção E por ser a direção mais frequente dos ventos na região no período de 2008 a 2014.

Os mapas de *fetch* foram obtidos com a aplicação do modelo ONDACAD, que gerou os mapas mediante à discretização da superfície do corpo d'água por uma malha estruturada

quadrangular, de 120m, tendo a margem como limite. Em cada nó da malha foi aplicado o método a ser testado para a direção do vento considerada (Leste).

Para executar o programa foram necessárias: a seleção da margem, a direção do vento, a distância entre os nós da malha e a escolha do método de obtenção do *fetch* a ser utilizado. Os limites da margem foram obtidos a partir do arquivo vetorial gerado pela imagem do satélite LandSat 8, sensor OLI (*Operacional Terra Imager*), órbita ponto 223/76, do dia 03 de abril de 2017. A imagem foi adquirida de forma gratuita na página do *United States Geological Survey* (USGS).

A análise de sensibilidade dos métodos de obtenção do *fetch* foi realizada por meio da comparação visual dos mapas gerados com relação a distribuição espacial dos *fetchs* e das magnitudes dos *fetchs* máximos.

Após a comparação dos resultados entre os métodos, os mapas de *fetch* foram obtidos para as demais direções principais da rosa dos ventos (N, S, W, NE, SE, SW, NW). Tais mapas foram também utilizados para realizar comparações com o mapa dos processos erosivos cadastrados por Rubio (2014).

O mapa com o cadastramento das feições erosivas apresentado por Rubio (2014) foi adaptado de modo a apresentar apenas as feições presentes na área delimitada desta pesquisa, o trecho inferior do reservatório da UHE Rosana (SP/PR), sendo que as comparações com os *fetchs* se restringiram a este trecho.

4.4.3 Aplicação da técnica de Modelagem Paramétrica Bidimensional (MPB)

A determinação da energia das ondas, utilizando uma equação paramétrica específica para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), foi realizada a partir da técnica de Modelagem Paramétrica Bidimensional (MPB), muito útil uma vez que as informações disponíveis sobre ondas, por imagens de satélite gratuitas, ainda não atingiram o grau e a precisão suficientes. Considerando também que a distribuição de uma rede de ondógrafos torna os custos proibitivos para esta pesquisa, assim como a utilização de modelos computacionais como o SWAN, exige pessoal com alto nível de qualificação, segundo Marques (2013).

Conforme apresentado na Parte 2, a energia média por unidade de área superficial (J/m^2), conhecida como densidade de energia ou energia específica de uma onda, é dada por (KINSMAN, 1984):

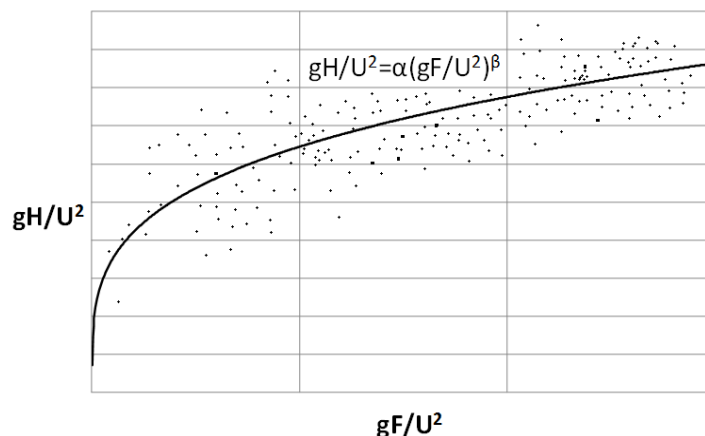
$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (4)$$

Sendo: ρ a massa específica da água (Kg/m^3), g a aceleração gravitacional (m/s^2) e H a altura da onda (m).

A viabilidade em converter um campo de *fetch* em um campo de altura de onda, como demonstrado por Marques (2013) por meio da técnica MPB, permitiu que fosse aplicada a equação 2 para a determinação da energia da onda. A técnica MPB está fundamentada na capacidade de converter um campo de *fetch* em um campo de altura das ondas a partir de uma equação de transformação que gera resultados semelhantes aos produzidos por um modelo numérico de base física, como o módulo de ondas SWAN do modelo Delft3D.

Essa equação de transformação é determinada por análise dimensional pela utilização dos resultados dos modelos computacionais SWAN e ONDACAD a partir da técnica MPB. Para a obtenção da equação paramétrica que relaciona o *fetch* (F) e a intensidade do vento (U) à energia da onda, foi considerada a topologia de uma curva do tipo potência no diagrama de *fetch* adimensional (gF/U^2) versus altura da onda adimensional (gH/U^2), conforme a Figura 26.

Figura 26 - Diagrama adimensional de *fetch* versus altura de onda



Fonte: Marques (2013)

A topologia de uma curva tipo potência é representada pela seguinte equação:

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha \left(\frac{gF}{U^2} \right)^\beta \quad (7)$$

Ou seja, a partir da relação entre os adimensionais, representados pelo asterisco nas equações a seguir:

$$H^* = \left(\frac{gH}{U^2} \right) \quad (8)$$

$$F^* = \left(\frac{gF}{U^2} \right) \quad (9)$$

Isolando a altura da onda (H) na equação (7) e aplicando-a na equação (4), resulta em:

$$E = \frac{1}{8} \frac{\rho}{g} \alpha^2 U^4 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{2\beta} \quad (10)$$

Ou seja, os coeficientes α e β foram determinados pela análise de correlação entre o campo de *fetch* gerado pelo modelo ONDACAD e o campo de ondas gerado pelo módulo SWAN do modelo Delft3D para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR).

No processo de modelagem, a representação georreferenciada das margens do reservatório foi fornecida ao modelo SWAN. Os limites do reservatório foram obtidos conforme descrito anteriormente no item 4.4.2, no qual também foi apresentado o procedimento para a determinação do campo de *fetch*.

Para a obtenção do campo de ondas pelo SWAN, assim como utilizado no modelo ONDACAD, foi definida uma malha com 120m de resolução, permitindo a construção de aproximadamente 15 mil nós.

Na geração do campo de ondas pelo modelo SWAN foi considerada a condição de águas profundas pela adoção de um fundo com profundidade uniforme de 50m. A consideração da hipótese de águas profundas é necessária uma vez que a técnica MPB é válida para tal condição. A verificação da adoção da hipótese de águas profundas foi realizada por meio do levantamento batimétrico conduzido, como descrito anteriormente.

No que concerne à forçante, foi adotado o campo de vento uniforme soprando da direção leste por constituir-se na direção de maiores comprimentos de *fetch* para o reservatório, conforme procedimento adotado por Marques (2013) para a proposição da equação paramétrica pela técnica de Modelagem Paramétrica Bidimensional.

Quanto à intensidade do vento, foram adotadas as velocidades de 5, 10, 15 e 20 m/s, acompanhando a abordagem dada por grande parte dos estudos realizados no Brasil nos últimos anos (ARANTES et al., 2014; MARQUES, 2013), sendo que a intensidade do vento de 20m/s refere-se a uma condição extrema e 5m/s à ordem da velocidade do vento reinante no reservatório da UHE Rosana (SP/PR). Como explicado anteriormente, uma equação paramétrica relaciona as variáveis adimensionais H^* e F^* . Sendo assim, a equação paramétrica foi obtida pela construção do diagrama adimensional, que relaciona ambas as

variáveis citadas pela plotagem dos pontos relacionados às quatro intensidades do vento adotadas. Os valores de gF/U^2 foram dispostos no eixo das abscissas e representam os resultados obtidos pelo modelo ONDACAD para a determinação do *fetch* a partir Método de Saville com resolução de um grau entre as linhas radiais. Os valores de gH/U^2 foram dispostos no eixo das ordenadas e representam os resultados gerados pelo modelo SWAN.

Como foram consideradas quatro intensidades do vento, uma nuvem constituída por aproximadamente 60 mil pontos foi obtida no gráfico adimensional.

A determinação dos coeficientes α e β , deu-se pelo ajuste dos pontos por uma curva do tipo potência. Como foi verificado que tais coeficientes são função da intensidade do vento, foram propostas duas equações, ou seja, uma para o coeficiente α e uma para o coeficiente β , as quais descrevem o ajuste dos coeficientes com a velocidade do vento. Pela técnica MPB um campo de *fetch* pôde ser convertido em um campo de ondas, obedecendo a uma equação paramétrica desenvolvida especialmente para o reservatório em estudo.

Por meio da equação paramétrica obtida, foi gerado um mapa temático de distribuição das alturas das ondas para os ventos provenientes da direção assim como para as quatro intensidades do vento consideradas (5, 10, 15 e 20m/s). Tais mapas foram gerados usando o programa ONDACAD. As simulações do modelo SWAN utilizadas nesta pesquisa foram realizadas com a versão Delft3D 4.94.01.15654 (*Open Surce Hydro-Morphodynamics*), no modo estacionário de terceira geração.

Para a execução do modelo SWAN foram fornecidos o arquivo da batimetria fictícia da área de estudo e um arquivo de entrada que definiu todos os parâmetros de configuração do modelo, como as condições de fronteira, a definição do domínio geográfico, espectral e temporal, os fenômenos físicos a considerar nos cálculos a efetuar, a velocidade do vento e o tipo de saída de dados. Dessa maneira, foram obtidos os mapas de alturas de ondas em escala cromática para as intensidades dos ventos consideradas (5, 10, 15 e 20m/s) e os arquivos texto com a descrição dos valores obtidos em cada ponto da malha.

O modelo permite incluir diferentes fenômenos físicos que podem afetar a propagação das ondas. Para a geração do campo de ondas considerando a batimetria fictícia de águas profundas, foram selecionados os fenômenos considerados conforme Battjes e Stive (1985), indicando a importância dos diferentes processos que afetam a evolução das ondas em águas profundas, intermédias e pouco profundas. Portanto, foram considerados os seguintes processos: geração por vento, interações quádruplas e refração.

Os mapas de altura de ondas obtidos pelo modelo SWAN foram comparados com os mapas de alturas obtidos pela equação paramétrica, gerados a partir do modelo ONDACAD. Ademais, em escala local, foi realizada a correlação entre as alturas de ondas obtidas pelo modelo SWAN para cada intensidade do vento considerada e para cada ponto controle e a respectiva altura obtida pela equação paramétrica.

4.4.4 Avaliação da hipótese de águas profundas

A avaliação da hipótese de águas profundas deu-se pela comparação entre os mapas de alturas de ondas gerados com a batimetria fictícia, conforme descrito anteriormente no item 4.4.3, com os mapas de alturas de ondas gerados com o levantamento batimétrico realizado em trecho delimitado do reservatório, ambos gerados com o modelo SWAN.

Na configuração do SWAN na geração do mapa com a batimetria foram incluídos alguns processos que influenciam o desenvolvimento da ondas em águas pouco profundas, tais como o empolamento e a rebentação por influência do fundo e por excesso de declividade (*whitecapping*) e a interação onda-onda tripla. Tais processos foram considerados também por Vieira (2013) na aplicação do modelo SWAN para o reservatório de Ilha Solteira (SP/MS).

O mapa batimétrico foi construído usando o *software Surfer* versão 9, interpolador *Kriging*. Foi elaborado ainda um perfil transversal próximo ao ponto de controle 3 com o intuito de melhor visualizar a profundidade d'água próxima a esse ponto e na margem oposta a ele. O perfil foi gerado no *software Global Mapper* versão 11. Tanto o mapa batimétrico quanto o perfil foram finalizados utilizando o *software Corel Draw X7*.

4.4.5 Determinação dos campos de vento

A espacialização dos campos de vento foi realizada por meio do método de interpolação linear pela utilização do modelo INTERPLOT, desenvolvido por Marques (2013), o qual faz a interpolação bidimensional do vento por meio do método do inverso ponderado pela distância.

O modelo INTERPLOT gera o campo de vento para as direções i e j , perpendiculares entre si, conforme as equações 11 e 12:

$$u_i = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{u_i}{r_i^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i^\beta}} \quad (11)$$

$$u_j = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{u_j}{r_j^\beta}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{r_j^\beta}} \quad (12)$$

Nas duas equações o valor interpolado do vento (u_i , u_j) é obtido com base na distância (r_i , r_j) entre o nó da grade e a estação; β é o expoente de ponderação e n o número de estações anemométricas envolvidas.

Nesse método, os pesos dos dados são avaliados durante o processo de interpolação, tal que a influência de cada ponto é inversamente proporcional a distância do nó da malha. Uma de suas características é a geração de efeito mira ou "*bull's eye*", em torno dos pontos observados.

O modelo INTERPLOT assume as seguintes hipóteses na obtenção do campo de ventos: (1) todas as estações estão localizadas na mesma elevação e, portanto, os vetores gerados por interpolação são coplanares; e (2) as variações de rugosidade, provocadas pelo uso e ocupação do solo na área de interpolação, não são consideradas (MARQUES, 2013).

Para a execução do modelo é necessário definir a delimitação gráfica do local onde serão gerados os campos de vento, fornecer os nomes das estações, sua latitude e longitude, as dimensões da malha a ser gerada e a intensidade e direção do vento de cada estação. No caso de dados de vento provenientes de estação meteorológica instalada sobre a água, deve ser informado ao programa a variação de temperatura entre a superfície da água e do solo.

O modelo INTERPLOT gera um arquivo com extensão texto com a localização, a intensidade e a direção do vento produzida pelo processo de interpolação para cada nó da malha retangular gerada. Já a saída gráfica consiste dos mapas, tanto de intensidade dos ventos quanto de direção.

Para verificar a suposição de uniformidade da intensidade e direção do vento, foi tomada como referência a recomendação do *U. S. Army Coastal Engineering Research Center* (1984), segundo a qual o vento pode ser considerado constante quando a variação da intensidade for inferior a $2,5 \text{ ms}^{-1}$ e o desvio de direção for inferior a 45° .

Sendo assim, foram gerados os mapas de amplitude de intensidade e direção do vento para cada mês de um período de 12 meses. As amplitudes foram determinadas com relação a um local adjacente ao eixo da barragem.

4.4.6 Determinação do *fetch* equivalente e do *fetch* equivalente ativo

O mapa do *fetch* equivalente foi gerado a partir dos mapas de *fetch* para cada direção do vento gerados no item 4.4.2. O *fetch* equivalente consiste do *fetch* ponderado pela frequência do vento nas oito direções principais do vento. O *fetch* equivalente (F_{eq}) foi calculado para cada nó da malha gerado pelo programa ONDACAD, ou seja, em aproximadamente 15.000 pontos, por meio da equação 13:

$$F_{eq} = \sum_{i=1}^8 F_i f_i \quad (13)$$

Sendo F_i o *fetch* determinado na direção "i" e f_i a frequência do vento na mesma direção.

O valor F_i é obtido a partir de um arquivo de texto gerado pelo modelo ONDACAD, contendo as informações das coordenadas de cada ponto da malha gerada, seguido do comprimento do *fetch* para cada direção do vento ("i") considerada.

A partir dos dados da frequência do vento para cada direção do vento e do valor de F_i , a Equação 9 é aplicada a cada coordenada da malha utilizando o *software Microsoft Office Excel*. Os resultados obtidos do *fetch* equivalente para cada coordenada foram inseridos no modelo ONDACAD, sendo gerado o mapa de *fetch* equivalente.

Primeiramente, os mapas de *fetch* equivalente foram gerados utilizando os dados de frequência dos ventos obtidos para o período de 2008 a 2014. Tal mapa foi utilizado para auxiliar na definição dos pontos de controle, tendo sido selecionados diferentes magnitudes do *fetch* equivalente.

O *fetch* equivalente também foi obtido para cada ponto de controle, considerando os períodos de monitoramento 1, 2, 3, 4 e 5 e também o monitoramento total a fim de que se verificasse a existência de correlação entre eles e os recuos medidos no mesmo período.

Em termos regionais, foram ainda confrontados os processos erosivos cadastrados por Rubio (2014) com o mapa do *fetch* equivalente gerado para o período de 2008 a 2014, conforme descrito anteriormente, bem como com o mapa do *fetch* equivalente obtido considerando o monitoramento total (aproximadamente 19 meses).

Uma vez que o ângulo de incidência das ondas no talude varia em função da orientação da margem, foi considerada sua orientação na determinação do *fetch* equivalente, ou seja, foi determinada a componente do *fetch* perpendicular à margem, denominado de *fetch* equivalente ativo (F_a). Isso quer dizer que o *fetch* equivalente ativo foi obtido pela

multiplicação do *fetch* pelo seno do ângulo entre a direção do vento considerada e a orientação da margem e pela frequência do vento, conforme a equação 14.

$$F_a = \sum_{i=1}^8 f_i (F_i \text{sen}\theta_i) \quad (14)$$

Sendo θ_i o ângulo entre a direção do vento e a orientação da margem.

A determinação da orientação das margens ocorreu pela medida do azimute de cada trecho retilíneo que compõe a margem por meio da base cartográfica gerada para a determinação do mapa de *fetch*.

Essa nova variável, o *fetch* equivalente ativo, também foi correlacionada ao recuo das margens seguindo o mesmo procedimento realizado para o *fetch* equivalente. Porém, para a confrontação do *fetch* equivalente ativo com os processos erosivos cadastrados por Rubio (2014), foram utilizados apenas seus valores obtidos na margem do reservatório, sendo seu mapeamento elaborado com o auxílio do *software* Arcgis 10.4.1 (*free trial*).

Ainda, para que fosse possível a comparação entre os valores obtidos dos *fetchs* equivalente e equivalente ativo, os *fetchs* equivalentes também foram mapeados apenas próximos às margens.

4.4.7 Obtenção da energia equivalente e da energia equivalente ativa

A energia equivalente representa a taxa de energia constante que, fornecida continuamente ao longo de todo o tempo no ponto considerado, equivaleria à energia recebida pelo vento no período analisado, esse é o conceito que fundamenta o método. Dessa forma, considere, por exemplo, a instalação de um equipamento que registrasse a energia da onda no tempo e que tal equipamento ficasse instalado durante determinado período. A razão entre a quantidade total de energia registrada e o tempo referente ao período de registro define uma taxa de energia: a Energia Equivalente.

Esse conceito visa substituir a intensidade e a frequência do vento, variáveis com a direção e dependentes do tempo, os campos de *fetch* e os campos de altura de ondas por uma única variável, a energia equivalente, independentemente da direção do vento e referente a um determinado período.

A frequência do vento, ou seja, a porcentagem de tempo em que o vento sopra em cada direção, foi aplicada para cada direção para ponderar sua influência na energia das ondas que

atingem as margens. A energia equivalente em um determinado ponto é então obtida conforme a equação 15:

$$E_{eq} = \sum_{i=1}^8 \frac{1}{8} \frac{\rho}{g} \alpha_i^2 U_i^4 \left(\frac{gF_i}{U_i^2} \right)^{2\beta_i} f_i \quad (15)$$

Sendo f_i a frequência ou a percentagem de tempo que o vento sopra na direção "i".

Assim como realizado para o *fetch* equivalente, foi considerada a orientação das margens na estimativa das energias das ondas que as atingem, denominada de energia equivalente ativa.

Para a estimativa da energia equivalente ativa em cada ponto da margem foi utilizada a equação 16:

$$E_a = \sum_{i=1}^8 \frac{1}{8} \frac{\rho}{g} \alpha_i^2 U_i^4 \left(\frac{gF_i}{U_i^2} \right)^{2\beta_i} f_i \sin\theta_i \quad (16)$$

Sendo θ_i o ângulo formado entre a direção que o vento sopra "i" e a orientação da margem.

Tanto a energia equivalente quanto a energia equivalente ativa foram determinadas para cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e também para o monitoramento total, sendo estas correlacionadas com os recuos medidos referentes aos respectivos monitoramentos.

4.4.8 Análises estatísticas

Os fatores intervenientes quantificados, como os *fetchs* equivalente e o equivalente ativo, as energias equivalente e a equivalente ativa, as cotas do nível d'água do reservatório, a precipitação, as declividades dos leitos submersos próximos às praias, as alturas dos taludes e a textura dos solos, foram correlacionados um a um com o recuo das margens, para verificar a existência de relacionamento entre eles. Para tal propósito, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson.

Ainda, com relação aos recuos medidos, para investigar a relação entre os recuos das margens e as energias equivalente e equivalente ativa, foi utilizado o modelo de regressão linear simples, tendo o recuo da margem como variável resposta (eixo y) e a energia equivalente (ativa) da onda (eixo x) como variável explicativa. O modelo de regressão é um dos métodos estatísticos mais usados para investigar a relação entre variáveis. O modelo foi comparado ao modelo nulo pela análise de variância, com teste F ao nível de 5% de

significância. A distribuição de erros Normal foi usada na análise do modelo, conduzida por meio do *software* livre R versão 1.1.423.

4.4.9 Proposição do mapa de estimativa do recuo

A partir do modelo de regressão linear obtido, foi estimado o recuo das margens ao longo da área delimitada para a pesquisa e elaborado um mapa *de recuos*. Para a elaboração do mapa de recuos foram excluídos os pontos com energias equivalentes ativas não abrangidas pela modelagem. O mapa foi gerado com o auxílio do *software* Arcgis 10.4.1 (*free trial*).

Para validar as estimativas dos recuos realizadas, estes foram confrontados com 26 locais a partir de registros fotográficos ao longo das margens do trecho inferior do reservatório da UHE Rosana (SP/PR). Tais pontos foram denominados pontos de aferição visual.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta parte da tese, são mostrados os resultados obtidos assim como uma discussão acerca destes, ou seja, desde os dados processados em gabinete, até os dados coletados em campo e tratados em laboratório e, por vezes, representados como produtos cartográficos.

Os fatores intervenientes obtidos e avaliados foram os seguintes: a textura do solo, o uso e ocupação da margem, a precipitação, a cota do nível d'água do reservatório, a velocidade do fluxo d'água, a energia da onda, através do *fetch* e da velocidade do vento, a frequência dos ventos, a orientação da margem, a declividade do leito próximo a margem e a altura do talude.

Primeiramente foi realizada a caracterização dos pontos de controle, com a localização geográfica de cada ponto, suas coordenadas e municípios em que estão localizados, a orientação das margens, a altura dos taludes, a declividade do leito próximo as margens, o tipo de uso e ocupação do solo, assim como a representação gráfica das faces do talude e as medidas dos recuos obtidas. Também foram descritos o desenvolvimento temporal e espacial dos processos erosivos observados nos pontos de controle durante os períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e apresentados os registros fotográficos que ilustram cada ponto de controle.

Foram apresentados e discutidos os fatores intervenientes com relação a textura do solo, o uso e ocupação da margem e a precipitação. A seguir foram tratados os aspectos referentes as ondas, como a cota do nível d'água do reservatório, a velocidade do fluxo d'água e o modo de obtenção do *fetch*, o qual foi discutido inicialmente em termos de sua obtenção devido a necessidade do mesmo para a obtenção da equação paramétrica. A obtenção dessa foi sucedida pela análise das hipóteses utilizadas na sua modelagem, a hipótese de águas profundas e de campo de vento uniforme.

Como a equação paramétrica definida depende do *fetch* e da intensidade do vento, os mesmos foram tratados e analisados individualmente, iniciando pelo *fetch* e em sequência foi incluída nas análises a velocidade do vento, através da energia da onda. Tanto na análise do *fetch* quanto da energia da onda, foram consideradas também a frequência do vento e a orientação da margem. As correlações utilizando tanto o *fetch* quanto a energia das ondas, abrangeram os pontos de controle e, quando necessária, foi realizada a análise espacial.

A seguir, a obtenção do modelo matemático para a estimativa do recuo médio das margens é discutida e validada para a área teste.

Todos os mapas apresentados nesta pesquisa foram produzidos abrangendo toda a extensão do reservatório da UHE Rosana (SP/PR), mas as análises e correlações foram realizadas apenas para a área delimitada de estudo, o trecho inferior do reservatório da UHE Rosana (SP/PR).

A seguir são apresentados os resultados e as discussões com relação aos fatores intervenientes relacionados.

5.1 Caracterização dos pontos de controle

Neste item são apresentadas as características de cada ponto de controle e as feições erosivas observadas durante os períodos de monitoramento, detalhando o entorno de cada ponto a partir de registros fotográficos.

Os registros fotográficos permitem visualizar a evolução das feições erosivas em cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5).

Na Tabela 2 são apresentadas algumas características dos pontos de controle, tais como a localização geográfica de cada ponto, a orientação da face da margem, sua altura média, a declividade média do leito e o uso e ocupação do solo.

Tabela 2 - Características dos pontos de controle levantadas na área teste, UHE Rosana (SP/PR)

Pontos de controle	Coordenadas UTM	Município	Orientação da margem	Altura média do talude (m)	Declividade média do leito (%)	Uso do solo
1	347.135 mE 7.498.350 mN	Euclides da Cunha Paulista (SP)	Sul	1,65	6,7	Pastagem
2	345.068 mE 7.498.140 mN	Euclides da Cunha Paulista (SP)	Sudoeste	1,37	11,8	Pastagem
3	333.140 mE 7.502.494 mN	Euclides da Cunha Paulista (SP)	Sul	2,52	7,2	Silvicultura
4	324.654 mE 7.495.264 mN	Terra Rica (PR)	Nordeste	1,82	5,2	Silvicultura
5	314.805 mE 7.500.575 mN	Rosana (SP)	Sudeste	0,99	4,9	Pastagem

Os recuos medidos durante cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e em cada ponto de controle, bem como o recuo com relação ao período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018), são apresentados na Tabela 3. Pode ser verificado nesta, que após o período de monitoramento 2, com exceção do ponto de controle 3, não ocorrem recuos nas margens.

Tabela 3 - Recuo da margem nos pontos de controle durante os períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e no monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018)

Pontos de controle	Recuo da margem (m)					
	Monit 1	Monit 2	Monit 3	Monit 4	Monit 5	Monit total
1	1,19	0,06	0	0	0	1,25
2	0,28	0,04	0	0	0	0,32
3	0,75	0,51	0,37	0,58	0	2,21
4	1,17	0,17	0	0	0	1,34
5	1,45	0,95	0	0	0,09	2,49

Nota: Monit (Monitoramento)

Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

A evolução da morfologia das margens dos pontos de controle no reservatório da UHE Rosana (SP/PR) foi acompanhada durante um período de aproximadamente 19 meses. Uma das características em comum entre os pontos de controle é a presença de desníveis abruptos entre a lâmina d'água e o topo do talude, mostrando a degradação da paisagem. A paisagem local e as feições erosivas em cada ponto de controle, podem ser visualizadas na Figura 27.

Tais feições erosivas são encontradas em vários trechos das margens do reservatório, sendo caracterizadas principalmente por taludes com faces verticais, ou seja, com inclinação da face próximo a 90°.

Do acompanhamento das feições erosivas durante os períodos de monitoramentos realizados, foi observado que os processos erosivos que se destacam nos pontos de controle são o solapamento da base e o desmoronamento da face e do topo do talude.

As fotos da Figura 28 mostram o solapamento na base dos taludes dos pontos de controle, sendo que apenas no ponto de controle 2, é visível uma perda discreta de material. Tal, como será visto adiante, é o ponto sujeito a menor energia das ondas.

A variação temporal da morfologia das margens é função do processo erosivo.

Figura 27 - Vista geral da área do entorno dos pontos de controle em 25/11/2016, nas margens do reservatório da UHE Rosana (SP/PR)

Continua



Figura 27 - Vista geral da área do entorno dos pontos de controle em 25/11/2016, nas margens do reservatório da UHE Rosana (SP/PR)

Conclusão

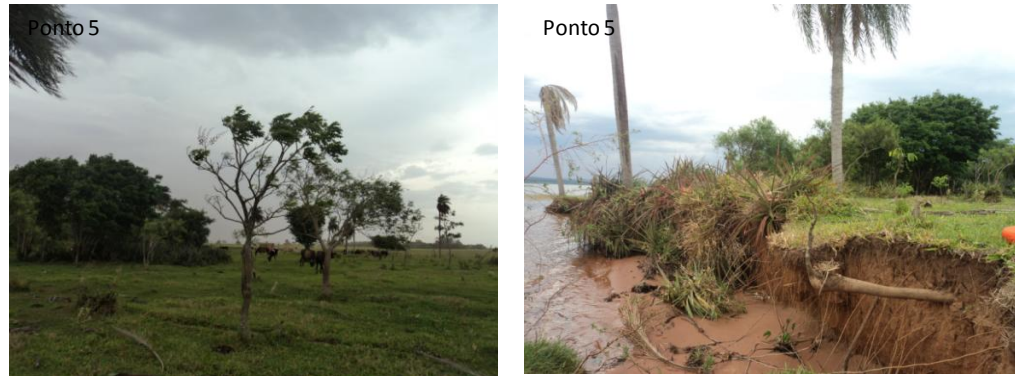


Figura 28 - Solapamento da base dos talude nos pontos de controle, no reservatório da UHE Rosana (SP/PR)



A paisagem é caracterizada temporalmente, ora por faces verticalizadas, ora pela presença de solapamento na base dos taludes, ou ainda pela presença de solo (blocos) e vegetação em sua base. Em todos os levantamentos de campo realizados, observou-se a presença de praias nesses pontos, as quais variavam em largura em função da variação da cota do nível d'água do reservatório. O termo "praia" aqui utilizado refere-se à parte seca entre a linha d'água e a base do talude.

Nos levantamentos de campo, o dia em que ocorreu a menor cota do nível d'água foi no mês de setembro de 2017, com variação diária de 257,44m a 257,61m, e a maior cota ocorreu em dezembro de 2017 com uma variação diária de 257,63m a 257,86m. A Figura 29 ilustra a variação da largura da praia no ponto de controle 3 nas datas citadas.

Figura 29 - Largura da praia no mês de setembro de 2017 (a esquerda) e em dezembro de 2017 (a direita)



A espessura dos sedimentos presentes nas praias variaram no decorrer dos monitoramentos, bem como sua inclinação. Os acúmulos de sedimentos pode ser visualizado na Figura 30, referentes aos pontos de controle 3 e 5, no mês de junho de 2017.

Figura 30 - Presença de sedimentos acumulados na praia nos pontos de controle 3 e 5, em junho de 2017, no reservatório da UHE Rosana (SP/PR)



É frequente o acúmulo de sedimentos nas praias, próximo à base dos taludes, em função do processo erosivo observado.

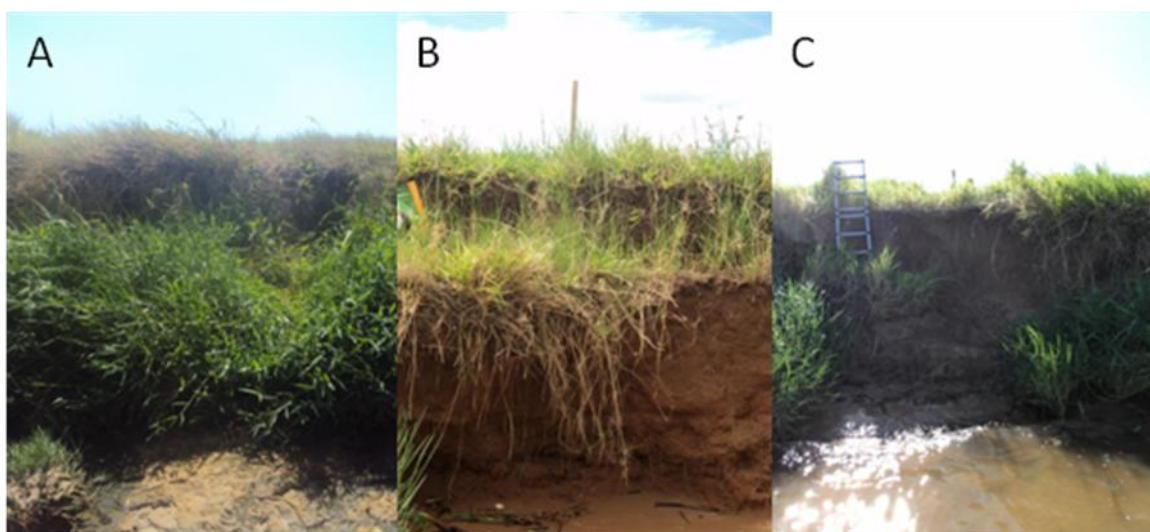
A seguir são descritas a evolução das feições erosivas observadas referente a cada ponto de controle, bem como os processos erosivos identificados.

- Ponto de controle 1

As feições erosivas referente ao ponto de controle 1 são apresentadas na Figura (31A, 31B e 31C).

A Figura 31A apresenta a feição referente à seção 1.1, já a Figura 31B apresenta a feição referente à seção 1.2, ambas referentes ao início do monitoramento em novembro de 2016 quando da instalação das estacas de referência. A Figura 31C apresenta novamente a seção 1.2, em junho de 2017, sendo que o material desmoronado nesse período permaneceu na base do talude até o último monitoramento em junho de 2018.

Figura 31 - Feições erosivas no ponto de controle 1, (A) referente a seção 1.1 em novembro de 2016, (B) e (C) referentes a seção 1.2, em novembro de 2016 e em junho de 2017 respectivamente



Nesse ponto de controle, percebeu-se notadamente a presença de dois tipos de processos erosivos: o escorregamento rotacional e o solapamento, conforme pode ser verificado na Figura 31B. Segundo Varnes (1978), quando ocorre por mais de um processo, o movimento de massa pode ser classificado como complexo.

Na seção 1.1, Figura 31A, a feição erosiva pouco se alterou até o final do monitoramento, ocorrendo apenas um maior desenvolvimento da vegetação.

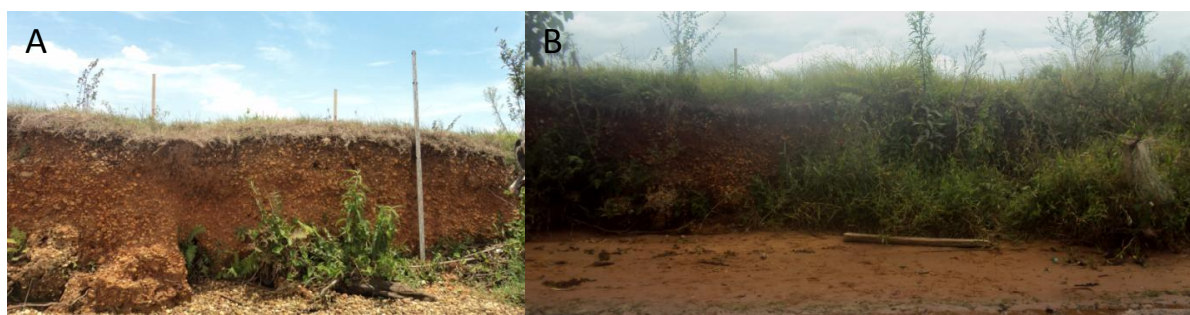
- Ponto de controle 2

No ponto de controle 2 foi o local de menor recuo. A Figura 32A corresponde à feição erosiva existente em novembro de 2016, abrangendo as duas seções de referência, enquanto que a Figura 32B corresponde à feição no último monitoramento.

O recuo ocorreu praticamente durante o primeiro período de monitoramento (monitoramento 1) na seção 2.1, Figura 32A (estaca da direita) e após o material

desmoronado ficou na base do talude até o último campo (junho de 2018), período de monitoramento 5 (Figura 32B). O desenvolvimento da vegetação conforme visualizado na Figura 32B ocorreu com maior intensidade após o período de monitoramento 2.

Figura 32 - Feições erosivas no ponto de controle 2, (A) seções 2.1 (estaca a direita) e 2.2 (estaca a esquerda) em novembro de 2016 e (B) seções 2.1 e 2.2 em junho de 2018



- Ponto de controle 3

No ponto de controle 3, Figura 33, pode-se visualizar as feições erosivas ocorridas no seu entorno no decorrer dos períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5). No levantamento realizado em novembro de 2016, Figura 33A, é observada a presença de trechos com solapamentos e trechos com material desmoronado, sendo a presença do primeiro mais expressiva.

Em junho de 2017 (monitoramento 1), Figura 33B, todo o trecho encontrava-se com material desmoronado, sem a presença de solapamento. Em setembro (monitoramento 2), conforme a Figura 33C, foi verificada a presença das faces dos taludes abauladas, proveniente dos desmoronamentos ocorridos na face do talude. A Figura 33C permite verificar ainda a resistência oferecida pelas raízes da vegetação ao recuo do topo do talude.

Na Figura 33D, dezembro de 2017 (monitoramento 3), grande parte das margens do entorno encontravam-se solapadas, com bem menos material na base dos taludes.

Em março de 2018, Figura 33E (monitoramento 4), novamente as faces dos taludes encontram-se bem abauladas, agora com menos presença ainda de material desmoronado. Neste monitoramento, havia a presença de praias extensas e com menos acúmulo de sedimentos. Na Figura 33F, em junho de 2018 (monitoramento 5), não ocorreu desmoronamento, sendo que praticamente todo o material acumulado na base havia sido retirado. Ainda, verificou-se novamente a presença de solapamento em alguns trechos.

A Figura 34 ilustra um trecho adjacente ao ponto de controle 3, mostrando o tempo decorrido para a retirada do material da base do talude e novamente o início do solapamento.

Figura 33 - Feições erosivas no entorno das margens próximas do ponto de controle 3, referentes ao mês de novembro de 2016 (A), e referentes aos monitoramentos 1 a 5, de (B) a (F) respectivamente



A Figura 34A refere-se ao mês de junho de 2017, a Figura 34B ao mês de dezembro de 2017 e a Figura 34C ao mês de junho de 2018, ou seja, nos períodos de monitoramentos 1, 3, 5, respectivamente.

Sendo assim, passou-se aproximadamente um ano até a retirada do material (solo e vegetação) proveniente dos desmoronamentos da base do talude nesse trecho.

Figura 34- Variação temporal das feições erosivas adjacente ao ponto de controle 3 em junho de 2017 (A), em dezembro de 2017 (B) e em junho de 2018 (C)



A Figura 35 mostra os perfis transversais realizados nas seções 3.1, 3.2 e 3.3 durante os campos realizados.

- Ponto de controle 4

O ponto de controle 4 também apresenta comportamento semelhante aos pontos de controle 1 e 2, ou seja, após o recuo ocorrido durante o período de monitoramento 1, apresenta o desenvolvimento crescente de vegetação próximo ao talude.

A Figura 36A refere-se ao posicionamento da estaca de referência e a Figura 36B a feição do talude, ambas referentes ao mês de novembro de 2016, com relação à seção 4.1. A Figura 36C mostra a posição da estaca quando da medição no período de monitoramento 1, na qual pode ser observada a magnitude do recuo. As Figuras 36D e 36E mostram o estágio de desenvolvimento da vegetação durante o último período de monitoramento (monitoramento 5).

As seções de referência 4.2 e 4.3 podem ser visualizadas na Figura 37, sendo que a Figura 37A refere-se à seção 4.2 e a Figura 37B à seção 4.3, ambas referentes ao início do monitoramento. A Figura 37C, abrangendo as duas seções, apresenta também o estágio da vegetação durante o último período de monitoramento (monitoramento 5).

Nesses três pontos de controle descritos, 1, 2 e 4, podem ser observados a permanência do material desmoronado na base do talude e o desenvolvimento progressivo da vegetação nessas margens, impedindo a ocorrência do solapamento por meio da proteção fornecida por estes.

Figura 35 - Perfis transversais referentes as seções 3.1, 3.2 e 3.3

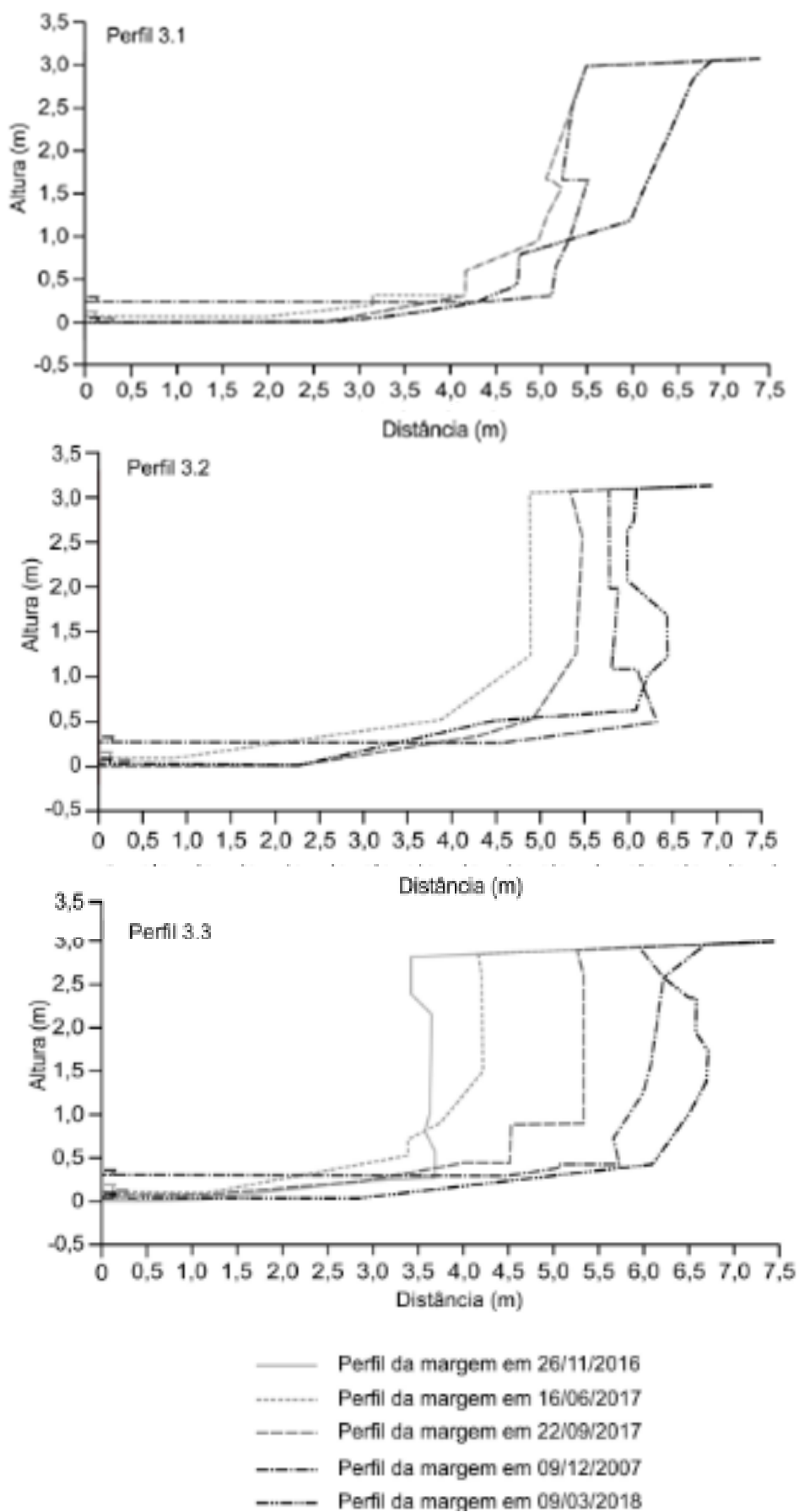


Figura 36 - Evolução da paisagem no ponto de controle 4, na seção 4.1 (A) posição da estaca de referência em novembro de 2016, (B) vista da face do talude em novembro de 2016, (C) posição da estaca de referência no monitoramento 1, (D) e (E) vista do local no monitoramento 5

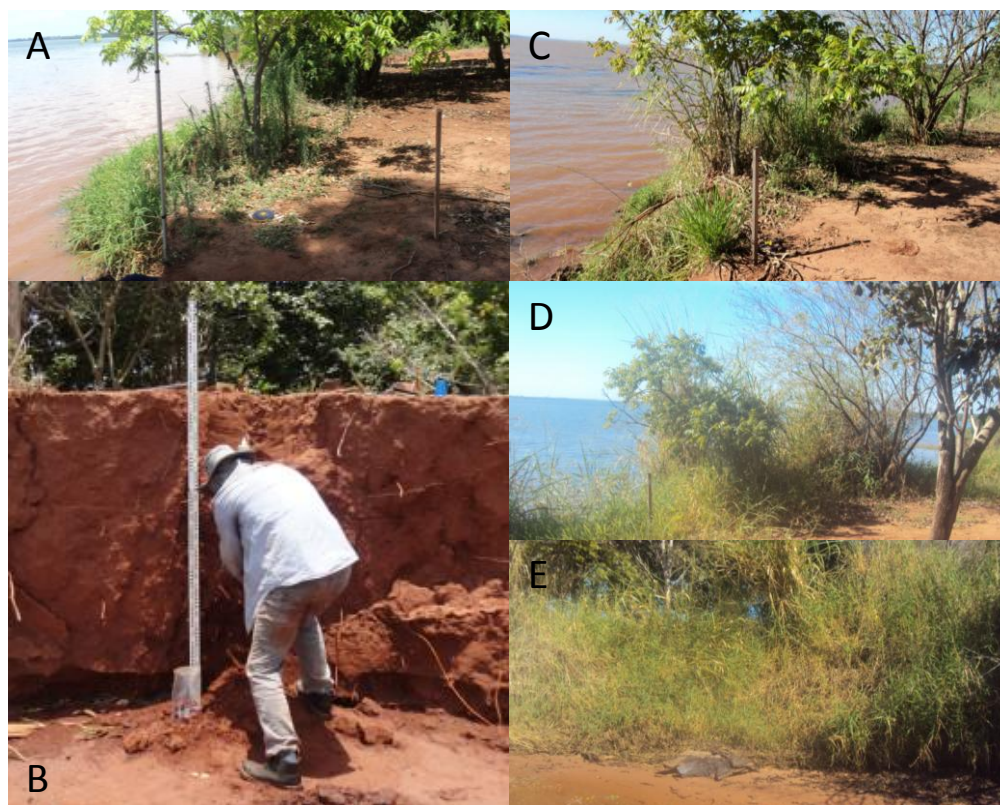


Figura 37 - Feições erosivas no ponto de controle 4, (A) e (B) seções 4.2 e 4.3 respectivamente, no primeiro monitoramento e (C) abrangendo ambas as seções no último monitoramento



- Ponto de controle 5

A Figura 38A ilustra os desmoronamentos existentes em novembro de 2016, quando da fixação das estacas de referência para as medições. Nos períodos de monitoramento 1 e 2, Figuras 38B e 38C respectivamente, também ocorreram desmoronamentos. Nos próximos períodos de monitoramento percebe-se a ausência de desmoronamento, conforme as Figuras 38D, 38E e 38F, referentes aos períodos 3, 4 e 5, respectivamente. Nos períodos de monitoramento 4 (Figura 38E) e 5 (Figura 38F), pôde ser observada a ocorrência de solapamento na base, acrescida da presença de vegetação em decomposição na praia.

Figura 38 - Feições erosivas no ponto de monitoramento 5, abrangendo o primeiro levantamento de campo em 25/11/2016 (A) e os monitoramentos 1 (B), 2 (C), 3 (D), 4 (E) e 5 (F)



No início do monitoramento, quando da instalação das estacas/árvores, em novembro de 2016, apenas nos pontos de controle 2 e 4 não havia presença de material proveniente de desmoronamento próximo às margens. Além disso, com exceção do ponto de controle 1, os demais apresentavam talude aproximadamente verticalizado.

No período de monitoramento 1, todos os pontos apresentavam material desmoronado na base do talude. No período de monitoramento 2 o crescimento vegetativo aumentou nos pontos de controle 1 e 2, tendo sido observada neste momento também a presença de vegetação no ponto de controle 4, sendo que nos monitoramentos posteriores o crescimento da vegetação ainda evoluiu. Apenas os pontos de controle 3 e 5 não apresentam tal processo, provavelmente por serem os pontos atingidos por maiores energia das ondas, como será visto oportunamente.

Pelas descrições realizadas para os pontos de controle, observam-se as variações espacial e temporal da erosão marginal ocorrida na área teste, sendo que os recuos mais significativos ocorreram nos pontos de controle 3 e 5.

Verificou-se que temporalmente, o recuo passa por períodos de estabilidade quando da presença de materiais desmoronados na base do talude e da presença de vegetação recobrando sua face, os quais atuam como uma barreira e não permitem a atuação da energia das ondas diretamente na sua base. Tal fato comprova ser a energia das ondas o principal agente na ocorrência dos recuos marginais nos pontos de controle, pois não ocorreram desmoronamentos enquanto havia presença de obstrução na base do talude.

O método de quantificação adotado mostrou-se adequado, uma vez que o interesse dessas medidas eram os recuos das margens. Isso ainda se soma ao fato de que as margens ao recuarem tendem à verticalização das suas faces. Os pontos de controle foram implantados procurando-se abranger as variações geológicas, geomorfológicas, pedológicas e as diferentes magnitudes de *fetch* equivalente, associadas aos processos erosivos predominantes nas margens do reservatório.

5.2 Fatores intervenientes no processo erosivo

Na sequência são apresentados os fatores intervenientes no processo erosivo, conforme descritos anteriormente.

5.2.1 Texturas dos perfis pedológicos e classificação dos tipos de solos

As propriedades físicas do solo possuem um papel significativo para compreender a maior ou menor erodibilidade dos mesmos. Nos estudos sobre erosão marginal, um dos principais atributos do solo e que é normalmente avaliado, é a textura, que é obtida por meio

da sua granulometria, pois as análises granulométricas permitem caracterizar e classificar os sedimentos das margens.

Na Tabela 4, é apresentada a classificação textural dos horizontes de cada ponto de controle. Foram utilizados no grupamento textural os grupamentos propostos por Embrapa (2006), conforme descritos na parte 3.

Tabela 4 - Composição granulométrica dos pontos de controle

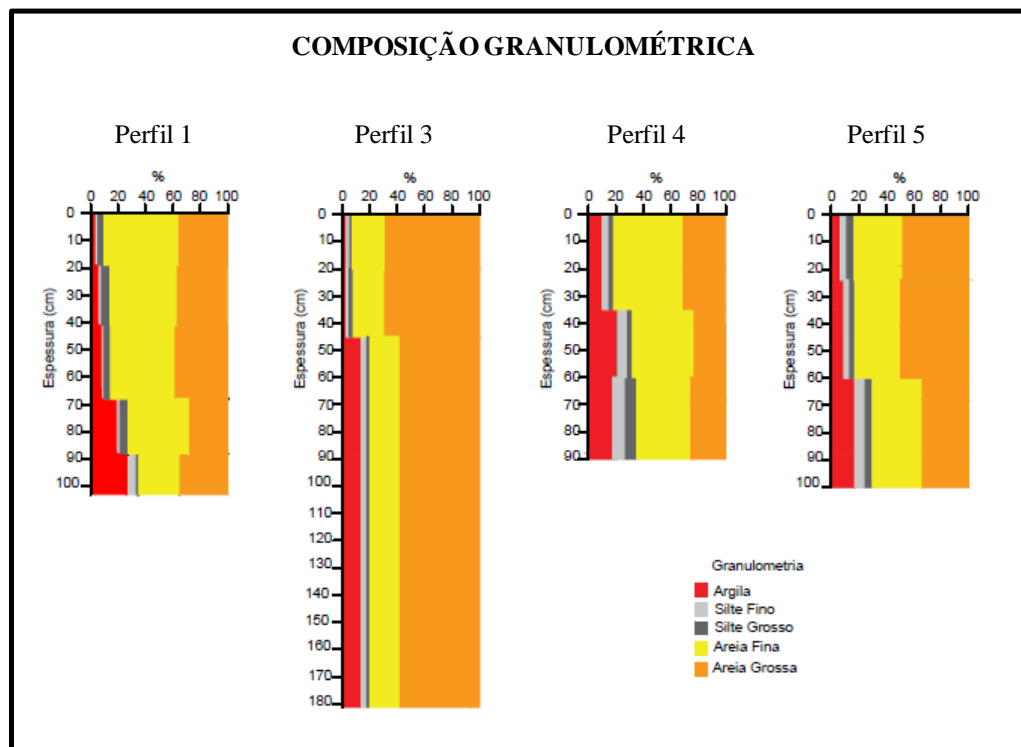
<i>Pontos de controle</i>	<i>Horizontes dos solos</i>	<i>Composição granulométrica (%)</i>		<i>Classificação textural</i>
		Silte+argila	Areia	
<i>1</i>	A	9,76	90,24	arenosa
	C1	14,24	85,76	arenosa
	C2	14,7	85,3	arenosa
	Cg1	27,52	72,48	média
	Cgf	35,37	64,63	média
<i>3</i>	A	7,29	92,71	arenosa
	AB	8,21	91,79	arenosa
	C1	19,02	80,98	arenosa
<i>4</i>	A	18,7	81,3	arenosa
	Bw ₁	32,17	67,83	média
	Bw ₂	35,52	64,48	média
<i>5</i>	A	16,72	83,28	arenosa
	E	17,15	82,85	arenosa
	Bt	29,95	70,05	média

Para uma melhor visualização dos resultados da análise granulométrica, na Figura 39 são apresentados os gráficos exibindo a distribuição granulométrica em profundidade dos perfis de solo relativos aos pontos de controle 1, 3, 4 e 5.

Em relação aos resultados da análise textural, houve predomínio da fração areia em todos os horizontes de todos os pontos de monitoramento analisados. A maior presença da fração areia está relacionada ao substrato geológico dos arenitos da Formação Caiuá.

Observou-se para o ponto de controle 1, ao longo do perfil de GLEISSOLO, um aumento gradativo do percentual da fração argila a partir do horizonte A até o horizonte Cgf. No ponto de controle 3, no perfil de NEOSSOLO Quartzarênico, tem-se uma uniformidade dos percentuais das frações areia, silte e argila nos horizontes A e AB. No horizonte C1 ocorreu um aumento da fração argila, sendo bem superior aos horizontes superiores.

Figura 39 - Gráficos exibindo a distribuição granulométrica em profundidade dos perfis de solo nos pontos de controle 1, 3, 4, e 5



No ponto de controle 4 ocorreram no perfil de LATOSSOLO VERMELHO maiores frações de argila nos horizontes Bw_1 e Bw_2 , correspondendo a aproximadamente o dobro do horizonte A, sendo que houve também um aumento significativo de silte no horizonte Bw_2 , em relação aos horizontes superiores. Com relação ao ponto de controle 5, observou-se no perfil de ARGISSOLO um aumento gradual da fração argila a partir do horizonte A.

Os solos dos pontos de controle no reservatório da UHE Rosana (SP/PR) são solos de classe textural arenosa, fato que impõe uma maior fragilidade aos solos, devido a baixa resistência ao cisalhamento dos materiais arenosos. De acordo com Fernandez e Fulfaró (1993) o caráter não-coesivo dos sedimentos arenosos permite o rápido solapamento do talude por ação das fortes correntes.

Foram realizadas análises de correlações entre o recuo medido (Tabela 3) e os resultados da análise granulométrica (Tabela 4) para os pontos de controle 1, 3, 4 e 5, almejando obter informações sobre a influência destas no processo erosivo nas margens do reservatório, não tendo sido encontradas correlações entre os mesmos, pois conforme os resultados da análise granulométrica, as margens são constituídas basicamente de material arenoso, sendo assim, a influência da coesividade nos valores da erosão marginal encontrada não pôde ser avaliada.

Resultados semelhantes foram obtido por Rubio (2014) também para pontos monitorados por ele no reservatório da UHE Rosana (SP/PR).

Porém, pode ser observado pela Figura 39, que os pontos de controle 3 e 5, foram os que apresentaram menor quantidade de silte/argila nos horizontes inferiores do solo, e são os pontos com as maiores taxas de recuo. Além, os pontos de controle 1 e 4 apresentam praticamente a mesma quantidade de silte/argila nos horizontes inferiores do solo e possuem taxas de recuo próximas, inferiores aos pontos 3 e 5.

Em pesquisas já realizadas, mostraram que as composições granulométricas das margens podem influenciar a erosão marginal. Alguns autores, comprovaram estatisticamente que as margens com proporção de argila possuem maior estabilidade, ou seja, conforme Silva, Souza Filho e Neves (2011), com relação a resistência à erosão e a coesividade, elas são proporcionais ao teor de argila e desta forma quanto mais argilosa a margem, maior resistência ela oferece. Porém, segundo Rubio (2014), a análise da relação entre a granulometria dos solos e as taxas de erosão realizadas em pontos monitorados na UHE Chavantes (SP/PR), mostrou que os pontos com maiores taxas de evolução das erosões são os que apresentam maiores teores de silte, enquanto os que apresentam as menores taxas apresentam maiores teores de argila.

O ponto de controle 2, consiste em um depósito aluvial, apresentando seixos de diversos tamanhos. Tal, indica uma deposição feita pelas águas do rio Parapanapema em todo seu ciclo geológico e hidrográfico histórico. De acordo com Sander (2015), a análise e interpretação dos depósitos fluviais têm sido realizadas tomando por base o conceito de ' fácies '.

No ponto 2, foi visualizada uma maior resistência ao processo erosivo, devido a grande quantidade de cascalho presente no perfil, conforme pôde ser visualizado no pequeno recuo ocorrido no mesmo durante o período monitorado. De acordo com Resende, Carvalho Filho e Lani (1992), nos ambientes fluviais, as partículas grosseiras como os cascalhos, a areia grossa e a argila dificultam o processo erosivo.

Com relação aos tipos de solos, nos pontos de monitoramento 4 e 5, encontram-se respectivamente, os Latossolos e os Argissolos, sendo que o solapamento nestes ocorre em solos que naturalmente não tem contato direto com os corpos d'água, pois não são hidromórficos. De acordo com Rubio (2014) as erosões marginais decorrem do contato da água do reservatório com os solos menos adaptados à presença periódica da água. Ainda,

segundo o autor, aproximadamente 75% dos processos erosivos que ocorrem nas margens do reservatório de Rosana (SP/PR) ocorrem nos Argissolos e 23% nos Latossolos.

Conforme Nunes et al. (2016), os processos erosivos mais evidentes no reservatório da UHE Rosana (SP/PR) foi o solapamento em margens constituídas por estes tipos de solo. Ainda, de acordo com o autor, os Latossolos são muito friáveis, com elevados teores de areia, ocorrendo forte desestabilização da sua coesão quando colocado em contato com a água. Tal, está de acordo com a caracterização física realizada para este solo no ponto de monitoramento 4, conforme pode ser visualizado no Apêndice A, no encontram-se descritas as características morfológicas de cada ponto de controle relacionadas a: cor, textura, estrutura, porosidade, consistência, atividade biológica e transição.

Segundo De Souza e Cunha (2007, p.27) "a concentração de argila faz os solos serem muito plásticos e pegajosos quando estão úmidos, ao passo que, quando secos, são extremamente duros, propiciando a formação de fendas". Essas, os tornam vulneráveis à erosão, provocando o desmoronamento. No ponto de controle 4, durante o primeiro levantamento de campo, foi observada a presença de fendas próximas a margem. O processo de umedecimento/secagem favorece a capacidade de expansão e contração da argila fragmentando-a e provocando o desmoronamento em blocos.

Com relação ao ponto de monitoramento 1, uma característica relevante diferenciada com relação aos demais pontos, foi a existência de degraus de abatimentos observados durante o primeiro levantamento de campo, os quais no fim do monitoramento 1 encontrava-se todo no sopé do talude. Neste ponto, o solo foi classificado como Gleissolo, os quais são solos hidromórficos, encontrando-se permanente ou periodicamente saturados por água, sendo solos mal ou muito mal drenados, segundo Embrapa (2006). É comum a ocorrência de escorregamento neste tipo de solo, sendo o início do movimento muitas vezes provocado pela execução de cortes na base destes materiais, como o solapamento por ondas.

Os Gleissolos ocupam aproximadamente 7,56% das margens do reservatório, mas estão presentes em apenas 1,6% das áreas com processos erosivos, sendo considerados menos susceptíveis à erosão marginal, por serem solos originais de ambientes fluviais e lacustres e portanto são adaptados à frequente presença da água (RUBIO, 2014).

No ponto 3, ocorre a presença do Neossolo. Este ponto apresentou recuo, com exceção do monitoramento 5, em todos os monitoramentos. Foi o ponto mais propício aos desmoronamento, provavelmente devido a sua maior altura e a sua constituição granulométrica predominantemente arenosa, mostrando-se instável mais facilmente com a

retirada do material de base pelo solapamento. Tal, é corroborado por Fernandez e Fulvaro (1993), em estudos realizados no rio Paraná. O autor concluiu que margens do tipo alta, com perfil íngreme e composto de material arenoso, são as que apresentam as maiores taxas de erosão marginal.

Porém, foram realizadas correlações entre o recuo marginal e a altura dos taludes, não sendo encontrada correlação estatística significativa.

Ainda, de acordo com De Jorge (1984), a intensidade e alcance da ação abrasiva das ondas se verifica de forma mais acentuada em encostas de taludes íngremes constituídos por materiais facilmente erodíveis.

Os recuos observados no ponto 3 concordam ainda com Hernández (2014), onde os resultados obtidos no estudo realizado pelo mesmo indicaram que as áreas que apresentaram fragilidade alta à erosão são as que são atingidas por ventos provenientes das direções de maior frequência e intensidade e que também apresentam os solos com alta susceptibilidade à erosão.

Com relação aos tipos de solos, de acordo com os níveis de fragilidade aos processos erosivos atribuídos por Ross (1994), adaptados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006), os Neossolos possuem fragilidade muito alta, os Argissolos média e os Latossolos fraca. Tais, comprovam parcialmente a magnitude dos recuos nos pontos monitorados, sendo que o maior recuo total ocorreu no ponto de monitoramento 5 (Argissolos), seguido do ponto 3 (Neossolos) e do ponto 4 (Latossolo).

Apesar da composição granulométrica ser apontada como um dos fatores intervenientes no recuo das margens, sendo que de acordo com Casado et al. (2002) a presença de material arenoso constituiu relevante importância com relação às elevadas taxas de erosão nas seções estudadas por ele, a homogeneidade da mesma nos pontos de controle não foram consideradas fatores adicionais a serem considerados na modelagem matemática para a estimativa do recuo das margens.

5.2.2 Uso do solo nos pontos de controle

Com relação ao uso do solo, tem-se duas situações referentes aos pontos de controle. Nos pontos 1, 2 e 5, tem-se as pastagens, e nos pontos 3 e 4, a silvicultura. Tal classificação tomou como referência o Manual técnico do uso da terra, elaborado pelo IBGE (2013).

Os reflorestamentos nos pontos 3 e 4, segundo os moradores dos locais, foram realizados por imposição dos órgãos ambientais e com recursos financeiros próprios.

Em campanhas de campo realizadas no reservatório da UHE Rosana (SP/PR), verificou-se que a ausência de mata ciliar é comum, principalmente na margem paulista, sendo que a paisagem característica da área marginal do reservatório pode ser representada pelas paisagens referentes aos pontos de monitoramento 1, 2, e 5. De acordo com Ciciliato (2016) a paisagem regional no baixo curso da bacia do rio Paranapanema é caracterizada pela presença de pastagens.

Segundo Tundisi e Tundisi (2011), a falta de vegetação nas margens de reservatórios causa um processo contínuo de perda de taludes, o que resulta em perda de solo e da qualidade da água.

Apesar de tal afirmação, e do conhecimento da importância da mata ciliar, verificou-se vários processos erosivos em área de reflorestamento, inclusive com queda de árvores, como é o caso dos pontos de controle 3 e 4, conforme a Figura 40. No ponto 4 verifica-se a exposição das raízes da árvore que estão próximas ao talude, provocado pela ação da erosão marginal, antecedendo a queda da mesma.

Figura 40 - Pontos de reflorestamento com perda de mata ciliar



No reservatório de Capivara (SP/PR), localizado no Rio Paranapanema, a ação das águas do reservatório também faz com que as árvores da mata ciliar sejam arrancadas (CICILIATO, 2016).

Do acompanhamento da evolução dos processos erosivos nos pontos de controle, observou-se que a presença arbustiva não impede o fenômeno, provavelmente retarde o mesmo, devido a presença de raízes que retêm temporariamente parte do solo. Porém, quando o recuo ocorre próximo a essas, ele é sempre de maior magnitude, carregando com o desmoronamento dos taludes árvores e grande quantidade de material de solo.

A presença de cobertura vegetal não funcionou como proteção das margens sujeitas a ação das ondas, como pôde ser verificado pelo recuo contínuo ocorrido no ponto de controle 3 e também pela magnitude do recuo ocorrido no ponto de controle 4 durante o monitoramento 1.

Porém, a vegetação pode atuar de maneira benéfica protegendo as margens da atuação das ondas, como pôde ser visualizado nos pontos de controle 2 e 4, onde o crescimento vegetativo na face do talude impediu a continuidade do processo erosivo. Sendo assim, verificou-se que o processo erosivo por ação das ondas pode ser controlado ou amenizado. Tal, foi considerado também por Neves, Maciel e Rosauero (2006).

Nesse sentido, Neves, Maciel e Rosauero (2006), indicam que a presença de vegetação aquática junto às margens é capaz de amortecer fortemente as ondas geradas pelo vento. Tal, foi observado no reservatório de Ilha Solteira (SP/MS), com a presença de vegetação de pasto, do tipo *Brachiaria subquadripora*, uma praga de pasto que consegue sobreviver em locais de até 1,5 m de profundidade.

Na área em estudo, devido a pequena variação do nível d'água como será visto adiante, e a existência de praias, é comum o desenvolvimento vegetativo proveniente do próprio material desmoronado do talude, impedindo a continuidade do recuo, como o ocorrido nos pontos de controle 2 e 4 citados anteriormente.

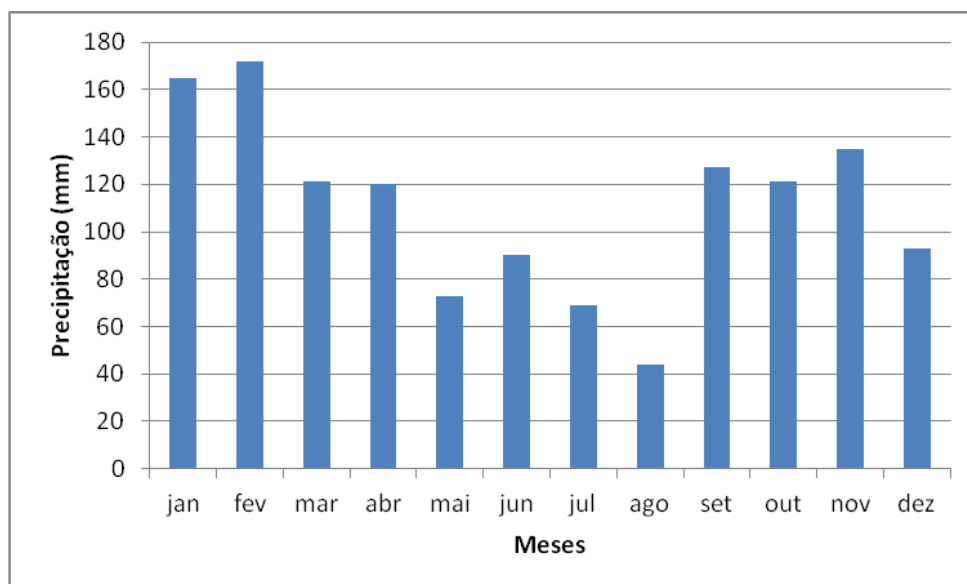
5.2.3 Precipitação

Nesta pesquisa, os dados de precipitação foram confrontados com os recuos medidos nos diferentes períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5). Ressalta-se que as campanhas de campo foram planejadas de modo a abranger o trimestre mais seco e o mais chuvoso.

A Figura 41, apresenta a precipitação média mensal referente ao período de 2008 a 2015, com relação aos dados de precipitação adquiridos na estação automática de Diamante do Norte (PR).

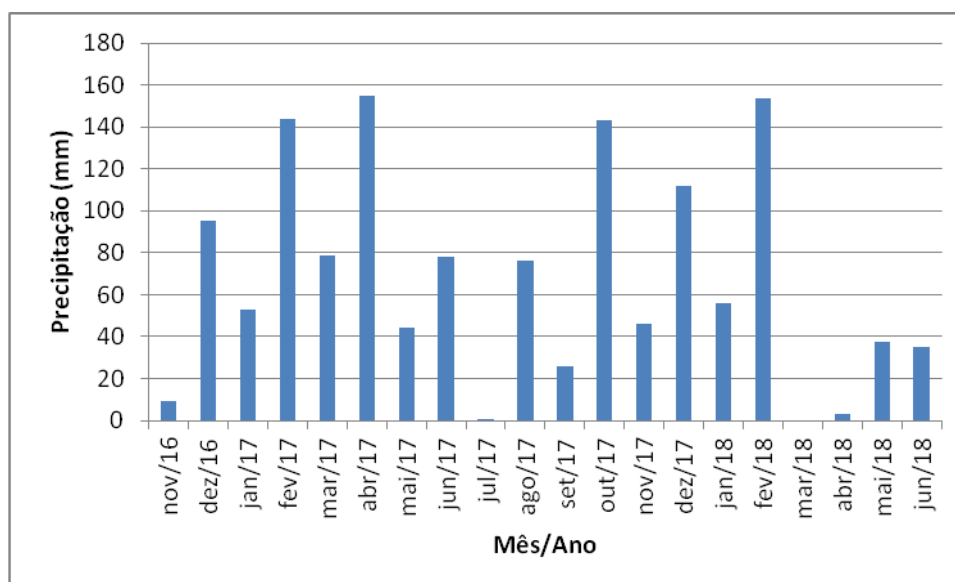
Observa-se que o trimestre mais seco abrangeu os meses de junho a agosto, e o mais úmido os meses de dezembro a fevereiro, confirmando as características da região com relação a precipitação média mensal nas UGHs Pontal do Paranapanema (SP) e Piraponema (PR), conforme apresentada na parte de Características da paisagem regional.

Figura 41 - Precipitação média mensal para o período de 2008-2015 (Estação meteorológica de Diamante do Norte - PR)



A precipitação mensal durante o período de monitoramento pode ser vista na Figura 42, sendo que os dados de precipitação também foram obtidos da estação meteorológica de Diamante do Norte (PR).

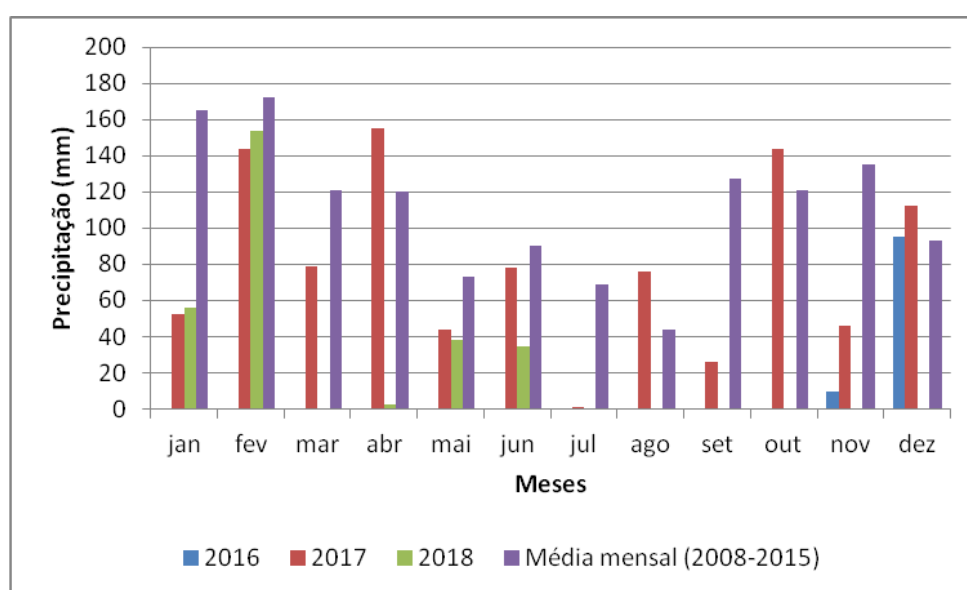
Figura 42 - Precipitação mensal durante o período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018)



Os meses com falta de dados foram cedidos pela ANA e são referentes a estação fluviométrica UHE Rosana Barramento e correspondem aos meses de novembro de 2016, junho e outubro de 2017 e março e abril de 2018.

Os meses de abril (155mm) e outubro (143,4mm) foram os meses de maior precipitação no ano de 2017 com precipitações acima da média. Tal, pode ser melhor visualizada na Figura 43, a qual apresenta juntamente as precipitações mensais durante o período de monitoramento total e as precipitações médias mensais durante o período de 2008 a 2015. Ainda, observa-se que com exceção dos meses de agosto e dezembro, todos os demais meses tiveram precipitações inferiores as médias mensais.

Figura 43 - Precipitação mensal durante o período de monitoramento total e precipitação média mensal para o período de 2008-2015



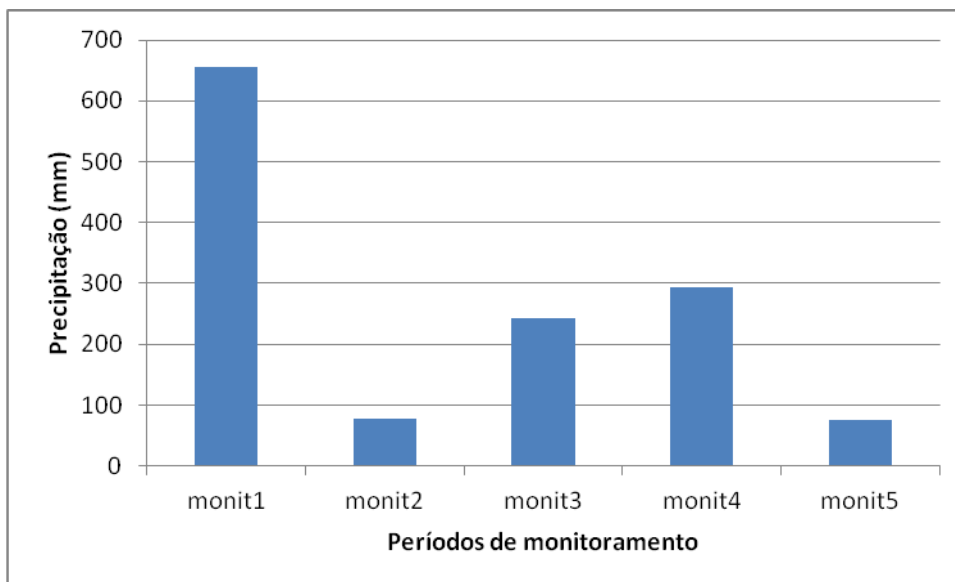
Pode-se verificar, que o período de monitoramento 2 (junho a setembro de 2017) e o período de monitoramento 5 (março a junho de 2018) abrangeram dois períodos secos, sendo que este último foi atípico, conforme a Figura 42.

A influência da precipitação nos recuos ocorridos foi verificada através da confrontação da mesma com os recuos medidos. Sendo assim, os dados de precipitação foram agrupados em função dos períodos de monitoramentos (1, 2, 3, 4 e 5) e são apresentados na Figura 44. Tais foram comparadas com o recuo total, ou seja, a soma dos recuos de todos os pontos de controle em cada período de monitoramento, conforme Figura 45.

Pode-se observar que o período de monitoramento 1 foi o período de maior precipitação e também o de maior recuo total. Porém, nos períodos de monitoramentos 2 e 5, de precipitações similares, os recuos foram bastante diferenciados. Comparando-se os períodos de monitoramento 3 e 4, observou-se que no monitoramento 4 teve maior

precipitação e também maior recuo que no monitoramento 3, porém convém lembrar que durante os monitoramentos 3 e 4 apenas o ponto de controle 3 recuou.

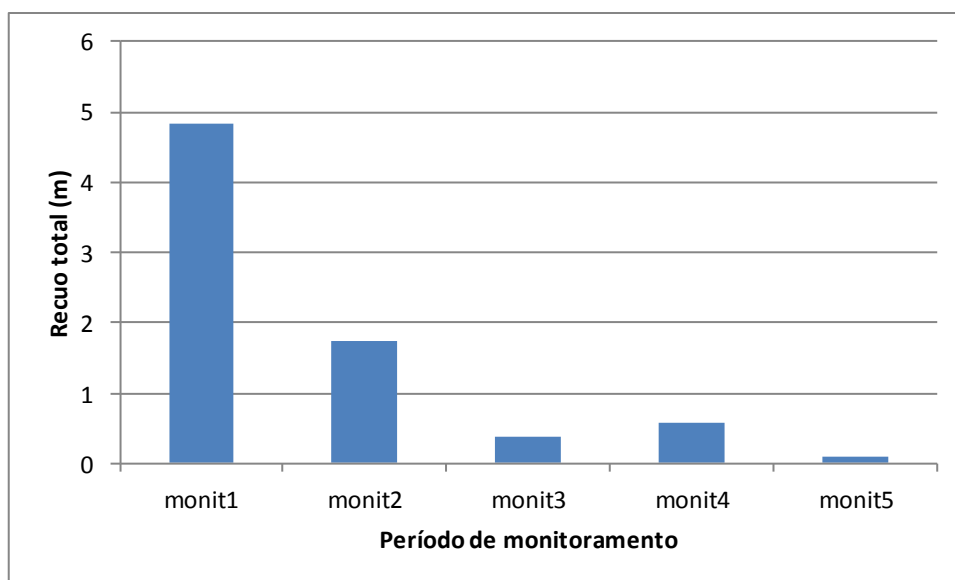
Figura 44 - Precipitação durante cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5)



Nota: -Monit (Monitoramento)

-Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

Figura 45 - Recuo total para cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5)

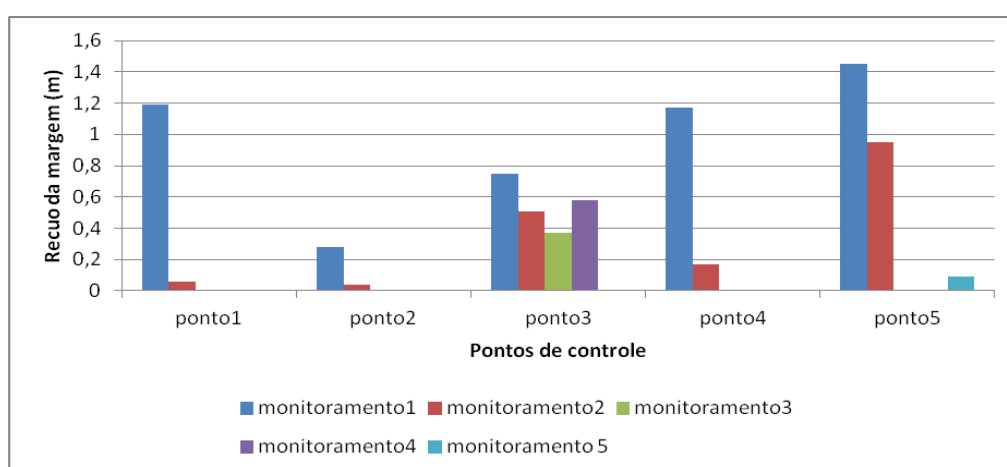


Nota: -Monit (Monitoramento)

-Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

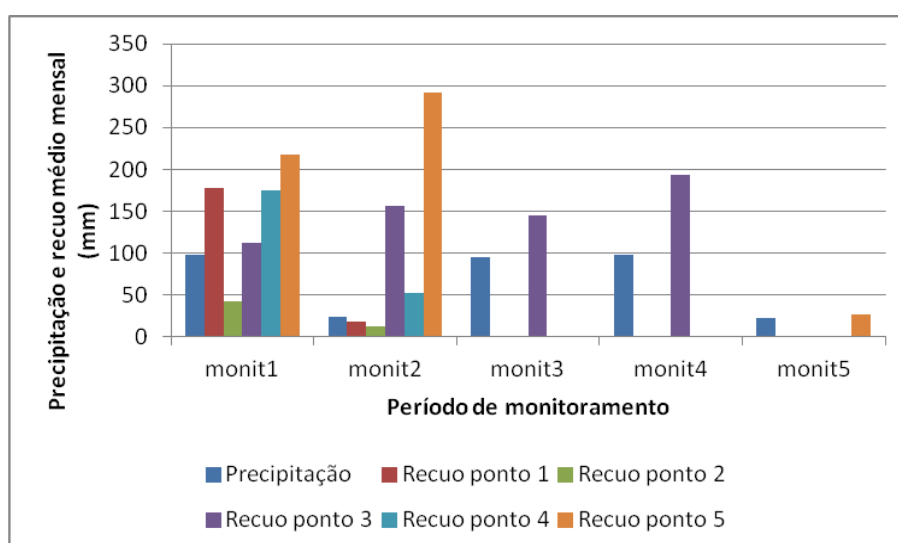
Como o período de monitoramento 1 abrangeu um período de tempo superior aos demais monitoramentos, e apesar de aparentemente parecer que os maiores recuos ocorreram no período de maior precipitação, conforme pode ser visualizado na Figura 46, a qual mostra os recuos ocorridos em cada ponto de controle durante os períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5), os recuos e as precipitações foram transformados em médias mensais referente a cada período de monitoramento, conforme a Figura 47.

Figura 46 - Recuos em cada ponto de controle referentes aos períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5)



Nota: Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

Figura 47 - Precipitação e recuo médio mensal durante os períodos de monitoramento



Nota: -Monit (Monitoramento)

-Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

Observa-se que apesar dos recuos dos pontos de controle 3 e 5 parecerem maiores no período de monitoramento 1 do que no monitoramento 2, conforme a Figura 46, em termos de médias mensais os mesmos foram maiores durante o período de monitoramento 2 (Figura 47).

Portanto, durante o período de monitoramento 2, com precipitação média mensal de 24mm, os pontos de controle 3 e 5 apresentaram maiores recuos médios mensais que durante o monitoramento 1, com precipitação média mensal de 98mm. Observa-se ainda, que no monitoramento 2, o qual abrangeu o segundo trimestre mais seco no período de monitoramento, ocorreram recuos significativos quando comparado aos monitoramentos 3, 4 e 5.

Nos períodos de monitoramentos 2 e 5, de precipitações médias mensais bem inferiores aos demais monitoramentos e ambos com a mesma magnitude de precipitações (23mm e 22mm respectivamente), ocorreram recuos apenas durante o monitoramento 2, sendo o recuo no monitoramento 5 de pequena magnitude e tendo ocorrido apenas no ponto de controle 5.

Nos períodos de monitoramentos 3 e 4, com precipitações médias mensais de 95mm e 98mm respectivamente, ocorreram recuos apenas no ponto de controle 3.

As precipitações em termos de médias mensais foram praticamente iguais nos períodos de monitoramentos 1, 3 e 4, porém no monitoramento 1 ocorreram recuos em todos os pontos de controle enquanto que nos monitoramentos 3 e 4, como já dito anteriormente, apenas o ponto de controle 3 apresentou recuo.

Tais, resultados sugerem que a precipitação no período analisado (aproximadamente 19 meses) não teve influência no avanço dos processos erosivos, o qual é nitidamente confirmado quando observado os recuos ocorridos (Figura 47) durante o período de monitoramento 2. Ainda, o fato de, no monitoramento 2, um período tão seco quanto o do monitoramento 5, ocorrer recuos significativos quando comparado ao monitoramento 5, indica a atuação das ondas como o processo erosivo imperante neste reservatório, uma vez que este período foi o de maior energia equivalente ativa como será visto oportunamente, e o monitoramento 5 foi o de menor energia.

Ainda, com exceção do ponto de controle 3 e do pequeno recuo ocorrido no ponto 5, a ausência de recuos nos monitoramentos 3 e 4, indica que as precipitações isoladamente não foram capazes de gerar desmoronamentos nos pontos de controle analisados.

Sendo assim, tais ponderações parecem concordar com a afirmação de Rubio (2014), o qual considera o vento, um fator com maior peso do que a precipitação no processo erosivo

em grandes reservatórios, devido ao seu potencial para formação das ondas, sendo que estas se sobrepõem a todas as condicionantes ambientais analisadas por ele.

A ausência de correlação entre os processos erosivos e a precipitação também foi verificada em estudo sobre a fragilidade ambiental devido a esses processos no Pontal do Paranapanema, sendo que neste estudo o foco foram as erosões lineares (Gouveia; Gouveia; Pimenta, 2017).

Considerando a dimensão da área de estudo, resultados mais detalhados necessitariam de medidas pluviométricas próximas a cada ponto de controle, bem como medidas do recuo antes e após períodos de grande precipitação. Além disso, durante o ano de 2017, a precipitação anual foi de 956,3mm, ou seja, bem inferior a precipitação anual média para o período de dados processados de 2008 a 2015, que foi de 1330mm. Tal fato pode ter amenizado os processos erosivos no período de monitoramento. Para o período de monitoramento em 2018, os totais precipitados foram aproximadamente 2,5 vezes menores que os dados referentes ao período de 2008 a 2015.

5.2.4 Cota do nível d'água do reservatório

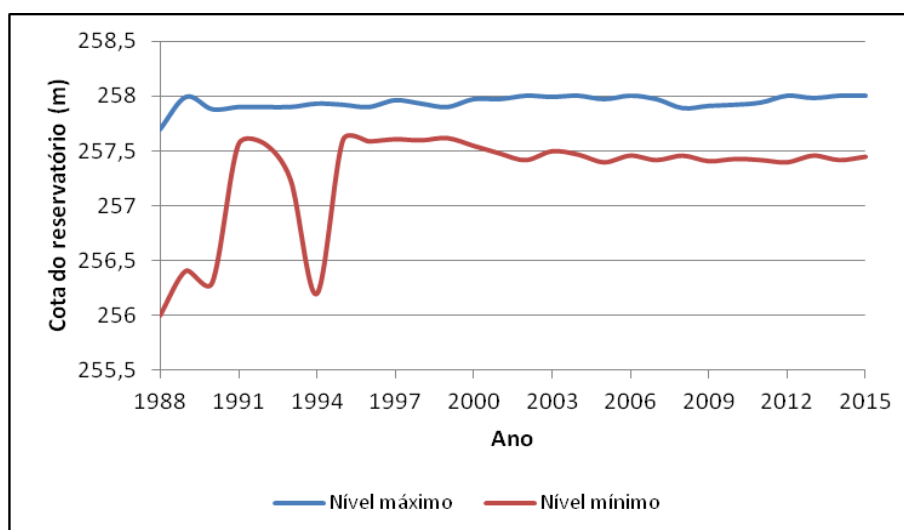
A erosão por ação das ondas ocorre apenas quando o nível do reservatório é alto o suficiente para que as ondas impactem o talude. Segundo Azevedo et al. (2002), os fatores extrínsecos mais importantes que irão condicionar o comportamento das margens estão associados à magnitude das ondas no reservatório, e a posição relativa do nível d'água do reservatório na superfície do talude. A variação do nível d'água associada a altura das ondas, define a faixa em que a onda atinge a margem dissipando sua energia na desagregação dos sedimentos, pois controla a atuação de forças de origem hidrodinâmica sobre os materiais das margens.

Para avaliar a variação da cota do nível d'água do reservatório da UHE Rosana (SP/PR) foram processados os dados das cotas históricas do nível d'água do reservatório, referentes ao período de 1988 a 2015, o que permitiu caracterizar a amplitude da sua faixa de depleção.

A Figura 48 apresenta os níveis diários máximos e mínimos para cada ano, tendo sido de 256m a cota mínima e de 258m a cota máxima, resultando numa faixa de depleção máxima de 2m.

Apesar da faixa máxima de depleção ter sido de 2m no período de análise, observa-se que a partir do ano de 1995, a variação máxima entre a cota máxima e mínima anual do reservatório foi de 60 cm.

Figura 48 - Cota do nível d'água, máxima e mínima anual, para o período de 1988-2015 na UHE Rosana (SP/PR)



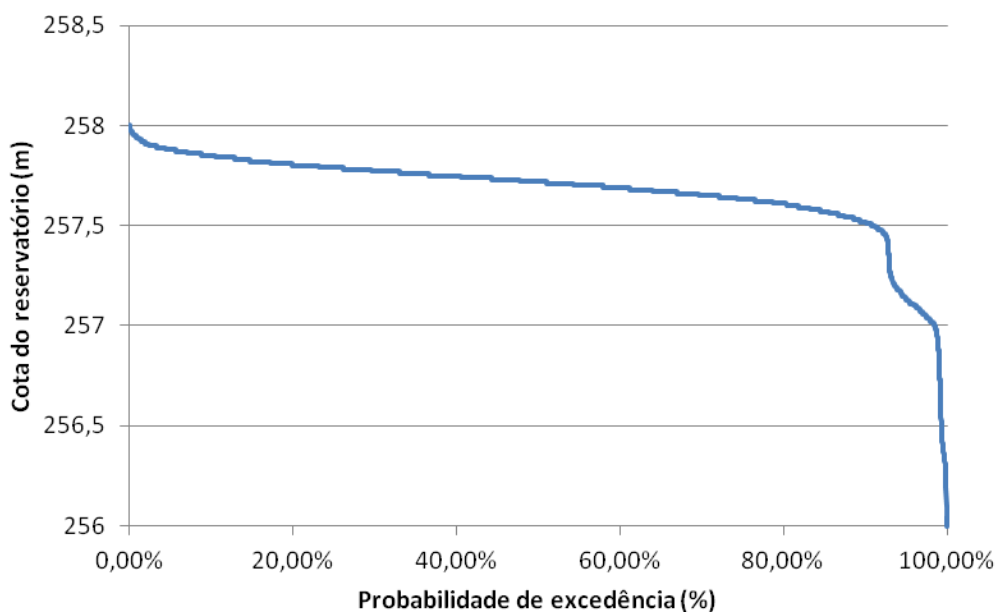
O processamento dos dados de cota diária para cada mês do ano forneceu ainda as cotas dos níveis médios mensais para o período de 1988 a 2015, conforme a Tabela 5. Os resultados dessa análise mostraram que em termos de níveis médios mensais as variações dos níveis d'água apresentaram uma diferença máxima de 10cm, quando considerado o maior e o menor valor médio mensal, referentes aos meses de março e julho respectivamente.

Tabela 5 - Nível médio mensal d'água a montante (1988-2015)

Mês	Nível d'água a montante
JAN	257,64
FEV	257,66
MAR	257,62
ABR	257,65
MAI	257,68
JUN	257,69
JUL	257,72
AGO	257,71
SET	257,69
OUT	257,68
NOV	257,68
DEZ	257,66

A curva de permanência (Figura 49) para o período, permitiu verificar que em aproximadamente 60% do tempo os níveis d'água são superiores a 257,7m, a qual refere-se a cota média para todo o período de monitoramento (aproximadamente 19 meses).

Figura 49 - Curva de permanência da cota horária do reservatório da UHE Rosana (SP/PR) referente ao período 1988-2015



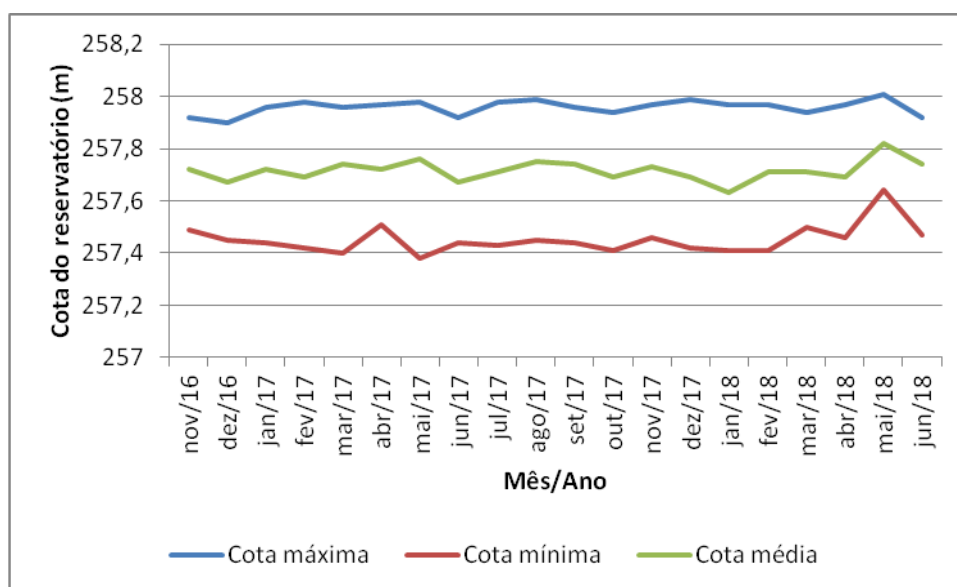
As medidas das cotas do nível d'água do reservatório foram processadas também para o período de monitoramento total, correspondente ao período de novembro de 2016 a junho de 2018. Tais dados, referentes as cotas horárias, foram fornecidos pela ANA. A Figura 50 apresenta a cota horária máxima mensal, mínima mensal e a cota média mensal ocorrida durante o período.

As cotas máximas mensais variaram de 257,9m a 258,01m, portanto com uma diferença de apenas 11 cm. Com relação as cotas mínimas, variaram de 257,38m a 257,46m, com uma diferença de 8cm.

Em termos de amplitudes horárias mensais, a menor variação foi de 43cm em novembro de 2016 e a máxima de 60cm em maio de 2017.

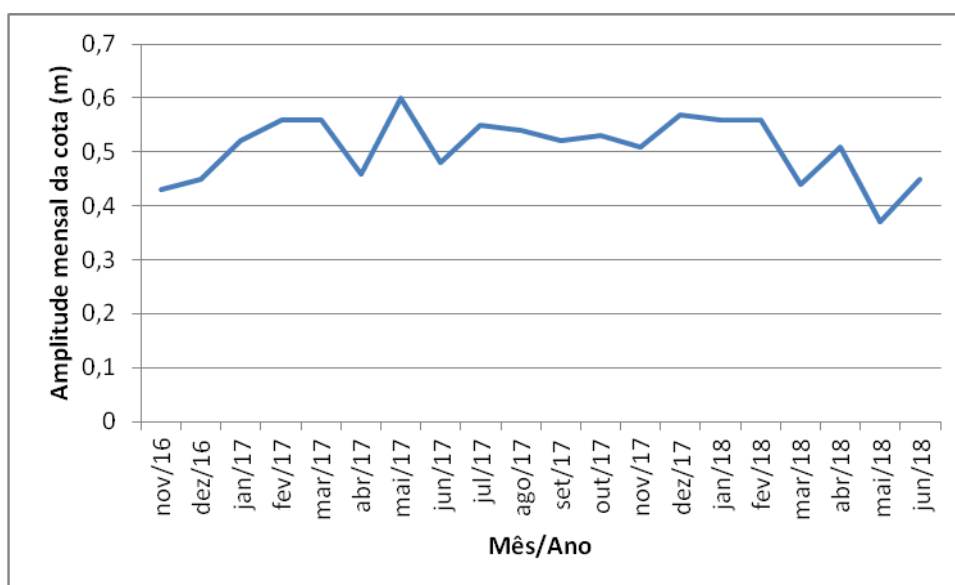
Os dados das cotas foram avaliados também nos intervalos temporais equivalentes ao períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5). A menor cota média mensal ocorreu no monitoramento 4, de 257,66m. Nos períodos de monitoramento 1, 2, 3 e 5 as cotas médias foram de 251,71m, 257,73m, 257,72m e 257,75m, respectivamente.

Figura 50 - Cotas máxima, mínima e média mensal para o período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018)



Comparando as amplitudes mensais das cotas no período de monitoramento total (Figura 51) com relação a precipitação mensal do período de monitoramento, já apresentada na Figura 42, observou-se uma discreta correlação entre os mesmos, sendo que os meses de menores precipitações são os períodos de menores variações das mesmas.

Figura 51 - Amplitude mensal da cota durante o período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018)

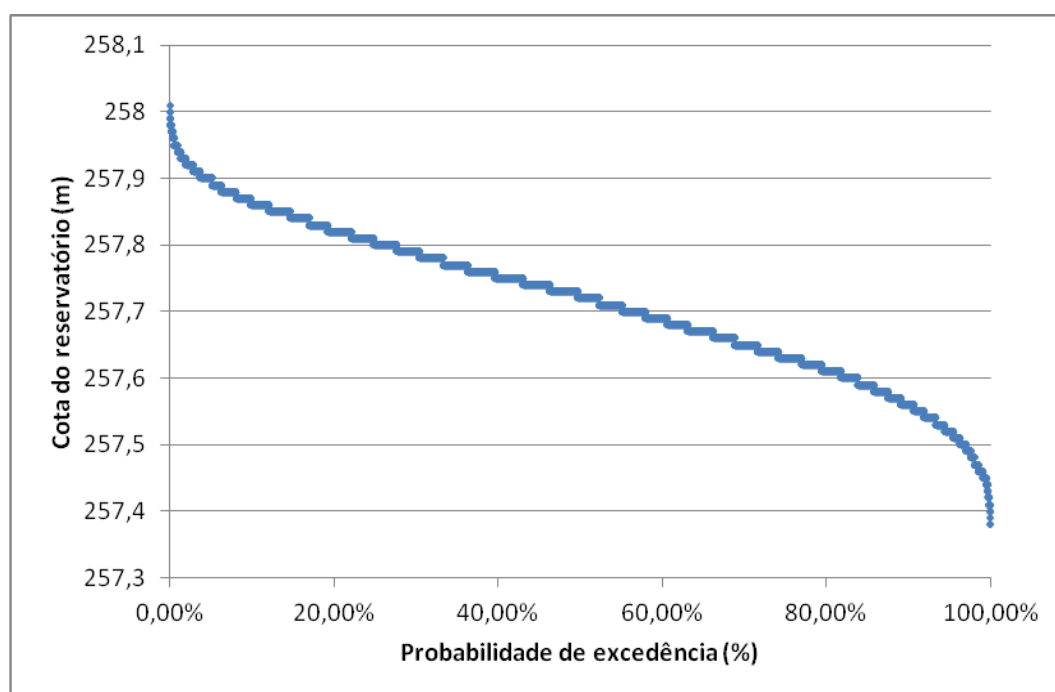


As variações da cota do nível d'água num reservatório de geração de energia dependem tanto das condições climáticas, ou seja, reproduzindo o mesmo comportamento

sazonal natural do regime de chuvas da região, como da necessidade de geração de energia, portanto, dependente da operação do sistema elétrico brasileiro, o qual é coordenado pela ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), sob a fiscalização e regulação da ANEEL.

Ainda para o período de monitoramento total, a curva de permanência (Figura 52) permitiu verificar que em 55% do tempo de monitoramento as cotas dos níveis d'água foram superiores a 257,7m, o que concorda com os dados históricos processados (60%). Além, indica que na maior parte do tempo, a faixa de depleção do reservatório é de apenas 30cm.

Figura 52 - Curva de permanência da cota horária do nível d'água do reservatório da UHE Rosana (SP/PR) referente ao período de nov/2016 a jun/2018 (monitoramento total)

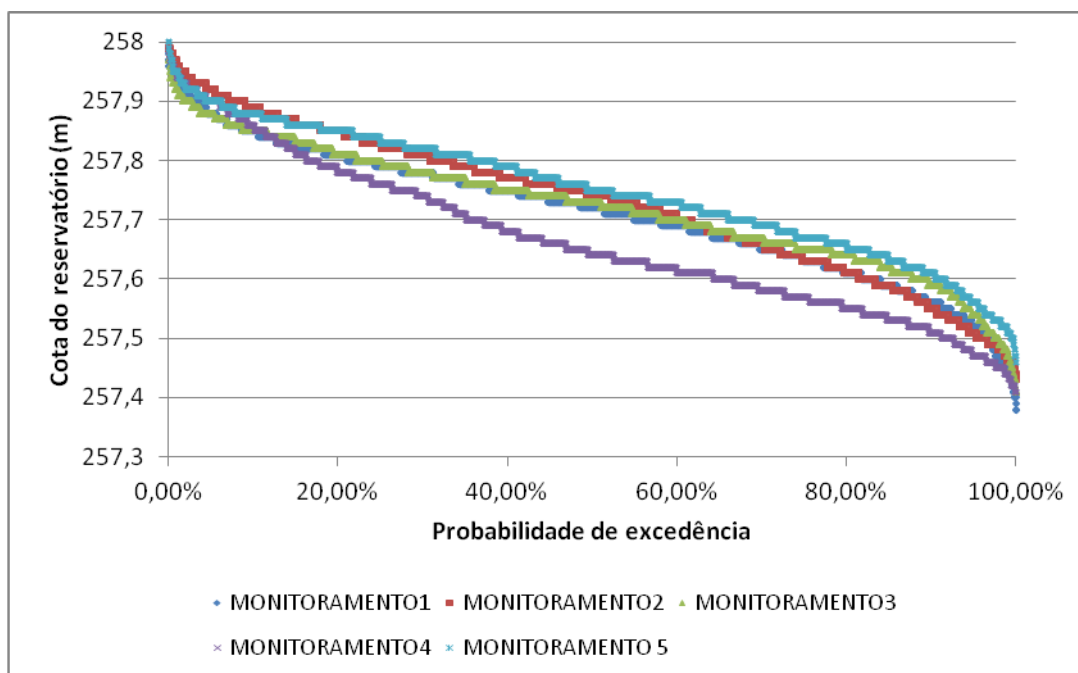


Os dados das cotas também foram avaliados considerando os períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5), conforme a Figura 53.

Pode ser observado que durante os monitoramentos 1, 2, 3 e 5 as cotas foram superiores a 257,7 em aproximadamente 60% do tempo, enquanto que no monitoramento 4 ocorreram em apenas em 38% do tempo.

Durante o período de monitoramento 1, a cota mínima foi de 257,38m e a máxima de 257,98m. No monitoramento 2 variou de 257,43m a 257,99m, no monitoramento 3 de 257,41m a 257,97m, no monitoramento 4 de 257,41m a 257,99m e no monitoramento 5 de 257,46m a 258,01m. Portanto, as amplitudes de cota durante os períodos monitorados variaram de 53cm a 60cm.

Figura 53 - Curva de permanência da cota horária do reservatório da UHE Rosana (SP/PR) referente aos períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5)



Nota: Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

Pôde-se observar que durante o período de monitoramento 4, quando ocorreu recuo apenas no ponto de controle 3, conforme a Figura 46 apresentada anteriormente, foi o período de monitoramento com as menores cotas (Figura 53). Porém, durante o período de monitoramento 5, quando praticamente não ocorreram recuos, foi o período com as maiores cotas. Além, as cotas durante os monitoramento 2 e 5 foram próximas durante a maior parte do tempo, sendo que no monitoramento 2 ocorreram recuos significativos.

Sendo assim, não foi verificada correlação entre o nível d'água e a magnitude dos recuos entre os diferentes períodos de monitoramento. A pequena variação de cota deste reservatório, associada a sazonalidade dos recuos, não permitiu relacionar as mesmas a magnitude dos processos erosivos.

Em todos os pontos de controle, existem praias cujas larguras variam em função da cota do nível d'água do reservatório. O termo "praia" utilizado neste trabalho, como já dito anteriormente, refere-se a parte seca entre a linha d'água e a base do talude.

A menor cota observada durante os levantamentos de campo foi de 257,44m em 22 de setembro de 2017, sendo que neste dia alcançou um valor máximo de 257,61m e a maior cota

foi verificada no campo do dia 09 de dezembro de 2017, de 257,86m, com a mínima do dia sendo de 257,63m.

A suposição usual é que ao longo do tempo as praias se tornem mais suaves e amplas, estabilizando assim as margens com relação aos processos erosivos por ondas (REID, 1993). Porém, para comparar as alterações relevantes ao longo do tempo, é necessário medir as larguras da praia a partir da mesma cota do nível d'água, ao longo do tempo.

A pequena flutuação do nível d'água no reservatório permitiu o desenvolvimento de vegetação nas margens, como pôde ser verificado nos pontos de monitoramento 1, 2 e 4. Além, faz com que o material acumulado na base do talude seja removido lentamente, causando uma proteção contra o recuo das margens e ainda, restringe a posição do talude atingida pelas ondas, uma vez que a faixa de solapamento depende tanto da cota do nível d'água do reservatório como da altura da onda. Tal, faz com que o mesmo local do talude seja atingido por estas últimas.

Portanto, nos pontos controle, apenas a parte mais inferior dos taludes são atingidos pelas ondas. Tal, pôde ser confirmado pela altura do solapamento nos mesmos. Da mesma forma, no reservatório da UHE de Porto Colômbia (SP/MG), o qual também é um reservatório a fio d'água, a faixa de depleção, em grande parte do ano é de 80cm, propiciando a incidência de ondas em uma faixa restrita da margem, segundo D'Armada (2012).

5.2.5 Caracterização hidrodinâmica do escoamento nos pontos de controle

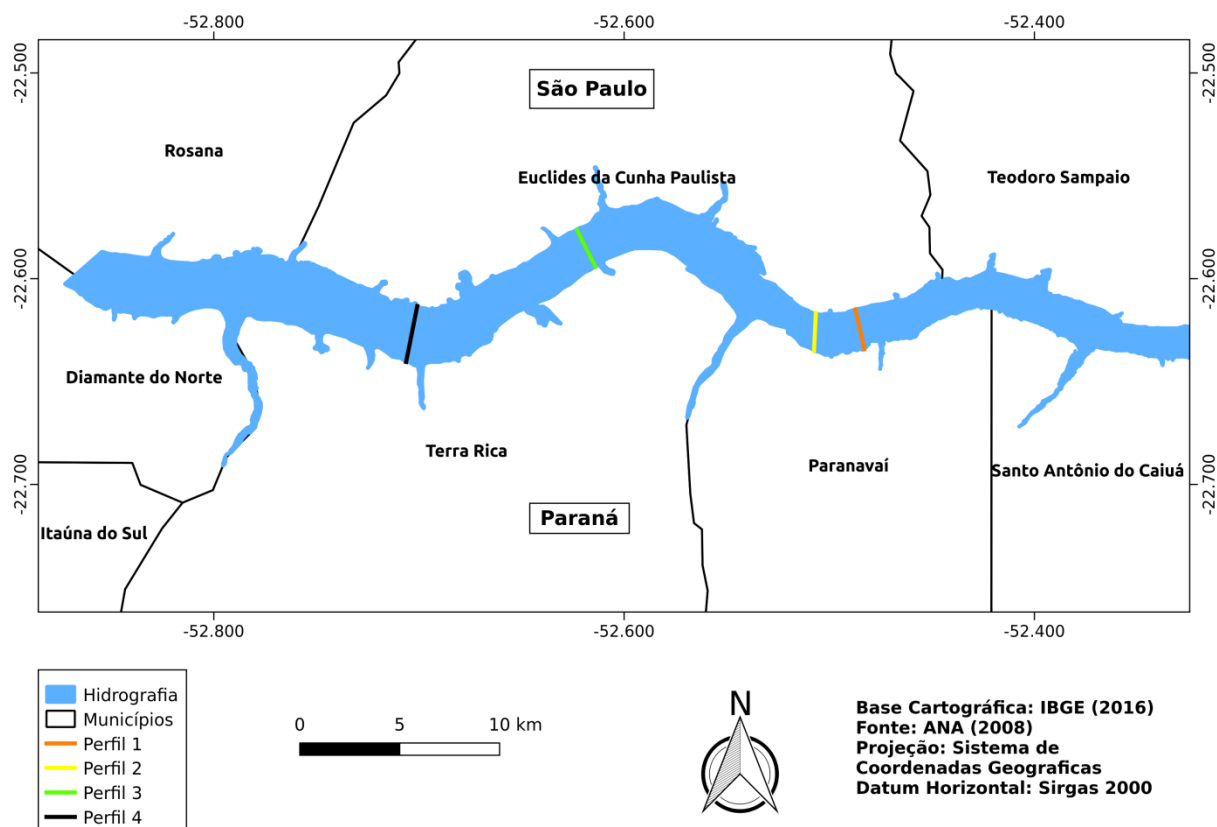
Em canais fluviais é comum a ocorrência de erosão marginal devido ao fluxo dos rios. Porém, a construção de barragens provoca alterações nas características hidráulicas do mesmo, sendo que à montante da barragem com o aumento da seção transversal, ocorre redução da velocidade do escoamento. No estudo dos processos erosivos marginais deve-se atentar para qual é a força hidrodinâmica atuante nas margens, portanto, é importante saber a magnitude do fluxo d'água no reservatório.

Segundo Coelho (2008), os reservatórios do tipo fio d'água usam um pequeno ou nenhum volume de armazenamento, operando na maior parte das vezes, próximo aos padrões de fluxo naturais do rio.

Corroborando com o autor, segundo De Moraes (2016), com relação ao fluxo d'água, o reservatório de Rosana (SP/PR) tem características mais próxima à realidade de um rio. Apesar desta constatação, o autor não quantificou a magnitude desse fluxo.

Com o objetivo de quantificar a magnitude do fluxo do reservatório em seções transversais aos pontos de monitoramento, foi utilizado o ADCP. As localizações dos perfis de velocidade gerados pelo programa Riverway, em seções que foram medidas com o ADCP, podem ser visualizadas na Figura 54.

Figura 54 - Localização dos perfis de velocidade realizados através do uso do ADCP, UHE Rosana (SP/PR)



Os perfis de distribuição de velocidade nas seções transversais referentes aos pontos de controle 1, 2, 3 e 4, podem ser visualizados respectivamente, nas Figuras 55 a 58, onde o lado direito destas figuras corresponde a localização dos pontos de controle.

Embora não realizada a medição no ponto de controle 5, sabe-se que neste local, por encontrar-se mais próximo do eixo da barragem, a velocidade média é inferior as das demais seções medidas. Devido ao represamento, este é o trecho que tem sua hidrodinâmica mais alterada, devido a área da seção transversal do rio tornar-se muito elevada e como consequência, a magnitude da velocidade diminui.

Figura 55 - Perfil de velocidade da seção medida com o ADCP no Reservatório da UHE Rosana (SP/PR), no ponto de controle 1 em 26/11/2016

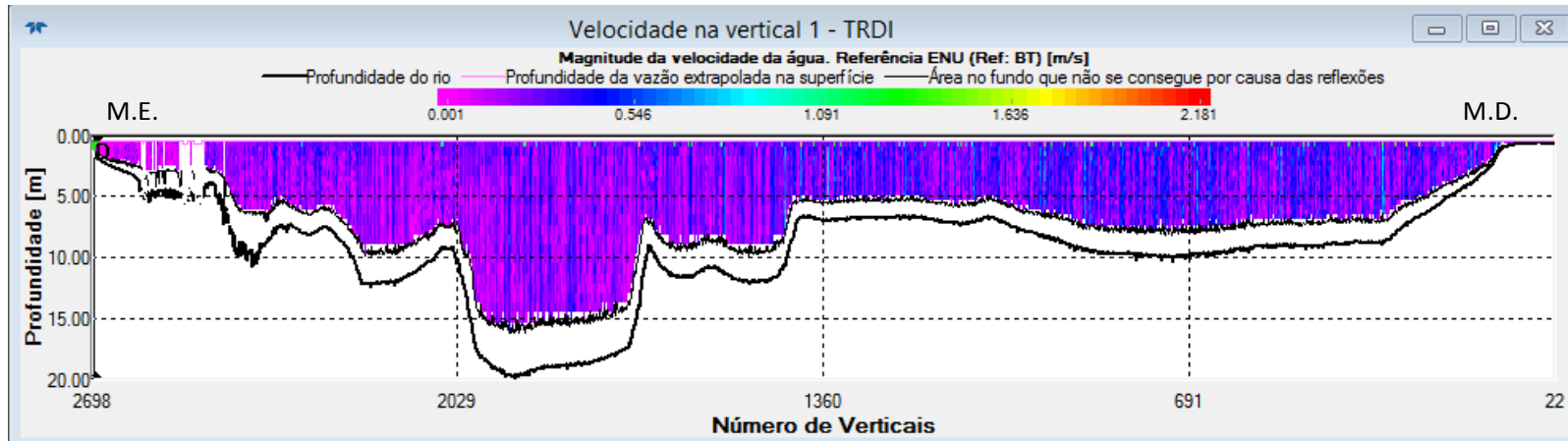


Figura 56 - Perfil de velocidade da seção medida com o ADCP no Reservatório da UHE Rosana (SP/PR), no ponto de controle 2 em 26/11/2016

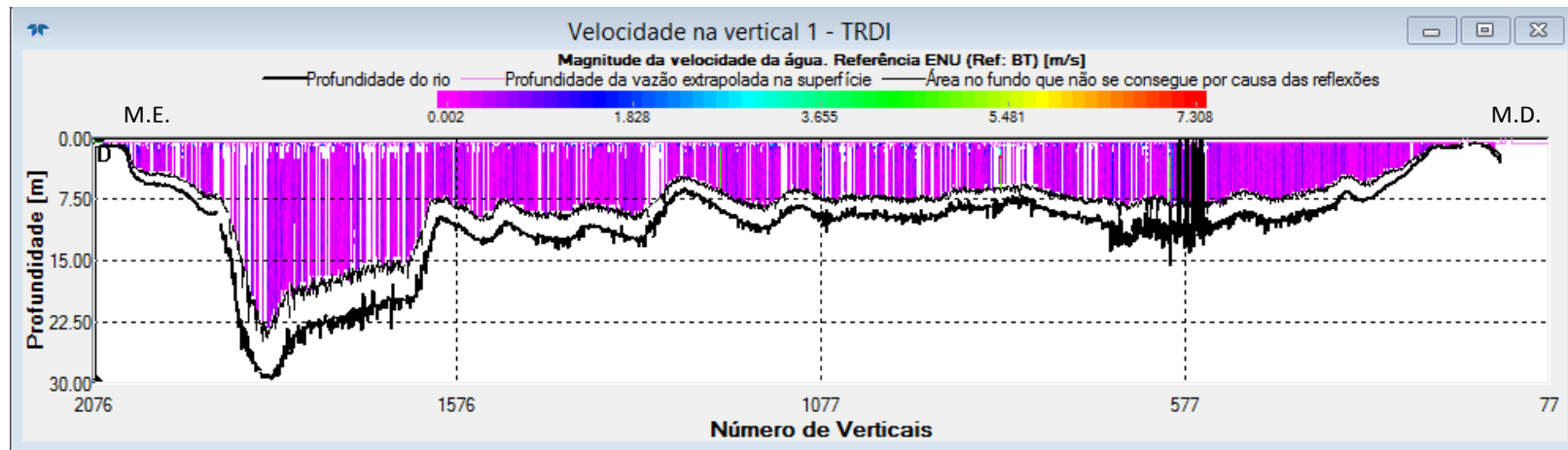


Figura 57 - Perfil de velocidade da seção medida com o ADCP no Reservatório da UHE Rosana (SP/PR), no ponto de controle 3 em 26/11/2016

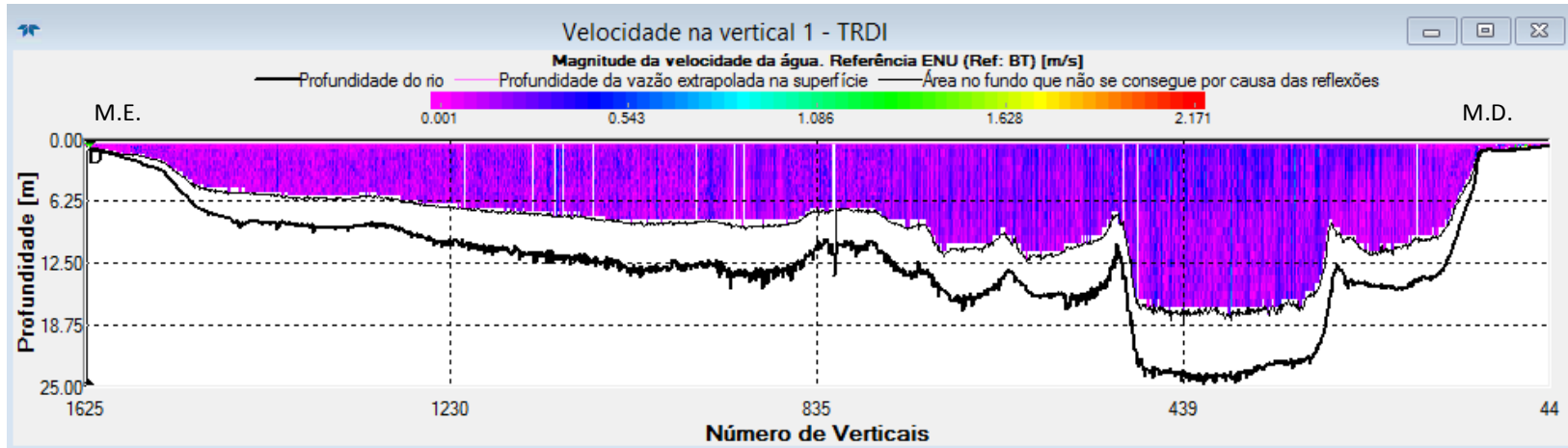
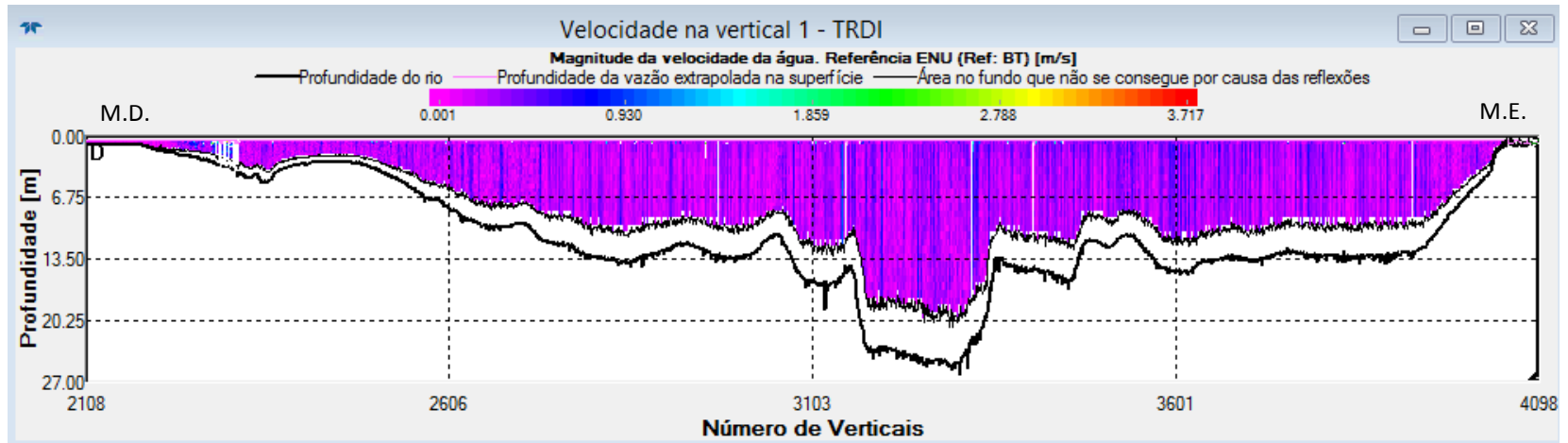


Figura 58 - Perfil de velocidade da seção medida com o ADCP no Reservatório da UHE Rosana (SP/PR), no ponto de controle 4 em 25/11/2016



Os gráficos (Figuras 55 a 58) apresentam o número dos perfis no eixo x e a profundidade no eixo Y, bem como a intensidade do fluxo em cada célula medida e uma escala cromática. Os aparelhos Doppler não fazem medições próximas à superfície, ao leito e as margens, sendo estas áreas calculadas por extrapolação e interpolação.

Na Figura 55, correspondente ao perfil de velocidade no ponto de controle 1, o perfil apresentou uma falha próximo a margem esquerda, que pode ter sido causada por diferentes motivos, inclusive por falha do equipamento ou mesmo pela presença de plantas no local.

Já na Figura 56, referente ao perfil no ponto de controle 2, observamos faixas verticais em branco distribuídas ao longo de todo o perfil. Tais faixas, também são devidas a erros que podem ocorrer durante a medição. Segundo Oliveira (2015) este tipo de erro pode ocorrer, entre outros fatores, devido à perda de fundo, a descorrelação do sinal acústico e ao baixo nível de retorno do eco.

Modificações na largura, profundidade e velocidade do fluxo são observadas nas seções transversais estudadas. Nos pontos de controle 1 e 2, o talvegue é deslocado para a margem esquerda, ou seja, na direção oposta aos pontos de monitoramento. Já no ponto de controle 3 o talvegue é deslocado para a margem direita, próximo ao ponto de monitoramento. No ponto de controle 4, a seção pode ser considerada simétrica, onde o talvegue encontra-se centralizado.

As velocidades médias do fluxo determinadas para cada seção foram de 10,2 cm/s para a seção referente ao ponto de controle 1, de 11,9 cm/s no ponto 2, de 9,5 cm/s no ponto 3 e de 8,8 cm/s no ponto 4. Com base nestes valores, observamos que as velocidades médias decresceram de montante para jusante, com exceção do ponto de controle 2. Porém, o ponto 2 foi o que apresentou uma maior quantidade de falhas no perfil.

Em todas as seções de amostragens realizadas, verificou-se que neste reservatório o fluxo d'água pode ser classificado como turbulento (número de Reynolds acima de 2500), não-uniforme (variações na velocidade e na profundidade ao longo do canal) e tranquilo de corrente (número de Froude menor que 1).

O conhecimento do padrão da velocidade espacial e temporal requer estudos mais detalhados, através da geração de mapas com isolinhas de velocidade para diferentes cotas do nível d'água. Porém, no reservatório de Rosana (SP/PR), ocorre pouca variação das cotas dos níveis d'água. Além, os resultados aqui apresentados referem-se a cota média diária de 257,72m para o dia 25 de novembro de 2016, referente ao perfil apresentado na Figura 58, e a cota de 257,62m para o dia 26 de novembro, referentes as Figuras 55 a 57. A cota de 257,7m,

refere-se a cota de maior ocorrência no reservatório. Os dados de velocidade do fluxo apresentados são referentes aos dados coletados nos dias citados, servindo como um indicador das magnitudes das velocidades nas seções estudadas.

A quantificação da velocidade do fluxo é importante uma vez que pode ser um dos fatores de influência no processo erosivo. Conforme os autores Silva, Souza Filho e Neves (2011, p.82), "A alta velocidade da água resulta geralmente em erosão e transporte, enquanto que a deposição ocorre quando a velocidade de fluxo diminui".

Na pesquisa realizada por Fernandez e Fulfaro (1993), com relação as magnitudes e processos erosivos marginais no trecho de Porto Rico, no Rio Paraná, nas margens onde ocorreram desmoronamento por cisalhamento, as mesmas estavam submetidas a fortes correntes, superiores a 80cm/s. Os autores caracterizaram a velocidade do fluxo como fortes, quando superiores a 80cm/s, e como moderada quando menor que 80cm/s.

As velocidades médias dos fluxos em todas as seções onde foram realizadas as medições podem assim ser consideradas baixas.

A determinação das velocidades do fluxo nos transectos aos pontos de controle, tinha o intuito de avaliar a sua influência no processo erosivo marginal. As baixas velocidades indicam a inexistência de processos erosivos devido ao fluxo. Nos permite também desconsiderar a influência do mesmo na geração do campo de ondas no reservatório, conforme Nicolodi (2007), pois a influência do fluxo sobre o clima de ondas foi descartada pelo autor em função das baixas velocidades existentes no lago, ou seja, velocidade média de 10 cm/s e máxima de 15 cm/s.

5.2.6 Campos de fetch

Com relação aos ventos, inicialmente foram processados os dados de direção do vento referentes ao período de 2008 a 2014, para identificar o padrão de variação dos mesmos na região de estudo.

A Tabela 6 apresenta os resultados do processamento dos dados de vento horário para o período de 2008 a 2014, apresentando as porcentagens médias anuais de ocorrência dos ventos para cada direção e para cada ano de medição.

O padrão de variação anual da distribuição da ocorrência de ventos diários pode ser melhor observado na Figura 59, onde verifica-se a predominância dos ventos de direção Leste, em todos os anos.

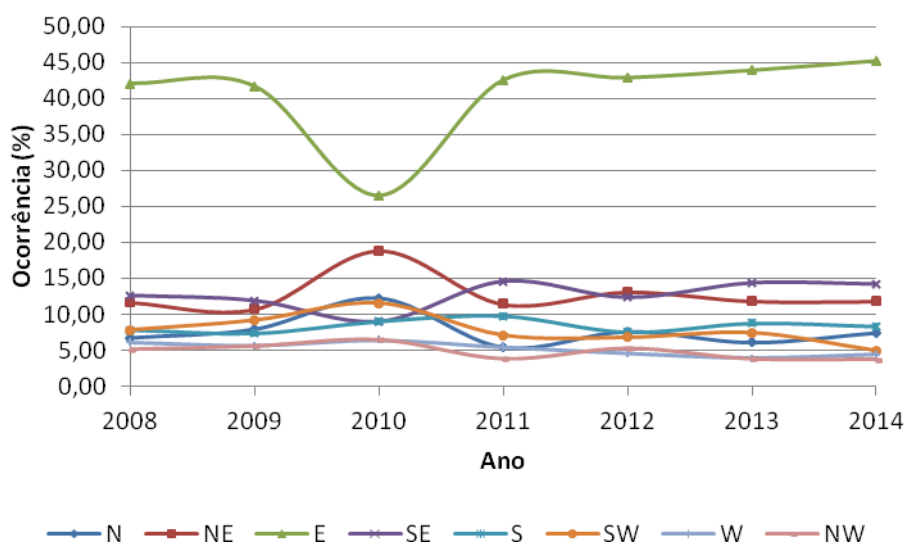
Com base nos dados de vento processados foi escolhida a direção do vento de maior frequência dos ventos para confrontar as magnitudes dos *fetchs* obtidas por diferentes procedimentos, ou seja, foi realizada a análise de sensibilidade entre dois métodos de determinação do *fetch*.

Tabela 6 - Distribuição percentual de ocorrência do vento horário para cada direção do vento. Estação Diamante do Norte - PR (2008-2014)

Ano	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
2008	6,74	11,68	42,07	12,60	7,83	7,84	6,12	5,12
2009	7,95	10,72	41,68	11,89	7,36	9,17	5,66	5,58
2010	12,26	18,83	26,48	8,94	9,02	11,56	6,43	6,48
2011	5,43	11,42	42,53	14,59	9,76	7,09	5,41	3,77
2012	7,60	13,12	42,85	12,33	7,52	6,78	4,54	5,26
2013	6,07	11,84	43,89	14,38	8,75	7,43	3,89	3,75
2014	7,42	11,81	45,19	14,22	8,31	4,95	4,40	3,70
Média	7,64	12,77	40,67	12,71	8,36	7,83	5,21	4,81

Fonte: INMET

Figura 59 - Distribuição percentual de ocorrência do vento horário para cada direção do vento. Estação Diamante do Norte - PR (2008-2014)



As Figuras 60 a 63 apresentam, os mapas de *fetch* obtidos para ventos provenientes da direção Leste, gerados pelo Método de Saville (1954) adaptado, através da variação do ângulo entre a direção do vento e a direção secundária, conforme fundamentos teóricos apresentados. Foram utilizados desse modo, os ângulos de 1, 5, 15 e 45 graus. Estes foram denominados como de alta resolução, resolução de 5, 15 e 45 graus, respectivamente conforme denominação dada por Marques (2013). Nas discussões a seguir, o Método de Saville (1954)

adaptado para estas resoluções, será indicado como Método de Saville, seguido da resolução utilizada.

Figura 60 - Mapa de *fetch* pelo Método de Saville em alta resolução (1 grau) para ventos provenientes de Leste

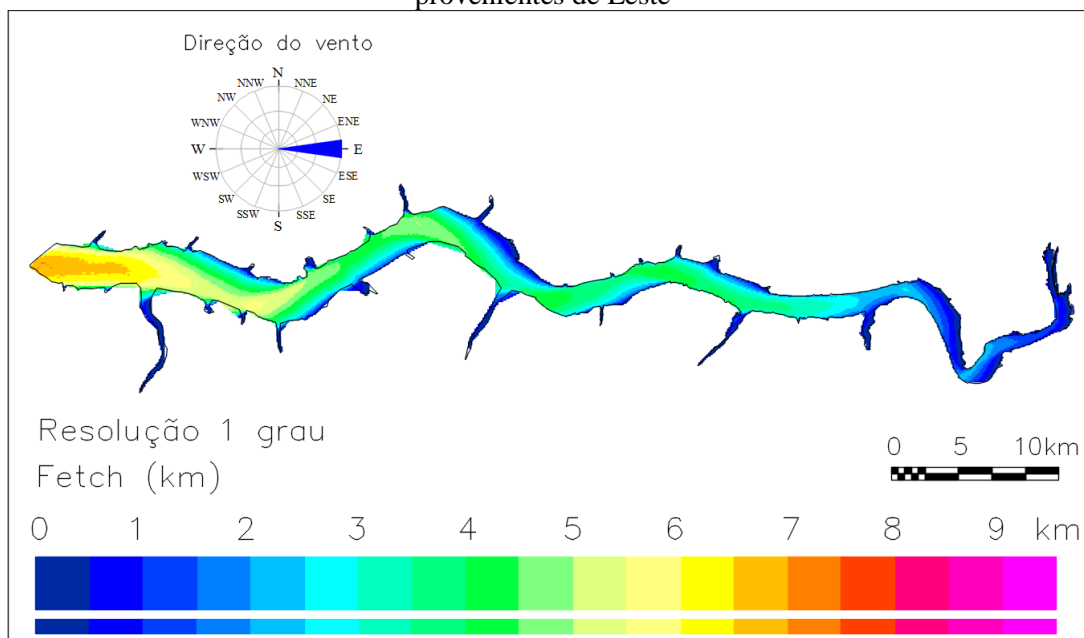


Figura 61 - Mapa de *fetch* pelo Método de Saville com resolução de 5 graus para ventos provenientes de Leste

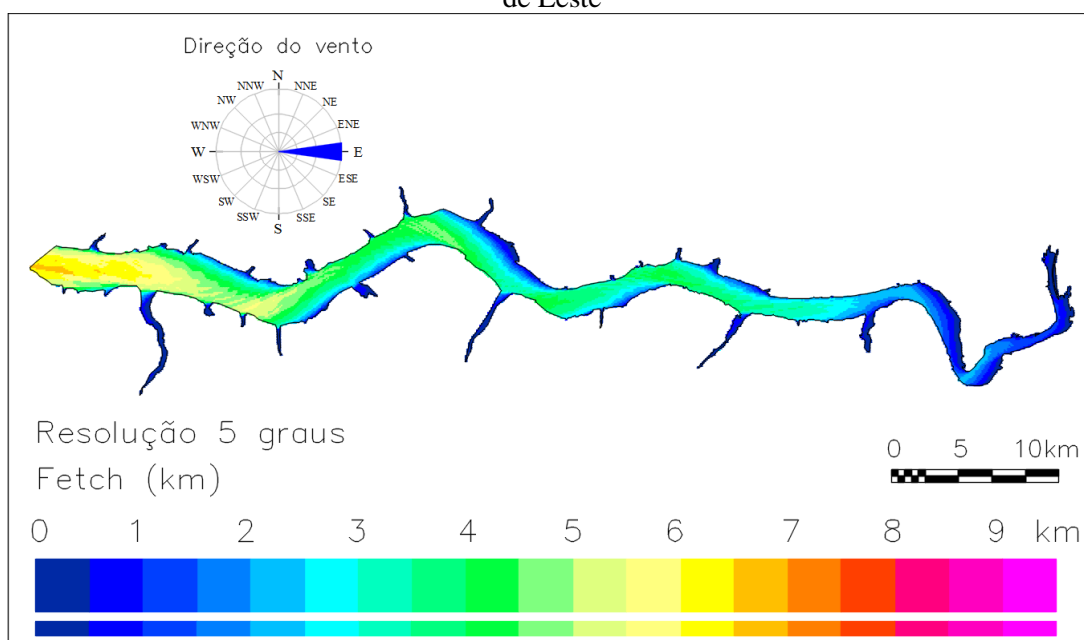


Figura 62 - Mapa de *fetch* pelo Método de Saville com resolução de 15 graus para ventos provenientes de Leste

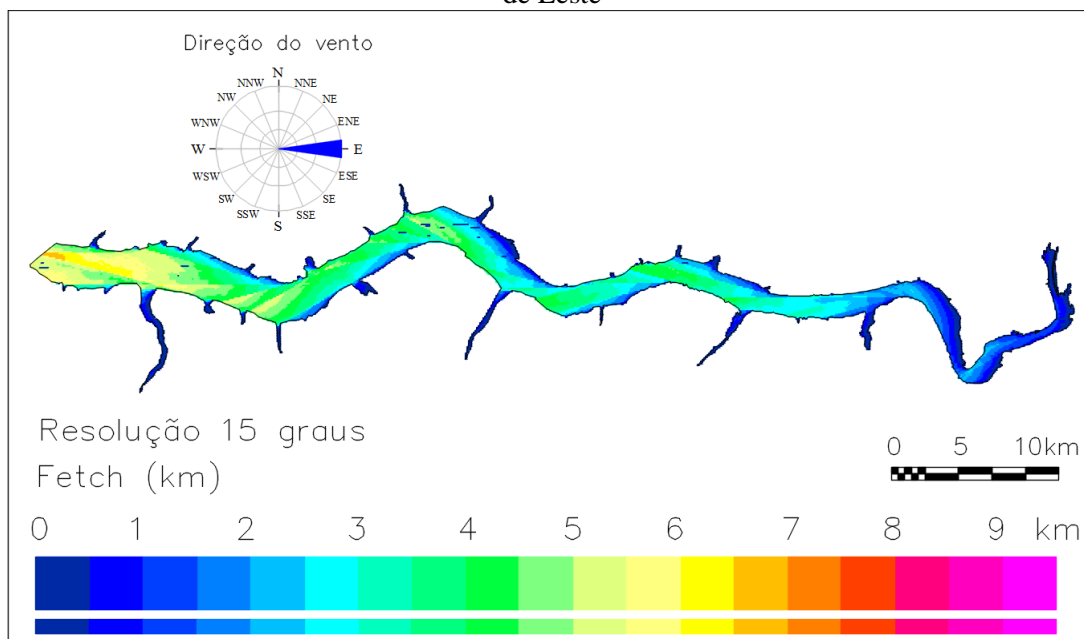
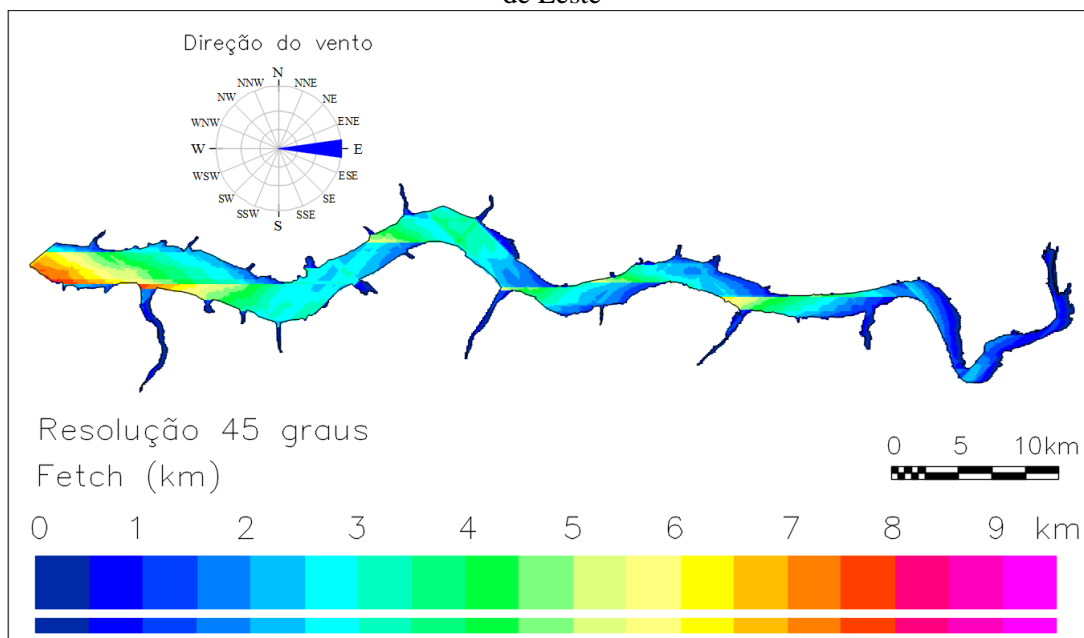
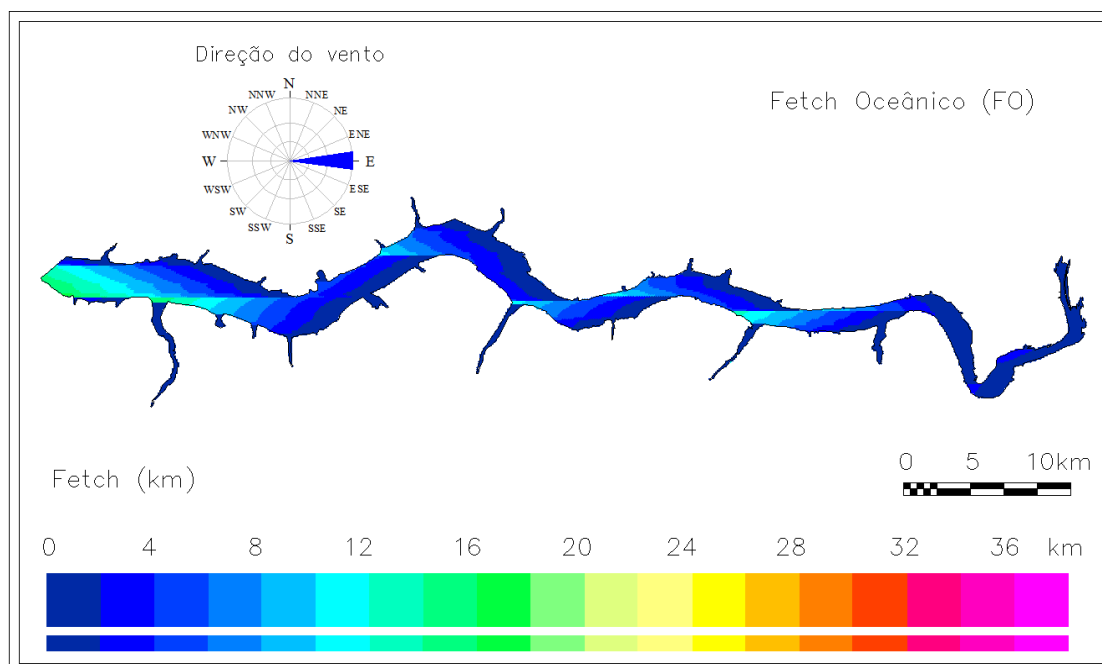


Figura 63- Mapa de *fetch* pelo Método de Saville com resolução de 45 graus para ventos provenientes de Leste



A Figura 64 apresenta o mapa obtido pelo método do *Fetch* Oceânico. Tais, mapas foram gerados para verificar qual método seria o mais adequado para a determinação do campo de *fetch* no reservatório da UHE Rosana (SP/PR).

Figura 64 - Mapa de *fetch* pelo Método do *Fetch* Oceânico para ventos provenientes de Leste



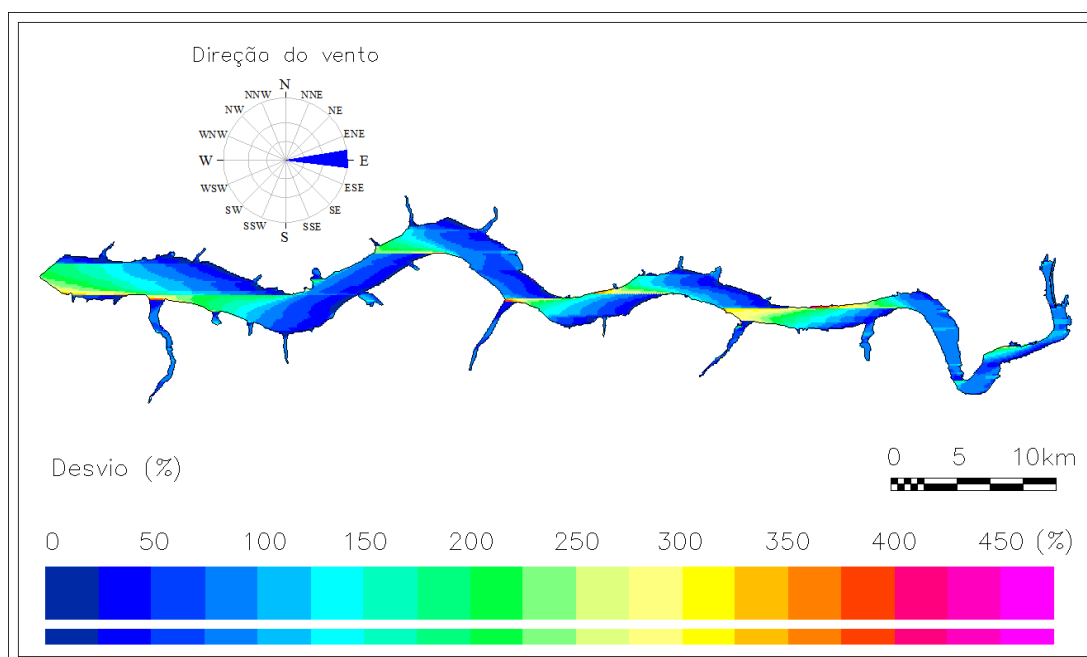
Ao ser analisado os valores de *fetch* gerados pelas diferentes resoluções pelo Método de Saville, foi verificado que em termos de amplitude entre os maiores valores do *fetch*, independente da localização, há uma pequena variação. A diferença entre os *fetch* máximos foi de 13% entre as resoluções de 1 e 45 graus, sendo que quando comparado o *fetch* máximo das resoluções de 5 e 15 graus com a resolução de 1 grau, as diferenças entre os mesmos foram menores ainda. Porém, a localização dos maiores *fetch* são bastante afetadas pela escolha da resolução. Na resolução de um grau, a área correspondente aos maiores valores de *fetch* são maiores.

O mapa obtido pelo Método do *Fetch* Oceânico, além de gerar resultados bem superiores, em relação aos gerados pelo Método de Saville, os maiores valores de *fetch* apresentam maior distribuição espacial.

O *fetch* máximo foi de 7Km pelo Método de Saville em alta resolução e de 16,7 Km pelo método do *Fetch* Oceânico, portanto, o *fetch* máximo desse último foi 138% maior que o obtido pelo método de Saville.

Para uma melhor visualização das diferenças entre os valores dos *fetchs* gerados pelo Método de Saville em alta resolução e pelo Método do *Fetch* Oceânico para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), foi gerado um mapa de desvios, conforme a Figura 65. Pode-se verificar pelo mesmo, que os maiores desvios encontram-se distribuídos ao longo de todo o reservatório.

Figura 65 - Mapa de desvio dos *fetchs* pelos Método de Saville em alta resolução e o Método do *Fetch* Oceânico para ventos provenientes de Leste



Uma vez que a obtenção de uma equação paramétrica específica para o reservatório em estudo, é altamente dependente da magnitude do *fetch*, foi essencial a definição do método mais adequado para a sua determinação.

Da observação dos mapas gerados pelo Método de Saville em diferentes resoluções (1, 5, 15 e 45 graus) e pelo Método do *Fetch* Oceânico, verificou-se uma degradação crescente na qualidade da distribuição do *fetch* com o aumento do ângulo entre as linhas radiais, sendo o caso extremo representado pelas discontinuidades apresentadas no campo de *fetch* pelo Método do *Fetch* Oceânico. Desse modo, a distribuição do campo de *fetch* pelo Método de Saville em alta resolução se aproxima mais do aspecto esperado para um campo de ondas, no caso específico para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR).

Além disso, o Método de Saville (1954) é provavelmente o método mais difundido para a determinação do *fetch* em águas interiores, tendo sido validado por Marques (2013) a sua utilização em alta resolução, quando demonstrou a existência de elevada correlação entre os campos de onda e de *fetch* determinado pelo mesmo.

Os mapas de *fetch* obtidos pelo Método de Saville em alta resolução para as oito principais direções do vento, são apresentados nas Figuras 66 a 73.

Figura 66 - Mapa de *fetch* pelo Método de Saville em alta resolução para ventos provenientes de Leste

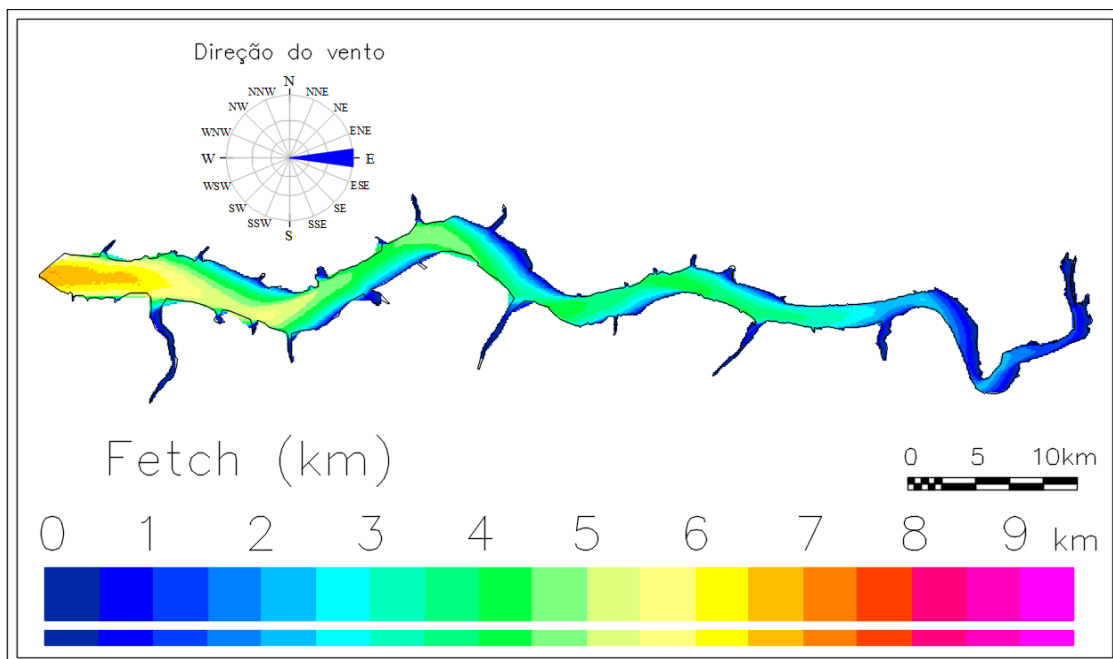


Figura 67 - Mapa de *fetch* pelo Método de Saville em alta resolução para ventos provenientes de Nordeste

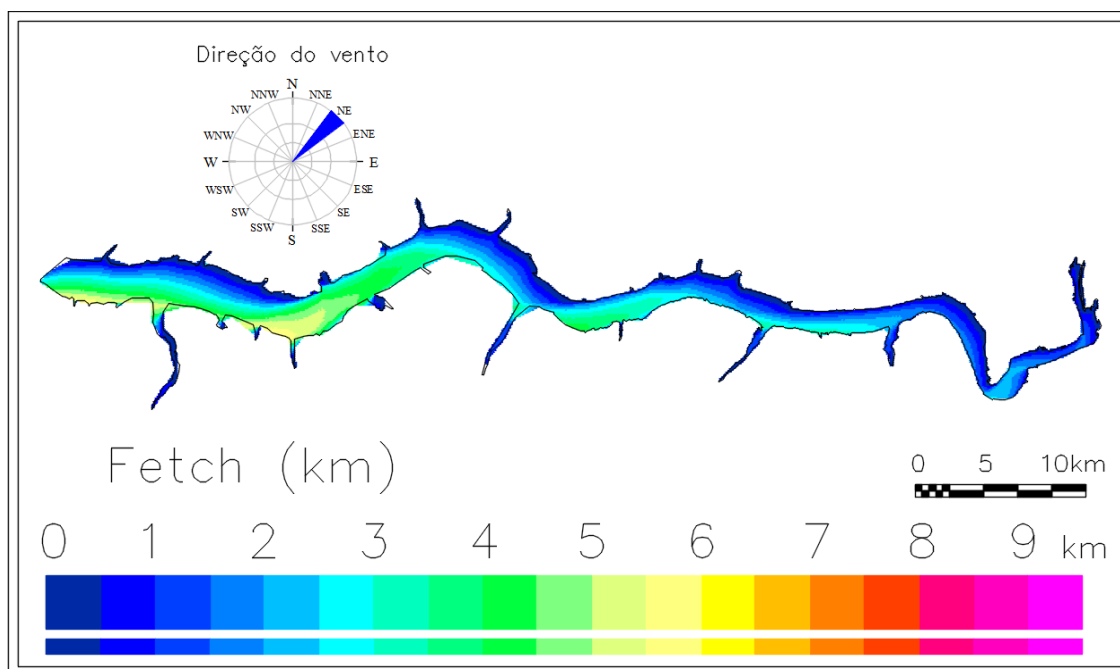


Figura 68 - Mapa de *fetch* pelo Método de Saville em alta resolução para ventos provenientes de Norte

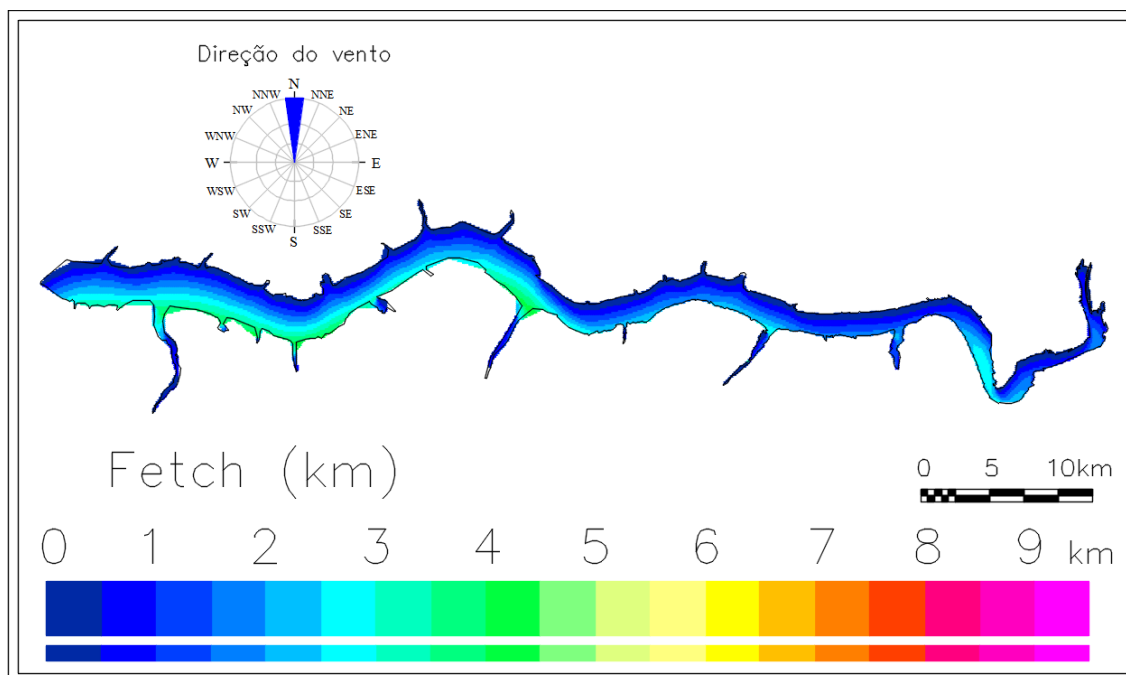


Figura 69 - Mapa de *fetch* pelo Método de Saville em alta resolução para ventos provenientes de Noroeste

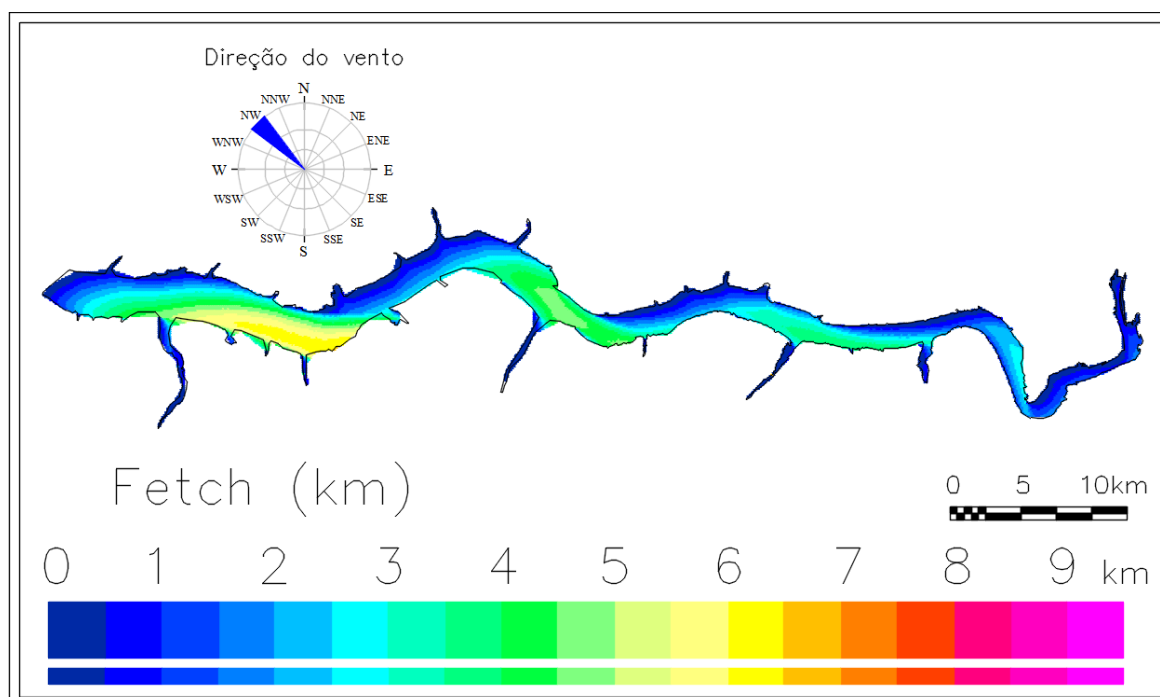


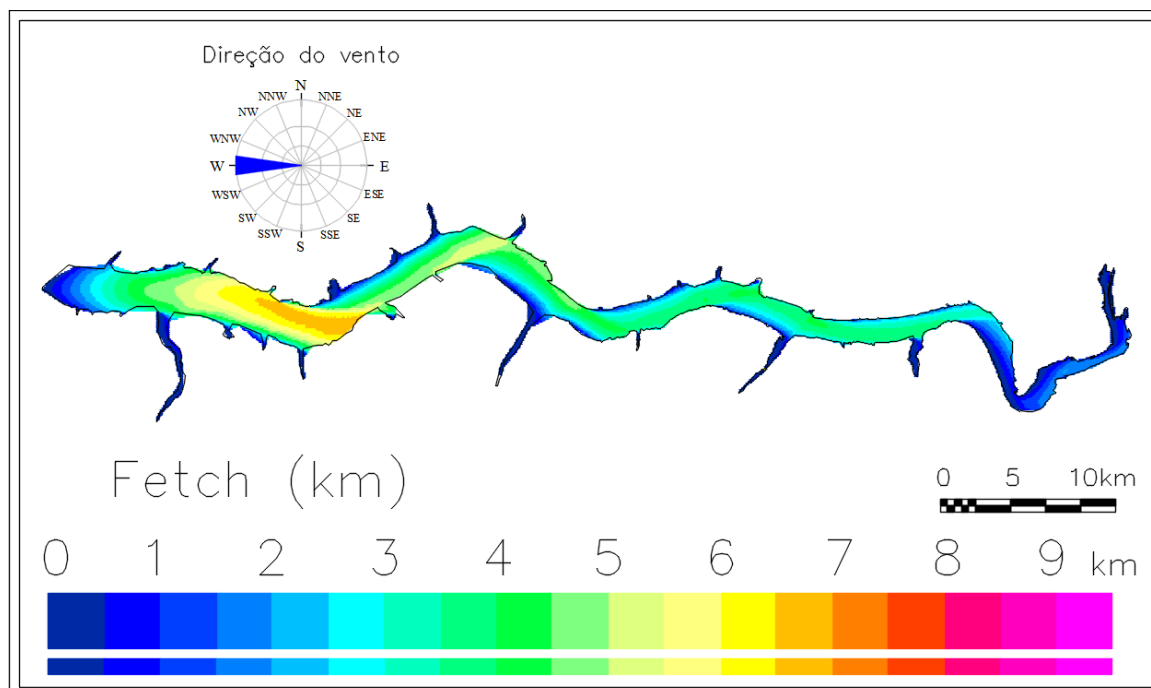
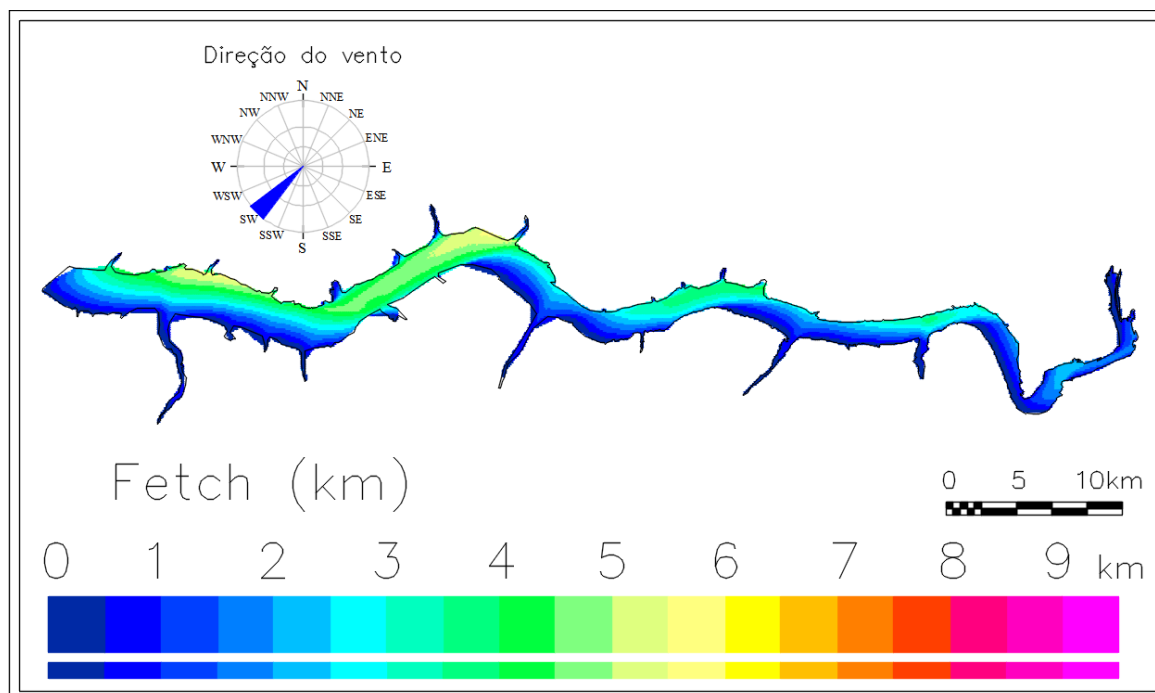
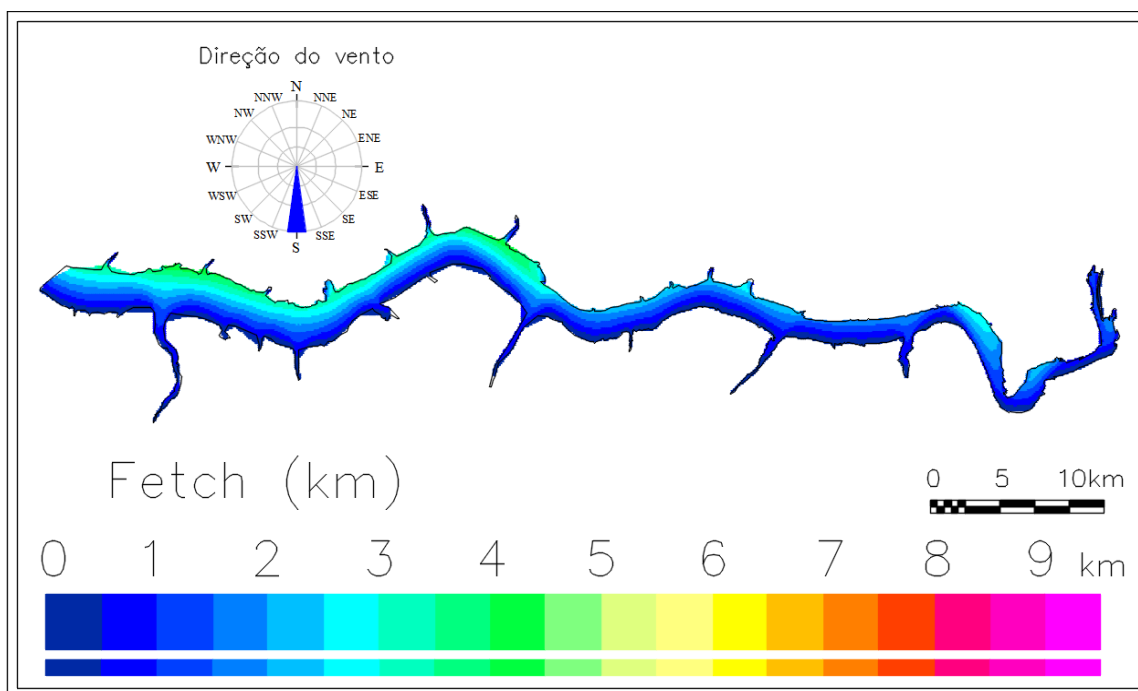
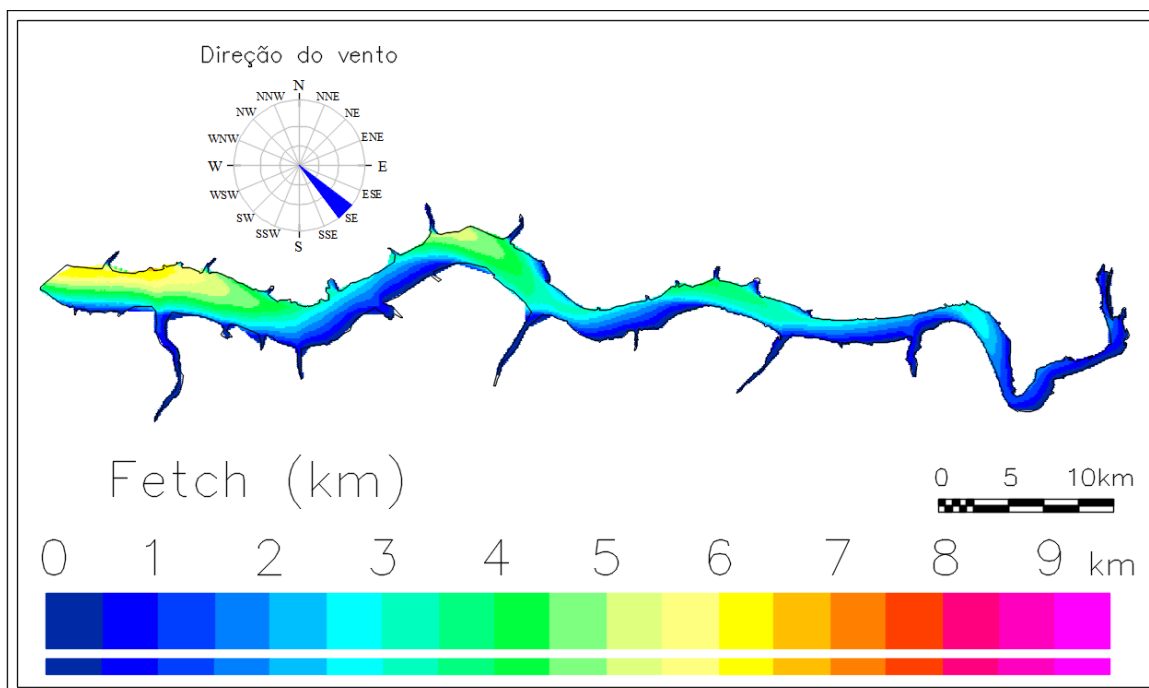
Figura 70 - Mapa de *fetch* pelo Método de Saville em alta resolução para ventos provenientes de OesteFigura 71 - Mapa de *fetch* pelo Método de Saville em alta resolução para ventos provenientes de Sudoeste

Figura 72 - Mapa de *fetch* pelo Método de Saville em alta resolução para ventos provenientes de SulFigura 73 - Mapa de *fetch* pelo Método de Saville em alta resolução para ventos provenientes de Sudeste

Pode-se visualizar pelos mapas de *fetch* apresentados que a localização dos maiores *fetchs* depende da direção do vento, sendo que para os ventos provenientes de leste e oeste ocorrem os maiores valores de *fetch* para este reservatório, coincidindo com a direção de desenvolvimento do reservatório.

A magnitude do *fetch* pode ser um indicador das áreas com potencial para erodir, uma vez que quanto maior o *fetch*, maior a probabilidade de ocorrência de ondas com alta energia. Sendo assim, a questão que surgiu foi como considerar todas as direções do vento, ou seja, todos os mapas de *fetch* simultaneamente, uma vez que podem ocorrer *fetchs* significativos em diferentes direções.

Uma hipótese inicial desta pesquisa foi que o *fetch* ponderado pela frequência de ocorrência do vento pode ser um indicador das margens propícias a ocorrência de erosão devido as ondas geradas pelo vento.

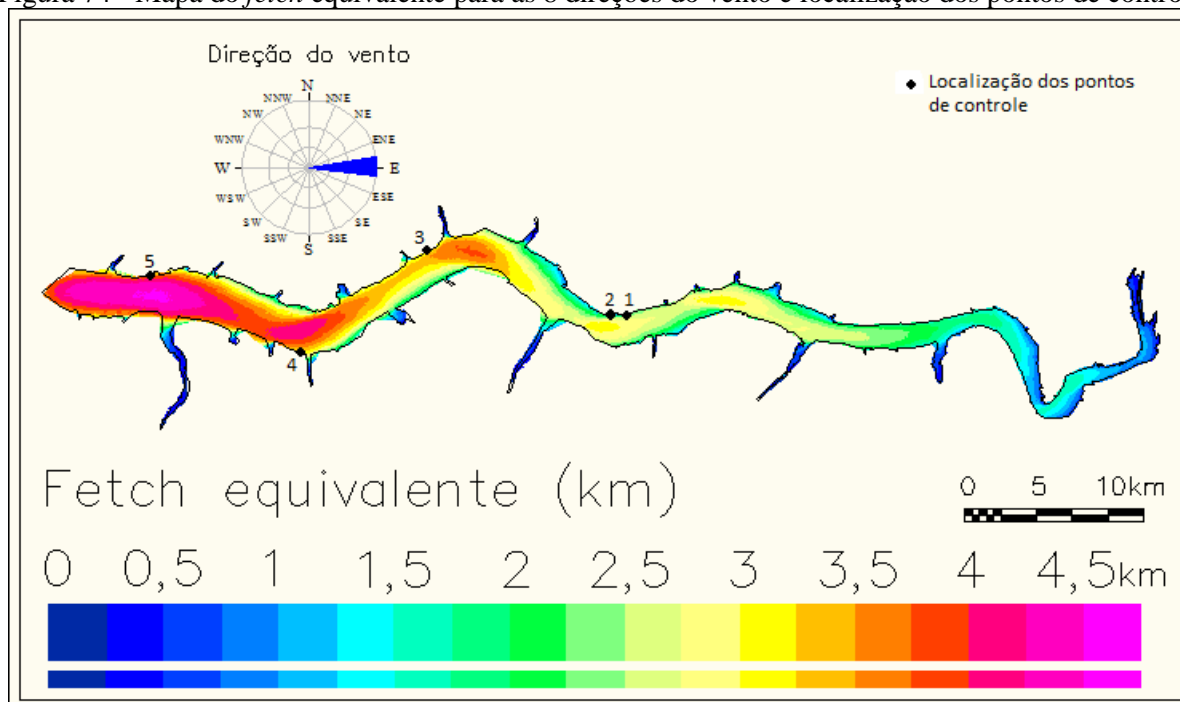
Este conceito, denominado de *fetch* equivalente, leva em consideração o caráter transiente do vento e conseqüentemente, das ondas. A frequência do vento, ou seja, a porcentagem de tempo em que o vento sopra em cada direção, foi aplicada para cada direção do vento para ponderar a influência da mesma no *fetch*, e indiretamente na energia das ondas.

O mapa obtido pode ser visualizado na Figura 74, e representa o mapa de *fetch* equivalente para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), com base nas porcentagens médias anuais de ocorrência de ventos para cada direção, referente ao período de 2008 a 2014, conforme a Tabela 6. Os pontos de controle selecionados nesta pesquisa são apresentados também no mapa de *fetch* equivalente, pois um dos critérios considerados para a definição dos mesmos foi selecionar pontos com diferentes valores de *fetch* equivalente.

O mapa do *fetch* equivalente gera valores de *fetch* inferiores aos valores gerados quando considerada, por exemplo, a direção de maior frequência do vento (Leste), alcançando valores máximos da ordem de 4,75Km, enquanto que no mapa de *fetch* para a direção mais frequente do vento, o maior comprimento do *fetch* foi de 7,5Km.

Apesar do maior *fetch* poder ser considerado um indicador das áreas com potencial para erodir, o mesmo pode ocorrer para diferentes direções do vento, sendo a frequência de ocorrência do mesmo relevante. A abordagem que considera o *fetch* equivalente, levando em consideração a frequência do vento em cada direção, parece deste modo justificável.

Figura 74 - Mapa do *fetch* equivalente para as 8 direções do vento e localização dos pontos de controle



5.2.7 Definição da Equação Paramétrica

Para aplicação da técnica de simulação denominada Modelagem Paramétrica Bidimensional (MPB) foram gerados os mapas de alturas de ondas, pelo modelo SWAN, para ventos provenientes da direção leste e para velocidades do vento de 5, 10, 15 e 20m/s, os quais podem ser visualizados na Figura 75. O mapa de *fetch* para a direção leste já foi apresentado na Figura 66.

A partir destes foi gerado o diagrama adimensional (Figura 76). Verifica-se pelo diagrama, que visualmente o modelo proposto se ajustou bem aos dados, porém constata-se uma tendência de agrupamento dos pontos condicionada pela intensidade do vento. Devido a este agrupamento, foram determinadas quatro equações paramétricas, ou seja, os coeficientes α e β para cada velocidade do vento adotada (5, 10, 15 e 20 m/s).

Os coeficientes obtidos podem ser visualizados na Tabela 7, na qual pode-se observar a variabilidade dos coeficientes em função da intensidade do vento.

A obtenção dos coeficientes variáveis em função da velocidade do vento, reforça a confirmação da hipótese comprovada por Marques (2013), de que, em um modelo paramétrico confiável os coeficientes não são constantes, mas dependentes da intensidade do vento, contrariando os modelos paramétricos de previsão de altura de ondas adotados até os dias atuais.

Figura 75 - Mapa de alturas de ondas modeladas pelo SWAN para vento leste de 5, 10, 15 e 20 m/s

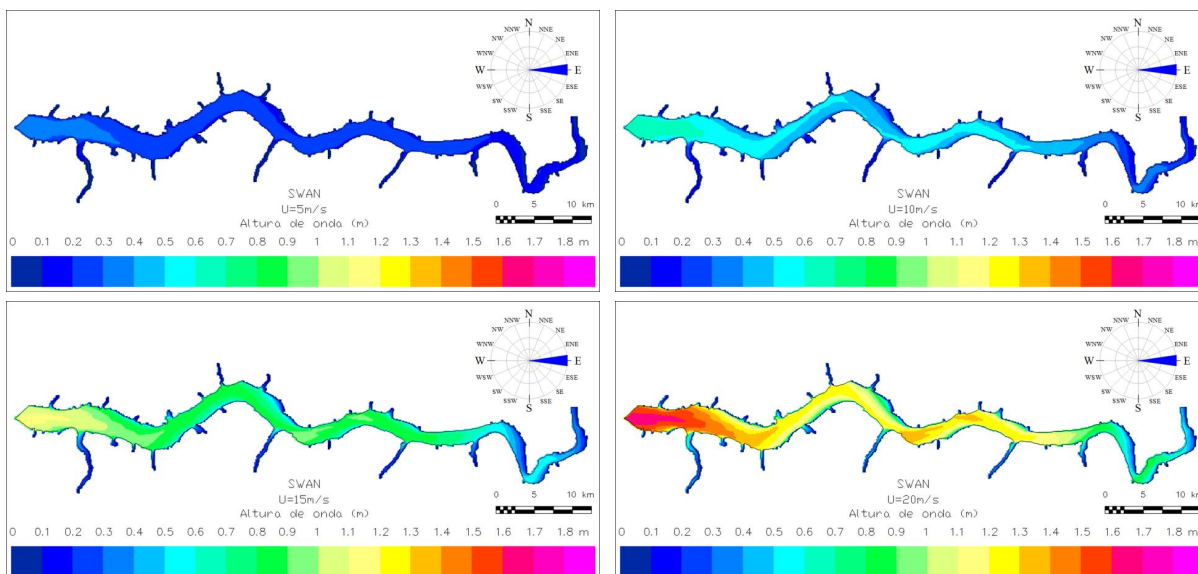


Figura 76 - Diagrama adimensional da altura da onda obtida pelo modelo SWAN e do *fetch* determinado pelo modelo ONDACAD para ventos de 5, 10, 15 e 20m/s

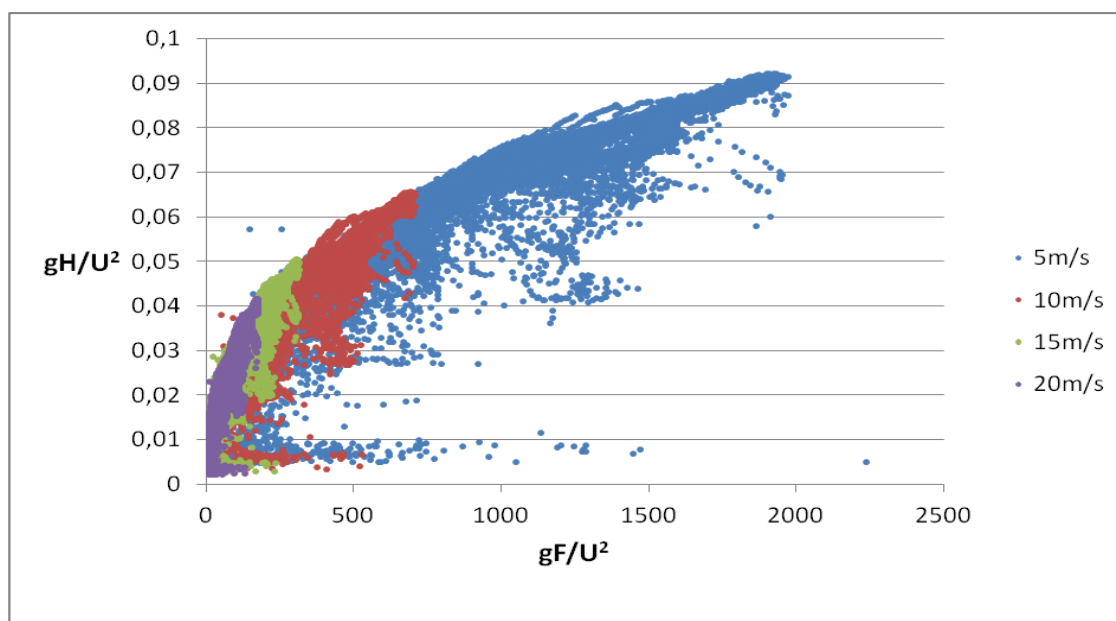


Tabela 7 - Coeficientes do ajuste exponencial entre altura de onda e *fetch* adimensionais para o reservatório de Rosana (SP/PR)

U	α	β
5	0,001434	0,552393
10	0,001629	0,561271
15	0,001718	0,584393
20	0,001925	0,584396

Comparando-se os coeficientes obtidos para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR) com os coeficientes obtidos por Marques (2013) para outras localidades, onde foram utilizados os mesmos procedimentos, foi obtido pelo ajuste exponencial simultâneo da altura de onda e *fetch* adimensionais para os lagos de Vossoroca (PR), Molinos (Argentina), Mangueira (RS) e Michigan (EUA), os coeficientes apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Coeficientes do ajuste exponencial entre altura de onda e *fetch* adimensionais para os lagos de Vossoroca (PR), Molinos (Argentina), Mangueira (RS) e Michigan (EUA)

U	α	β
5	0,0145	0,22948
10	0,0042	0,391394
15	0,002968	0,460343
20	0,00282	0,489704

Fonte: Marques (2013)

Ainda em Marques (2013), foi determinado os coeficientes para outros três lagos, o lago Carlyle (EUA), o lago Guaíba (RS) e o lago Ontário (EUA/Canadá), conforme a Tabela 9.

Tabela 9 - Coeficientes do ajuste exponencial entre altura de onda e *fetch* adimensionais

U	α	β
Lago Carlyle	0,0003	0,6672
Lago Guaíba	0,0003	0,6729
Lago Ontário	0,0027	0,4597

Fonte: Marques (2013)

A comparação dos coeficientes obtidos em diferentes corpos d'água parece indicar que realmente tais coeficientes não devem ser considerados constantes, sendo que variam tanto em função da velocidade do vento, como em função da magnitude do reservatório. Sendo assim, a determinação de uma equação paramétrica específica para o reservatório em estudo tornou-se oportuna.

Devido a variabilidade dos coeficientes em função da velocidade do vento, para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), foram determinados os coeficientes α e β em função da velocidade do vento, conforme as equações 17 e 18, as quais descrevem o ajuste dos coeficientes com a velocidade do vento:

$$\alpha = 0,0009U^{0,2306} \quad (17)$$

$$\beta = 0,5017U^{0,0524} \quad (18)$$

Com base na equação paramétrica obtida, pode-se ter uma ideia da magnitude da altura da onda no reservatório da UHE Rosana (SP/PR). Os dados de vento processados, com relação a intensidade média do vento, para o período de 2008 a 2014, podem ser visualizados na Tabela 10, indicando a magnitude da intensidade média do vento para cada direção do vento.

Tabela 10 - Velocidade média do vento (m/s) para cada direção do vento. Estação de Diamante do Norte - PR (2008-2014)

Ano	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
2008	2,17	2,41	3,45	2,48	2,14	1,77	1,96	1,92
2009	2,65	2,83	3,48	2,43	2,00	1,85	2,63	2,42
2010	1,75	1,88	2,41	1,80	1,82	1,90	1,73	1,62
2011	2,17	2,53	3,17	2,28	1,85	1,44	2,29	2,34
2012	2,02	2,29	2,58	1,93	1,90	1,55	2,29	2,00
2013	1,97	1,99	2,48	1,86	1,96	1,61	2,47	2,21
2014	2,08	1,87	2,43	1,93	1,83	1,48	2,10	2,10
Média	2,12	2,26	2,86	2,10	1,93	1,66	2,21	2,09

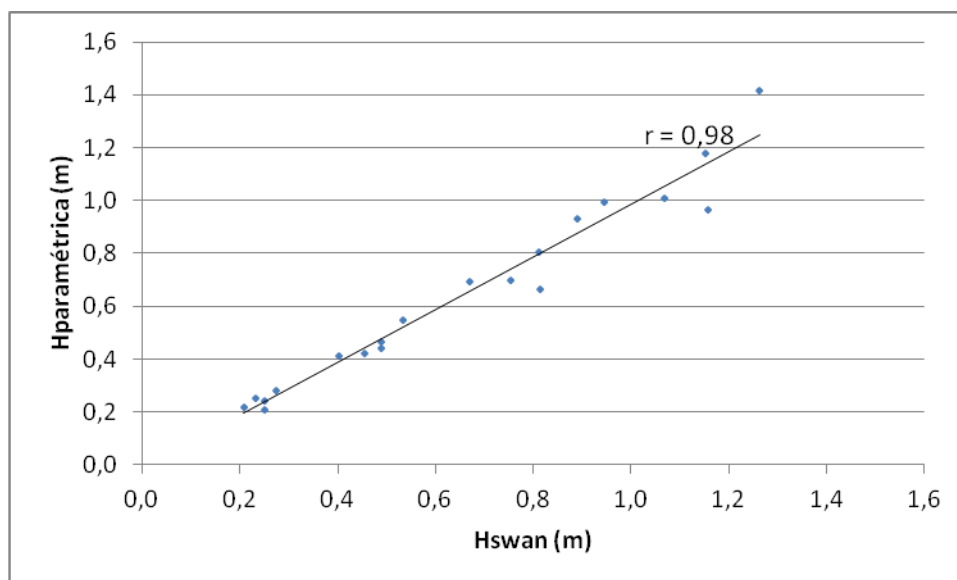
Durante o processamento desses dados, foi verificado que, independente da direção do vento considerada, os ventos de intensidade superiores a 5m/s ocorreram em apenas 6,29% do tempo considerado. A máxima velocidade horária registrada neste período foi de 15,4m/s (55,4Km/h), em 22 de novembro de 2009, proveniente da direção SE.

Considerando esta velocidade e o maior *fetch* existente para a direção do vento proveniente de SE podem ser geradas ondas com altura máxima de 1,09m para esta direção.

Para verificar a qualidade da estimativa de altura de onda obtida com a equação paramétrica determinada, foi realizada a correlação entre as alturas obtidas pela mesma e as obtidas pelo modelo SWAN, sendo utilizado o coeficiente de correlação de Pearson para indicar o relacionamento. Um coeficiente de +1 indica um relacionamento positivo perfeito, um coeficiente de -1 indica um relacionamento negativo perfeito e um coeficiente 0 indica que não existe relacionamento linear.

As alturas de onda obtidas pela equação paramétrica foram plotadas contra as alturas de ondas obtidas pela modelagem com o modelo SWAN, conforme a Figura 77. As alturas foram determinadas considerando as velocidades do vento de 5, 10, 15 e 20m/s, para cada ponto de controle.

Figura 77 - Correlação entre as alturas das ondas obtidas pela equação paramétrica e pelo modelo SWAN para os cinco pontos de controle e para as intensidades do vento de 5, 10, 15 e 20m/s, para a direção Leste do vento



O coeficiente de correlação de Pearson (r) determinado foi de 0,98, indicando que há uma excelente correlação entre as alturas de onda obtidas pelo SWAN e pela equação paramétrica para os pontos de controle.

Ainda, para a análise em escala regional da qualidade da estimativa da altura da onda pela equação paramétrica, foram gerados os mapas de altura da onda obtidos com a utilização da equação paramétrica através do modelo ONDACAD, para ventos de 5, 10, 15 e 20m/s. Os mesmos são apresentados juntamente com os mapas de altura das ondas gerados pelo SWAN, para cada velocidade do vento adotada, e podem ser visualizados nas Figuras 78 a 81.

Pelas Figuras 78 a 81 verifica-se que visualmente os campos gerados pelos modelos ONDACAD e SWAN para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR) são bastante semelhantes, concordando as regiões com a ordem de magnitudes das alturas das ondas, ou seja, as regiões de maiores e menores magnitudes seguem a mesma tendência. Tal, fornece fortes indícios da validade da equação obtida pela utilização da técnica de MPB, assim como mostrado pela alta correlação obtida quando realizada a correlação entre as alturas de ondas obtidas com a equação paramétrica e as obtidas com o modelo SWAN para os pontos de controle.

Para facilitar a visualização dos desvios entre os campos de ondas gerados pelos modelos, foram elaborados os mapas de desvios percentuais das alturas de ondas do modelo ONDACAD em relação ao modelo SWAN (Figura 82) para cada velocidade do vento considerada.

Figura 78 - Mapas de altura das ondas resultantes dos modelos ONDACAD e SWAN para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para vento de 5m/s

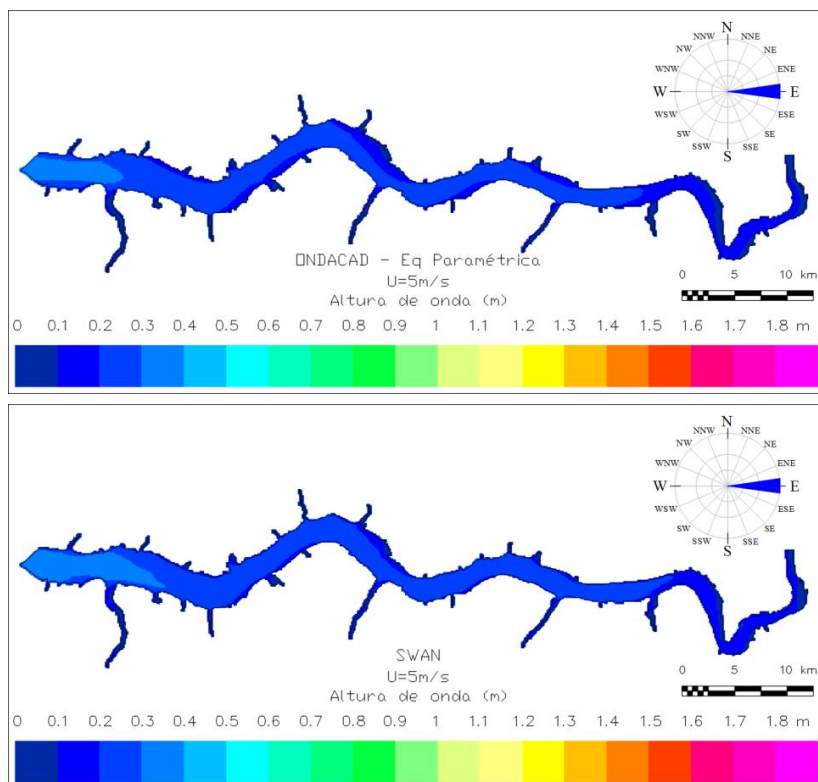


Figura 79 - Mapas de altura das ondas resultantes dos modelos ONDACAD e SWAN para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para vento de 10m/s

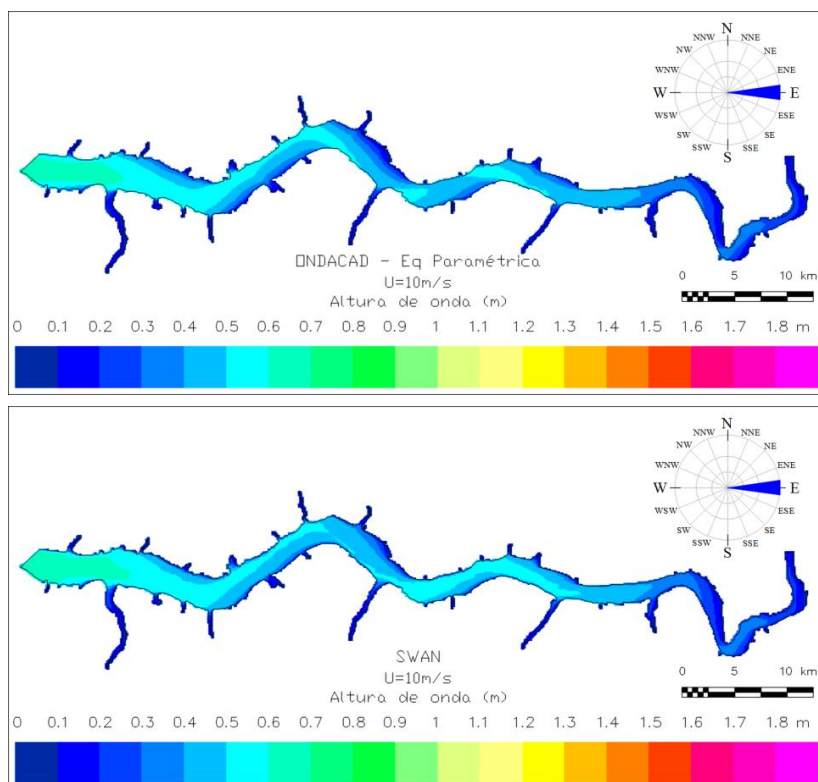


Figura 80 - Mapas de altura das ondas resultantes dos modelos ONDACAD e SWAN para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para vento de 15m/s

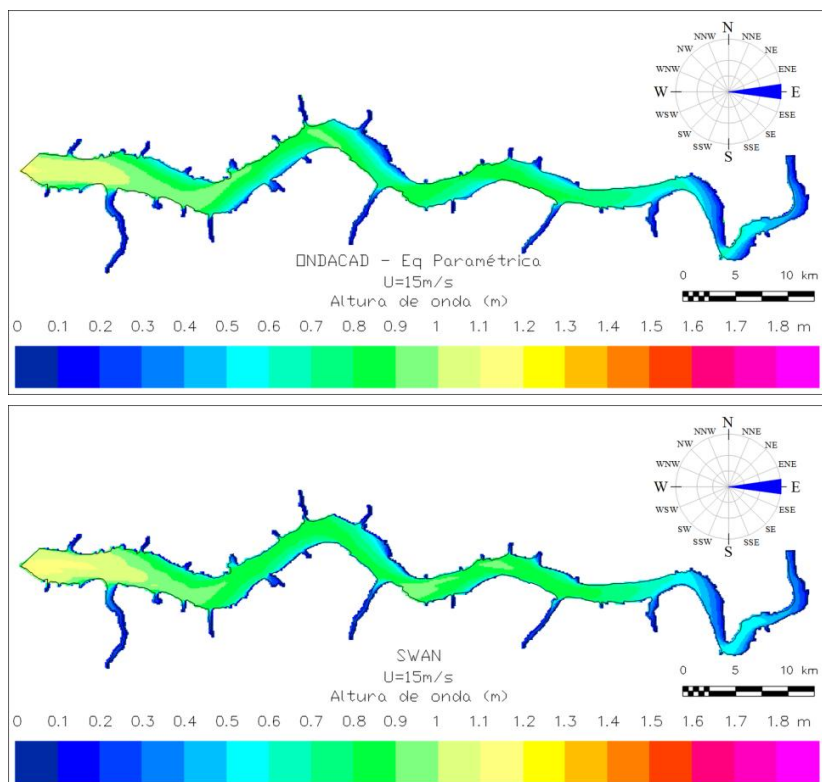


Figura 81 - Mapas de altura das ondas resultantes dos modelos ONDACAD e SWAN para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para vento de 20m/s

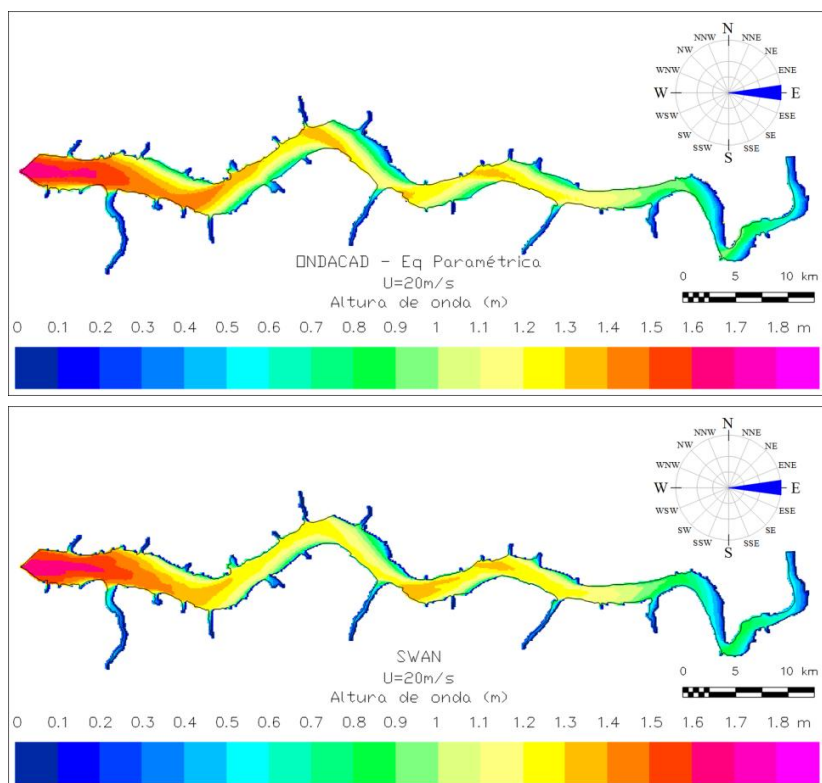
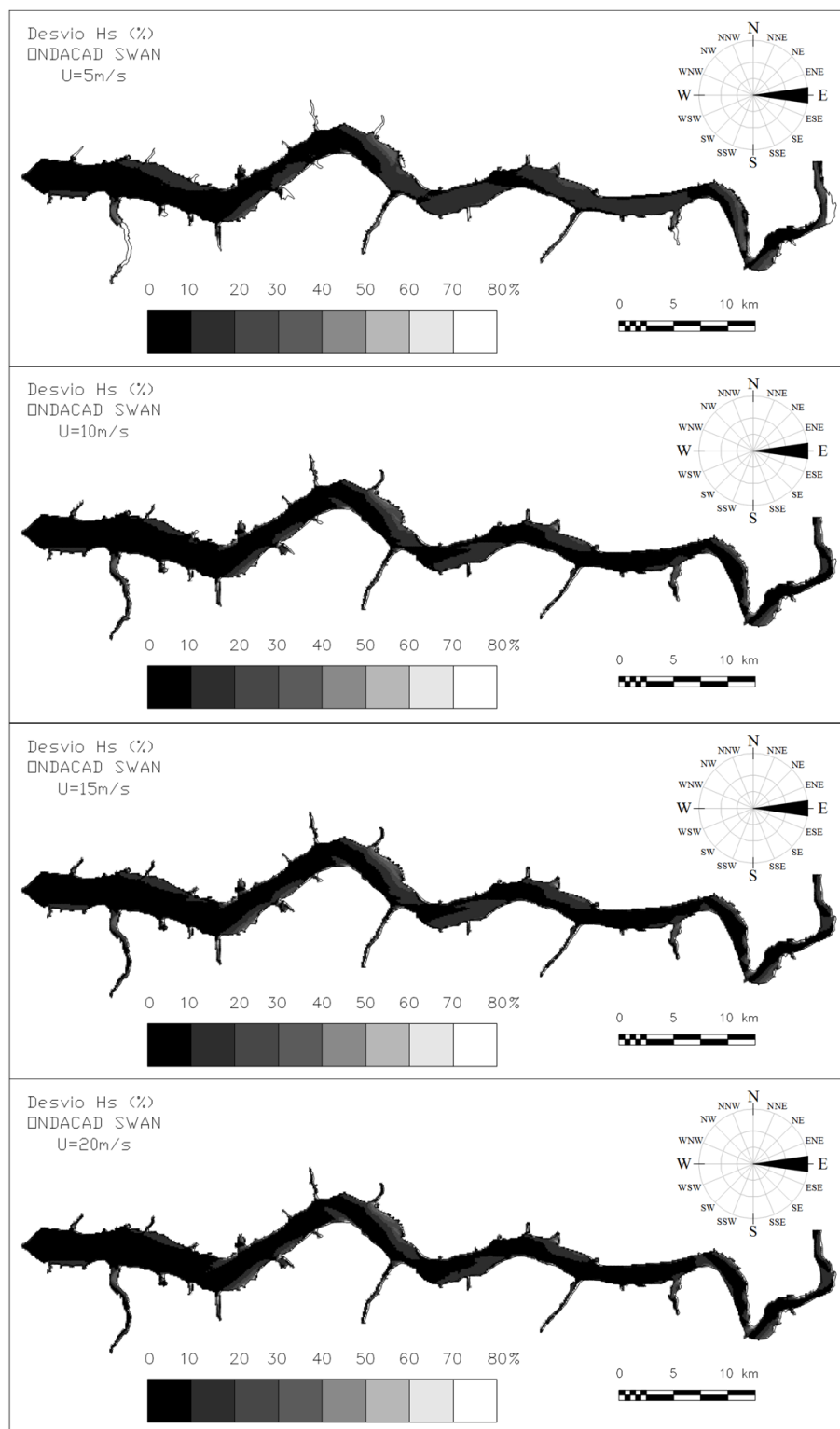


Figura 82 - Mapa de desvios relativos H_{SWAN} e $H_{ONDACAD}$



De forma geral as diferenças entre as alturas das ondas produzidas pelos modelos ONDACAD e SWAN foram menores do que 10%, independente da velocidade do vento.

Ainda, verifica-se que os desvios nos pontos de controle encontram-se dentro dessa magnitude, concordando com a boa correlação obtida anteriormente.

Observa-se também, que para as velocidades do vento superiores a 5m/s, os desvios tendem a ser menores e também que para a maior parte do reservatório os desvios foram inferiores a 20%.

Tal magnitude de erros foi analisada por Marques (2013). De acordo com o autor, isso deve-se a duas situações. As alturas das ondas simuladas pelo modelo SWAN tiveram valores significativos para *fetchs* pequenos e ainda tiveram valores pequenos para *fetchs* grandes. Ainda segundo o autor, a localização dos pontos de maiores desvios está associada a duas características, ou seja, são pontos a barlavento e próximos à margem (MARQUES, 2013).

A relação entre o *fetch* e a altura da onda, ou seja valores de alturas das ondas significativos para *fetchs* pequenos, e valores pequenos das alturas das ondas para *fetchs* grandes, é incoerente, uma vez que a magnitude da onda é função da magnitude do *fetch* para uma determinada velocidade do vento. Tal, demonstra as possíveis incertezas do modelo SWAN na simulação das alturas de ondas próximas às margens a barlavento, principalmente para ventos de pequena intensidade.

Além, o fato dos maiores desvios ocorrerem a barlavento não restringe o uso da equação paramétrica, pois as ondas geradas a barlavento são ondas de menor magnitude, possuindo portanto pequena energia e não atuam para o desenvolvimento de erosões nestas margens.

Os mapas foram gerados considerando a direção leste, sendo esta a direção predominante dos ventos no período de 2008 a 2014, e também a direção de maiores *fetchs*. Como será visto adiante, as margens que apresentaram os maiores desvios, ou seja, a barlavento, são margens com poucos processos erosivos na área delimitada de estudo.

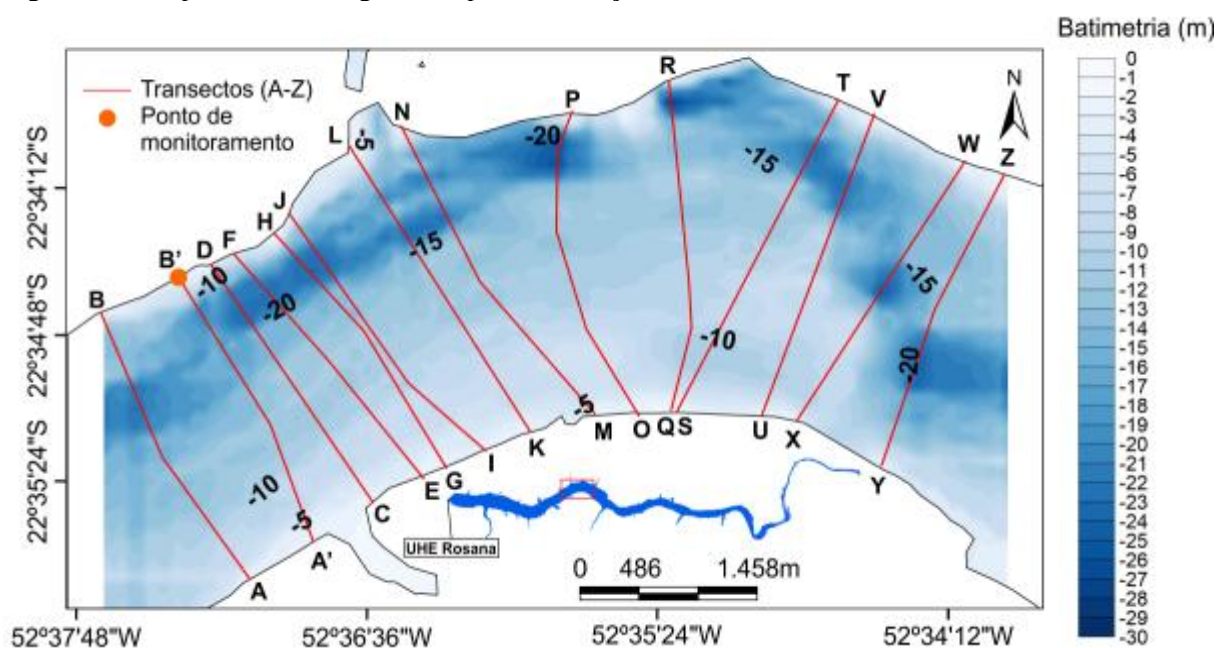
Apesar dos desvios verificados nas situações apresentadas, considerando a não influência dos ventos de barlavento no processo erosivo e a alta correlação entre os valores de alturas de ondas obtidas pelos modelos ONDACAD e SWAN para os pontos de controle, válida a utilização da equação paramétrica obtida especificamente para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR).

5.2.7.1 Campo de ondas considerando a hipótese de águas profundas e a batimetria da área teste

As ondas iniciam um processo de perda de energia quando começam a interagir com o leito, até o momento em que ocorre a quebra da onda, dissipando parte da sua energia. Esse processo se inicia com a transição das ondas de águas profundas para ondas de águas rasas, em águas com profundidade inferior a metade do comprimento de onda (GARRISON, 2010).

Nesta pesquisa, foi adotada a hipótese de águas profundas, e a partir desta foi determinada uma equação paramétrica específica para a estimativa da altura de onda para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR). Para mostrar que essa hipótese é válida, foi realizada a batimetria de um trecho delimitado do referido reservatório. O mapa batimétrico obtido pode ser visto na Figura 83, bem como a localização das seções levantadas.

Figura 83 - Mapa batimétrico gerado a partir das seções realizadas durante o levantamento batimétrico



A batimetria obtida foi inserida no modelo SWAN, gerando desta maneira os mapas de altura das ondas para a direção leste, e para as velocidades do vento de 5, 10, 15 e 20m/s. A adoção destas velocidades permitiu abranger as velocidades dos ventos na região.

Os mapas gerados foram confrontados com os mapas de alturas de ondas utilizados na obtenção da equação paramétrica, considerando a batimetria fictícia de águas profundas, ou seja, quando adotada a profundidade d'água do reservatório como constante e igual a 50m. Tais, mapas podem ser visualizados nas Figuras 84 a 87.

Figura 84 - Simulação do mapa das alturas das ondas com inserção de dados de batimetria do trecho (Figura superior) e batimetria fictícia de águas profundas (Figura inferior) para a direção Leste com ventos de 5 m/s

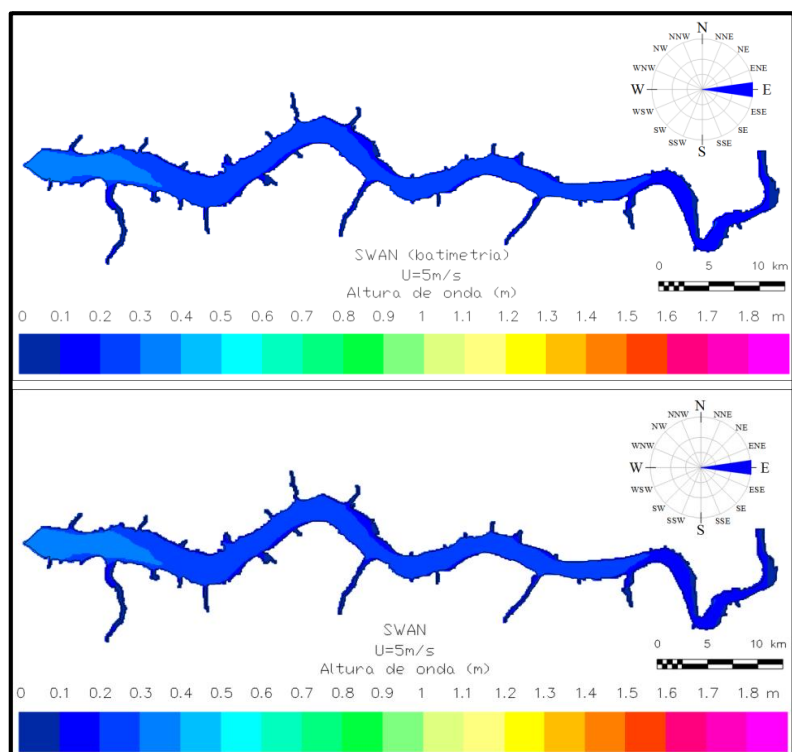


Figura 85 - Simulação do mapa das alturas das ondas com inserção de dados de batimetria do trecho (Figura superior) e batimetria fictícia de águas profundas (Figura inferior) para a direção Leste com ventos de 10 m/s

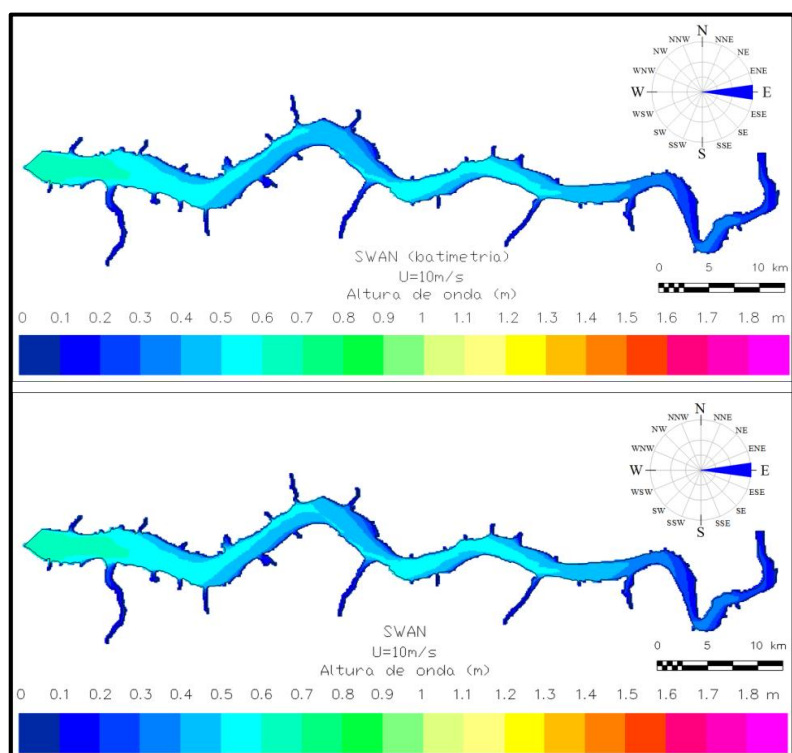


Figura 86 - Simulação do mapa das alturas das ondas com inserção de dados de batimetria do trecho (Figura superior) e batimetria fictícia de águas profundas (Figura inferior) para a direção Leste com ventos de 15 m/s

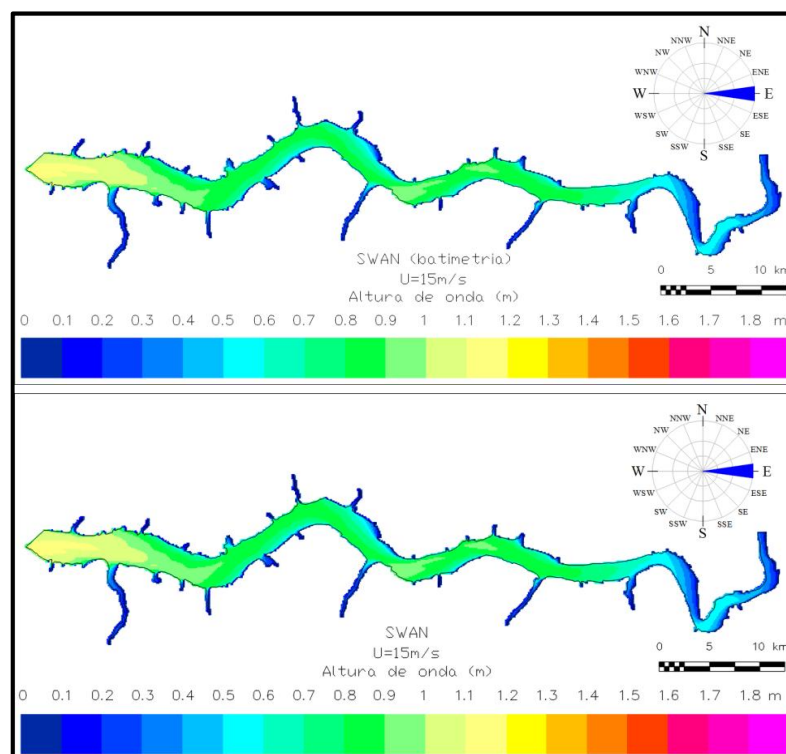
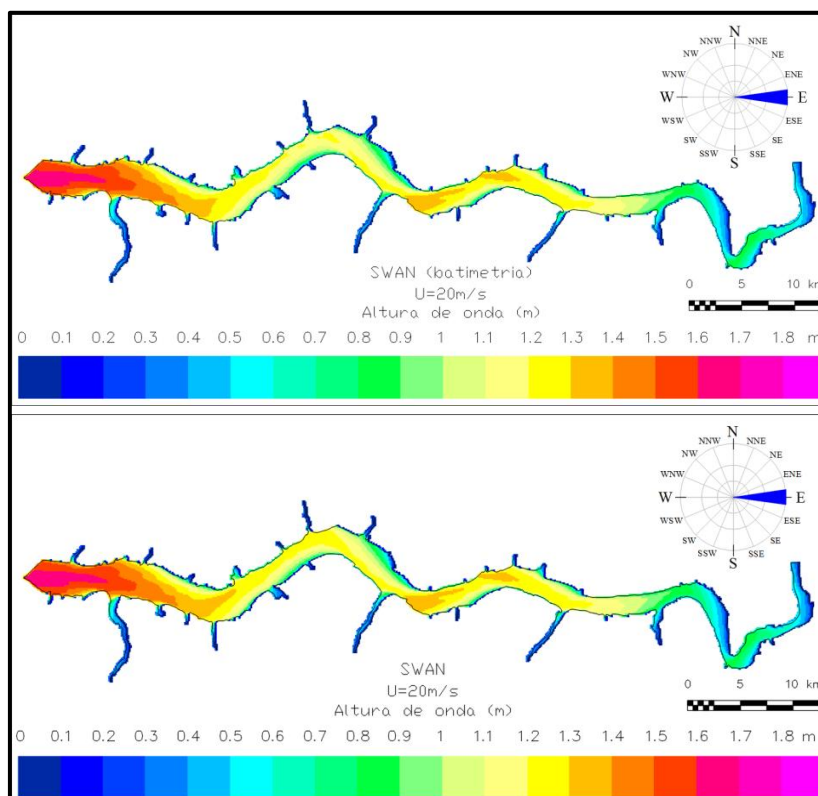


Figura 87 - Simulação do mapa das alturas das ondas com inserção de dados de batimetria do trecho (Figura superior) e batimetria fictícia de águas profundas (Figura inferior) para a direção Leste com ventos de 20 m/s

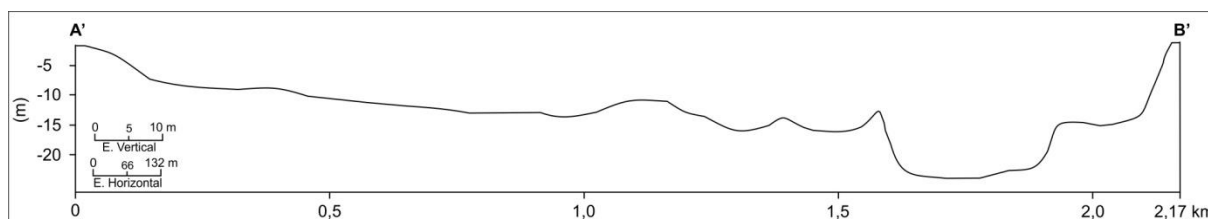


A comparação visual entre os campos gerados para as diferentes velocidades dos ventos, considerando a hipótese de águas profundas e a batimetria gerada, indicam grande proximidade entre os mesmos. A avaliação visual desses campos indica que quanto maior a velocidade do vento atuante considerada, maiores são os desvios gerados na área de comparação, ou seja, onde foi realizada a batimetria. Na região central do reservatório os desvios foram nulos, porém próximo as margens foram encontrados pequenos desvios.

Foi verificado através do processamento dos dados de ventos que velocidades dos ventos superiores a 5m/s, são pouco frequentes na região do reservatório. Sendo assim, foram analisados quantitativamente os desvios gerados para a velocidade do vento de 5m/s, abrangendo apenas o trecho com batimetria. Desvios nulos ocorreram em 56,85% dos pontos analisados, tendo ocorridos praticamente na parte central do reservatório. Próximo as margens, os desvios foram inferiores a 5% em 36,26% dos pontos, entre 6 a 10% em 2,36% dos pontos e superiores a 10% em 4,54% dos pontos. As margens consideradas correspondem a aproximadamente 10Km de extensão.

Na Figura 88 é apresentado o perfil A'B', na direção do ponto de controle 3 (B'). Observa-se que a seção é assimétrica, com o talvegue deslocado para a margem direita, na qual o leito apresenta maior declividade, mostrando a presença de maior profundidade d'água próxima ao ponto de monitoramento 3.

Figura 88 - Perfil batimétrico (A'B') realizado na direção do ponto de controle 3



Nesta margem, próximo a B', ocorreram desvios máximo de 2% entre os resultados gerados, ao contrário das proximidades do ponto A', onde devido a menor profundidade ocorreram maiores desvios, de magnitudes superiores a 10%, devido a dissipação da energia das ondas.

Na margem paranaense, do trecho em análise, não foram verificados processos erosivos, sendo trechos de baixa energia equivalente ativa das ondas, como será visto oportunamente. Em campo foi verificado que o nível d'água neste trecho é próximo ao nível do terreno.

Marques (2013) analisou a influência da profundidade d'água na altura da onda para o reservatório de Itaipu (Brasil/Paraguai), comparando os mapas de altura da onda produzidos pelo modelo SWAN para o reservatório com a batimetria real e o reservatório com a batimetria fictícia de águas profundas.

O autor concluiu com base nessa comparação que:

(1) na parte central do reservatório a influência da profundidade é desprezível mesmo nas regiões das margens; (2) na região próxima das margens dos afluentes dendríticos o fundo passa a influenciar a altura da onda; e (3) somente para ventos superiores a 15 m/s registraram-se erros nas alturas de onda em pequenas regiões próximas as margens da parte central do reservatório (fração da superfície mais a sotavento), cuja magnitude não excedeu 10%.

O autor, com base no exposto, conclui que "A pequena magnitude desses erros, mesmo para um reservatório dendrítico como o estudado, constitui-se em um importante argumento para justificar a hipótese de águas profundas" (MARQUES, 2013, p.122).

5.2.7.2 Campos de vento

Nesta pesquisa, foi realizada a análise dos campos de intensidade e direção do vento, para verificar se no reservatório da UHE Rosana (SP/PR), com uma extensão de 116Km de extensão (FELISBERTO; RODRIGUES, 2011) o mesmo pode ser considerado uniforme.

Para a geração dos campos de vento, foi utilizado o modelo INTERPLOT, tendo sido definidos dois domínios, ou seja, um incorporando parte dos Estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso (Figura 89), onde são apresentadas as estações utilizadas na geração dos campos, e um segundo em maior escala, abrangendo apenas o reservatório da UHE Rosana (SP/PR) de modo a proporcionar uma melhor visualização das variações espaciais das intensidades e direções do vento (Figura 90).

Para este último, foram gerados doze mapas, tendo sido utilizada a maior velocidade horária mensal do vento registrada na estação meteorológica de Diamante do Norte (PR), para cada um de um período de 12 meses, abrangendo os meses de setembro de 2016 a agosto de 2017.

Figura 89 - Mapa da distribuição espacial da direção e velocidade do vento abrangendo parte dos Estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul, pelo método do inverso ponderado da distância - 11 de fevereiro de 2017

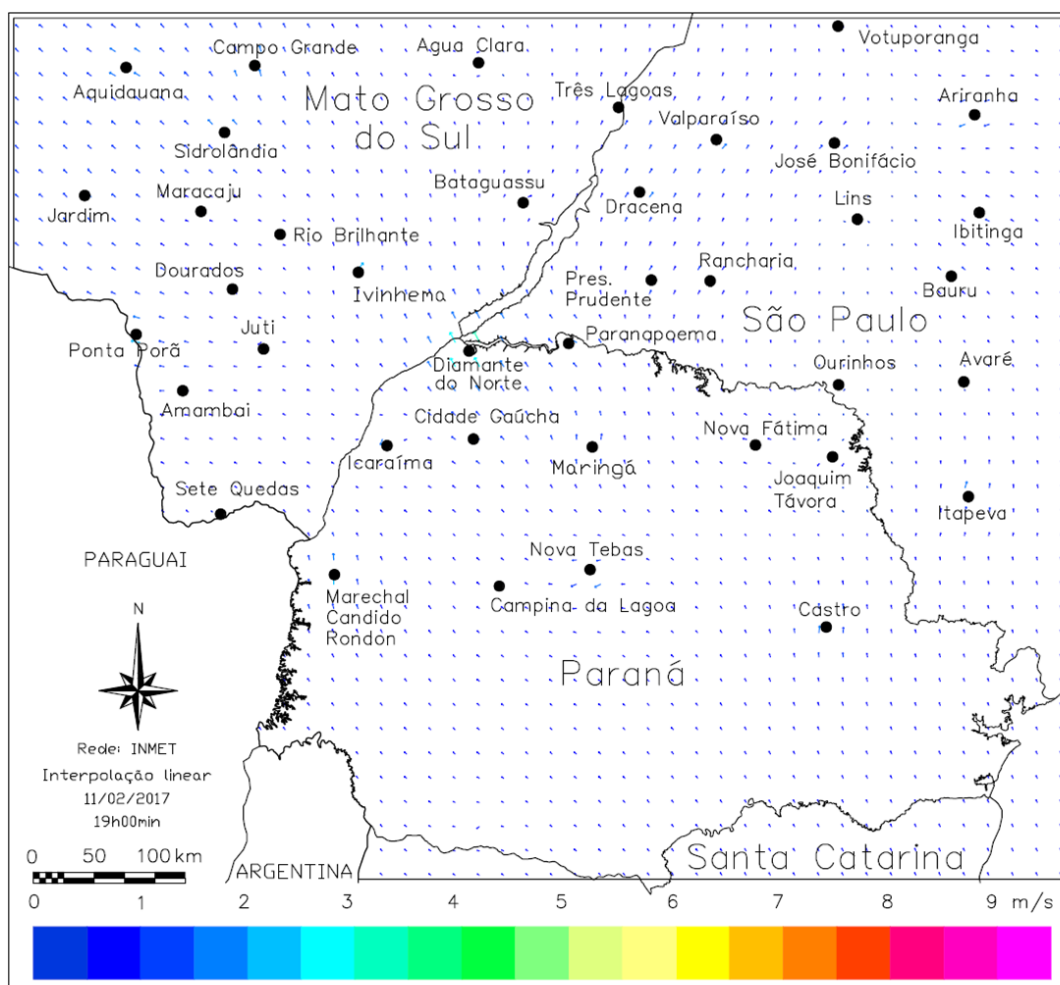
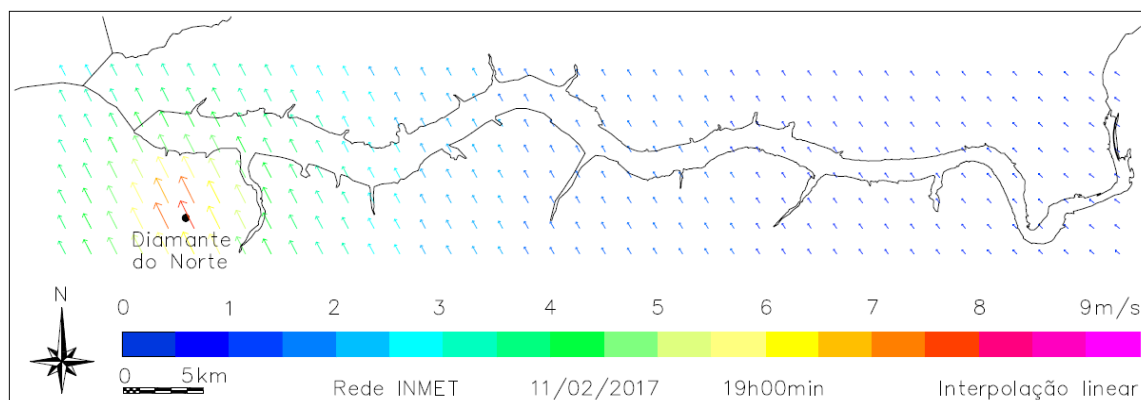


Figura 90 - Mapa da distribuição espacial da direção e velocidade do vento no Reservatório da UHE Rosana (SP/PR), pelo método do inverso ponderado da distância, referentes ao mês de fevereiro de 2017



A escolha da maior intensidade horária mensal teve como objetivo identificar as maiores amplitudes de intensidade do vento no reservatório, de modo a verificar a recomendação do *U. S. Army Coastal Engineering Research Center* (1984), segundo a qual, com relação a intensidade do vento, a mesma pode ser considerada constante quando a variação da sua intensidade for inferior a $2,5 \text{ ms}^{-1}$. Já com relação ao desvio de direção do mesmo, ainda segundo o autor, a partir de 15° os resultados tornam-se menos precisos e quando excedem 45° deterioram-se significativamente.

A Figura 90 apresenta o campo de vento para o mês de fevereiro de 2017, sendo o mesmo escolhido para mostrar os resultados dos campos de ventos gerados por possuir a maior intensidade horária ($9,4 \text{ m/s}$) com relação aos 12 meses analisados. Os demais campos de vento gerados encontram-se no Apêndice B.

A escala cromática apresentada no mapa indica a magnitude da intensidade do vento, assim como a dimensão das setas são baseadas também nesta magnitude. A direção para onde o vento sopra é indicada pelas pontas das setas.

Pode-se observar que os ventos medidos na estação meteorológica de Diamante do Norte (PR) influenciam fortemente no trecho a jusante do reservatório, ou seja, próximo a barragem, tanto em direção quanto em intensidade. Tal, deve-se a uso do método de interpolação linear, o qual faz a interpolação bidimensional do vento por meio do método do inverso do quadrado da distância, sendo os pesos dos dados avaliados durante o processo de interpolação, tal que a influência de cada ponto é inversamente proporcional a distância do nó da malha, sendo assim, os máximos locais tendem a ser muito acentuados, e portanto, quanto mais distantes as estações, menos contribuem para o valor final que estações mais próximas.

Ainda com relação ao mapa da Figura 90, observou-se que as intensidades dos ventos variaram aproximadamente entre 1 a 8 m/s e a direção do vento também variou significativamente, entre 305 e 335 graus.

Para uma melhor visualização das variações em intensidade e direção do vento dentro do perímetro do reservatório, foram gerados os mapas de amplitude da intensidade (Figuras 91 a 93) e da direção do vento (Figuras 94 a 96) tomando como referência um local adjacente a barragem, para cada um dos doze meses analisados.

Com relação as amplitudes de intensidade, considerando toda a área delimitada do reservatório, as mesmas foram inferiores a $2,5 \text{ m/s}$ em quatro meses, ou seja, nos meses de abril (Figura 92H), maio (Figura 93I), junho (Figura 93J) e agosto (Figura 93L) de 2017.

Figura 91 - Amplitude da intensidade do vento para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para os meses de setembro, $U= 9,1$ m/s (A); outubro, $U= 8$ m/s (B); novembro, $U= 10$ m/s (C) e dezembro de 2016, $U= 9,2$ m/s (D)

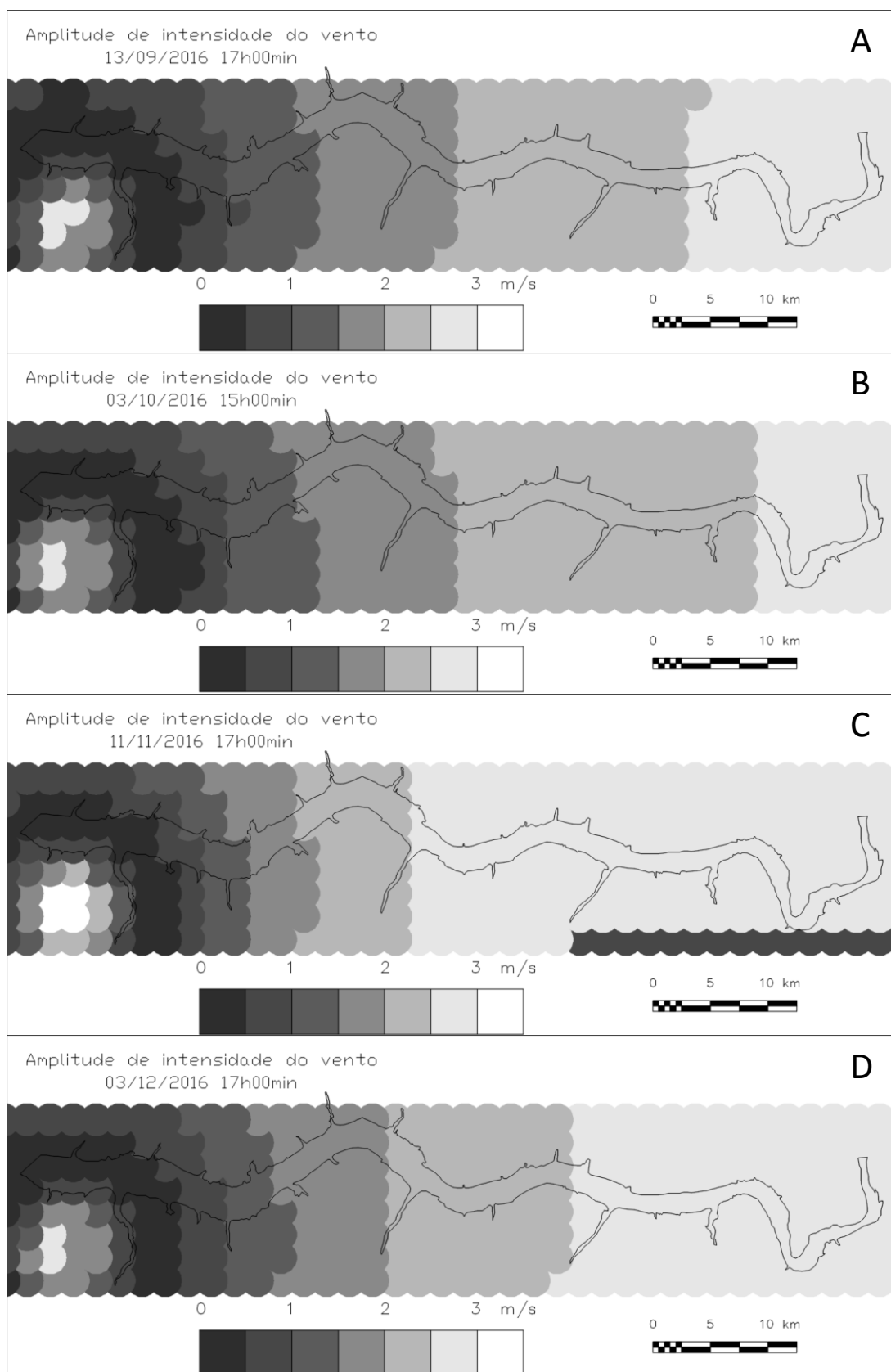


Figura 92 - Amplitude da intensidade do vento para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para os meses de janeiro, $U= 8,3$ m/s (E); fevereiro, $U= 9,4$ m/s (F); março, $U= 8,4$ m/s (G) e abril de 2017, $U= 7,3$ m/s (H)

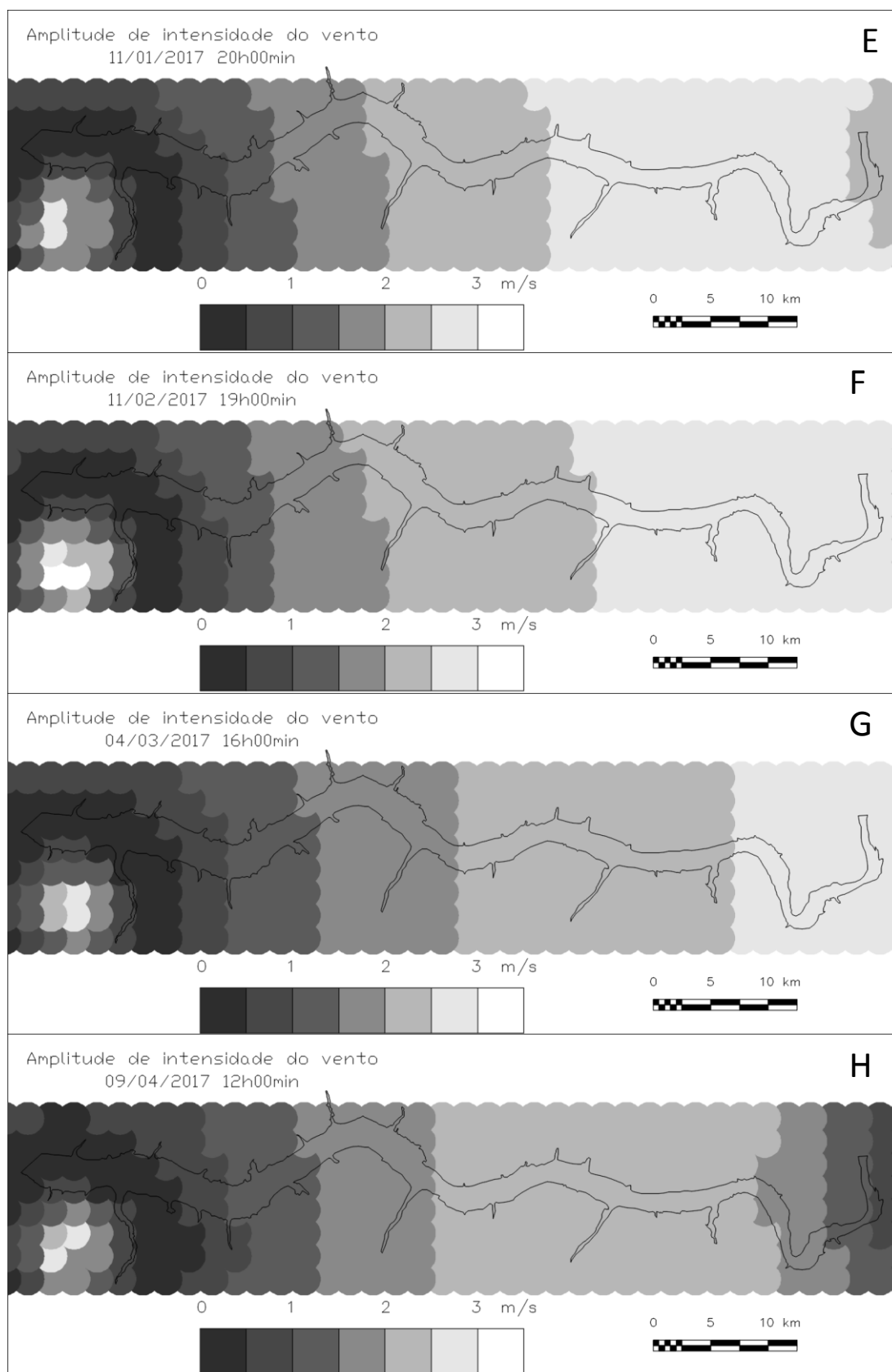


Figura 93 - Amplitude da intensidade do vento para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para os meses de maio, U= 6,9 m/s (I); junho, U= 7,5 m/s (J); julho, U= 7,2 m/s (K) e agosto de 2017, U= 9 m/s (L)

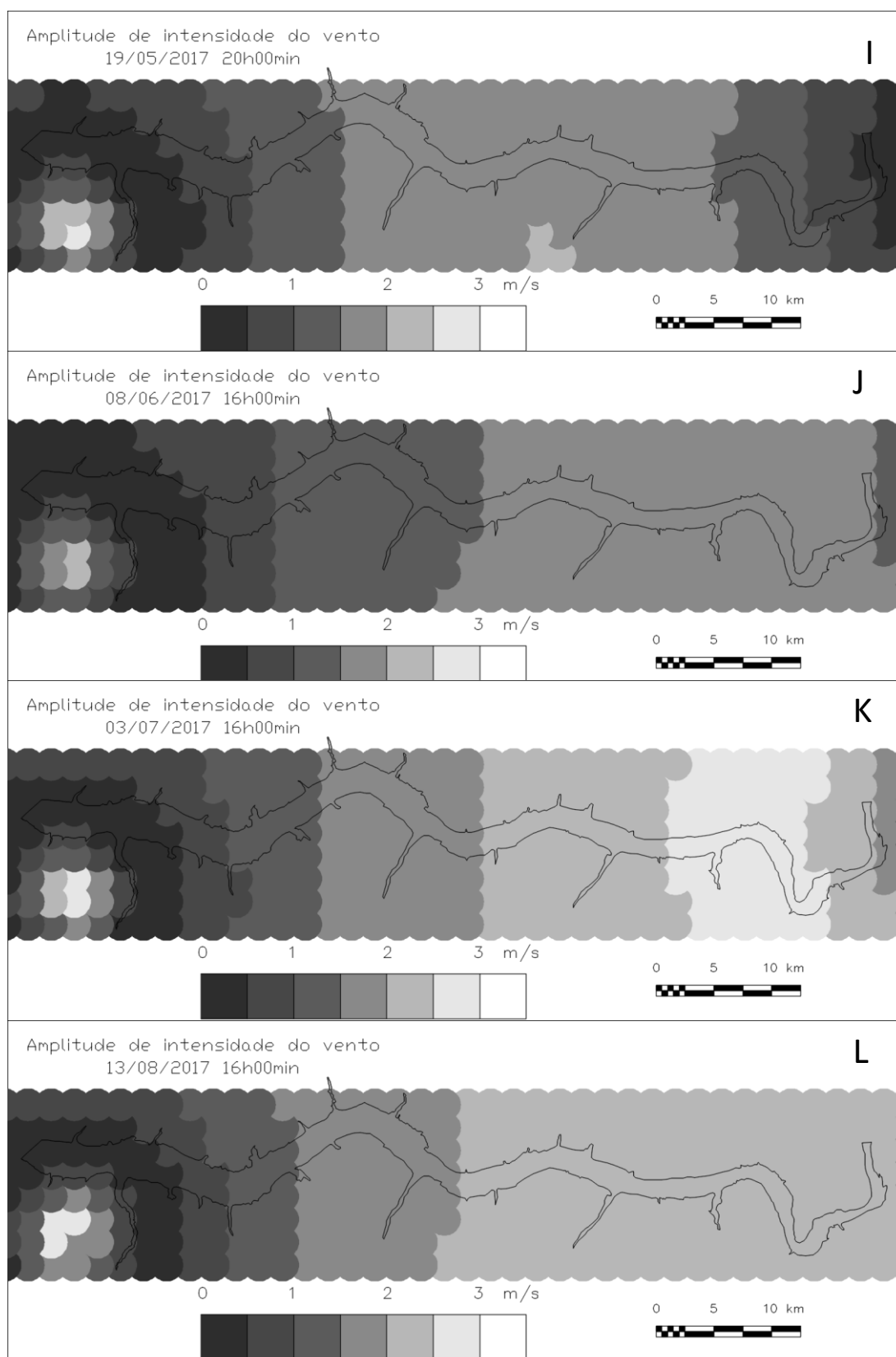


Figura 94 - Amplitude da direção do vento para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para os meses de setembro (A); outubro (B); novembro (C) e dezembro de 2016 (D)

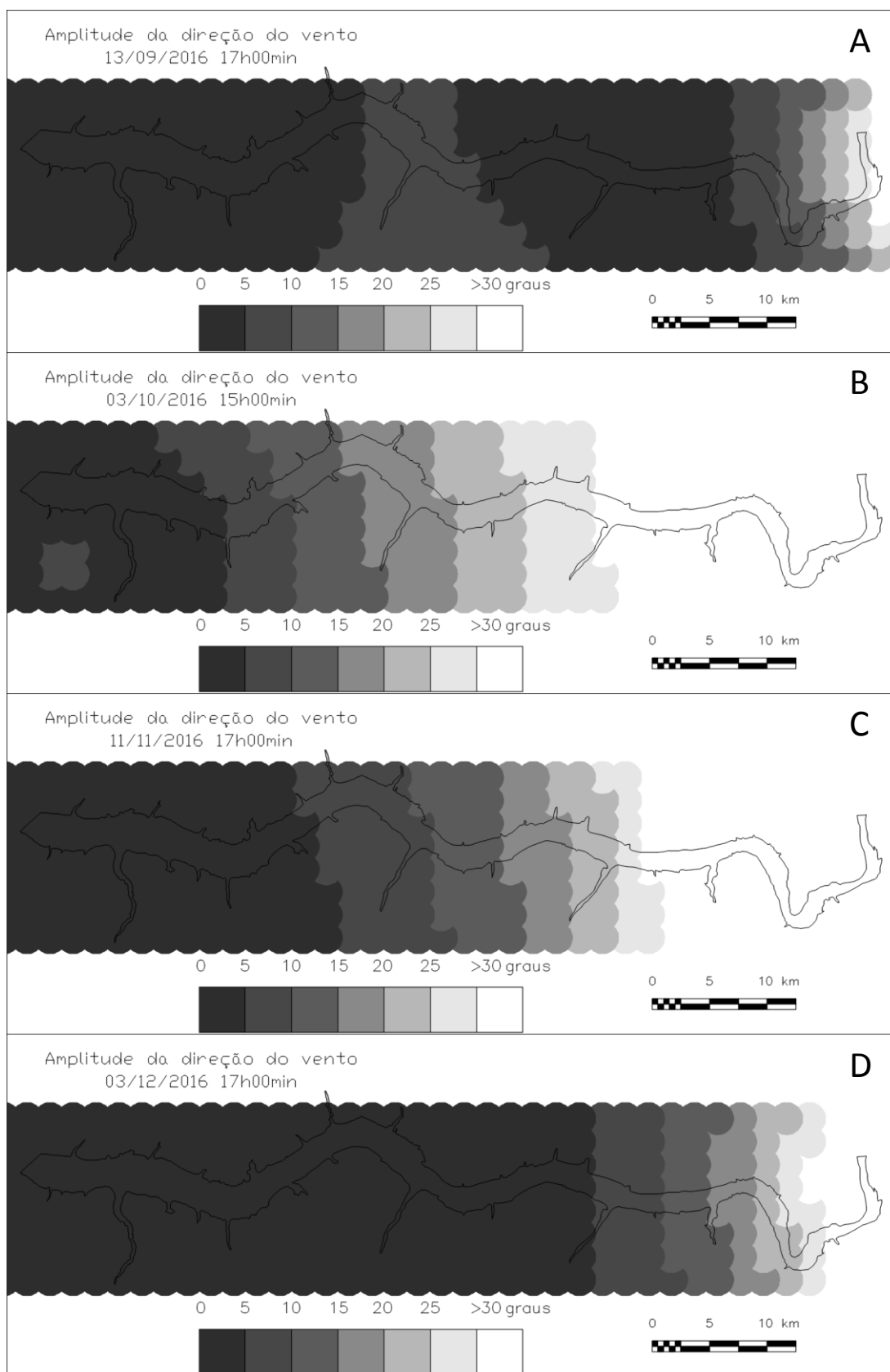


Figura 95 - Amplitude da direção do vento para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para os meses de janeiro (E), fevereiro (F), março (G) e abril de 2017 (H)

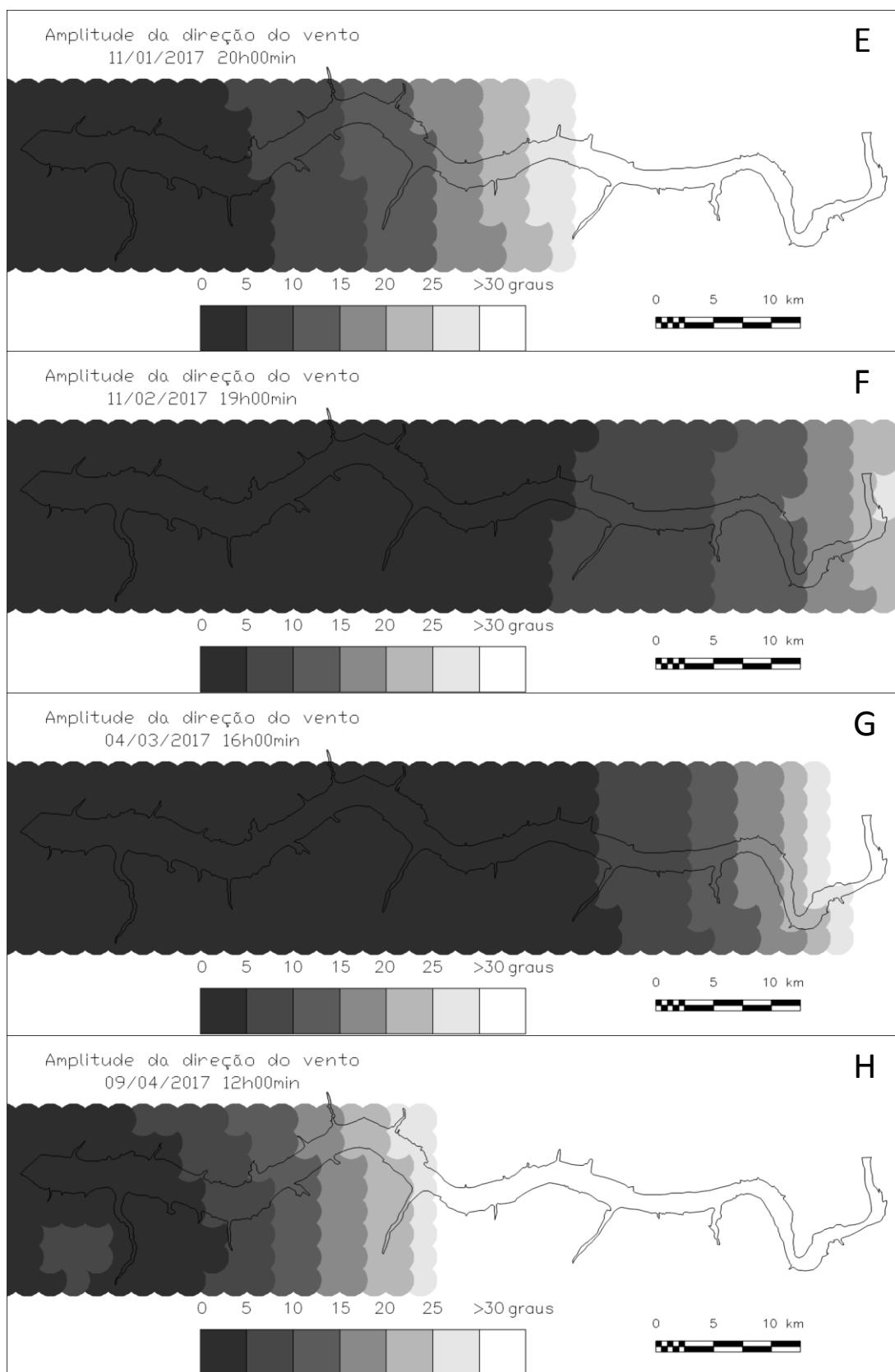
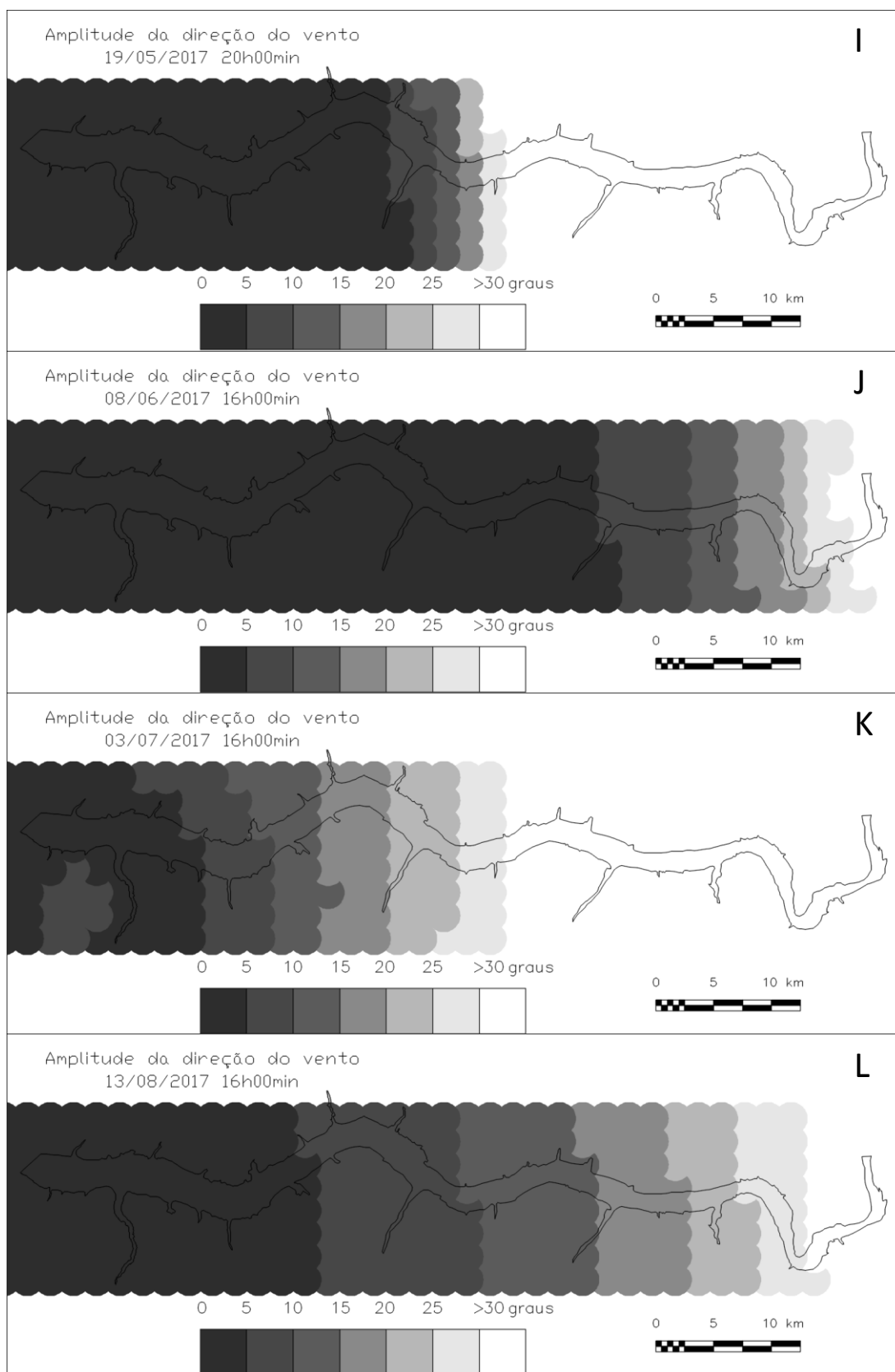
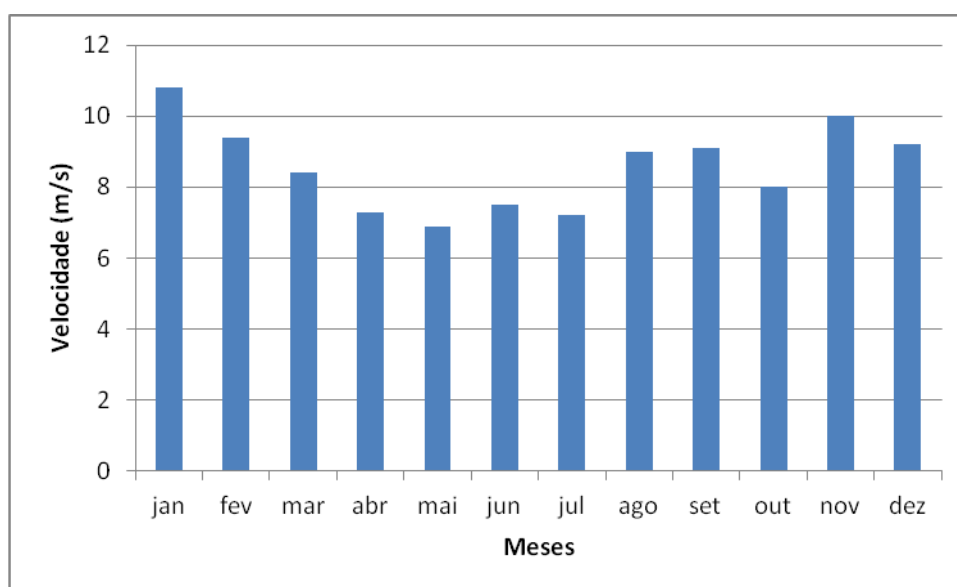


Figura 96 - Amplitude da direção do vento para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), para os meses de maio (I), junho (J), julho (K) e agosto de 2017 (L)



Com exceção do mês de agosto, esses meses referem-se aos meses de menores intensidades horárias máximas mensais para o período considerado, conforme a Figura 97, a qual mostra as velocidades horárias máximas mensais com relação aos meses de setembro de 2016 a agosto de 2017, referentes aos dados da estação de Diamante do Norte (PR). Tal, comprova parcialmente a adoção dos ventos horários mensais de maiores intensidades referentes a citada estação para geração dos campos de ventos, mostrando que ventos de menores intensidades tendem a gerar campos de vento de menores amplitudes.

Figura 97 - Intensidades horárias máximas mensais referentes aos meses de setembro de 2016 a agosto de 2017



Considerando apenas o trecho inferior do reservatório da UHE Rosana (SP/PR), somente no mês de novembro de 2016 (Figura 91C) foi visualizado um pequeno trecho que não possui amplitude inferior a 2,5m/s.

Com relação as amplitude das direções do vento, segundo a recomendação do *U. S. Army Coastal Engineering Research Center* (1984), verifica-se que no trecho inferior do reservatório, para a maioria dos meses, a recomendação de até 15° é atendida. Ainda, considerando uma amplitude de até 30°, ou seja, uma amplitude intermediária entre 15° e 45°, apenas um mês dos doze meses (Figura 95H) analisados o supera.

Ainda, verifica-se pelas Figuras 95H, 96I e 96K, referentes respectivamente aos meses de abril, maio e julho de 2017, que nestes meses foram gerados os trechos mais extensos com amplitudes da direção do vento superiores a 30°. Tais, referem-se aos ventos provenientes das

direções Leste e Sudeste, os quais consistem nas direções do vento de maior frequência na região, de acordo com os dados de vento processados.

Convém lembrar, conforme descrito na Parte Procedimentos Metodológicos, que o modelo INTERPLOT não considera efeitos locais como a orografia. Com relação a essa, segundo Neves, Maciel e Rosauo (2006), o relevo no entorno do reservatório influencia a distribuição espacial do vento sobre o espelho d'água, porém, no reservatório da UHE Rosana (SP/PR), o relevo do terreno foi classificado como plano a suavemente ondulado, permitindo a livre circulação dos ventos.

Os pontos de controle nesta pesquisa encontram-se próximos das amplitudes recomendadas, fato que justifica a consideração de campo de vento uniforme. Com base no exposto, verifica-se que a uniformidade dos campos de vento dependem da extensão do reservatório.

- Análise dos dados de ventos durante os períodos de monitoramento

A distribuição percentual de ocorrência do vento e a velocidade média do vento corrigida conforme a recomendação do *U. S. Army Coastal Engineering Research Center* (1984), para cada direção do vento e para cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5), são apresentadas na Tabela 11.

Em todos os monitoramentos predominaram os ventos provenientes da direção SE, variando de 38,19% no monitoramento 4 a 61,69% no monitoramento 2, seguida da direção E, variando de 12,77% no monitoramento 3 a 15,01% no monitoramento 2. Tais direções, também possuem velocidades médias do vento significativas quando comparadas às demais direções. As direções SW e W, consistem das direções com menores intensidades dos ventos em todos os períodos de monitoramento.

Os dados de vento apresentados no item 5.2.6, referentes ao período de 2008 a 2014 (Tabela 6), os quais foram utilizados na determinação preliminar do *fetch* equivalente, indicavam direções predominantes do vento significativamente diferentes das ocorridas durante o período de monitoramento. Naquele período, os ventos predominantes foram provenientes da direção E (40,67%), seguido das direções NE (12,77%) e SE (12,71%).

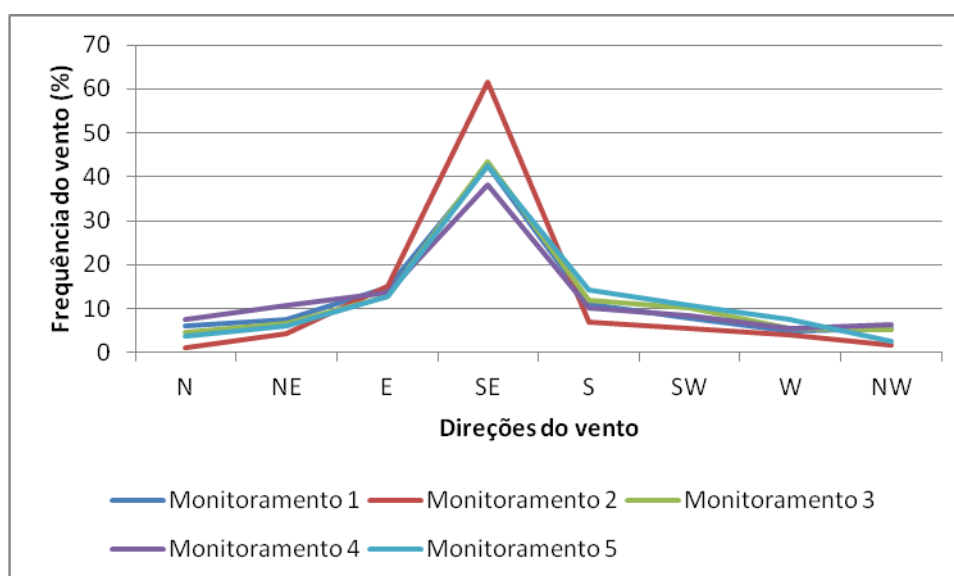
As distribuições da frequência e da velocidade média dos ventos por direção para os períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5), podem ser melhor observadas nas Figuras 98 e 99, respectivamente.

Tabela 11 - Distribuição percentual de ocorrência do vento horário e da velocidade média do vento para cada direção do vento, para os períodos de monitoramento - Estação Meteorológica de Diamante do Norte (PR)

Direções do vento	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Monitoramento 1								
Frequência (%)	5,96	7,63	14,82	42,48	10,94	7,67	5	5,5
Velocidade média (m/s)	2,95	2,87	3,07	3,24	2,08	1,39	1,42	3,36
Monitoramento 2								
Frequência (%)	1,11	4,17	15,01	61,69	7,02	5,44	4	1,57
Velocidade média (m/s)	2,28	3,68	3,82	3,50	2,07	1,23	1,76	2,47
Monitoramento 3								
Frequência (%)	4,62	6,59	12,77	43,5	11,9	10,17	5,43	5,02
Velocidade média (m/s)	3,14	3,75	3,62	3,81	2,78	1,78	1,30	3,16
Monitoramento 4								
Frequência (%)	7,59	10,6	13,52	38,19	10,1	8,33	5,37	6,3
Velocidade média (m/s)	2,82	2,76	2,96	3,16	2,09	1,37	1,30	2,94
Monitoramento 5								
Frequência (%)	3,56	5,95	12,7	42,64	14,2	10,68	7,6	2,67
Velocidade média (m/s)	2,37	2,49	2,96	2,98	1,89	0,98	1,02	2,20

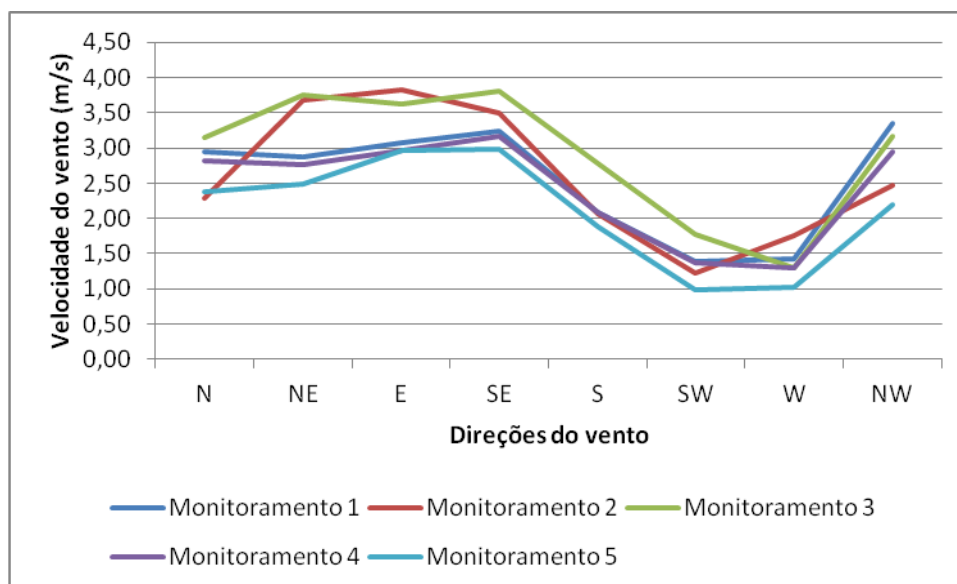
Nota: Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

Figura 98 - Distribuição percentual de ocorrência do vento horário para cada direção do vento, para os períodos de monitoramento - Estação Meteorológica de Diamante do Norte (PR)



Nota: Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

Figura 99 - Velocidade média do vento para cada direção do vento, para os períodos de monitoramento - Estação Diamante do Norte (PR)



Nota: Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

Pode-se observar com base na Figura 98 que a variação da frequência do vento mais significativa ocorreu para a direção SE, durante o monitoramento 2. A Figura 99 mostra ainda que as maiores velocidades dos ventos ocorreram durante o período de monitoramento 3 para a maioria das direções do vento, com exceção das direções E, W e NW. Durante o monitoramento 2 ocorreram intensidades dos ventos superiores ao do monitoramento 3 para as direções E e W, possuindo também intensidades significativas e próximas as do monitoramento 3 para as direções NE e SE.

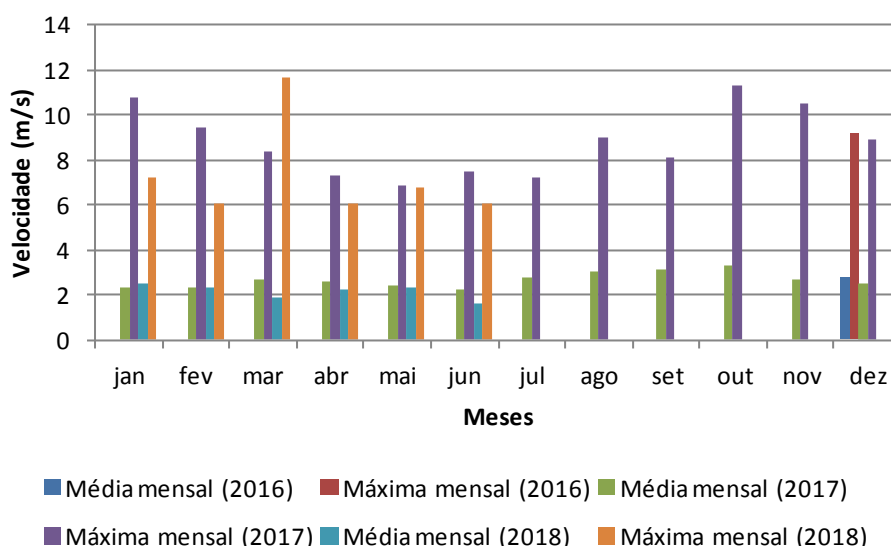
Com relação às velocidades horárias dos ventos, verificou-se que no período de monitoramento 1, apenas 5,39% destas foram superiores a 5m/s. No monitoramento 2, foram 8,89%, no monitoramento 3 foram 11,09%, no monitoramento 4 foram 4,03% e no monitoramento 5 apenas 2,91%.

Com relação ao período de monitoramento total, ou seja, de novembro de 2016 a junho de 2018, a maior velocidade horária registrada foi de 11,7m/s (42,12Km/h), proveniente da direção NW no dia 05/03/2018, conforme pode ser observado na Figura 100 que apresenta as velocidades médias mensais e as velocidades horárias máximas mensais para o período citado.

Ainda pode-se verificar com base na Figura 100, com relação às médias mensais, que os maiores valores ocorreram entre os meses de julho a novembro de 2017, sendo

significativas também em novembro de 2016 (2,9m/s). A maior velocidade média mensal ocorreu em outubro de 2017, sendo de 3,29m/s, seguida de setembro (3,14m/s) e agosto (3,0m/s) também no ano de 2017.

Figura 100 - Velocidade média e máxima mensal durante o período de monitoramento (novembro de 2016 a junho de 2018)



- Orientação das margens e sua relação com as direções dos ventos

A exposição da face do talude da margem com relação aos ventos é relevante. Para exemplificar, uma margem com face para a direção Norte, não será atingida por ondas geradas por ventos provenientes da direção Sul. Além disso, considerando ainda o exemplo, ondas provenientes da direção Norte incidirão perpendicularmente à margem, interferindo mais em sua estabilidade que ondas de mesma energia provenientes, por exemplo, da direção Nordeste.

Na Tabela 12 são apresentadas as orientações das margens nos pontos de controle e os coeficientes que foram obtidos por meio do seno do ângulo formado entre a direção do vento e a orientação da margem.

Pela Tabela 12, pode ser visualizado que os pontos de controle 1 e 2 são atingidos por ventos provenientes de SE, S, SW e W, os pontos 3 e 5 por ventos de E, SE, S e SW e o ponto 4 por ventos de N, NE, E e NW.

Com exceção do ponto de controle 4, todas as margens são atingidas pelos ventos provenientes da direção SE, os quais são predominantes nos períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5).

Tabela 12 - Seno do ângulo entre a direção do vento e a orientação da margem nos pontos de controle - UHE Rosana (SP/PR)

Ponto de controle	Orientação da face da margem	Direções do vento							
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	S				0,60	0,99	0,79	0,14	
2	SW				0,26	0,87	0,99	0,5	
3	S			0,33	0,89	0,95	0,44		
4	NE	0,85	0,97	0,53					0,23
5	SE			0,45	0,95	0,89	0,31		

O ponto de controle 4 devido à orientação da sua margem, é o único ponto atingido por ventos das direções N, NE e NW, que por sua vez, apesar de apresentarem menores frequências de ocorrência do vento, possuem velocidades médias significativas, como pode ser visto na Tabela 12, apresentadas anteriormente.

Deve-se observar também que os pontos de controle 3 e 5 conjugam algumas características importantes com relação a energia das ondas que os atingem, ou seja, as maiores velocidades médias dos ventos em todos os períodos de monitoramento, com exceção do período de monitoramento 2, ocorreram para os ventos provenientes da direção SE e as maiores frequências dos ventos também. Ainda seus coeficientes (obtidos por meio do seno do ângulo formado entre a direção do vento e a orientação da margem) são altos como pode ser visto na Tabela 12, e também apresentam *fetchs* significativos para os ventos de SE, conforme poderá ser verificado no próximo item.

5.2.8 Fetch equivalente

- Pontos de controle

Os *fetchs* foram determinados para cada ponto de controle e para cada direção do vento. Esses valores foram extraídos dos mapas de *fetch* gerados pelo modelo ONDACAD, apresentados na Tabela 13.

Pode-se verificar que os pontos de controle 3 e 5 são os que apresentam os maiores *fetchs* para a direção SE, seguidos dos pontos 2, 1 e 4 respectivamente. Os pontos 3 e 5 também apresentam *fetchs* superiores aos demais pontos para a direção E, a segunda direção com maior frequência de ocorrência nos períodos de monitoramentos.

Tabela 13 - *Fetch* para cada direção do vento nos pontos de controle

Pontos de controle	<i>Fetch</i> (m)							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	118	722	3926	3020	2595	2855	1446	124
2	210	66	3189	3495	2239	2104	4277	3229
3	164	1487	4491	3526	3851	4521	1601	158
4	3961	5623	4462	847	325	335	3617	5905
5	221	163	5217	6660	3628	4454	2821	112

A influência da frequência da direção do vento nos valores do *fetch* foi avaliada a partir da determinação do *fetch* equivalente, considerando todas as direções do vento, independentemente da orientação da margem. A Tabela 14 apresenta os *fetchs* equivalentes determinados para cada ponto de controle e para um dos períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e também para o monitoramento total.

Tabela 14 - *Fetch* equivalente em cada ponto de controle, nos períodos de monitoramentos (1, 2, 3, 4 e 5) e no monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018)

Pontos de controle	<i>Fetch</i> equivalente (m)					
	Monit 1	Monit 2	Monit 3	Monit 4	Monit 5	Monit total
1	2509	2881	2552	2355	2620	2583
2	2773	3133	2816	2623	2861	2841
3	3144	3496	3226	2985	3324	3235
4	2253	1749	2057	2450	1918	2086
5	4514	5513	4628	4179	4728	4712

Nota: -Monit (Monitoramento)

-Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

Os *fetchs* equivalentes determinados para os períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) podem ser melhor visualizados na Figura 101.

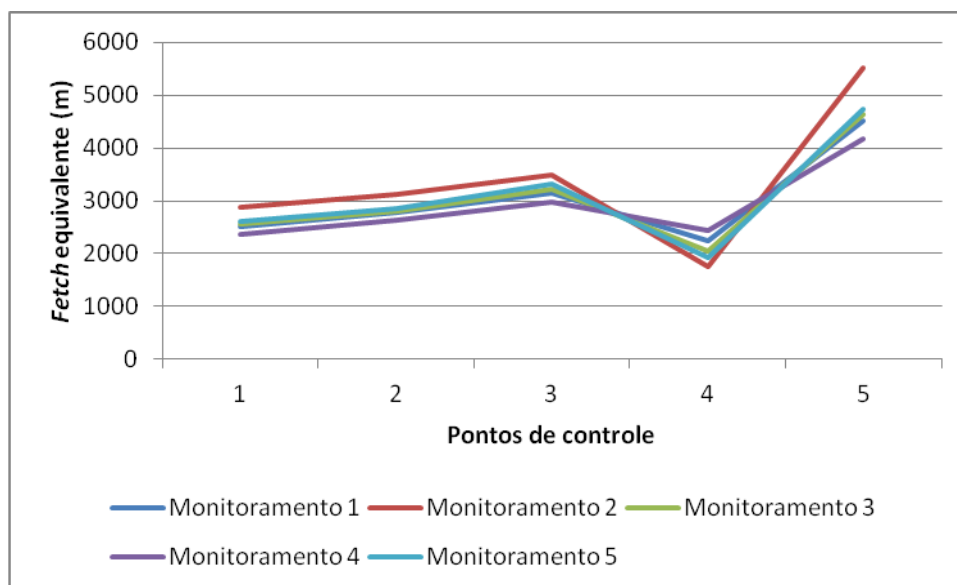
Os pontos de controle 3 e 5 apresentaram os maiores *fetchs* equivalentes em todos os períodos de monitoramento.

O ponto de controle 4 apesar de apresentar *fetchs* significativos, superiores aos demais pontos em termos médios, possui o menor *fetch* equivalente dentre os pontos de controle em todos os períodos de monitoramentos, com exceção do monitoramento 4, quando ocorreu um aumento da frequência do vento para as direções do vento de maiores *fetchs*.

Observa-se que o período de monitoramento 2 foi o período de maiores *fetchs* equivalentes para todos os pontos de controle, com exceção do ponto 4, sendo que para este

ponto foi o período de monitoramento de menor *fetch* equivalente, refletindo a maior predominância dos ventos de SE (61,69%) para este período, sendo que o ponto de controle 4 apresenta um valor de *fetch* bem inferior aos dos demais pontos de controle para esta direção.

Figura 101 - *Fetch* equivalente nos pontos de controle nos períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5)



Nota: Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

Durante o período de monitoramento 4 ocorreram os menores *fetchs* equivalentes para todos os pontos de controle, com exceção do ponto 4, o qual teve um maior *fetch* equivalente em função do aumento de ocorrência dos ventos para as direções de maiores *fetchs* desse ponto, sendo o período de menor frequência de ventos provenientes de SE.

Os *fetchs* equivalentes determinados para cada ponto de controle foram confrontados com os recuos ocorridos nos mesmos.

Verificou-se uma correlação parcial entre o recuo e o *fetch* equivalente para os períodos de monitoramento 1 e 2, sendo que no monitoramento 1 o maior *fetch* equivalente correspondeu ao ponto 5 (4514m) de maior recuo (1,45m), e no monitoramento 2 o maior *fetch* equivalente (5513) também corresponde ao ponto 5 de maior recuo (0,95m), seguido do ponto 3, com um *fetch* de 3496m e com um recuo de 0,51m.

Com relação ao recuo total, ou seja, considerando o recuo para cada ponto de controle ocorrido durante o período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018), verificou-se que os maiores recuos, ocorreram para os pontos de controle 3 (2,21m) e 5

(2,49m), sendo estes os pontos com os maiores *fetchs* equivalentes, ou seja, 3235m e 4712m respectivamente.

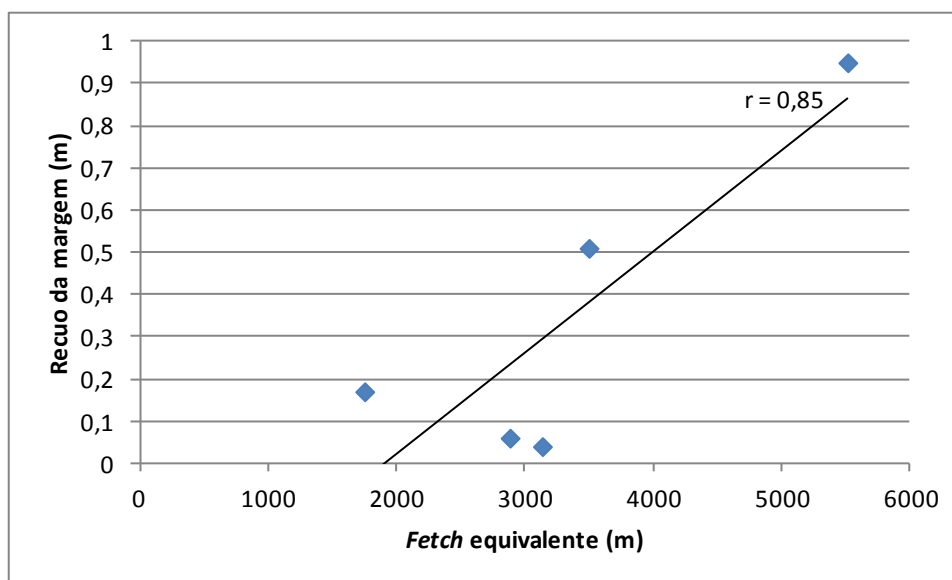
Os pontos de controle 1 e 4, com *fetchs* equivalentes relativamente próximos, de 2583m e de 2086m, respectivamente, também tiveram recuos próximos, ou seja, o recuo no ponto 1 foi de 1,25m e no ponto 4 de 1,34m.

Os resultados mostram que os maiores *fetchs* equivalentes podem a princípio serem utilizados para identificar os locais mais críticos com relação aos processos erosivos.

Para melhor avaliar o relacionamento entre o recuo das margens e o *fetch* equivalente, foi determinado o coeficiente de correlação de Pearson.

O coeficiente de correlação de Pearson foi determinado para cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e também considerando o monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018). Apenas para o período de monitoramento 2 foi encontrado um relacionamento significativo entre o recuo marginal e o *fetch* equivalente, $r=0,85$, $p<0,05$ (Figura 102).

Figura 102 - Correlação entre o recuo da margem e o *fetch* equivalente para o período de monitoramento 2



Foi avaliada ainda a correlação entre o *fetch* equivalente e o recuo da margem considerando o período de monitoramento total, porém também não foi encontrada correlação significativa para um nível de significância de 95%. Entretanto ocorre um relacionamento significativo entre o *fetch* equivalente e o recuo da margem aceitando um nível de significância menor ($r=0,67$, $p<0,25$). Apesar de ser estatisticamente menos válida, tal

significância também foi aceita por Reid, Sandberg e Millsop (1988), ao realizarem análise de regressão múltipla entre os recuos da margens e os fatores intervenientes considerados pelos autores.

A falta de correlações significativas nos demais períodos de monitoramento deve-se a ausência de recuos nestes períodos.

Portanto, os resultados sugerem evidências de que a hipótese do *fetch* equivalente como indicador dos processos erosivos pode ser válida, principalmente em relação aos maiores recuos.

- Análise espacial

Os mapas de *fetch* obtidos para cada direção do vento foram confrontados com as feições erosivas cadastradas por Rubio (2014).

Com relação ao mapa apresentado por Rubio (2014), o autor não indicou a magnitude das feições cadastradas, sendo assim, em alguns momentos das comparações, devido ao conhecimento dos processos existentes e visualizados em campo, foram acrescentadas na discussão que sucede os trechos mais críticos, os quais abrangem parte da margem do estado de São Paulo.

Os mapas de *fetch* para cada uma das oito direções principais dos ventos, são apresentados na Figura 103.

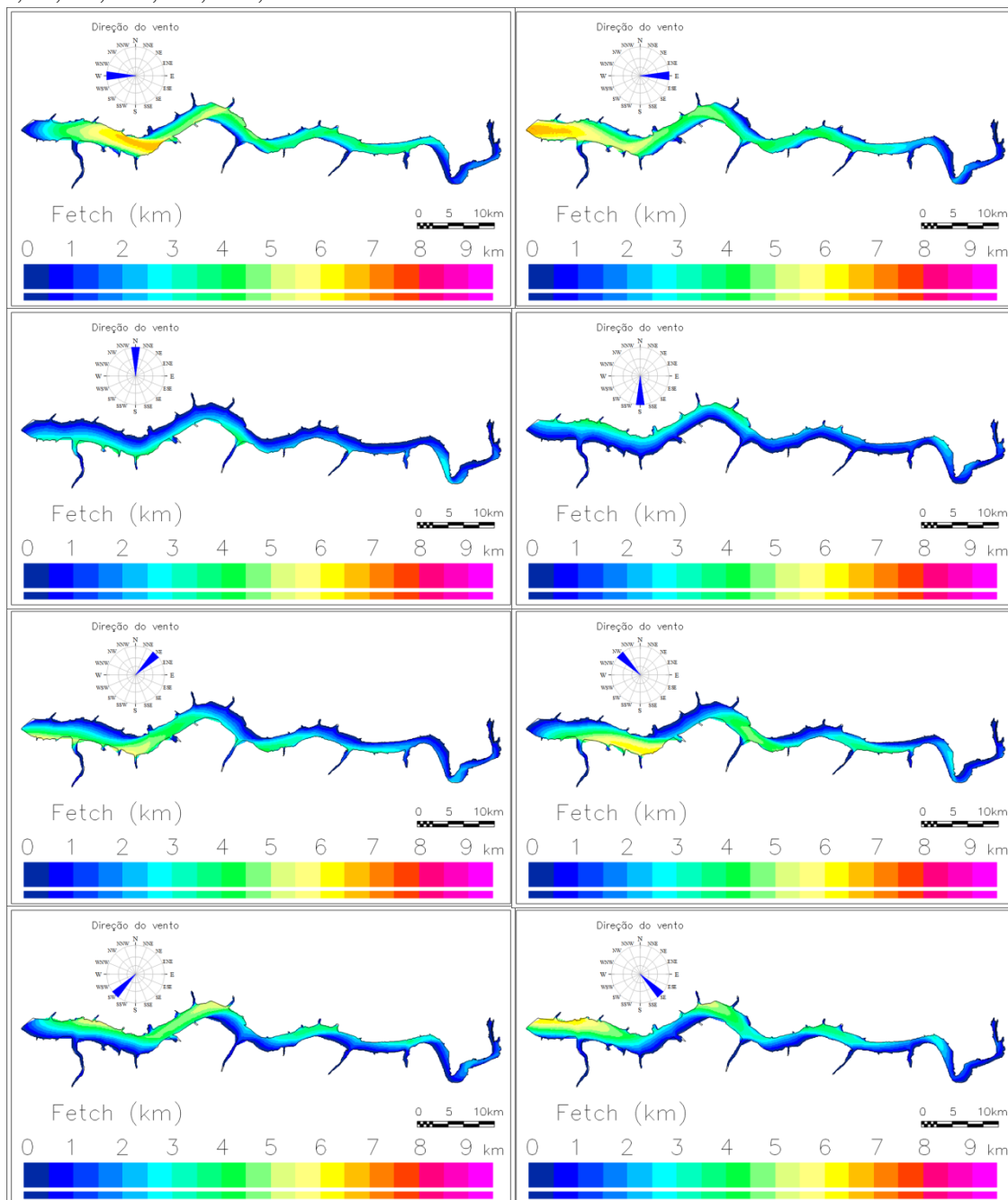
Como pode ser observado na Figura 103, os maiores *fetchs* nesse reservatório ocorrem para as direções E e W. Verifica-se também que *fetchs* com magnitudes superiores a 5000m ocorrem para a maioria das direções, sendo exceção nas direções N e S. Desse modo, as magnitudes superiores a 5000m serão consideradas como significativas.

O mapa com as feições erosivas cadastradas por Rubio (2014) foi adaptado de modo a apresentar apenas as feições presentes na área delimitada desta pesquisa, o trecho inferior do reservatório da UHE Rosana (SP/PR), sendo que as comparações com os *fetchs* se restringiram a este trecho.

Comparando a direção W (Figura 103) com o mapa do cadastramento das feições erosivas (Figura 104) observou-se uma fraca relação entre os maiores *fetchs* e as mesmas.

Os maiores *fetchs* incluem áreas sem processos erosivos e ainda não indicam as áreas mais críticas que ocorrem. Também, extenso trecho na margem paulista possui *fetch* mínimo para essa direção e grande quantidade de feições erosivas.

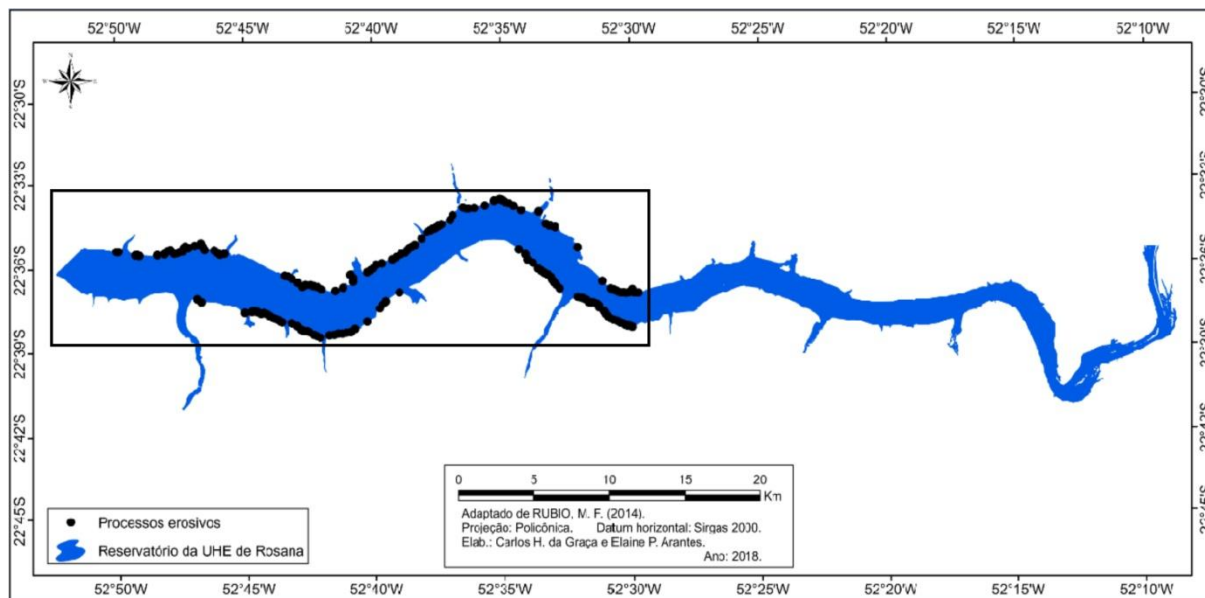
Figura 103 - Mapa de *fetch* pelo Método de Saville com resolução de 1 grau para ventos provenientes de E, W, SE, SW, NE, NW, N e S



Para a direção E foram encontradas melhores correlações para os menores *fetchs*, correspondendo a extensos trechos sem processos erosivos. Contudo os *fetchs* significativos correspondeu a locais com feições, mas também apresentou maiores *fetchs* em locais com ausência de feições, principalmente no trecho próximo à barragem na margem do Paraná.

Ademais, para tal direção, os trechos mais críticos são representados parcialmente, ou seja, apenas na margem direita, no município de Rosana (SP), no trecho que inclui o ponto de controle 5.

Figura 104 - Processos erosivos cadastrados no trecho inferior do reservatório da UHE Rosana (SP/PR)



Fonte: Adaptado de Rubio (2014)

Os mapas de *fetch* gerados para as direções N e S, apresentam os maiores *fetchs* na margem paranaense e na margem paulista respectivamente. Os ventos provenientes de N, geram por exemplo, *fetchs* mínimos na margem paulista, sendo que esta é caracterizada por processos erosivos em diversos trechos. Da mesma maneira ocorre para ventos provenientes da direção S com relação às margens do Paraná.

Os ventos provenientes de NE e NW, apesar de apresentarem *fetchs* significativos em trechos que existem processos erosivos, também não indicam processos erosivos na margem paulista, devido a pequena magnitude de *fetch* nestas margens, apresentando inclusive *fetchs* significativos em trechos com ausência de processos erosivos.

Já a direção SW, apresenta *fetchs* significativos em trechos que não existem processos erosivos e também *fetchs* baixos em locais com presença de processos erosivos.

A direção SE apresentou melhores relações com os processos erosivos cadastrados, indicando os trechos mais críticos, de *fetchs* significativos, os quais ocorrem na margem do estado de São Paulo e também apresenta melhores relações com os trechos sem processos erosivos. Observou-se que tanto a direção E quanto a SE, representaram melhor que as demais direções os processos erosivos. Porém, a direção SE representou melhor os trechos mais críticos.

A direção E foi a direção de maior frequência do vento no período de 2008 a 2014 e a direção SE foi a de maior frequência nos períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5).

As comparações indicaram que as melhores correlações com as feições erosivas cadastradas, ocorreram para as direções predominantes dos ventos na região. Porém, a estação meteorológica de Diamante do Norte (PR) entrou em funcionamento no ano de 2008, e o reservatório foi concluído em 1987, portanto, foram aproximadamente 20 anos com ausência de dados de ventos, podendo as direções predominantes terem se alterado ao longo de tal período, assim como ocorrido a partir de 2015, quando os ventos provenientes de SE começaram a predominar.

Os resultados obtidos confirmam a importância da frequência do vento e sua relação com as feições erosivas. Pesquisadores como Fernandez (1995) e Reid, Sandberg e Millsop (1988), ao considerarem em suas correlações a direção predominante do vento em relação aos processos erosivos, estão assumindo a importância da sua frequência de ocorrência.

Soares (2015) também observou a importância da frequência do vento, tendo verificado que em condições semelhantes de *fetch* médio e declividade da encosta, os maiores volumes erodidos ocorreram para as direções dos ventos mais frequentes.

Maiores *fetchs* indicam os locais com maior probabilidade de ocorrência de ondas com maior energia. Sendo assim todas as margens que apresentassem os maiores *fetchs* poderiam ser consideradas suscetíveis aos processos erosivos. Desse modo consideraríamos praticamente todo o trecho inferior do reservatório, quando analisada cada direção do vento. A questão foi então, como identificar qual a direção mais adequada para representar simultaneamente todos os locais sem processos erosivos e também os trechos mais críticos com relação a estes processos.

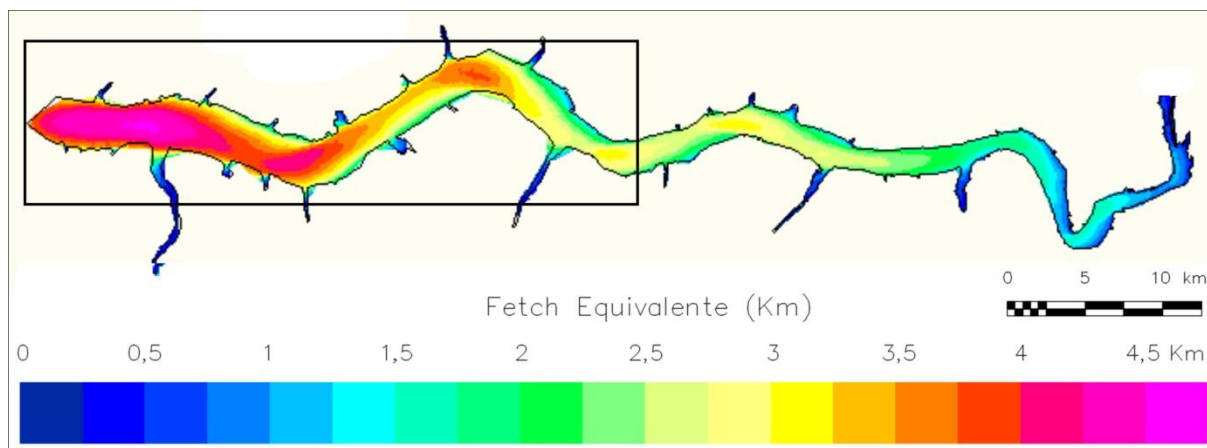
Desde o início dessa pesquisa, esperava-se que as frequências dos ventos de todas as direções do vento, influenciasse na magnitude dos recuos das margens.

Desse modo, foram comparadas as feições erosivas existentes com o mapa do *fetch* equivalente. Inicialmente tinha-se a intenção de realizar as comparações abrangendo os dados de vento desde o início de funcionamento da estação meteorológica de Diamante do Norte (PR), em 2008 até o ano de 2018, ou seja, abrangendo todo o período de dados disponíveis. Porém, foi verificado a ausência de dados em sete meses referentes aos anos de 2015 e 2016. Da análise dos dados existentes para esse período, foi verificado que a partir de 2015 começou a ocorrer uma mudança dos ventos mais frequentes para a direção SE, conforme verificado durante os períodos de monitoramentos (1, 2, 3, 4 e 5).

Foi utilizado, portanto, o mapa do *fetch* equivalente elaborado inicialmente para a seleção dos pontos de controle (Figura 105), correspondendo aos dados de vento de 2008 a

2014. Desse modo, as correlações inicialmente obtidas considerando os pontos de controle, puderam ser complementadas.

Figura 105 - Mapa do *fetch* equivalente para as 8 direções principais do vento, para o período de 2008 a 2014



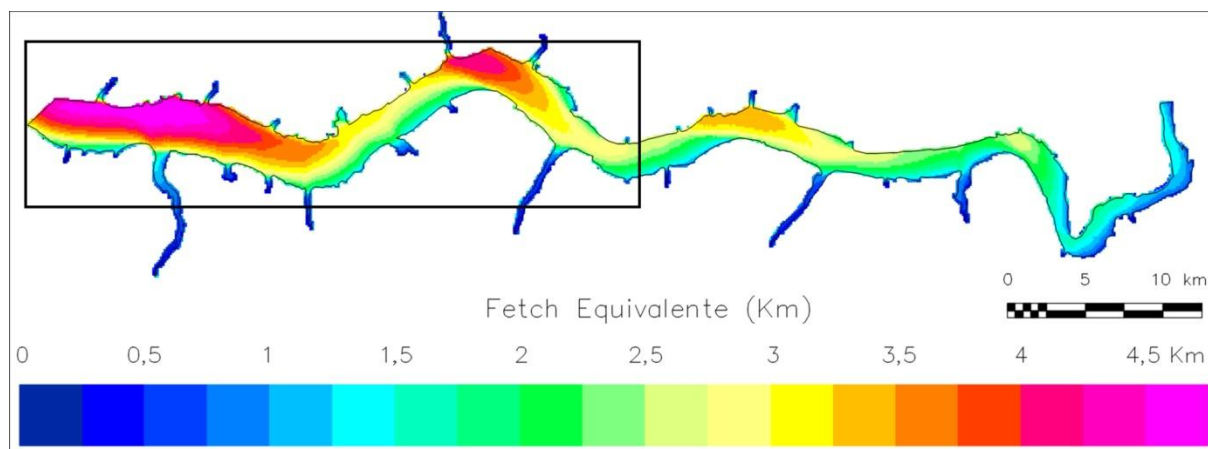
A comparação do mapa de *fetch* equivalente (Figura 105) com os mapas de *fetch* para cada direção do vento (Figura 103), mostrou a existência de semelhança entre o mapa do *fetch* equivalente com o mapa do *fetch* referente a direção E, a direção mais frequente do vento ocorrida entre 2008 e 2014. Ambos coincidem com relação a localização das áreas de maiores e menores magnitudes de *fetchs*.

Como durante o período de monitoramento (novembro de 2016 a junho de 2018) a direção mais frequente do vento foi a de SE, foi gerado também um mapa de *fetch* equivalente para este período (Figura 106), mostrando também alta concordância entre o mesmo e o mapa de *fetch* para a direção SE, porém representou mais adequadamente o trecho na margem esquerda à montante da barragem, onde no mapa de *fetch* para a direção SE apresentava *fetchs* mínimos.

Portanto, o mapa de *fetch* equivalente referente ao período de monitoramento mostrou melhor concordância com o mapa do cadastramento das feições erosivas do que o mapa de *fetch* equivalente considerando o período de 2008 a 2014.

Inicialmente esperava-se melhor concordância das feições erosivas com o mapa de *fetch* equivalente que abrangia uma maior quantidade de anos, no caso de 2008 a 2014. Porém, a melhor concordância com o período de monitoramento pode ser justificada devido ao desconhecimento da frequência dos ventos em período anterior ao ano de 2008, abrindo uma lacuna sobre qual foi a direção predominante do vento naquele período.

Figura 106 - Mapa do *fetch* equivalente para as 8 direções principais do vento, para o período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018)



As feições erosivas existentes no reservatório, provavelmente foram geradas a partir do enchimento do mesmo, portanto, as feições existentes hoje são o resultado da evolução das mesmas desde o enchimento do reservatório.

Pelo conhecimento da área de estudo através dos levantamentos de campo realizados, foi observado que o *fetch* equivalente obtido para o período de monitoramento total conseguiu explicar também regiões intermediárias com relação a magnitude dos processos erosivos, ou seja, entre a crítica e a ausência de feições.

5.2.9 *Fetch* equivalente ativo

- Pontos de controle

A Tabela 15 apresenta o *fetch* equivalente ativo determinado para cada ponto de controle nos períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5), e também para o período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).

A Figura 107 permite a melhor visualização dos valores apresentados na Tabela 15, referentes aos períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5).

Verifica-se pela Figura 107, quando comparada com a Figura 101 apresentada anteriormente, a qual apresentou os valores do *fetch* equivalente, que ocorreu uma atenuação na magnitude do *fetch* equivalente, ou seja, o *fetch* equivalente ativo é inferior ao *fetch* equivalente em todos os pontos de controle.

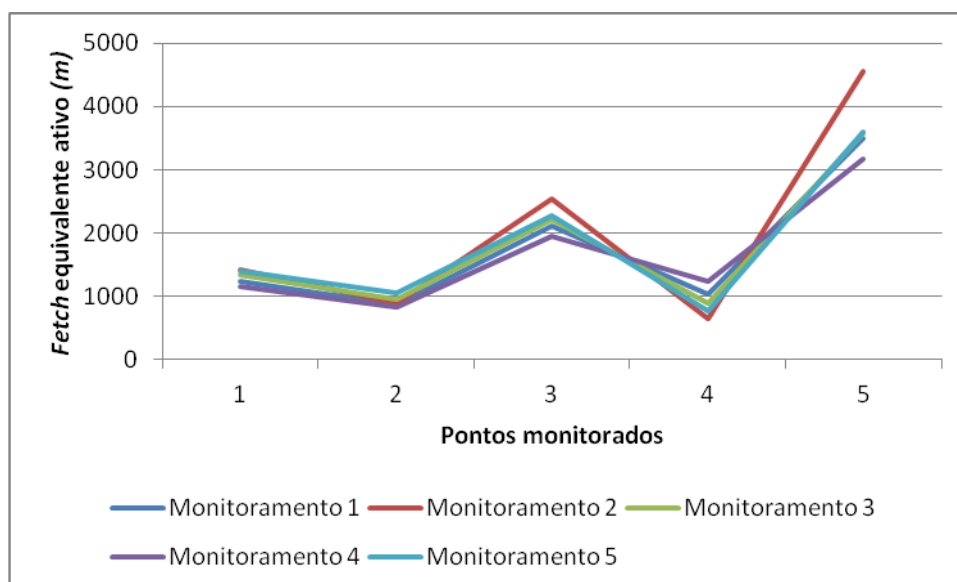
Tabela 15 - *Fetch* equivalente ativo em cada ponto de controle, nos períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e no monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018)

Pontos de controle	<i>Fetch</i> equivalente ativo (m)					Monit total
	Monit 1	Monit 2	Monit 3	Monit 4	Monit 5	
1	1234	1429	1334	1150	1394	1308
2	866	896	955	832	1049	920
3	2106	2524	2192	1934	2258	2203
4	1042	641	885	1239	781	918
5	3495	4557	3577	3175	3602	3681

Nota: -Monit (Monitoramento)

-Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

Figura 107 - *Fetch* equivalente ativo nos pontos de controle nos períodos de monitoramento



Nota: Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

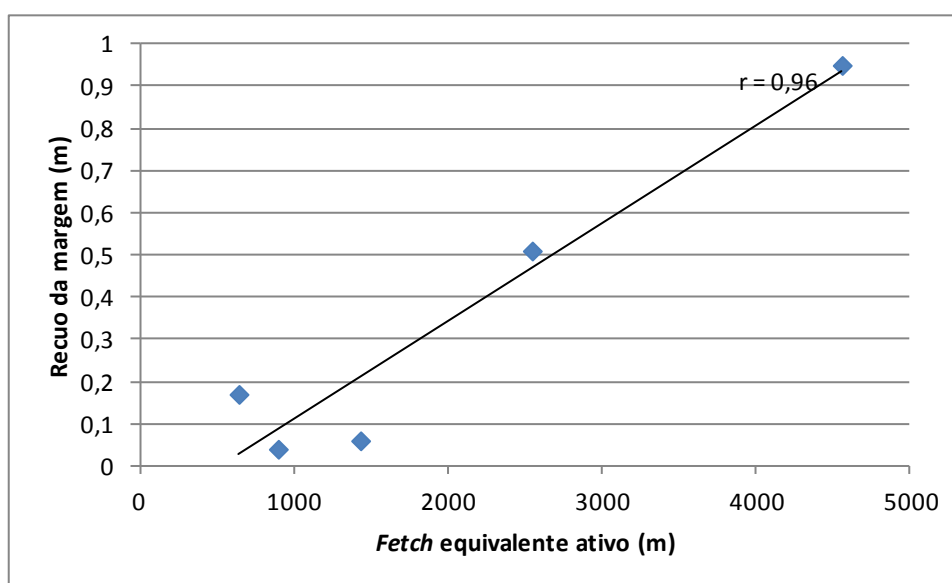
Além disso, o ponto de controle 2 possuía um *fetch* equivalente superior ao ponto 1, enquanto o seu *fetch* equivalente ativo é inferior, dando uma indicação prévia da relevância da consideração da orientação da margens pois foi o ponto com o menor recuo total (0,32m). Ainda, verifica-se através da Tabela 12, apresentada anteriormente, que o ponto 1 possui maior coeficiente que o ponto 2, para a direção SE.

O ponto de controle 4, apesar de possuir *fetchs* significativos nas direções do vento que atingem suas margens, possui *fetch* equivalente ativo baixo, devido a baixa ocorrência dos ventos provenientes das direções que atingem as mesmas. Também possuem coeficientes baixos para as direções E e NW.

Novamente, foi determinado o coeficiente de correlação de Pearson, agora para avaliar o relacionamento do recuo das margens com o *fetch* equivalente ativo. Foi considerado o *fetch* equivalente ativo para cada ponto de controle e para cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5), e também considerando o monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018) conforme apresentados na Tabela 15.

Para o período de monitoramento 2, foi encontrado um relacionamento significativo entre o recuo marginal e o *fetch* equivalente ativo, $r=0,96$, $p<0,01$ (Figura 108).

Figura 108 - Correlação entre o recuo da margem (m) e o *fetch* equivalente ativo para o período de monitoramento 2

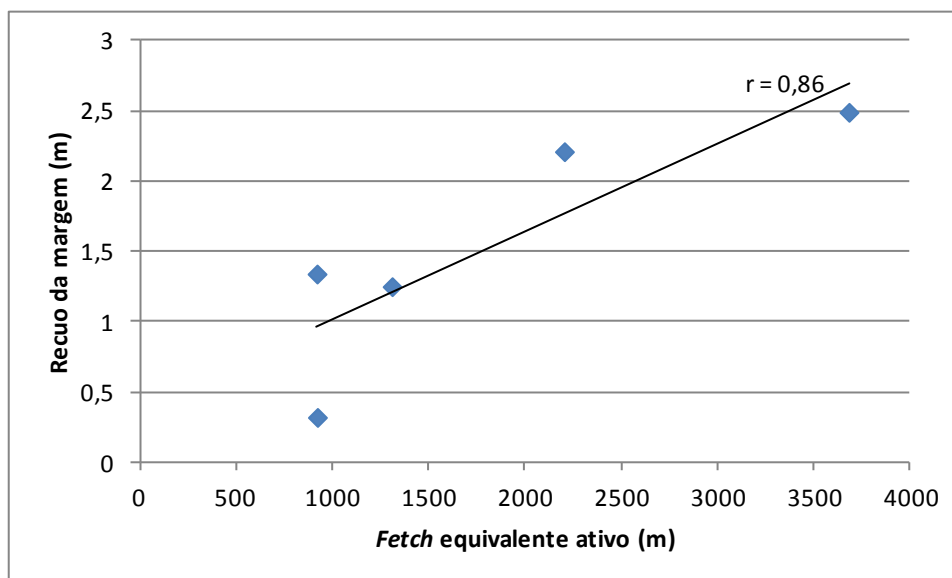


O recuo também foi correlacionado significativamente com o *fetch* equivalente ativo quando considerado o monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018), $r= 0,86$, $p<0,01$ (Figura 109).

- Análise espacial

Em termos regionais foi verificado anteriormente a relação do *fetch* equivalente com as feições erosivas. Para verificar se o *fetch* equivalente ou o *fetch* equivalente ativo gera melhor concordância com as feições erosivas cadastradas, foram mapeados os valores dos mesmos apenas nas margens da área teste.

Figura 109 - Correlação entre o recuo da margem (m) e o *fetch* equivalente ativo para o período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018)



Os *fetchs* equivalentes e os *fetchs* equivalentes ativos foram determinados considerando o período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).

As Figuras 110 e 111 apresentam respectivamente o mapa com o *fetch* equivalente e com o *fetch* equivalente ativo.

Figura 110 - Mapa do *fetch* equivalente para as 8 direções principais do vento, com relação ao período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018)

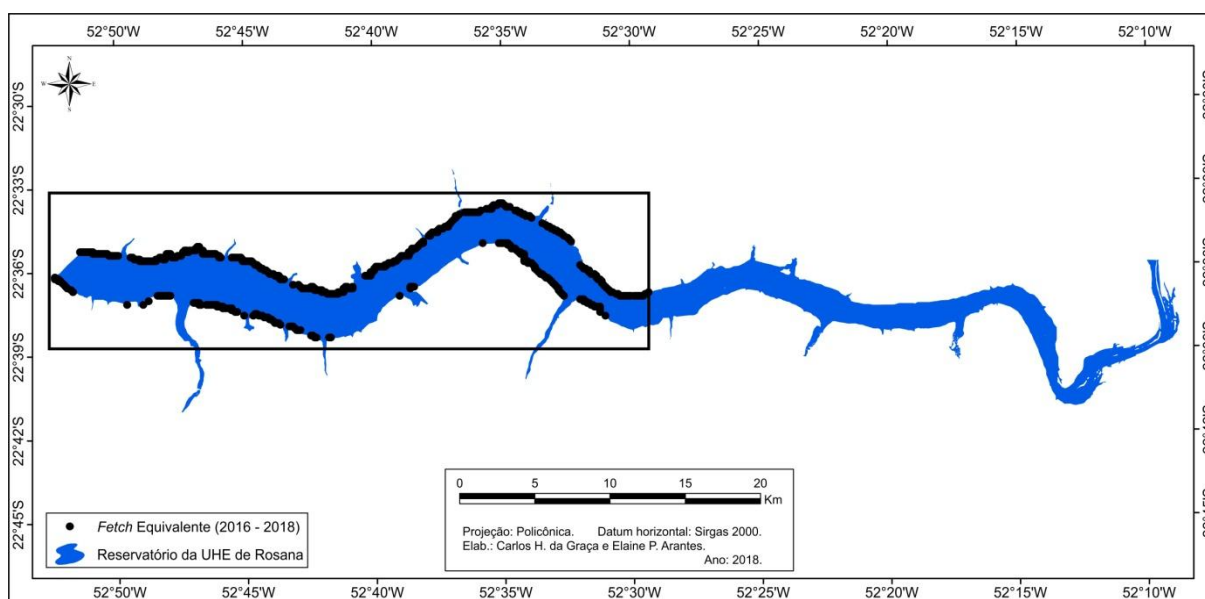
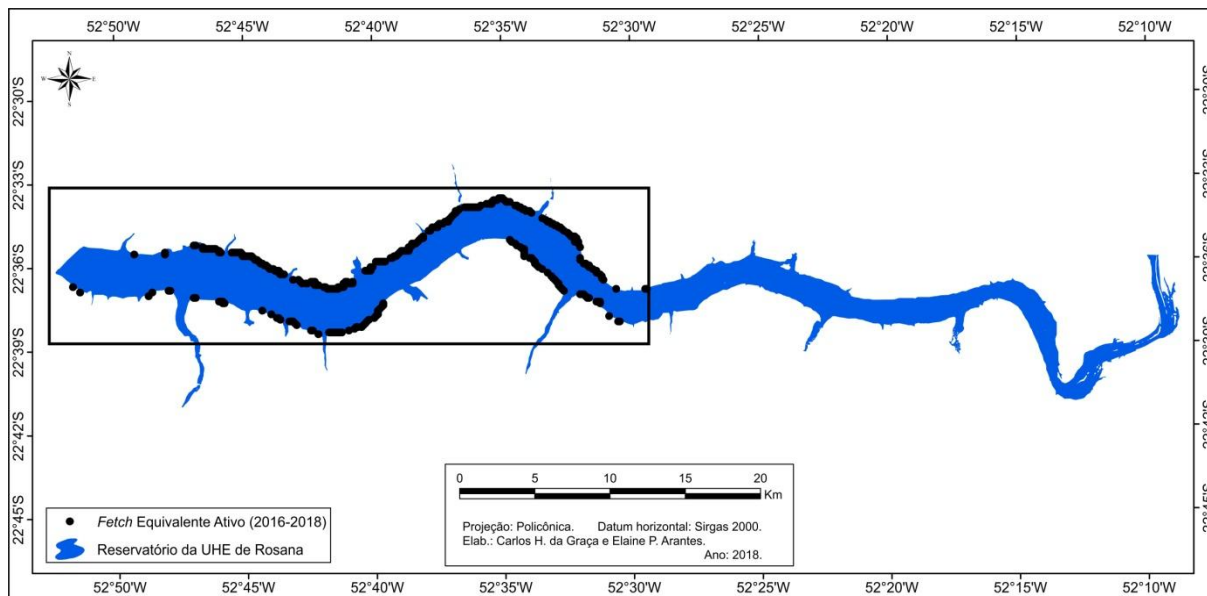


Figura 111 - Mapa do *fetch* equivalente ativo para as 8 direções principais do vento, com relação ao período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018)



Nestes mapas, foram excluídos os valores de *fetch* inferiores aos utilizados nas correlações com os pontos de controle. Com relação ao *fetch* equivalente foram excluídos os valores inferiores a 1749m, que foi o menor valor de *fetch* utilizado na correlação entre o *fetch* equivalente e o recuo para o período de monitoramento 2. Para o *fetch* equivalente ativo foram excluídos os valores inferiores a 641m, também o menor valor utilizado na correlação durante o monitoramento 2. A escolha do período de monitoramento 2 justifica-se pela melhor correlação (r) obtida neste período de monitoramento.

Quando os mapas (Figuras 110 e 111) foram comparados com o mapa do cadastramento das feições erosivas já apresentado (Figura 104), observou-se que o mapa de *fetch* equivalente ativo apresentou uma concordância significativa, superior a do mapa do *fetch* equivalente, com relação aos trechos com ausência de processos erosivos.

Com o intuito de verificar onde ocorrem os maiores *fetchs* equivalentes e *fetchs* equivalentes ativos, foram elaborados os mapas considerando os 20% dos maiores *fetchs* de cada, Figuras 112 e 113, respectivamente.

Partindo do conhecimento de campo, uma vez que os dados cadastrados por Rubio (2014) não indicam a magnitude dos processos erosivos como já dito anteriormente, tanto o *fetch* equivalente como o *fetch* equivalente ativo conseguiram abranger de modo geral, os trechos mais críticos, os quais ocorrem na margem paulista.

Figura 112 - Mapa dos maiores *fetchs* equivalentes (20%) para as 8 direções principais do vento, com relação ao período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018)

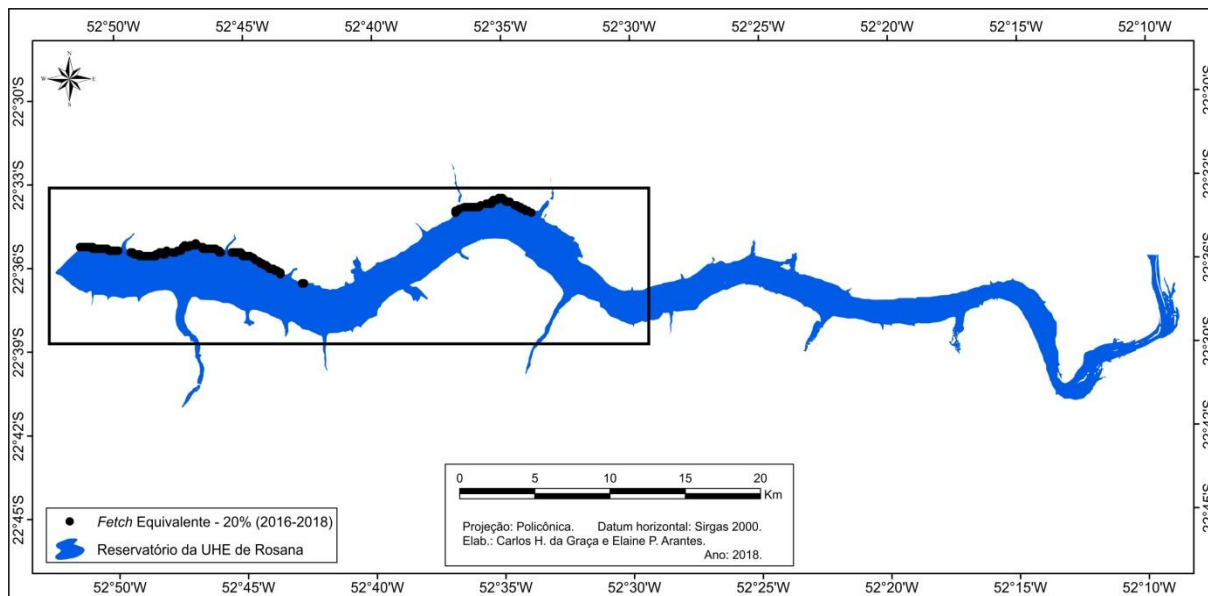
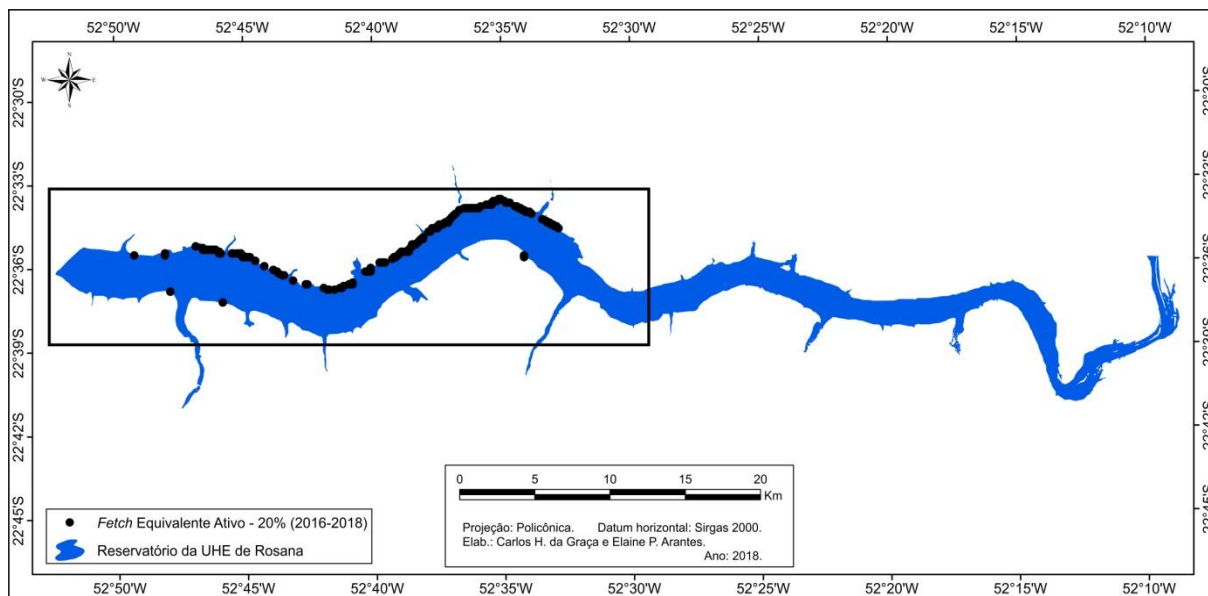


Figura 113 - Mapa dos maiores *fetchs* equivalentes ativos (20%) para as 8 direções principais do vento, com relação ao período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018)



Porém, o *fetch* equivalente ativo apresentou novamente melhores resultados, pois não inclui o trecho próximo a barragem, onde não ocorrem processos erosivos, e ainda, apresenta adequadamente os processos existentes no trecho a jusante da área urbana de Euclides da Cunha Paulista (SP).

Em função dos resultados e considerações apresentadas, considera-se viável a utilização do *fetch* equivalente ativo para a determinação dos trechos mais críticos das

margens com relação aos processos erosivos. Podendo também indicar os trechos com ausência de processos.

5.2.10 Energia equivalente

- Pontos de controle

Apesar do *fetch* equivalente ativo poder ser utilizado como um indicador de margens suscetíveis a erosão marginal, para a estimativa do recuo, uma variável extremamente relevante é a intensidade do vento, a qual foi incluída na análise, através da determinação da energia das ondas.

Para se ter uma ideia da magnitude da energia das ondas, ondas com altura de 10cm possuem uma energia de $12,26\text{J/m}^2$. Além, pequenas variações na altura da onda, promovem um aumento significativo na energia da mesma, principalmente para as ondas de maior altura, como pode ser verificado através da equação 2, apresentada na parte de Procedimentos Metodológicos, na qual a variável altura da onda (H) é elevada ao quadrado.

As energias equivalentes determinadas para cada ponto de controle e para cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e também para o monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018) podem ser visualizadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Energia equivalente em cada ponto de controle durante os períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e no monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018)

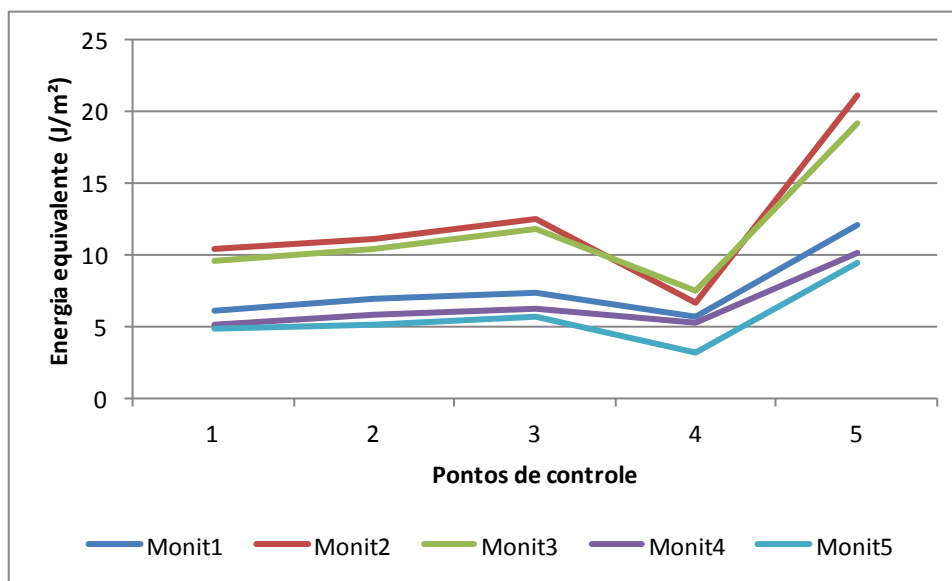
Pontos de controle	Energia equivalente (J/m^2)					
	Monit 1	Monit 2	Monit 3	Monit 4	Monit 5	Monit total
1	6,07	10,48	9,59	5,15	4,77	6,97
2	6,92	11,1	10,44	5,8	5,08	7,56
3	7,34	12,48	11,76	6,29	5,74	8,42
4	5,67	6,61	7,49	5,24	3,17	5,37
5	12,02	21,14	19,19	10,1	9,48	13,88

Nota: -Monit (Monitoramento)

-Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018); Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

A energia equivalente para cada ponto de controle nos períodos de monitoramentos (1, 2, 3, 4 e 5) podem ser melhor observadas na Figura 114.

Figura 114 - Energia equivalente nos pontos de controle nos períodos de monitoramentos (1, 2, 3, 4 e 5)



Nota: -Monit (Monitoramento)

Como pode ser verificado, com exceção do ponto de controle 4, as maiores energias equivalentes ativas para os pontos de controle ocorreram durante o monitoramento 2, seguidos dos monitoramentos 3, 1, 4 e 5.

Pode-se verificar também que a partir do período de monitoramento 2 ocorre uma queda de energia para todos os pontos, com exceção do ponto de controle 4 que teve um aumento de energia do monitoramento 2 para o 3.

Os pontos de controle 3 e 5, são atingidos pelas maiores energias equivalentes das ondas em todos os períodos de monitoramento, seguidos pelos pontos 2, 1 e 4 respectivamente. Como não há alteração no valor do *fetch* entre os períodos de monitoramento, uma vez que tal depende unicamente da morfologia das margens e da direção do vento considerada, as variações temporais de energia entre os períodos de monitoramento são função das variações das frequências e das intensidades dos ventos.

Para investigar a relação entre o recuo das margens e a energia equivalente, foi utilizado o modelo de regressão linear simples. A análise de regressão estuda a relação entre uma variável chamada de variável dependente e outras variáveis chamadas de variáveis independentes. A relação entre elas é representada por um modelo matemático, que associa a variável dependente com as variáveis independentes. Este modelo é designado por modelo de regressão linear simples (MRLS) se define uma relação linear entre a variável dependente e uma variável independente.

Sendo assim, o recuo da margem foi selecionado como variável dependente (eixo y) e a energia equivalente das ondas (eixo x) como variável independente. O modelo de regressão é um dos métodos estatísticos mais usados para investigar a relação entre variáveis. O modelo foi comparado ao modelo nulo pela análise de variância, com teste F ao nível de 5% de significância. A distribuição de erros Normal foi usada na análise do modelo. Tal análise foi realizada no *software* livre R versão 1.1.423.

Foi utilizado o modelo de regressão linear para todos os períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e também considerando o monitoramento total. Porém, a correlação foi significativa apenas para o período de monitoramento 2, com $p < 0,05$ e $R^2 = 0,78$.

Para os demais períodos de monitoramento considerados não foi encontrada correlação entre o recuo e a energia equivalente ($P > 0,05$ N5), ou seja, a relação entre as variáveis não foi significativa.

5.2.11 Energia equivalente ativa

- Pontos de controle

Foi determinada a energia equivalente ativa para cada ponto de controle e para cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e também para o monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2017). Os resultados podem ser visualizados na Tabela 17.

Tabela 17 - Energia equivalente ativa em cada ponto de controle durante os períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e no monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2017)

Pontos de controle	Energia equivalente ativa (J/m^2)					
	Monit 1	Monit 2	Monit 3	Monit 4	Monit 5	Monit total
1	2,7	4,5	4,59	2,3	2,18	3,14
2	1,48	2,37	2,56	1,27	1,19	1,71
3	5,21	8,93	8,57	4,4	4,18	6,04
4	2,68	2,92	3,73	2,75	1,44	2,61
5	10,16	17,95	16,43	8,53	8,08	11,81

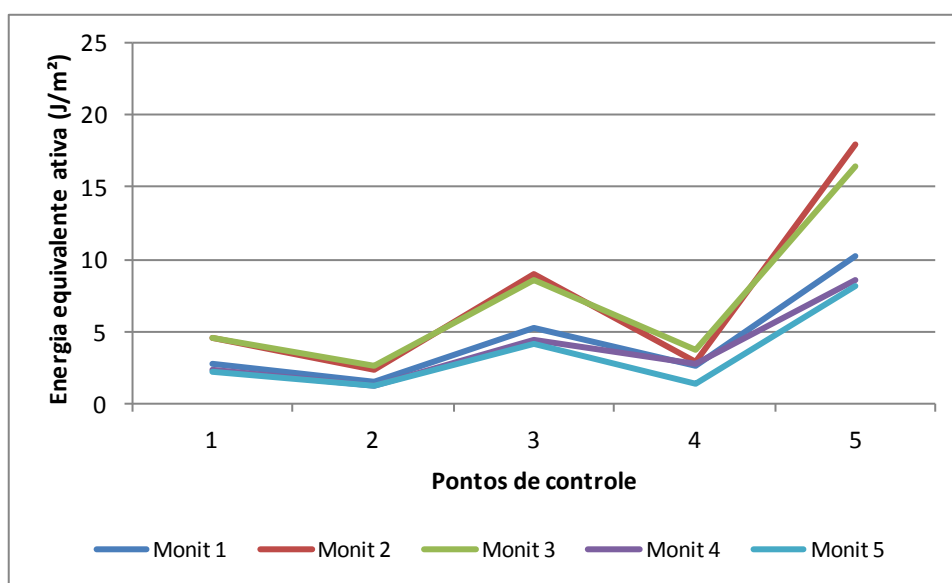
Nota: -Monit (Monitoramento)

-Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

A energia equivalente ativa em cada ponto de controle e nos períodos de monitoramentos (1, 2, 3, 4 e 5) podem ser melhor visualizadas na Figura 115.

Conforme pode ser observado na Figura 115, o padrão de distribuição espacial das energias se mantém constante para todos os pontos nos períodos de monitoramento, ou seja, os pontos de maior e menor energia se mantêm entre os períodos, com exceção do período de monitoramento 4, quando a energia equivalente ativa do ponto de controle 4 foi maior que a do ponto de controle 1.

Figura 115 - Energia equivalente ativa nos pontos de controle nos períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5)



Nota: -Monit (Monitoramento)

-Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

Como já comentado com relação a energia equivalente, as variações temporais da mesma dependem da velocidade e da frequência do vento. A orientação da margem com relação a direção do vento considerada, interfere na magnitude da energia em cada ponto, mas em termos temporais não varia.

Desse modo, a energia equivalente ativa apresentou variações significativas quando comparada com a energia equivalente. Primeiramente, suas magnitudes são inferiores, pois são considerados apenas os ventos que atingem as margens e também a orientação das mesmas.

Ocorreu ainda uma diferença entre os pontos que são atingidos pelas maiores energias, ou seja, o ponto de controle 2 que tinha uma energia equivalente superior aos pontos de controle 1 e 4, passou a ter uma energia equivalente ativa menor que os mesmos, fato já observado na análise do *fetch* equivalente com relação ao *fetch* equivalente ativo. Além, o

ponto 3 que possuía uma energia equivalente mais próxima as dos pontos de controle 1 e 2, passa a ter energia equivalente ativa mais significativa com relação aos mesmos.

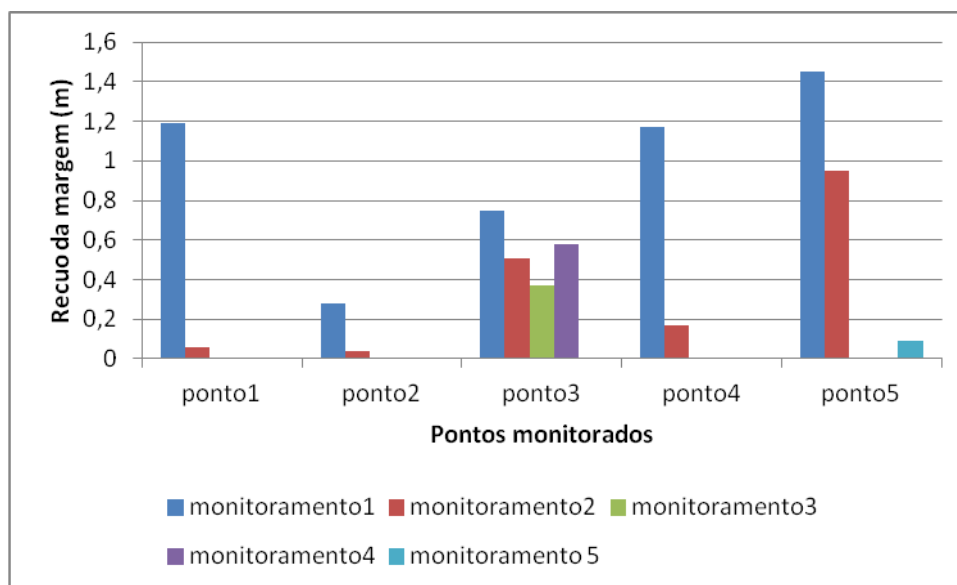
Sendo assim, a classificação dos pontos de controle em ordem decrescente de magnitude de energia equivalente em todos os períodos de monitoramento, com exceção do monitoramento 4, foi 5, 3, 2, 1 e 4. Quando considerada a energia equivalente ativa foi 5, 3, 1, 4 e 2. A menor energia equivalente ativa para o ponto 2 concorda com a menor magnitude do recuo neste ponto.

Os períodos de monitoramentos 2 e 3 corresponderam aos períodos mais energéticos, sendo as energias equivalentes ativas nos pontos de controle bem próximas nesses dois períodos.

O ponto 5 foi o que apresentou as maiores variações de energia equivalente ativa, principalmente do período de monitoramento 1 para o 2 (aumento), e também do monitoramento 3 para o 4 (diminuição), sendo seguido pelo ponto 3, o qual apresentou o mesmo comportamento.

Os recuos de cada ponto de controle em cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) podem ser visualizados na Figura 46 apresentada novamente em destaque, os quais foram confrontados com a energia equivalente ativa referente a cada período de monitoramento (Tabela 17).

Figura 46 - Recuos de cada ponto de controle em cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5)



Nota: Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

Comparando os recuos dos pontos de controle durante o período de monitoramento 1 e as respectivas energias equivalentes ativas, observou-se certa correlação entre os mesmos. O ponto que mais recuou foi o 5 (1,45m), sendo o ponto atingido por maior energia ($10,16\text{J/m}^2$). Além, o ponto 2, que teve o menor recuo (0,28m), foi também atingido pela menor energia ($1,48\text{J/m}^2$). No ponto 1, atingido praticamente pela mesma energia ($2,7\text{J/m}^2$) que o ponto 4 ($2,68\text{J/m}^2$) tiveram também recuos próximos, de 1,19m e 1,17m respectivamente. Já o ponto 3, com aproximadamente metade da energia ($5,21\text{J/m}^2$) do ponto 5 ($10,16\text{J/m}^2$), também recuou aproximadamente a metade (0,75m) do que recuou o ponto 5 (1,45m).

Durante o período de monitoramento 2 também foi verificada uma correlação parcial entre os recuos e as energias equivalentes ativas, com o maior recuo do ponto 5 (0,95m) de maior energia equivalente ativa ($17,95\text{J/m}^2$), seguido do ponto 3 (0,51m), o segundo ponto de maior energia equivalente ativa ($8,93\text{J/m}^2$).

Foram realizadas também comparações entre os recuos e as energias equivalentes ativas entre os períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5). Após o monitoramento 2, ocorreram recuos apenas no ponto de controle 3, com exceção de um pequeno recuo no ponto 5 no último monitoramento. Ressalta-se que apesar de praticamente não ocorrer recuos após o período de monitoramento 2, os períodos de monitoramentos 2 e 3 tiveram as mesmas magnitudes de energias.

Durante o período de monitoramento 1, verificou-se que a magnitude dos recuos foram superiores aos do monitoramento 2, apesar da energia equivalente ativa neste período ter sido menor que no período de monitoramento 2. Tal, deve-se provavelmente, ao período de abrangência do monitoramento 1 ter sido superior ao do monitoramento 2, e ainda, ao fato de não ter sido possível identificar em que período ocorreram os recuos, podendo inclusive ter ocorrido em períodos de maiores energias, como nos meses de março e abril de 2017, quando a energia equivalente ativa correspondente a estes dois meses se aproxima da energia do monitoramento 2.

Sendo assim, foram realizadas comparações em termos de médias mensais dos recuos. O recuo médio mensal para cada ponto de controle e para cada período de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) podem ser visualizados na Tabela 18.

Como pode ser visto, no período de monitoramento 2 teve-se os maiores recuos em termos de médias mensais nos pontos de controle 3 e 5, período de maior energia ($8,93\text{J/m}^2$ e $17,95\text{J/m}^2$ respectivamente), do que no monitoramento 1 ($5,21\text{J/m}^2$ e $10,16\text{J/m}^2$

respectivamente). Porém, nos pontos de controle 1, 2 e 4, mesmo com relação as médias mensais não ocorreu concordância entre as energias e os recuos.

Tabela 18 - Recuo médio mensal da margem nos pontos de controle durante os períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5)

Pontos de controle	Recuo da margem (m)				
	Monit 1	Monit 2	Monit 3	Monit 4	Monit 5
ponto1	0,178	0,018	0	0	0
ponto2	0,042	0,012	0	0	0
ponto3	0,112	0,157	0,145	0,194	0
ponto4	0,175	0,052	0	0	0
ponto5	0,217	0,292	0	0	0,027

Nota: -Monit (Monitoramento)

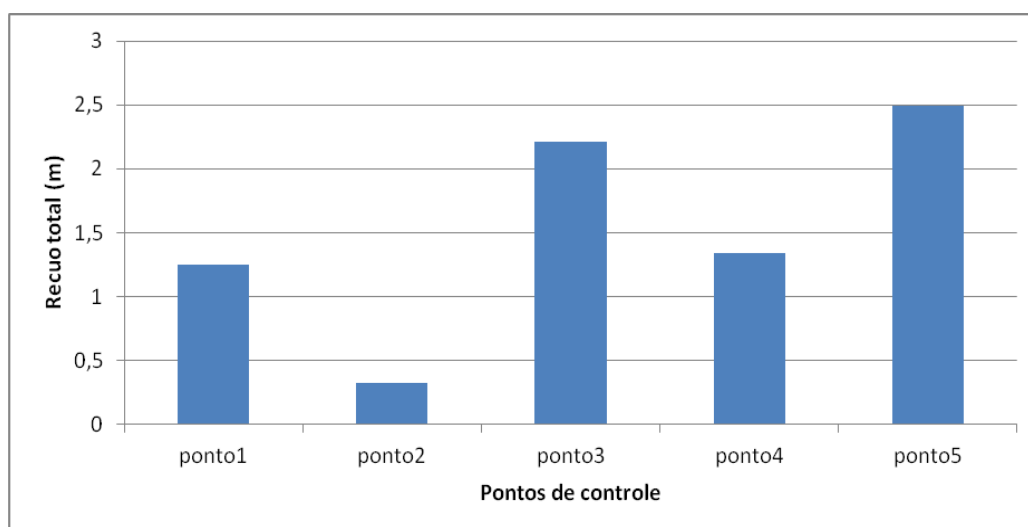
-Monitoramento 1 (25/11/2016 a 15/06/2017); Monitoramento 2 (16/06/2017 a 22/09/2017); Monitoramento 3 (23/09/2017 a 09/12/2017); Monitoramento 4 (10/12/2017 a 10/03/2018) ; Monitoramento 5 (11/03/2018 a 21/06/2018)

Com relação aos recuos do ponto de controle 3, em quase todos os períodos de monitoramento, podem estar associados ao tipo de solo desse ponto (Neossolo) e a altura do talude (2,52m).

Também, a ausência de recuos a partir do período de monitoramento 3 coincide com a diminuição de energia após este período.

Considerando o recuo total de cada ponto de controle, ou seja, referente ao período de monitoramento total (Figura 116), verifica-se que os pontos 3 e 5, sujeitos as maiores energias em todos os períodos de monitoramento, foram os pontos que tiveram os maiores recuos.

Figura 116 - Recuo total de cada ponto de controle durante o período de monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018)



Considerando a energia equivalente ativa determinada para o período de monitoramento total (Tabela 17), o ponto 5 de maior energia ($11,81\text{J/m}^2$) que o ponto 3 ($6,04\text{J/m}^2$) teve maior recuo, porém o ponto 3 teve os recuos distribuídos ao longo dos períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5), enquanto o ponto 5 recuou praticamente apenas nos monitoramentos 1 e 2.

Os pontos 3 e 5 conjugam características que favorecem a incidência de maior energia das ondas, ou seja, possuem *fetchs* grandes nas direções dos ventos que atingem suas margens, a orientação das suas margens favorecem a incidência dos ventos mais frequentes, e possuem coeficientes altos para esta direção do vento (obtidos por meio do seno do ângulo formado entre a direção do vento e a orientação da margem), ou seja, as ondas incidem quase perpendicularmente a margem.

Os pontos 1 e 4, com magnitudes de energia relativamente próximas ($3,14\text{J/m}^2$ e $2,61\text{J/m}^2$ respectivamente), possuem também recuos totais próximos (1,25m e 1,34m respectivamente). O ponto 2 de menor energia ($1,71\text{J/m}^2$) também foi o ponto com o menor recuo (0,32m).

Novamente, utilizando o modelo de regressão linear simples, foi investigada a relação entre o recuo das margens e a energia equivalente ativa, tendo sido realizada para todos os períodos de monitoramento (1, 2, 3, 4 e 5) e também considerando o monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018).

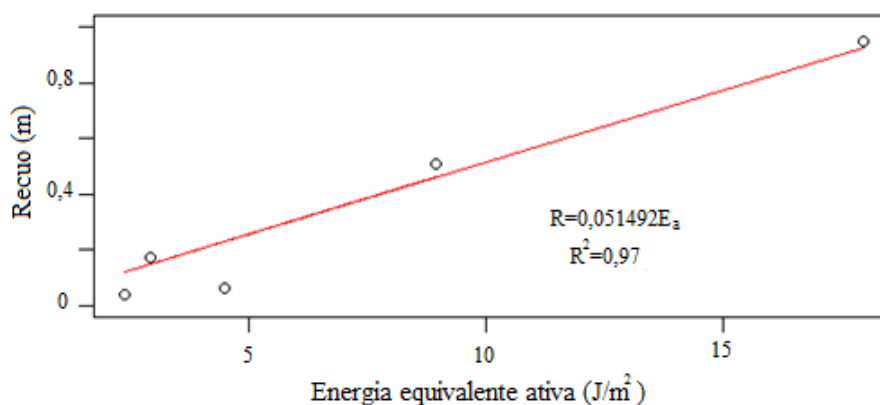
Não foram encontradas correlações significativas para os períodos de monitoramento 1, 3, 4 e 5. A falta de correlação durante o período de monitoramento 1 pode ter ocorrido pelo mesmo ter abrangido um período relativamente longo, sendo que os recuos podem ter ocorrido em um período menor, com maiores energias equivalentes ativas. Também, no início deste monitoramento, no ponto de controle 1, foi visível a presença de outro tipo de processo erosivo atuando juntamente com o devido as ondas, o escorregamento rotacional, e no ponto de controle 4, a presença de fendas de tensão na superfície do talude.

A inexistência de correlação para os períodos de monitoramento 3, 4 e 5, deve-se a grande quantidade de recuos nulos nestes períodos. Com relação ao período de monitoramento 3, foi um período com energias equivalentes ativas próximas ao do monitoramento 2, para todos os pontos de controle. Isto indica que a falta de correlação no período de monitoramento 3 pode ter sido ocasionada pela obstrução da base do talude devido a presença de material desmoronado no período anterior e também pelo desenvolvimento da vegetação próximo ao mesmo. Desse modo, os recuos não ocorreram devido a proteção

ocasionada pelos mesmos, impedindo o solapamento da base do talude. Nos monitoramentos 4 e 5, soma-se a estes, o fato de serem os períodos de menores energias equivalentes ativas.

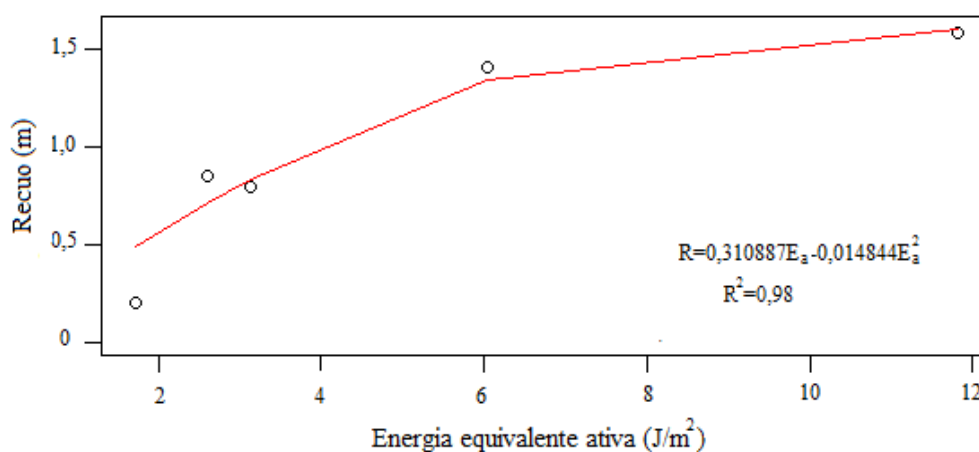
Durante os períodos de monitoramento 2 e de monitoramento total foram encontradas correlações significativas. Para o monitoramento 2 a magnitude do recuo da margem variou com a energia equivalente ativa ($P < 0,05$, $N5$), sendo observada a relação positiva entre as variáveis, com o coeficiente de determinação (R^2) de 97%, mostrando que o ajuste foi satisfatório (Figura 117).

Figura 117 - Relação entre o recuo da margem (m) e a energia equivalente ativa (J/m^2) durante o período de monitoramento 2 ($P < 0,05$)



Quando considerado o monitoramento total, a relação entre as variáveis também foi significativa ($P < 0,05$, $N5$) e $R^2 = 0,98$ (Figura 118).

Figura 118 - Relação entre o recuo da margem (m/ano) e a energia equivalente ativa (J/m^2) durante o período de monitoramento total ($P < 0,05$)



O coeficiente de determinação explica a proporção de variação total da variável dependente que é explicada pela variação da variável independente, ou seja, explica o quanto da variação no recuo está relacionada linearmente com a energia equivalente ativa. Portanto, considerando o período de monitoramento total, 98% da variação no recuo está relacionado linearmente com a energia equivalente ativa, sendo que 2% da variação são resultantes de outros condicionantes não considerados na modelagem, como os geomorfológicos, geológicos, precipitação, uso do solo, cota do nível d'água do reservatório e dissipação da energia das ondas. Sendo assim, grande parte da variação do recuo é explicada linearmente pela variável independente, a energia equivalente ativa, e portanto, implicitamente, pelo *fetch*, pela intensidade, direção e frequência do vento, e pela orientação das margens.

Foram também realizadas análises de correlação entre o recuo das margens e as variáveis consideradas intervenientes no mesmo, ou seja, a precipitação, a textura dos solos, a altura do taludes, as cotas dos níveis d'água do reservatório e também a declividade do leito próximo a praia, porém não foram encontradas correlações significativas entre o recuo e estas variáveis. Foram realizadas também correlações múltiplas, sendo que devido a baixa quantidade de observações, nas análises de regressão múltipla foram consideradas simultaneamente duas variáveis independentes, dado que as estimativas dos parâmetros e dos erros seriam impossibilitadas para um modelo com mais variáveis. Sendo assim, cada uma das variáveis citadas anteriormente foi considerada juntamente com a energia equivalente ativa. Porém, novamente não foi encontrada correlações significativas. Tal, deve-se provavelmente a pouca variação dos fatores considerados, sugerindo as condições homogêneas com relação aos mesmos, e ainda confirmando a correlação satisfatória obtida apresentada na Figura 118.

Os coeficientes de determinação obtidos para os períodos de monitoramento 2 e para o período de monitoramento total, mostrou que os modelos adotados são bastante adequados. Porém, a correlação obtida durante o monitoramento 2, apesar de indicar a importância da energia equivalente ativa no recuo das margens, não representa a realidade dos processos erosivos observados durante o período de monitoramento total, o qual abrange períodos de estabilidade.

Com relação aos períodos de estabilidade, ou seja, os vários períodos sem recuos, indicam que o recuo das margens são dependentes da retirada do material acumulado na base do talude, o qual foi um processo lento no trecho inferior do reservatório da UHE Rosana (SP/PR) no período de monitoramento.

De Moraes (2016) indicou a viabilidade de realizar campanhas semestrais para a realização de levantamentos por propiciar a correlação do avanço dos processos erosivos com o ciclo hidrológico, ou seja, no início do período chuvoso e no início do período seco. Porém, em se tratando dos processos erosivos por ondas, é conveniente delimitar também os levantamentos em função das intensidades dos ventos. Segundo Brown et al. (2005), medições precisas da taxa de recuo registrada na escala de semanas, pode ser o requisito chave para estabelecer uma forte correlação estatística entre a taxa de recuo e o poder da onda. Tal, pode ser um indicativo da falta de correlação entre os recuos e as energias das ondas durante o período de monitoramento 1.

A hipótese inicial deste trabalho era que todas as ondas, independente de sua energia, atuam na erosão marginal, sendo tal denominada de energia equivalente. Tal, foi parcialmente comprovada, com relação ao período de monitoramento 2, porém, como pôde ser observado, a introdução nas análises apenas dos ventos que efetivamente atingem as margens bem como a orientação das dessas, através do conceito de energia equivalente ativa, mostraram melhores correlações.

A importância da orientação das margens é confirmada por vários autores (BUCKLER; WINTER, 1983; DE ÁVILLA et al., 1984; FERNANDEZ, 1995).

Vários estudos foram realizados com o intuito de compreender os processos erosivos e as taxas de recuo em margens de lagos.

Quigley e Gélinas (1976), encontraram que a relação entre as taxas de recuo e a energia das ondas no ponto de quebra, referente a um período de 150 anos, é aproximadamente linear no Lago Erie (EUA/Canadá), embora tenham ocorrido desvios desta relação em certos locais. Sandberg (1986) determinou a energia das ondas em função do *fetch* efetivo, para várias intensidades dos ventos no Lago Sakakawea (EUA). Porém, não encontrou nenhuma relação estatisticamente válida entre a energia e os recuo. Segundo Reid, Sandberg e Millsop (1988) tal deve-se a diferença entre a energia calculada para onda em águas profundas e a energia real da onda.

Reid, Sandberg e Millsop (1988) e Fernandez (1995) realizaram análises de regressão múltipla entre os recuos e as variáveis consideradas intervenientes por eles. Os modelos de regressão múltipla obtidos por Reid, Sandberg e Millsop (1988) explicaram 56 e 54% da erosão marginal, enquanto o de Fernandez (1995) explicou 48,89%.

Reid, Sandberg e Millsop (1988) selecionaram como variáveis independentes para as modelagens realizadas, o seno do ângulo entre a orientação da margem e o vento

predominante, a altura da margem, o *fetch* efetivo, o ângulo de inclinação "*offshore*", a largura da praia, o azimute da margem, a orientação da margem em relação ao sol e também a energia das ondas em águas profundas. Estes autores propuseram equações considerando duas estações distintas, uma estação quente e uma estação fria. As variáveis utilizadas como independentes no modelo foram distintas nos períodos considerados.

Fernandez (1995) considerou como variáveis independentes a porcentagem de silte/argila, a altura média das margens, o seno do ângulo entre a orientação da margem e a direção do vento predominante, o *fetch* efetivo, a declividade e a largura da plataforma de abrasão.

A diferença entre as correlações realizadas nesta pesquisa, e as citadas, residem na seleção das variáveis independentes. As melhores correlações obtidas aqui são provavelmente em função da consideração da frequência do vento, sendo consideradas que todas as ondas, independente da magnitude, atuam no processo erosivo, enquanto os autores consideraram apenas a direção predominante do vento.

Soares (2015) ao correlacionar o volume erodido nas margens do reservatório da UHE Capivari-Cachoeira (PR) com a energia das ondas, também considerou a frequência e a intensidade dos ventos em todas as direções. A autora obteve um coeficiente de determinação de 66,75%, ou seja, a energia considerada pela autora explicou quase 67% do processo erosivo das margens nos locais analisados. Os resultados obtidos pela autora referem-se ao levantamento topográfico realizados em dezenove seções transversais representativas da área de depleção do reservatório da UHE Capivari-Cachoeira (PR).

No trecho inferior do reservatório da UHE Rosana (SP/PR), verificou-se que o recuo da margem é dependente da intensidade, da direção e da frequência do vento, do *fetch* e da orientação da margem.

O modelo matemático obtido, considerando o período de monitoramento total, foi aplicado para cada ponto de controle, ou seja:

$$R = 0,31088E_a - 0,014844E_a^2 \quad (19)$$

Sendo R o recuo anual médio (m) e E_a a energia equivalente ativa (J/m^2).

Na Tabela 19 é comparado o recuo médio anual da margem medido durante o período de monitoramento total para cada ponto de controle e o valor calculado pela equação 19, a qual fornece o recuo anual médio das margens.

As comparações mostraram que o modelo não se ajusta satisfatoriamente apenas no ponto de controle 2.

O ponto de controle 2 possui algumas características diferenciadas com relação aos demais pontos. Primeiro, consiste de um depósito aluvial. De acordo com Sandberg (1986) e Swenson (2006), a presença de pedregulhos depositados na praia provocam mais dissipação da energia das ondas, refletindo em taxas mais baixas do recuo das margens. Também, foi o ponto que apresentou a maior declividade média do leito (11,8%) próximo as margens, influenciando também na dissipação da energia das ondas.

Tabela 19 - Aplicação do modelo de regressão linear simples (Equação 19) nos pontos de controle do recuo marginal no reservatório da UHE Rosana (SP/PR)

Ponto de controle	Recuo médio anual da margem medido em campo (m)	Recuo estimado pela equação (m)	Diferença (m)	Desvio(%)
1	0,795	0,829	-0,034	-4,33
2	0,204	0,488	-0,284	-139,78
3	1,406	1,336	+0,07	4,97
4	0,853	0,710	+0,143	16,69
5	1,584	1,601	-0,017	-1,06

O modelo proposto forneceu estimativas condizentes com os valores levantados por Rubio (2014). Para a mesma área de estudo dessa pesquisa, o autor apresentou três locais onde determinou os recuos das margens. Estes locais foram denominados pelo autor de Barranco do Nova Pontal, Barranco Beira Rio e Barranco do Machado, e estão localizados nas margens do estado de São Paulo. Os recuos foram determinados por métodos diferentes do utilizado na presente pesquisa, abrangendo o uso de imagens de satélite de alta resolução, levantamentos topográficos e levantamentos por meio do sistema Scanner Laser 3D, mesclando tais técnicas em um mesmo local.

O modelo foi comparado com os valores obtidos pelo autor no Barranco Beira Rio e no do Machado. Não foi realizada comparação com o Barranco do Nova Pontal, pois a medida do recuo do mesmo abrangeu o período entre os anos de 2003 e 2010, ou seja, abrangeu um período anterior ao início de funcionamento da estação meteorológica de Diamante do Norte (PR), portanto, não havia dados de vento desse período.

Para o período considerado entre os levantamentos realizados pelo autor, foram processados os dados de ventos referentes e estimados os recuos pelo modelo matemático

proposto. Para o Barranco Beira Rio a estimativa do recuo foi de 12cm/mês, enquanto o autor apresentou o valor de 7cm/mês. Para o Barranco do Machado, foi estimado 6cm/mês e o levantado pelo autor foi de 4cm/mês.

Com relação as diferenças entre os resultados gerados, é importante informar que Rubio (2014) levantou a hipótese de que o uso das imagens de satélite pode ter gerado redução nas taxas de recuos determinada por ele.

Para estes dois locais, o autor apresentou medidas referentes a dois períodos diferenciados e utilizando técnicas diferenciadas também. Os valores comparados referem-se as medidas realizadas com o uso de imagens de satélite e levantamentos topográficos. As estimativas do recuo quando comparadas com o levantamento feito com o Scanner, no outro período citado, mostraram-se extremamente divergentes, apresentando desvios superiores a 200%.

Segundo Rubio (2014), existem documentos produzidos para a regularização do Cadastro Técnico Fundiário do Incra, que comprovam que as taxas de recuo para o Barranco Beira Rio, atinge velocidade aproximada de 1m/ano, condizente com as taxas estimadas nesta pesquisa.

Ressalta-se também, que o monitoramento por meio do sistema Scanner Laser 3D, refere-se a uma nova tecnologia, tendo sido realizado no âmbito do Projeto de P&D nº PD-0387-0311/2010, do qual a pesquisa de Rubio (2014) fez parte.

Segundo De Moraes (2016), para a verificação da qualidade dos levantamentos realizadas com o Scanner, é necessária a adoção de referências fixas nas áreas de monitoramento. O pesquisador, também participou do projeto de P&D citado e apresentou medidas realizadas com o equipamento também para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), porém relata que não foram utilizadas essas referências durante os levantamentos realizados.

5.3 Mapa dos recuos estimados na área de estudo

O modelo de regressão obtido considerando o monitoramento total (novembro de 2016 a junho de 2018) permitiu estimar o recuo das margens ao longo da área delimitada para a pesquisa. Sendo assim, foi gerado o mapa de recuo conforme pode ser visualizado na Figura 119. No mapa, as estimativas referem-se ao recuo anual médio.

Para se ter uma ideia da magnitude da energia equivalente ativa atuante nas margens, as mesmas alcançaram um valor máximo de $12,46\text{J/m}^2$, tendo esse valor ocorrido na margem do lado do estado de São Paulo.

Para a elaboração do mapa de recuos foram excluídos os pontos com energias inferiores a $1,71\text{J/m}^2$ e superiores a $11,81\text{J/m}^2$ por consistirem de valores não abrangidos pela modelagem. Desse modo, como pode ser visualizado no mapa (Figura 119), extensos trechos aparecem sem recuos, mostrando concordância com o mapa com o cadastramento dos processos erosivos elaborado por Rubio (2014).

Observou-se que as margens do lado do estado do Paraná são menos suscetíveis aos recuos das margens, apresentando menor recuo do que as margens do estado de São Paulo. As maiores taxas de recuos ocorreram nestas últimas, e referem-se a trechos da área urbana de Euclides da Cunha Paulista (SP) e também a trechos no município de Rosana (SP), onde atingem valores máximos de 1,60m. Os recuos nestas margens tiveram grande variação, entre 0,50m a 1,60m. Os valores máximos de 1,60m, referem-se aos pontos atingidos por ondas mais energéticas.

Nas margens do estado do Paraná, os recuos atingiram valores máximos de 0,90m/ano, com poucas exceções.

Para validar as estimativas dos recuos realizadas, os mesmos foram confrontados com 26 pontos ao longo das margens do trecho inferior do reservatório da UHE Rosana (SP/PR), denominados pontos de aferição, os quais foram nomeados e podem ser visualizados na Figura 119. A localização geográfica de cada ponto é apresentada no Apêndice C.

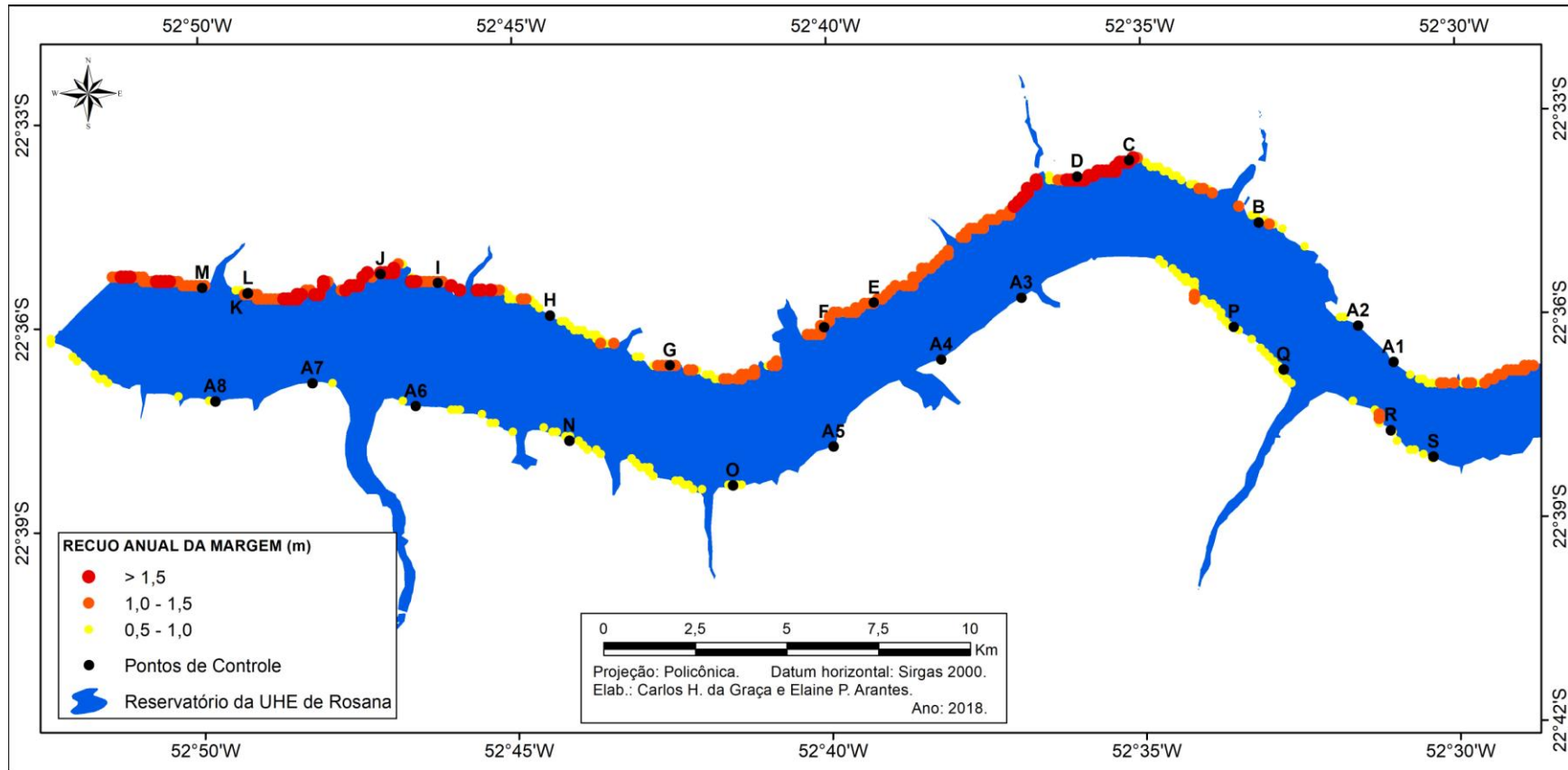
As letras "A" referem-se aos pontos excluídos nas estimativas, abrangendo extensos trechos não atingidos por processos erosivos, e foram nomeadas por uma numeração específica, a partir de montante do reservatório, para facilitar a visualização nos registros fotográficos. Estes trechos foram denotados pelas letras A1 a A8 na Figura 119.

Os demais pontos de aferição foram nomeados em ordem alfabética, iniciando pela letra "B" até a letra "R", a partir de montante do reservatório na margem do estado de São Paulo, conforme localização apresentada também na Figura 119.

Os registros fotográficos referentes a esses pontos podem ser visualizados na Figura 120.

Com relação aos pontos excluídos nas estimativas, A1 a A8, a observação dos registros fotográficos mostra a inexistência de recuos nestes locais.

Figura 119 - Recuos anuais estimados e localização dos pontos de aferição para a área delimitada de estudo no reservatório da UHE Rosana (SP/PR)



Tal indica que os pontos selecionados para o monitoramento foram adequados, conseguindo abranger as feições erosivas existentes na área de pesquisa. Além disso, verifica-se que as energias equivalentes ativas inferiores a magnitude de $1,71\text{J}/\text{m}^2$ não geram recuos das margens.

Os recuos estimados foram consistentes com as feições visualizadas nos levantamentos de campo, apresentando no trecho próximo a área urbana de Euclides da Cunha Paulista (SP) as maiores taxas, representado na Figura 120 pelos pontos de aferição C e D, juntamente com o trecho na área do município de Rosana (SP), representado pelo ponto M.

Com relação a margem do estado de São Paulo, foram estimados recuos em locais onde não há ocorrência do mesmo, sendo que se referem aos pontos de aferição B, E, G, H, I, J, K e L. Para estes pontos os recuos estimados variaram entre 0,50m e 1,46m. Os pontos C, D e F tiveram taxa de recuo anual estimada de 1,58m, 1,53m e 1,34m, respectivamente. Os pontos C e D, como dito anteriormente, fazem parte da área urbana de Euclides da Cunha Paulista (SP) e estão dentre os locais mais críticos visualizados nas margens do reservatório, tanto por apresentarem recuo de elevada magnitude, como por sua ocorrência em propriedades particulares.

Nas margem do estado do Paraná, assim como ocorreu nas margens do estado de São Paulo, nos pontos N e R foram estimados recuos em locais que não possuem processos erosivos. Já nos pontos O, P, Q e S, os recuos estimados variaram de 0,52m a 0,62m.

As estimativas foram adequadas para as margens que possuem feições similares as utilizadas na modelagem matemática, ou seja, em taludes com alturas dentro do considerado implicitamente na modelagem, entre 1 a 2,5m. Porém, conforme pôde ser observado em campo, superestima os recuos em taludes de menores alturas, e também considera recuos onde não existem.

Em margens cuja cota do nível d'água é próxima a cota do terreno do entorno, os recuos marginais não ocorrem, mesmo para energias equivalentes ativas de maiores magnitudes, devido a dissipação da energia das ondas.

A aplicabilidade do modelo proposto requer portanto de levantamento de campo, para o conhecimento da topografia do entorno, sendo assim, em função desta poderão ser eliminados os pontos discrepantes. A batimetria do reservatório, geralmente não disponível e cujo levantamento envolve altos investimentos, passa a ser desse modo irrelevante.

Figura 120 - Pontos de aferição visual utilizados para confrontação com as estimativas de recuo obtidas

(continua)

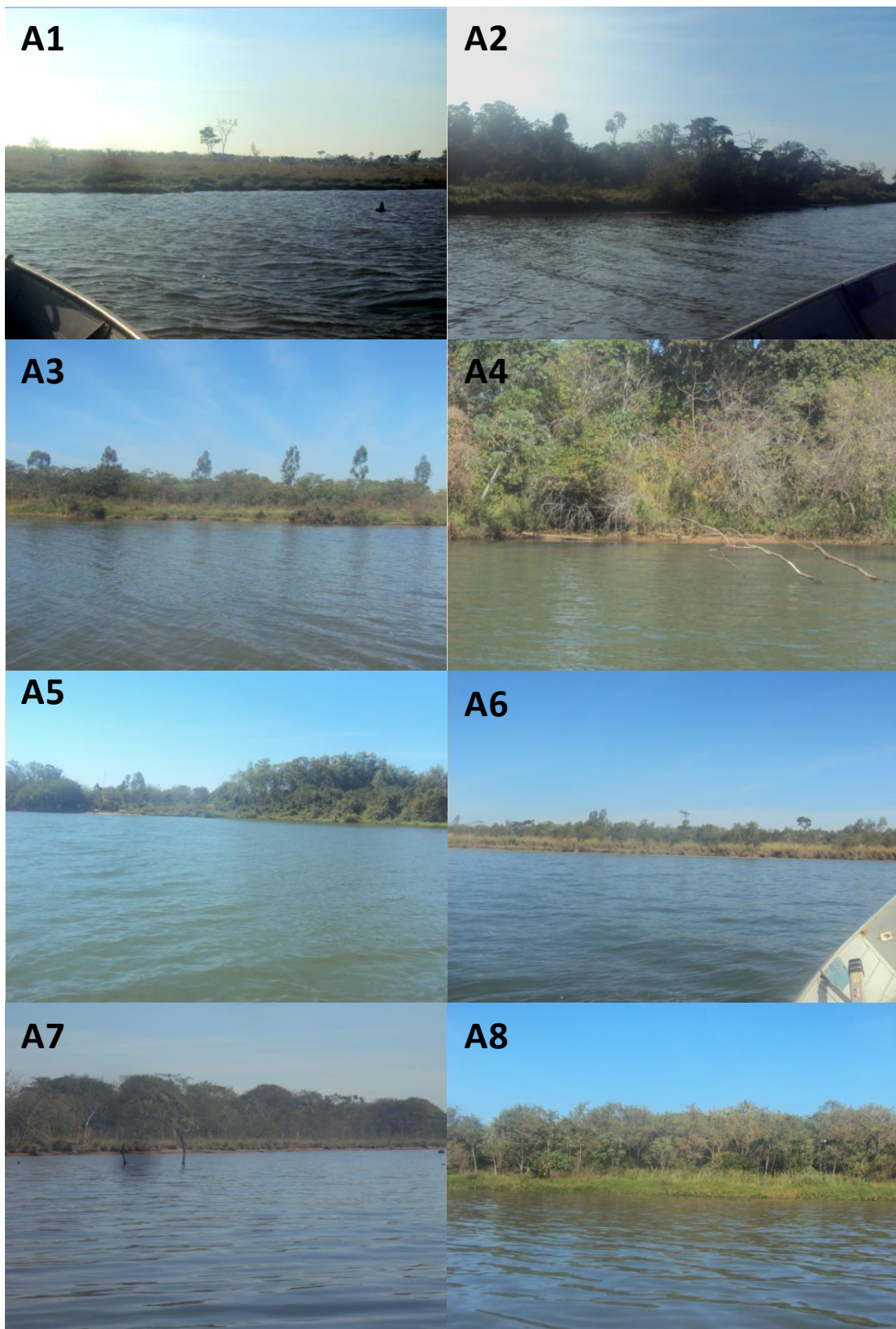


Figura 120 - Pontos de aferição visual utilizados para confrontação com as estimativas de recuo obtidas

(continuação)

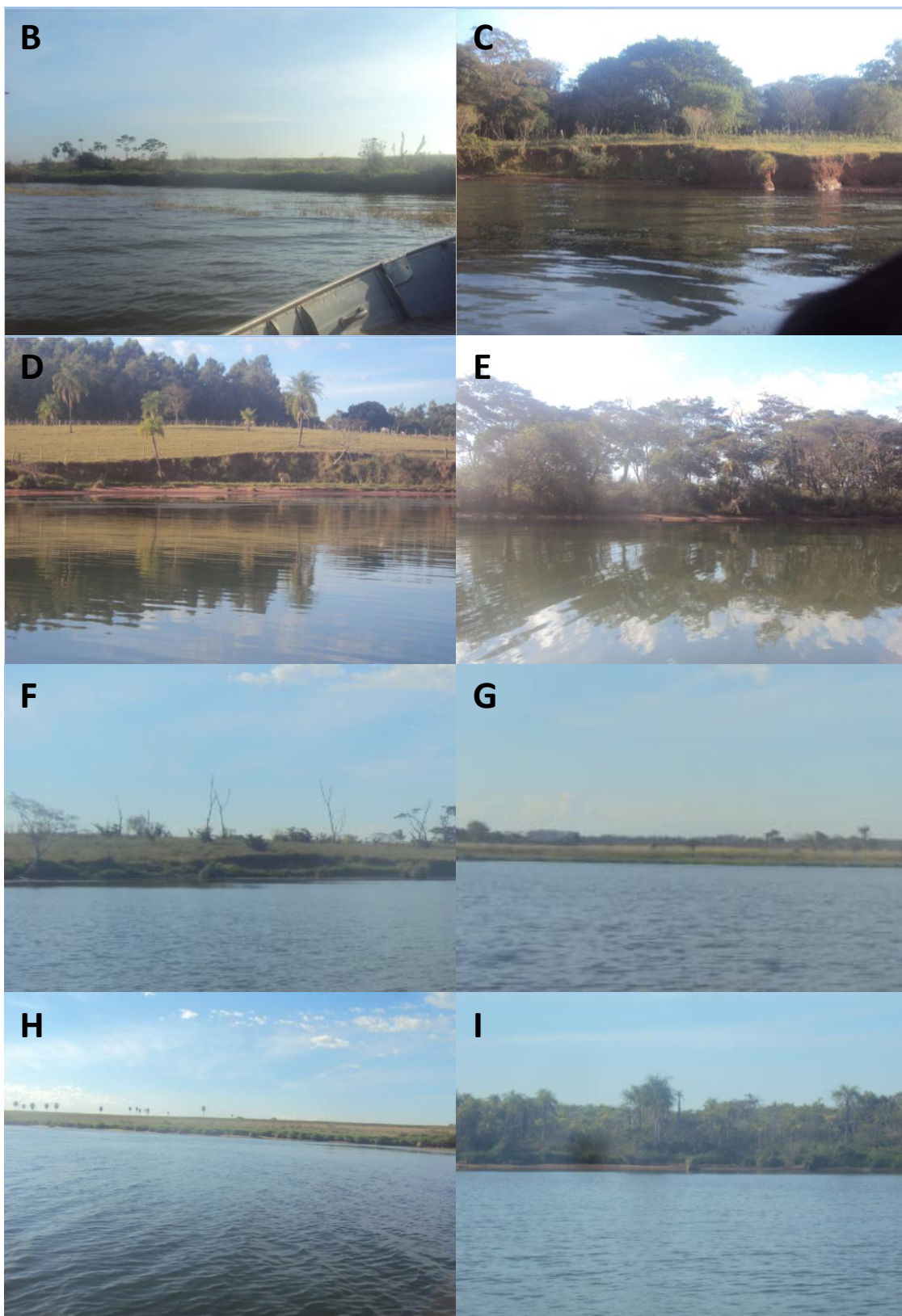


Figura 120 - Pontos de aferição visual utilizados para confrontação com as estimativas de recuo obtidas

(continuação)

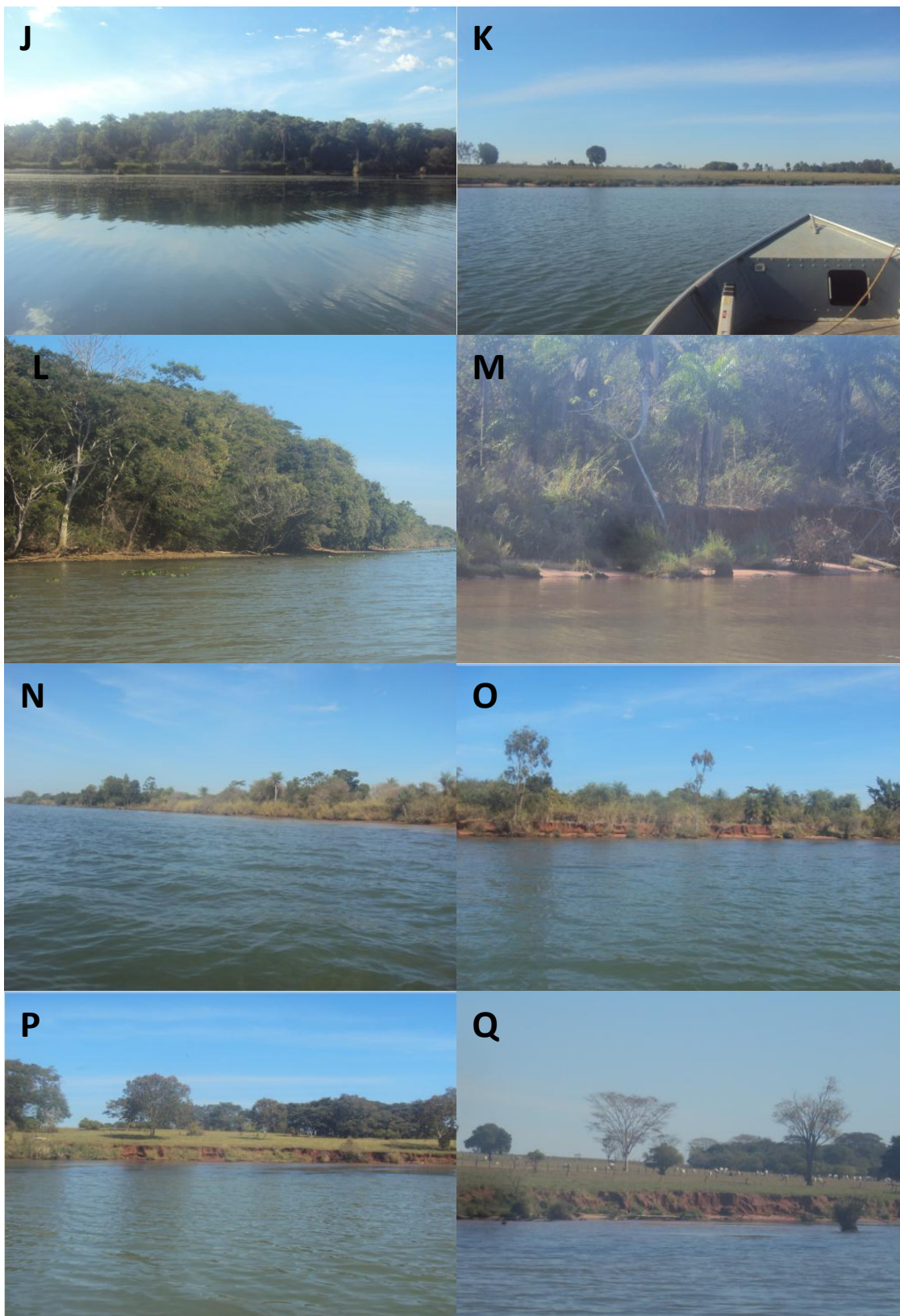
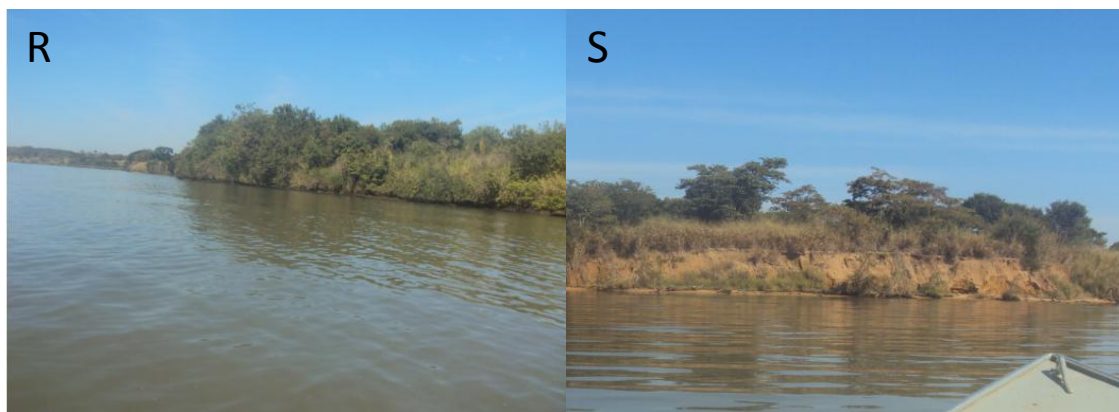


Figura 120 - Pontos de aferição visual utilizados para confrontação com as estimativas de recuo obtidas

(conclusão)



6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A erosão de margens ao longo de reservatórios é uma ocorrência “prevista” devido à sua formação, que pode afetar alguns corpos d’água mais que outros. Embora grande parte das margens possa erodir sem graves consequências, seu recuo é motivo de preocupação para as concessionárias e proprietários que terão suas terras afetadas pelo processo, sendo que as áreas mais críticas devem ser identificadas para que sejam tomadas medidas preventivas e ou corretivas para o controle da erosão.

Apesar dos tipos de processos erosivos possíveis neste ambiente ser geralmente conhecidos, a quantidade de erosão causada por um determinado processo, como o ocasionado pelas ondas geradas pelo vento, ainda necessita de estudos específicos no Brasil.

Nesta pesquisa, as ondas geradas pelo vento consistiram no principal fator responsável pelo recuo das margens, sendo a sua variabilidade espacial e temporal quantificada, de modo a alcançar o objetivo principal da presente pesquisa, o qual foi o desenvolvimento de um modelo de simulação matemática para o estudo da interação entre a ação de ondas geradas pela intensidade do vento e o *fetch* em reservatórios.

Para o desenvolvimento desse modelo matemático, foram avaliados alguns dos fatores intervenientes que poderiam contribuir para o recuo das margens, incluindo a energia da onda, a partir do *fetch* e da intensidade do vento, a frequência do vento, a orientação da margem, a declividade do leito próximo as margem, a altura dos talude, a variação da cota do nível d’água do reservatório, a precipitação e a textura dos solo, bem como medições dos recuos. O modelo matemático partiu de uma equação paramétrica obtida especificamente para o reservatório da UHE Rosana (SP/PR), através da técnica MPB, pela utilização do modelos computacionais SWAN e ONDACAD.

Por meio de um conceito originalmente proposto nesta pesquisa, o conceito de energia equivalente ativa, o qual depende das energias das ondas atuantes sobre a margem e da orientação da mesma, obteve-se uma correlação estatisticamente significativa e com um grau de explicação aceitável, para a estimativa do recuo das margens. Associado, a espacialização da energia equivalente ativa nas margens mostrou uma excelente concordância com os processos erosivos cadastrados, anteriormente, no trecho inferior do reservatório da UHE Rosana (SP/PR).

A metodologia adotada, ou seja, a utilização das intensidades médias e das frequências dos ventos por direção, de maneira a incluir todas as magnitudes de energia que atingem as

margens mostrou-se adequada, permitindo considerar a variabilidade da intensidade e direção do vento, e conseqüentemente das ondas, no recuo das margens. A consideração da orientação das margens permitiu que fosse incorporada à abordagem a efetividade da direção do vento, no processo erosivo.

Dentre os demais fatores analisados, a cota do nível d'água do reservatório devido a sua constância em termos de médias mensais, não constituiu variável adicional no modelo de regressão proposto, bem como não foi encontrada correlação entre os recuos medidos e a precipitação, provavelmente devido ao curto período de análise. A textura dos solos, predominantemente arenosa, também não constituiu variável adicional. Ainda, foi verificado que, a altura do talude é fator decisivo para o processo erosivo, ou seja, pôde ser observado que nos locais em que a cota do nível d'água do reservatório é próxima da cota do terreno marginal, os processos erosivos por onda não ocorrem em função da dissipação da energia da mesmas.

A adoção da hipótese de águas profundas admitida no uso da técnica MPB, permitiu a determinação da energia das ondas máxima possível disponível para erodir as margens. Sendo assim, a equação modelada prescinde da batimetria do reservatório, tornando possível utilizar uma equação paramétrica sem necessidade de levantamentos batimétricos, o qual consiste em um processo demorado e oneroso em função das dimensões dos reservatórios de geração de energia. Porém, a consideração de águas profundas, pode ser utilizada na estimativa do recuo das margens do reservatório, desde que tomada a precaução de que as correlações sejam obtidas considerando pontos de batimetria similar, ou seja, com declividades do leito submerso próximo as margens semelhantes entre os pontos de controle.

A equação modelada superestima o recuo das margens para terrenos marginais com cota próxima a cota do nível d'água do reservatório. Por esse motivo, a equação deve ser calibrada através de trabalho de campo, ficando sua validade condicionada à confrontação com a topografia do entorno das margens.

O principal agente deflagrador do processo erosivo na área teste é a energia das ondas que atingem as margens, sendo a magnitude do recuo dependente da energia equivalente ativa das ondas, e portanto, implicitamente, do *fetch*, da intensidade e da frequência do vento, da orientação da margem e da altura do talude.

A abordagem proposta com o uso do modelo de simulação matemática pode substituir a utilização de equipamentos de medição de alto custo de aquisição, como os ondógrafos e ecobatímetros, bem como prescinde do conhecimento da complexa dinâmica das ondas,

podendo ser utilizado por qualquer Ciência, como a Geografia. Proporciona também, o conhecimento das ondas abrangendo toda a margem do reservatório, enquanto que as medições de onda por equipamentos são pontuais.

Ademais, os conceitos de *fetch* equivalente e de *fetch* equivalente ativo, podem ser utilizados como indicadores dos locais mais críticos com relação à possível ocorrência de erosões por ondas em margens de reservatórios. Tais são úteis, pois eliminam a necessidade da obtenção de uma equação paramétrica específica para o reservatório.

Apesar do *fetch* equivalente ativo ter fornecido melhor correlação com o recuo das margens do que o *fetch* equivalente, este último é determinado facilmente através do modelo computacional ONDACAD. Apresentam-se, portanto, como técnicas com grande potencial para a avaliação da distribuição espacial dos processos erosivos em margens de reservatórios. Apesar de que na presente pesquisa as melhores correlações foram obtidas com a energia equivalente ativa.

As margens do reservatório na área de estudo delimitada não apresentam grande diversidade paisagística, sendo que a escolha dos pontos de controle mostrou-se adequada, baseada em diferentes magnitudes do *fetch* equivalente, tipos de solos, uso e ocupação característicos das margens, permitindo abranger a maioria das feições erosivas visualizadas no reservatório. Tal, foi comprovado pois os locais sujeitos aos *fetchs* e energias equivalentes ativas inferiores ao menor valor modelado tiveram grande concordância com os trechos sem processos erosivos.

A taxa de recuo variou espacialmente ao longo do trecho inferior do reservatório da UHE Rosana (SP/PR), sendo que as margens com os maiores recuos são as atingidas pelas ondas mais energéticas, ou seja, nos locais de maior energia equivalente ativa, atingindo uma magnitude máxima de 1,60m/ano. Ocorrem também extensos trechos de margens estáveis, devido a baixa energia das ondas e/ou aos terrenos marginais possuírem cota próxima a cota do nível d'água do reservatório, promovendo dissipação da energia das ondas.

O acompanhamento do processo erosivo na área teste, indicaram que atualmente os mesmos são muito lentos, ocorrendo em períodos específicos. Sendo assim, verificou-se que o período de monitoramento deve ser superior ao realizado nesta pesquisa, de modo a verificar a sazonalidade dos mesmos, e permitindo um melhor confronto com as variações climáticas que possam ocorrer, principalmente quanto as variáveis ventos e a precipitação.

O presente estudo permitiu ainda alcançar as seguintes conclusões:

- A pequena variação de cota do nível d'água do reservatório UHE Rosana (SP/PR) permitiu verificar que a atuação das ondas ocorre em uma faixa delimitada do talude;
- Com relação a precipitação, no período analisado não foi verificada a influência da mesma no avanço dos processos erosivos. Considerando a dimensão da área de estudo, resultados mais detalhados necessitariam de medidas pluviométricas próximas a cada ponto de controle, bem como medidas do recuo antes e após períodos de grande precipitação.
- O método de Saville (1954) adaptado para alta resolução (MARQUES, 2013), mostrou-se adequado para a determinação do mapa de *fetch* no reservatório, podendo ser gerado através do modelo computacional ONDACAD;
- A equação paramétrica determinada mostrou correlação satisfatória com as alturas de ondas geradas pelo modelo computacional SWAN, um modelo numérico de terceira geração, de uso disseminado pela comunidade científica;
- A hipótese de campo de vento uniforme, também adotada para a obtenção da equação paramétrica, foi considerada adequada para a área delimitada da pesquisa.

A utilização de modelos matemáticos na determinação dos locais mais críticos com relação aos processos erosivos marginais, permite a simulação de vários cenários, com baixo custo e de forma rápida, fornecendo ainda uma visão geral de todo o reservatório.

O modelo de regressão para previsão do recuo das margens foi desenvolvido para ser aplicado à estimativa das taxas de recuo especificamente para o trecho inferior do reservatório UHE Rosana (SP/PR). Em áreas com características distintas poderão ser necessários incluir outros fatores, principalmente com relação à resistência do solo e outros materiais inconsolidados. Porém, o *fetch* equivalente, o *fetch* equivalente ativo e a energia equivalente ativa são aplicáveis a qualquer reservatório em que se disponha de dados de vento.

Apesar das análises realizadas estarem condicionadas a limitações, como o número de pontos de controle e o período delimitado de monitoramento, sua função mais relevante reside em um parâmetro de análise inicial na proposta de delimitação das áreas a serem desapropriadas, bem como na definição das que requerem maior atenção com relação a medidas preventivas, a partir, exclusivamente de dados de vento, que poderão ser obtidos em estações meteorológicas no raio de abrangência do reservatório e com base na geometria de cada um.

Embora o modelo ter sido proposto com apenas cinco pontos de controle, os mesmos abrangeram os diferentes tipos de materiais inconsolidados presentes nas margens do reservatório da UHE Rosana (SP/PR), bem como apresentou uma concordância significativa

com os processos erosivos anteriormente cadastrados, podendo ser considerado um modelo promissor para a estimativa dos recuos marginais.

Sob este aspecto, acredita-se que a metodologia indicada atingiu os objetivos propostos, e poderá servir de subsídio para resolver ou mesmo, minimizar os problemas decorrentes dos processos erosivos marginais.

O grau de explicação fornecido pelo modelo de regressão linear, através do conceito originalmente proposto nesta pesquisa, faz desta tese uma referência em termos nacionais, até o momento, e possibilita que novos estudos sejam feitos em ambientes semelhantes.

Por meio dos resultados obtidos com a presente pesquisa, são sugeridas algumas recomendações para trabalhos futuros, como:

- Com relação aos campos de vento, as conclusões aqui obtidas podem ser melhor avaliadas em um reservatório que possua um maior número de estações meteorológicas no entorno, o qual não é tarefa fácil, pelo menos em termos de Brasil, devido ao fato de que as estações são esparsas para este fim. É sugerido assim, em trabalhos futuros, uma distribuição de anemógrafos em um reservatório teste para confirmação dos resultados aqui obtidos, inclusive com estações de medições sobre a água.

Ainda com relação aos ventos, a literatura comumente considera a direção do vento mais frequente na correlação entre os recuos e as alturas das ondas. Porém, foi demonstrado que todas as direções do vento que atingem as margens, influenciam na magnitude dos processos erosivos, sendo a velocidade média e a frequência do vento de cada direção do mesmo, um meio adequado para considerar a variação temporal da energia das ondas.

- No que se refere ao uso e ocupação do solo, sugere-se um maior empenho das concessionárias de energia e dos órgãos públicos responsáveis para a reconstituição de matas ciliares em margens de reservatório, principalmente por suas funções benéficas amplamente conhecidas. No que diz respeito a adequabilidade da vegetação na contenção da energia das ondas que atingem as margens, bem como na geração de resistência aos desmoronamentos, faz-se primordial que se ampliem os estudos para a determinação do tipo de vegetação que é mais adequada.

- Com base na energia equivalente ativa determinada, verificou-se que as seções de monitoramento devem ser alocadas de modo a abranger o maior comprimento possível dentro de uma mesma feição erosiva e orientação da margem, tal procedimento permite, por envolver maior área, uma avaliação mais representativa do comportamento da margem no ponto de controle;

- Sugere-se que os intervalos de monitoramento se baseiem não apenas de modo a abranger os períodos secos e chuvosos, mas também abrangendo os períodos de maiores e menores intensidades dos ventos, uma vez que os processos erosivos devido as ondas são dependentes desse último.

- Em trabalhos que correlacionem a influência das ondas com os processos erosivos, seja utilizada a energia da onda, uma vez que pequenas variações na altura da onda promovem variações significativas na sua energia, principalmente para as maiores alturas. Também, recomenda-se que seja definido um coeficiente de erodibilidade para materiais específicos da margem, determinado por calibração local, em função da energia equivalente ativa atuante e através de dados conhecidos de erosão. Desse modo, torna-se possível prever o comportamento da margem em outros reservatórios em materiais semelhantes.

- Para que os estudos realizados sobre o tema progridam, é recomendado que sejam realizadas medições de recuos em outros reservatórios, principalmente pelas concessionárias de energia, fornecendo assim dados para pesquisas futuras, e confrontação com o modelo proposto nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABSALONSEN, L.; CASSIANO, G. F.; SIEGLE, E. Estudo da refração de ondas no litoral norte de Santa Catarina através do modelo SWAN. In: CONGRESSO DA ABEQUA, 11., 2007, Belém. **Anais...** Belém: ABEQUA, 2007. Disponível em: http://www.abequa.org.br/trabalhos/2007_eduardo_luciano_quatcost.pdf. Acesso em: 26 jul. 2016. 1 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Barragens e reservatórios**. 2018. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/regulacao/saiba-quem-regula/reservatorios>. Acesso em: 15 dez. 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Nota Técnica nº 74/2016/SPR**. 2016a. 15 p. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=7d054e5a-8cc9-403c-9f1a-085fd933610c>. Acesso em: 15 dez. 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Paranapanema**. 2016b. Disponível em: <http://paranapanema.web1313.kinghost.net/admin/upload/documento/61.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **UGRH Paranapanema Diagnóstico: caracterização físico-biótica, dinâmica socioeconômica, uso do solo e eventos críticos**. Brasília, 2014. 130 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Nota Técnica nº 024/2013/SPR**. 2013. 18 p. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=7d054e5a-8cc9-403c-9f1a-085fd933610c>. Acesso em: 15 dez. 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Capacidade de geração do Brasil**. 2019a. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Capacidade de geração no Estado**. 2019b. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/CapacidadeEstado.cfm>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- ALBERTA ENVIRONMENT. **Dickson Erosion Study**. Canadá: KlohnCrippen Berger, 2006. 92 p.
- ALBUQUERQUE, R. M.; ANDRADE, A. O estado do Paraná no alvo das eletroestratégias. In: JORNADA DO TRABALHO, 15., 2014, Guarapuava. **Anais...** Guarapuava: UNICENTRO, 2014. 20 p.
- ALMEIDA FILHO, G. S. et al. Processos Erosivos Lineares no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Anais ...** Natal: SBSC, 2015. p. 1-4.

ARANTES, E. P.; SOUZA, M. L. Margens propícias à erosão por ação de ondas geradas pelo vento: estudo de caso da UHE Rosana. In: SIMPÓSIO PARANAENSE DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA, 8., 2016, Marechal Cândido Rondon. **Anais...** Marechal Cândido Rondon, 2016a. p. 645-646.

ARANTES, E. P.; SOUZA, M. L. Análise comparativa bidimensional entre métodos de determinação de *fetch* aplicada ao reservatório da UHE Mourão I - PR. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 11., 2016, Maringá. **Anais...** Maringá, 2016b. 9 p.

ARANTES, E. P. et al. Conceito da profundidade de mistura gerada pela ação de ondas aplicado à Lagoa dos Patos, RS, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília/DF. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2015. p. 1-8.

ARANTES, E. P. et al. Conceito da profundidade de mistura gerada pela ação de ondas aplicado à lagoa da Mangueira. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 10, n. 1, p. 268-271, out, 2014. Edição Especial 4. Disponível em: <http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/index.php/edicao-especial-4-sinageo>. Acesso em: 20 abr. 2015.

ASSIS, L.E.; BELUCO, A.; ALMEIDA, L.E.B. Avaliação e aproveitamento da energia de ondas oceânicas no litoral do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 21-29, jul/set, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6027**: Informação e documentação - Sumário- Apresentação. Rio de Janeiro. 2012a. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6024**: Informação e documentação - Numeração progressiva das seções de um documento - Apresentação. Rio de Janeiro. 2012b. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14724**: Informação e documentação - Trabalhos acadêmicos - Apresentação. Rio de Janeiro. 2011. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6028**: Informação e documentação - Resumo - Apresentação. Rio de Janeiro. 2003. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10520**: Informação e documentação - Citações em documentos - Apresentação. Rio de Janeiro. 2002a. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6023**: Informação e documentação - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro. 2002b. 24 p.

ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL (AGEVAP). Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Resumo. Análise dos impactos e das medidas mitigadoras que envolvem a construção e operação de usinas hidrelétricas. **Relatório Contratual R-6 PSR-R1 Relatório Final**. Rezende: Fundação COPPETEC Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2007. 148 p.

AZEVEDO, A. A.; DUARTE, H. Estudo de alternativas de proteção para o controle de erosão nas margens do reservatório da UHE Eng. Sérgio Motta (Porto Primavera). In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 7., 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2013. 11 p.

AZEVEDO, A. A. et al. Procedimentos metodológicos adotados para implantação do programa de monitoramento das encostas marginais do Reservatório de Porto Primavera – Rio Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10., 2002, Ouro Preto. **Anais...**Ouro Preto, 2002. 13 p.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2012. 288 p.

BATTJES, J. A.; STIVE, M. J. F. Calibration and verification of a dissipation model for random breaking waves. **Journal Geophysical Research**, Hoboken, v. 90, n. C5, p. 9159-9167, 1985.

BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no Oeste Paulista**: Uma análise climatológica aplicada. 2000. 281 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

BOOIJ, N.; RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L. H. A third-generation wave model for coastal regions, Part I: Model description and validation, **Journal Geophysical Research**, Hoboken, v. 104, n. C4, p. 7649-7666, 1999.

BORGES, C. Z. **Erosão marginal no rio Paraná após a conclusão do Reservatório da UHE Sérgio Motta (porto primavera) a Jusante da barragem**. 2004. 50 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações determinadas pelas Emendas Constitucionais de Revisão nº 1 a 6/94, pelas Emendas Constitucionais nº 1/92 a 91/2016 e pelo Decreto Legislativo nº 186/2008. Brasília, DF: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2016. 496 p. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf. Acesso em: 13 dez. 2018.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Mapeamento dos Espelhos D'água do Brasil**. Fortaleza, 2008. 108 p.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 maio 2002. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/legislacao/resolucoes/resolucao-conama-no-302-de-13-de-maio-de-2002/view>. Acesso em: 06 jul. 2018.

BRASIL. Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 set 1981. Disponível em:

<http://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/2151/Modelagem%20num%C3%A9rica%20do%20comportamento%20das%20ondas%20na%20costa%20do%20Rio%20Grande%20do%20Sul.pdf?sequence=1>. Acesso em: 26 jul. 2016.

D'ARMADA, J. C. R. **Como as ondas geradas pelo vento e as características da vegetação ciliar influenciam erosões em margens de reservatórios**: UHE Porto Colômbia, um estudo de caso. 2012. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Estadual de Itajubá, Itajubá, 2012.

D'ARMADA, J. C. R.; LELIS, T. A. Relação entre as ondas de vento e as erosões em margens de reservatórios. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, 25., 2012, San José-Costa Rica. **Anais...** San José-Costa Rica, 2012. 10 p.

DE ÁVILA, I.G. et al. 1984. Obras de contenção para os escorregamentos nas encostas marginais do reservatório Paraibuna-Paraitinga, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4., Belo Horizonte, 1984. **Anais...**São Paulo: ABGE, 1984. v. 2. p. 223-240.

DE JORGE, F. N. **Mecanismos dos escorregamentos em encostas marginais de reservatórios**. 1984. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1984.

DE LIMA, E. R. V. Erosão do solo: fatores condicionantes e modelagem Matemática. **Revista Cadernos do Logepa**, Ano 1, n.1, p.1-46, 2003. Série Pesquisa.

DE MORAES, M. V. A. **Monitoramento e avaliação de processos erosivos marginais em reservatórios de Usinas Hidrelétricas por meio de varredura a laser**. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente, 2016.

DE SOUZA, C. A.; CUNHA, S. B. Pantanal De Cáceres - MT: Dinâmica das margens do Rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a estação ecológica da ilha de Taiamã - MT. **Revista eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Três Lagoas, v. 1. n. 5, p. 18-42, 2007.

DUKE ENERGY. **ABC da Energia**. A história da Duke Energy no rio Paranapanema. São Paulo, 2013. 39 p.

DUKE ENERGY. **Plano de Uso e Ocupação do Reservatório da UHE Rosana**. São Paulo, 2004. 104 p.

ELCI, S.; WORK, P. A. Prediction of reservoir shoreline erosion. In: **Proceedings...** Water Resources Conference. Georgia: Institute of Ecology, 2003. 4 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed.rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p.

- FEITOSA, M. F. **Análise comparativa da dieta, seletividade alimentar e estrutura da ictiofauna, juvenis e espécies de pequeno porte, em lagoas marginais do reservatório de Rosana (Rio Paranapanema SP/PR)**. 2011. Não paginado. Tese (Doutorado em Zoologia) – Instituto de Biociências de Botucatu - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.
- FELISBERTO, S. A.; RODRIGUES, L. Desmídias epifíticas do reservatório de Rosana, bacia do rio Paranapanema, Paraná/São Paulo, Brasil: *Euastrume Micrasterias* (Desmidiaceae). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 206-213, abr./jun, 2011.
- FENDRICH, R. **Ondas em Reservatórios**. 1993. 102 f. Dissertação (Professor Titular) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 1993.
- FERNANDEZ, O. V. Q. **Erosão marginal no lago da UHE Itaipu**. 1995. 113 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 1995.
- FERNANDEZ, O. V. Q. ; FULFARO, V. J. Magnitudes e processos da erosão marginal no rio Paraná, trecho de Porto Rico, PR. **Geografia**, Rio Claro, n. 18, p. 97-114, 1993.
- FERREIRA, I. O.; RODRIGUES, D. D.; DOS SANTOS, A. P. Levantamento batimétrico automatizado aplicado à gestão de recursos hídricos. Estudo de caso: Represamento do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 4., 2012, Recife. **Anais...Recife**, 2012. p. 1-8.
- GARRISON, T. **Fundamentos de Oceanografia**. São Paulo: CENGAGE Learning, 2010, 426 p.
- GATTO, L. W. **Techniques for measuring reservoir bank erosion**. Hanover: Regions Research and Engineering Laboratory, U.S.Army Corps of Engineers, 1988. Special Report 88-3. 27 p.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (Org.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. 120 p.
- GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA. **Glossary**. 2007. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/grupoondas.html>. Acesso em: 27 ago. 2018.
- GOUVEIA, I. C. M. C.; GOUVEIA, J. M. C.; PIMENTA, J. P. O. Fragilidade ambiental aos processos erosivos lineares no Pontal do Paranapanema. In: ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, 16., 2017, La Paz. **Anais... La Paz**, 2017. 16 p.
- HERNÁNDEZ, J. E. I. **Avaliação da fragilidade à erosão nas margens do Reservatório de Ilha Solteira – SP utilizando as geotecnologias como ferramentas de análise ambiental**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2014.
- HERNÁNDEZ, J. E. I. et al. Uso de Geotecnologias e Determinação de Subsídios para Qualificar o Processo Erosivo das Margens do Reservatório de Ilha Solteira – SP. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DOS SOLOS – COBRANSEG, 17., 2014, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABMS, 2014. 8 p.

HIROSE, A.T. **Potencial de contribuição de espécies nativas de hábitos distintos para o controle de erosão e restauração de margens de corpos hídricos**. 2013. 273 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2013.

HOLMSTEAD, G.L. **Shoreline Erosion in Hells Canyon**. Technical Report. Boise: Idaho Power Company, 2003. 108 p.

HOLTHUIJSEN, L. H. **SWAN**: User manual. Delft: Department of Civil Engineering. Delft University of Technology, 2007. 124p.

HUDSON, H. R. The field technique to directly measure river bank erosion. **Canadian Journal Earth Science**, Ottawa, v. 9, no. 2, p. 381-383, 1982.

HUGHES, D.J. Rates of erosion on meander arcs. In: GREGORY, K. J. **River channel changes**. Chichester: John Wiley & Sons, 1977. p. 193-205.

INNOCENTINI, V.; OLIVEIRA, F. A.; PRADO, S. C. S. C. Modelo de ondas aplicado ao caso 5-8 de maio de 2001. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 18, n. 1, p. 97-104, 2003.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC). **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo – Legenda Expandida**. Campinas, SP: IAC/ EMBRAPA - Solos, 1999. 64 p. Escala 1:500.000.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1981. Escala 1:600.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 316 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Centro de documentação e disseminação de informações. **Normas de apresentação tabular**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 62 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Glossário**. 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=glossario>. Acesso em: 10 dez 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Escala 1:1.000.000, 1981.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). **Number of dams by country members**. 2018. Disponível em:

https://www.icold-cigb.org/article/GB/world_register/general_synthesis/number-of-dams-by-country-members. Acesso em: 17 jun. 2018.

KAMPHUIS, J. W. **Introduction to Coastal Engineering and Management**. Singapore: World Scientific Press, 2000. 437 p.

KINSMAN, B. **Wind Waves: Their Generation and Propagation on the Ocean Surface**. New York: Dover Publications, Inc., 1984, 676 p.

KIPPER, D.; BIALETZKI, A; SANTIN, M. Composição taxonômica da assembleia de larvas de peixes no reservatório de Rosana, Rio Paranapanema, Brasil. **Biota Neotropica.**, v. 11, n. 1, p. 421-426, 2011.

LOPES, H. L.; RIBEIRO NETO, A.; CIRILO, J. A. Modelagem batimétrica no reservatório de Sobradinho: I – geração e avaliação de superfícies batimétricas utilizando interpoladores espaciais. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 65, p. 907-922, 2013.

MARQUES, M. et al. Análise bidimensional de métodos de determinação do *fetch* aplicado ao reservatório San Roque. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, 26., 2014, Santiago, Chile. **Anais...** Santiago, Chile, 2014a. 2 p.

MARQUES, M. et al. Análise entre métodos de determinação de *fetch* aplicados ao reservatório de Capivari-Cachoeira. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 10, n. 1, p. 136-140, out, 2014b. Edição Especial 4. Disponível em: <http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/index.php/edicao-especial-4-sinageo>. Acesso em: 20 abr. 2015.

MARQUES, M. et al. Aplicação de equação paramétrica específica para modelagem dos campos de ondas no reservatório de Jurumirim. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, 26., 2014, Santiago, Chile. **Anais...** Santiago, Chile, 2014c. 6 p.

MARQUES, M. **Modelagem paramétrica bidimensional para simulação de ondas em águas continentais**. 2013. 218 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MARQUES, M. **Sistema automatizado para estimativa de ondas geradas por ventos em reservatórios de barragens**. 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2005.

MATOS, F. A. et al. Análise comparativa da agitação obtida com o modelo numérico (SWAN) na modelagem de ondas do litoral setentrional do Rio Grande do Norte, Brasil e dados de campo. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, Lisboa, v. 13, n. 3, p. 283-299, 2013.

MATOS, A.J.S.; ESTIGONI, M.V.; MAUAD, F.F. Variação de volume calculado em grandes reservatórios utilizando diferentes metodologias de levantamentos batimétricos. In: CONGRESSO MUNDIAL DA ÁGUA, 14., 2011, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas, 2011. 13 p.

MEIRELLES, S.; VIOLANTE-CARVALHO, N. Modelagem computacional da propagação de ondas superficiais no oceano: um subsídio para a compreensão dos fenômenos ópticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n.4, p. 555-563, 2007.

MENEGUETTE, A. A. C. **Atlas interativo do Pontal do Paranapanema: uma contribuição à educação ambiental**. 2001. 176 f. Tese (Título de Livre-Docente em Cartografia) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2001.

MORAIS, V. S. **Previsão de ondas geradas por ventos em águas interiores e sua alteração devido à presença de vegetação aquática em margens de Lagos**. 2009. 250 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Térmicas) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MORETZ-SOHN, C. D.; CAVALCANTI, J. P. S.; BITTENCOURT, L. P. **Glossário de oceanografia abiótica**. Organizadora: Rozane Valente Marins. Fortaleza: UFC/LABOMAR/NAVE, 2010. 138 p.

MULLER, A. C. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. Sao Paulo: Makron Books, 1995. 412 p.

NEVES, G. P. **Efeitos do tempo de residência, morfometria e estado trófico sobre as assembléias de microcrustáceos (Cladocera e Copepoda) dos reservatórios de Chavantes e Salto Grande (rio Paranapanema SP/PR)**. 2008. 250 f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) – Instituto de Biociências de Botucatu - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

NEVES, C. F.; MACIEL, G. F.; ROSAURO, N. M. L. Amortecimento de ondas por vegetação: uma estratégia para proteção de margens lacustres. In: SEMINARIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA, 2., 2006, Rio Grande. **Anais...** Rio Grande, 2006. Disponível em: <http://www.semengo.furg.br/2006/03.pdf>. Acesso em: 20 ago 2015. 14 p.

NICOLODI, J. L.; TOLDO, E. E.; FARINA, L. Dinâmica e ressuspensão por ondas no Lago Guaíba (RS, Brasil) e implicações nos locais de captação de água para abastecimento humano. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 1, n. 37, p. 25-39, 2010.

NICOLODI, J. L. **O padrão de ondas no Lago Guaíba e sua influência nos processos de sedimentação**. 2007. 179 f. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

NUNES, J.O.R. et al. Caracterização Física dos Solos Degradados por Erosão Marginal nos Reservatórios Hidrelétricos de Rosana e Chavantes. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 11., 2016, Maringá. **Anais...** Maringá, 2016.

OLIVEIRA, C. C. **Análise comparativa de medições de vazão utilizando equipamentos doppler**. 2015. 78 f. Monografia (Trabalho Final de Graduação em Engenharia Hídrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). **Guía para el análisis y pronóstico de las olas**. n. 702, Ginebra, Suiza, 1998. 170 p.

- PIERINI, S. A. **Fatores determinantes da distribuição de plantas submersas e da estrutura das assembleias de macrófitas aquáticas no Reservatório de Rosana**. 2005. 86 f. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.
- PIUMBINI, P. P. **Clima de ondas de gravidade e estado de agitação marítima em ambientes marinhos no Espírito Santo Vitória**. 2009. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2009.
- QUIGLEY, R. M.; GÉLINAS, P. J. Soil Mechanics Aspects of Shoreline Erosion. **Geoscience Canada**, Toronto, v. 3, n. 3, p. 169-173, 1976.
- REID, J. R. Mechanisms of shoreline erosion along lakes and reservoirs. In: ALLEN, H.H.; TINGLE, J. L. (Eds.). **Proceedings, U.S. Army Corps of Engineers workshop on reservoir shoreline erosion: a national problem** (Final report). Miscellaneous Paper W-93-1. Vicksburg: U.S. Army Corps of Engineers, 1993. p. 18-32.
- REID, J. R., SANDBERG, B. S., MILLSOP, M.D. Bank recession processes, rates, and prediction, Lake Sakakawea, North Dakota, U.S.A. **Geomorphology**, Amsterdam, n.1, p.161-189, 1988.
- RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A.; LANI, J. L. Características do solo e da paisagem que influenciam a suscetibilidade à erosão. In: SIMPÓSIO DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1992, Campinas. **Anais...** Campinas, SP: Fundação Cargill, 1992. p. 32-67.
- RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L. H.; BOOIJ, N. A third-generation wave model for coastal regions. Part II: Verification. **Journal of Geophysical Research**, Hoboken, v. 104, n. C4, p. 7667-7681, 1999.
- RODERJAN, C.V. et al. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 75-42, 2002.
- ROSMAN, P. C. C. **Referência Técnica do SisBaHiA**. 2016. Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental - Fundação COPPETEC - COPPE/UFRJ. Disponível em: http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/SisBAHIA_RefTec_V9a.pdf. Acesso em: 26 de jul. 2016.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. v.8, São Paulo, p. 63-74, 1994.
- ROSS, J. L. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990. 85 p.
- RUBIO, M. F. **Gênese e dinâmica de erosões em margens de reservatórios. Pesquisa & Desenvolvimento no estudo de caso nas UHEs Chavantes e Rosana (rio Paranapanema, SP/PR)**. 2014. 255 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- SAINT-LAURENT, D. et al. Effects of simulated water level management on shore erosion rates. Case study: Baskatong Reservoir, Québec, Canada. **Canadian Journal of Civil Engineering**, Ottawa, v. 28, p. 482-495, 2001.

SALES, M. M. et al. (Org.). **Erosão em borda de reservatório**. Goiânia: Gráfica UFG, 2017. 584 p.

SANDBERG, B. S. **Shoreline recession**: past, present, and future, Lake Sakakawea, North Dakota. 1986. 185 f. Tese (Doutorado) - Georgia Institute of Technology, Georgia, 1986.

SANDER, C. **Geomorfologia da planície aluvial do alto Rio Branco em Roraima**: dinâmica e processos evolutivos. 2015. 229 f. Doutorado (Doutorado em Geografia na área de Análise Ambiental) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

SAVILLE, T. **The effect of fetch width on wave generation**. Washington, D. C.: U.S. Army Corps of Engineers, 1954. 9 p. Technical Memorandum no. 70.

SILVA, A.; SOUZA FILHO, E. E.; NEVES, S. M. A. S. Erosão marginal e sedimentação no rio Paraguai no município de Cáceres (MT). **Revista brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 41, n. 1, p. 76-84, 2011.

SIQUEIRA, A. G.; AZEVEDO, A. A. Erosão em margens de reservatórios. **Revista ABGE**, São Paulo, n. 89, p. 4, 2011.

SOARES, M. S. et al. Utilização de mapas de *Fetch* como método de delimitação de áreas propensas a erosão em reservatório: Estudo de Caso da UHE Capivari-Cachoeira - PR. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 10, n. 1, p.717-721, out. 2014. Edição Especial 4. Disponível em: <http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/index.php/edicao-especial-4-sinageo>. Acesso em: 20 abr. 2015.

SOARES, M. S. **Erosão em margens de reservatório e avaliação geoarqueológica**: estudo da área de depleção da UHE Capivari-Cachoeira, Pr-Brasil. 2015. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Terra)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SOLERA, M. L. **Avaliação de técnicas da bioengenharia de solos para proteção de taludes: estudo de caso para aplicação nas encostas do reservatório da barragem da UHE Eng Sergio Motta, Rio Paraná, SP/MS**. 2010. 70 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2010.

STARA, V. et al. Problems and methods of solution of reservoir bank erosion. In: SYMPOSIUM ON RESERVOIR MANAGEMENT IN TROPICAL AND SUB-TROPICAL REGIONS, 26., 2002, Iguassu, Brasil. **Anais...** Iguassu, Brasil, 2002. 11 p.

SVERDRUP, H. U; MUNK, W. H. **Wind, sea and swell**: theory of relations for forecasting. Washington, D. C.: United States Navy Department. Hydrographic Office, 1947. 44 p. Publication 601.

SWENSON, M. J. et al. Bluff Recession Rates and Wave Impact Along the Wisconsin Coast of Lake Superior. **Journal of Great Lakes Research**, Toronto, n. 32, p. 512-530, 2006.

TOLMAN, H. L. et al. Development and Implementation of Wind-Generated Ocean Surface Wave Models at NCEP. **Weather and Forecasting**, Boston, v. 17, p. 311-333, 2002.

TOLMAN, H. L. **User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18**. Washington, DC: NOAA, 1999. Technical Note 166. 110 p

TOLMAN, H. L.; CHALIKOV, D. Source Terms in a Third-Generation Wind Wave Model. **Journal of Physical Oceanography**, Boston, v. 26, p. 2497-2518, 1996.

TORRES, E. C.; SILVA JUNIOR, F. Pontal do Paranapanema: um olhar por meio de trabalho de campo. **Geografia**, Londrina, v.19, n.1, p. 5-19, 2010. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/>. Acesso em: 17 out. 2018.

TUNDISI, J. G; TUNDISI, T. M. **Recursos Hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 328 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR. Bureau of Reclamation. **Design of small dams: a water resources technical publication**. 3. ed . rev. Washington, DC, 1987. 860 p.

U. S. ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER. **Shore Protection Manual**. 3. ed. Washington, DC, 1984. v. 1. 337 p.

VARNES, D. J. Slope movement types and processes. In: Schuster RL, Krizek RJ (eds) **Landslides: analysis and control**. Transportation Research Board, Washington, DC., 1978. p. 11–33.

VENTURI, L. A. B. (Org.). **Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 239 p.

VIEIRA, A. S. **Análises, Aplicações e Validações – Numérico/Experimentais do Modelo SWAN em Áreas Restritas e ao Largo**. 2013. 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2013.

WAMDI GROUP. The WAM model – a third generation ocean wave prediction model. **Journal of Physical Oceanography**, Boston, v. 18, n. 12, p. 1775–1810, 1988.

GLOSSÁRIO

Anemômetro: Instrumento que mede a velocidade e força do vento (INMET, 2018).

Arrebentação: Local onde ocorre a quebra das ondas (MORETZ-SOHN; CAVALCANTI; BITTENCOURT, 2010).

Clima de ondas: Obtido pela análise estatística de longo período (acima de 10 anos), de um conjunto de dados de onda, com período de abrangência suficientemente longo (PIUMBINI, 2009).

Difração: Deformação de uma onda quando esta passa por um obstáculo (MORETZ-SOHN; CAVALCANTI; BITTENCOURT, 2010).

Energia equivalente: Representa a taxa de energia constante que, fornecida continuamente ao longo de todo o tempo no ponto considerado, equivaleria à energia recebida pelo vento no período analisado (AUTORA).

Fetch: Superfície d'água na qual a intensidade e a direção do vento podem ser consideradas constantes (U. S. ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER, 1984).

Ondógrafo: aparelho que mede a altura de ondas, podendo ou não medir a direção (MORETZ-SOHN; CAVALCANTI; BITTENCOURT, 2010).

Ondulação: Nome dado para as ondas que já saíram da zona de geração e que estão simplesmente se propagando pelo oceano. Ao se afastarem do seu local de origem tornam-se muito uniformes, com grandes comprimentos e pequenas amplitudes. Usa-se também a palavra marulho em lugar de ondulação. Também conhecida por swell (MORETZ-SOHN; CAVALCANTI; BITTENCOURT, 2010).

Reflexão de ondas: Consiste na inversão da direção de propagação dos raios de onda ao incidirem numa superfície rígida (GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA, 2007).

Refração de ondas: Fenômeno de mudança da direção de propagação das ondas em águas

rasas, acomodando-se à topografia do fundo (MORETZ-SOHN; CAVALCANTI; BITTENCOURT, 2010).

Shoaling (empolamento): Aumento progressivo da altura da onda como resposta à diminuição da profundidade (MORETZ-SOHN; CAVALCANTI; BITTENCOURT, 2010).

Trem de ondas: Conjunto de ondas que se deslocam em conjunto, em que existe pequena variação das características das ondas individuais (GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA, 2007).

**APÊNDICE A - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DOS PONTOS DE CONTROLE 1, 3,
4 e 5**

PERFIL - Ponto de controle 1**DATA:** 26/11/2016**CLASSIFICAÇÃO - GLEISSOLO****DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- A **0-19cm:** bruno (7,5YR 4/4, seco); arenosa; fraca muito pequena granular; porosidade entre 0,1 a 0,5cm; macia e se desfaz em grãos simples;
- C1 **19-41cm:** bruno-avermelhado (5YR 5/4, seco);
- C2 **41-68cm:** bruno (7,5YR 4/4, seco);
- Cg1 **68-88cm:** bruno (7,5YR 5/4, seco);
- Cgf **88-103cm+:** bruno-forte (7,5YR 5/6, seco).

Observações - Horizonte Cg1- saprolito; Horizonte Cgf - variegada

PERFIL - Ponto de controle 3**DATA:** 26/11/2016**CLASSIFICAÇÃO - NEOSSOLO Quartzarênico****DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- A **0-20cm:** bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/3, seco); arenosa; forte muito pequena; porosidade maior 0,5mm; fraca, não plástica e não pegajosa; muitas raízes menor 0,5 mm;
- AB **20-45cm:** bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, seco); argilo-arenosa; forte muito pequena; porosidade maior 0,5mm; fraca, não plástica e não pegajosa; raízes mais grossas que no horizonte A;
- C1 **45-200cm+:** vermelho-escuro (2,5YR 3/6, seco); argilo-arenosa; forte, muito pequena e do tipo grão simples; porosidade entre 1mm a 1cm; fraca, pouco plástica e pouco pegajosa; raiz fasciculada de 0,5 a 0,1mm.

Observações - Presença de carvão fino nos horizontes AB e C1.

PERFIL - Ponto de controle 4

DATA: 25/11/2016

CLASSIFICAÇÃO - LATOSSOLO VERMELHO textura média

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-35cm:** (superior, inferior); bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4; 2,5YR 3/4; 2,5YR 2,5/4); areno-argilosa; grãos soltos (seco) ou empilhamento simples dos grãos; comum, pequenos poros variando de 0,2 a 0,3mm; seco: pequenos blocos fracos-firmes, úmido: friável, não plástico e não pegajoso (molhado), quando saturado em água estável; comum a abundante, insetos e raízes finas, fasciculadas, outras de 0 a 5mm de diâmetro; gradual e plana em termos de textura;
- Bw₁ 35-60cm:** bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4); argilo-arenosa; blocos pequenos subangulares, fracos, se desfaz em grãos soltos a microagregados; abundante, empilhamento simples de grãos à fissural; seco: friável a pequenos blocos com pouca resistência, úmido: friável, molhado: não pegajoso a ligeiramente plástico, quando saturado instável; comum a abundante, raízes finas e fasciculadas até 15mm de diâmetro; plana e gradual; feições pedológicas: presença de fissuras verticais;
- Bw₂ 60-90cm+:** bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4); argilo-arenosa; úmido: friável a microagregado; comum, presença de poucas raízes finas 0-5mm, fasciculada; úmido: friável; molhado: não pegajoso, ligeiramente plástico, quando saturado instável; comum, raízes finas a fasciculadas, insetos; feições pedológicas: fissuras verticais com abatimento de blocos.

PERFIL - Ponto de controle 5

DATA: 25/11/2016

CLASSIFICAÇÃO - ARGISSOLO

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-24cm:** bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3), bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); arenosa; blocos pequenos subangulares fracos; se desfaz em grãos soltos; comum, empilhamento de grãos com algumas cavidades deixadas por insetos e raízes finas e fasciculadas; seco: friável, úmido: friável, não plástico e não pegajoso; molhado: friável, não plástico e não pegajoso; quando saturado em água friável; comum, fasciculada, presença de formigas e insetos; gradual em cor; sem feições pedológicas;
- E 24-60cm:** bruno-avermelhado (5YR 4/4), bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); arenosa; empilhamento simples de grãos soltos; comum; seco: friável se desfaz com leve pressão dos dedos, úmido: não plástico, não pegajoso, molhado: não plástico,

não pegajoso, quando saturado em água: levemente estável; comum, presença de raízes finas fasciculadas, nichos de insetos; gradual e plana em termos de cor;

Bt 60-100cm+: bruno-avermelhado(5YR 4/4), vermelho amarelado (5YR 4/6); arenosa-argilosa a argilo arenosa na base; blocos subangulares pequenos e fracos se desfaz em grãos soltos quando sob pressão dos dedos; comum, pedotubulos; cavidades por insetos até 1cm de diâmetro; seco: friável, blocos pequenos, fracos, se desfaz em grãos soltos sob pressão dos dedos; úmido: não pegajosa, ligeiramente plástica, molhado: não pegajosa, ligeiramente plástica, quando imerso pouco estável; comum, presença de raízes finas fasciculadas de até 4cm de diâmetro; na base do perfil não é possível definir a estrutura; feições pedológicas: saturação em água.

APÊNDICE B - CAMPOS DE VENTO

Figura 1 - Mapas da distribuição espacial da direção e velocidade do vento no Reservatório da UHE Rosana (SP/PR), pelo método do inverso ponderado da distância, referentes aos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2016

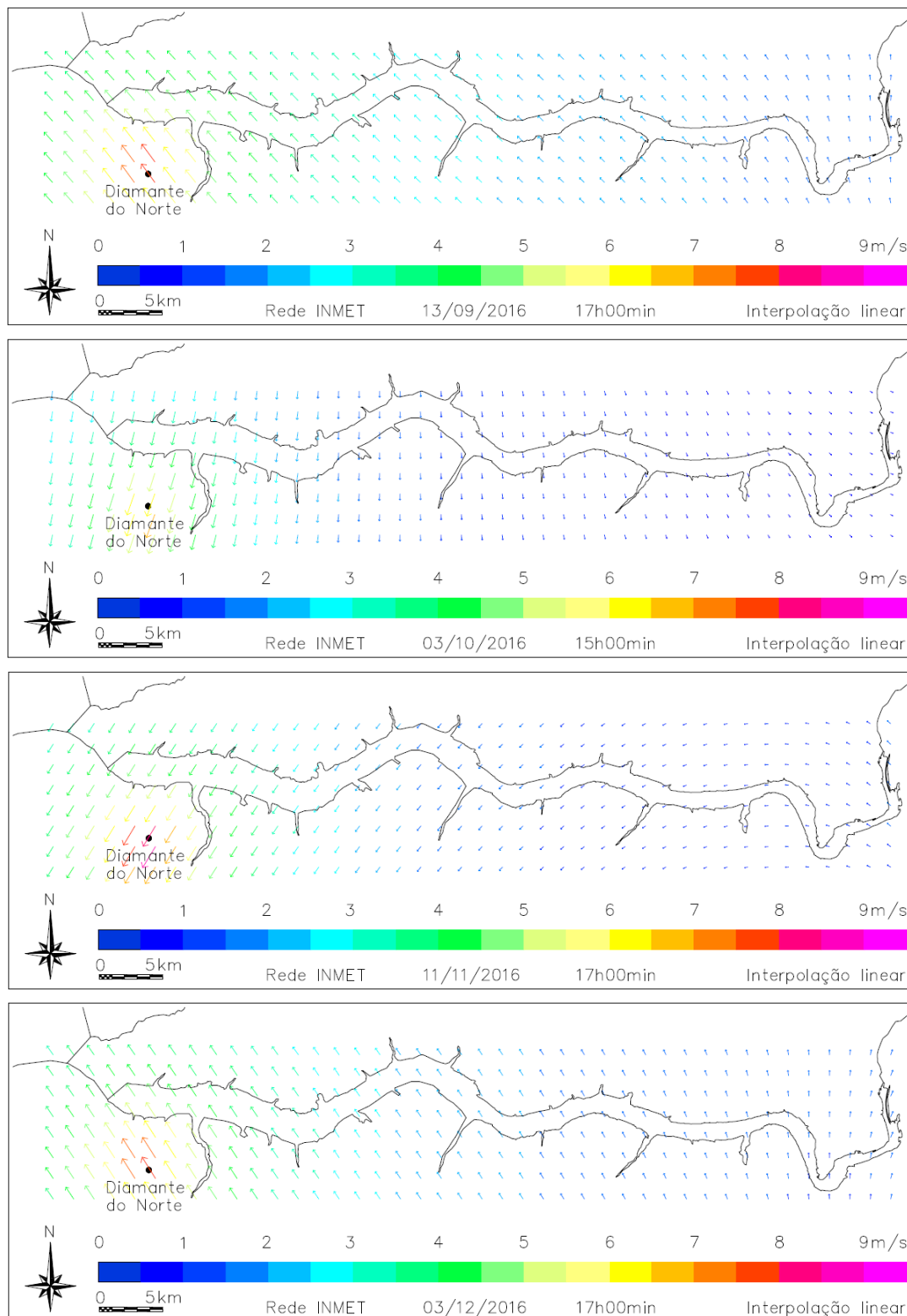


Figura 2 - Mapas da distribuição espacial da direção e velocidade do vento no Reservatório da UHE Rosana (SP/PR), pelo método do inverso ponderado da distância, referentes aos meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2017

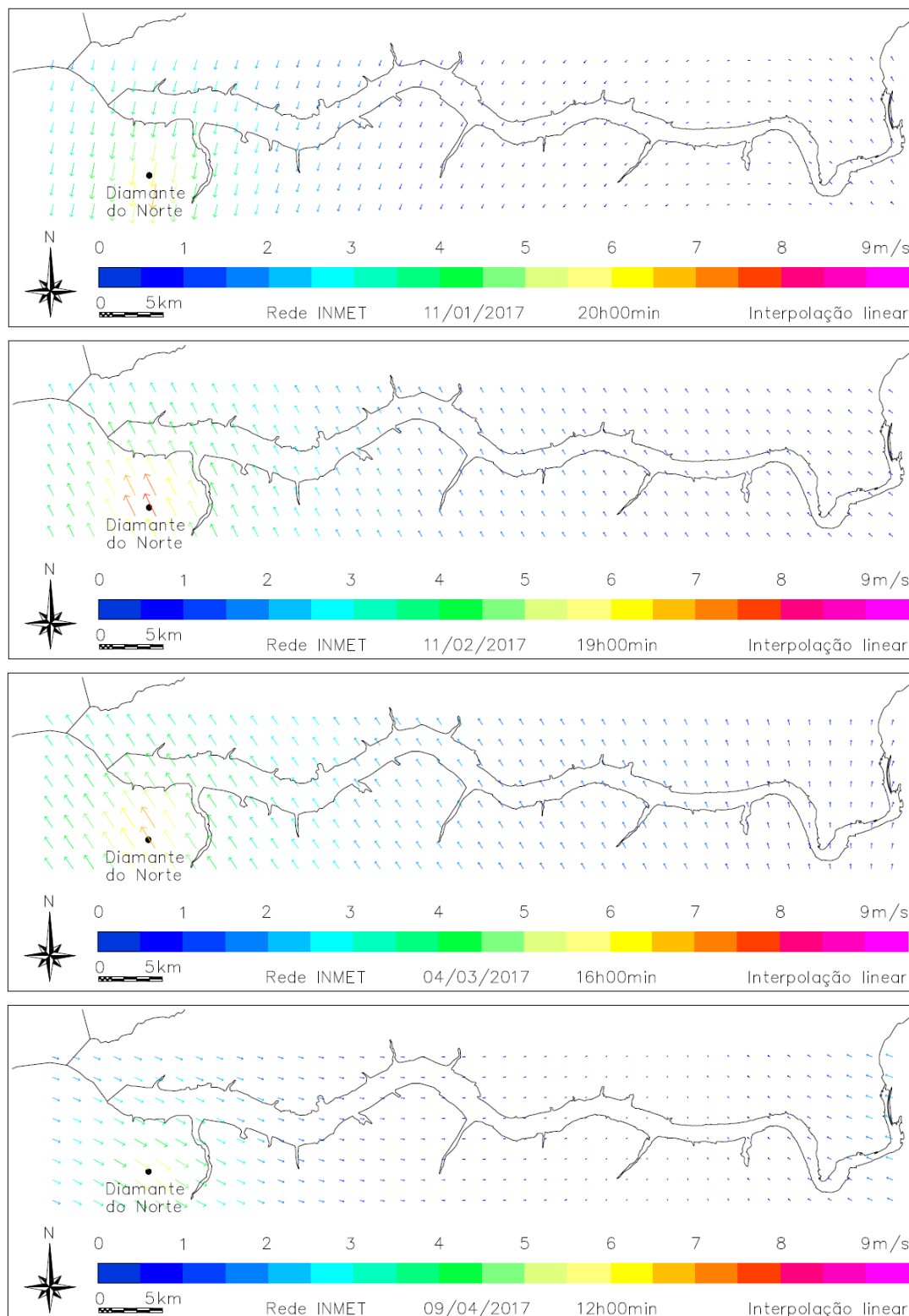
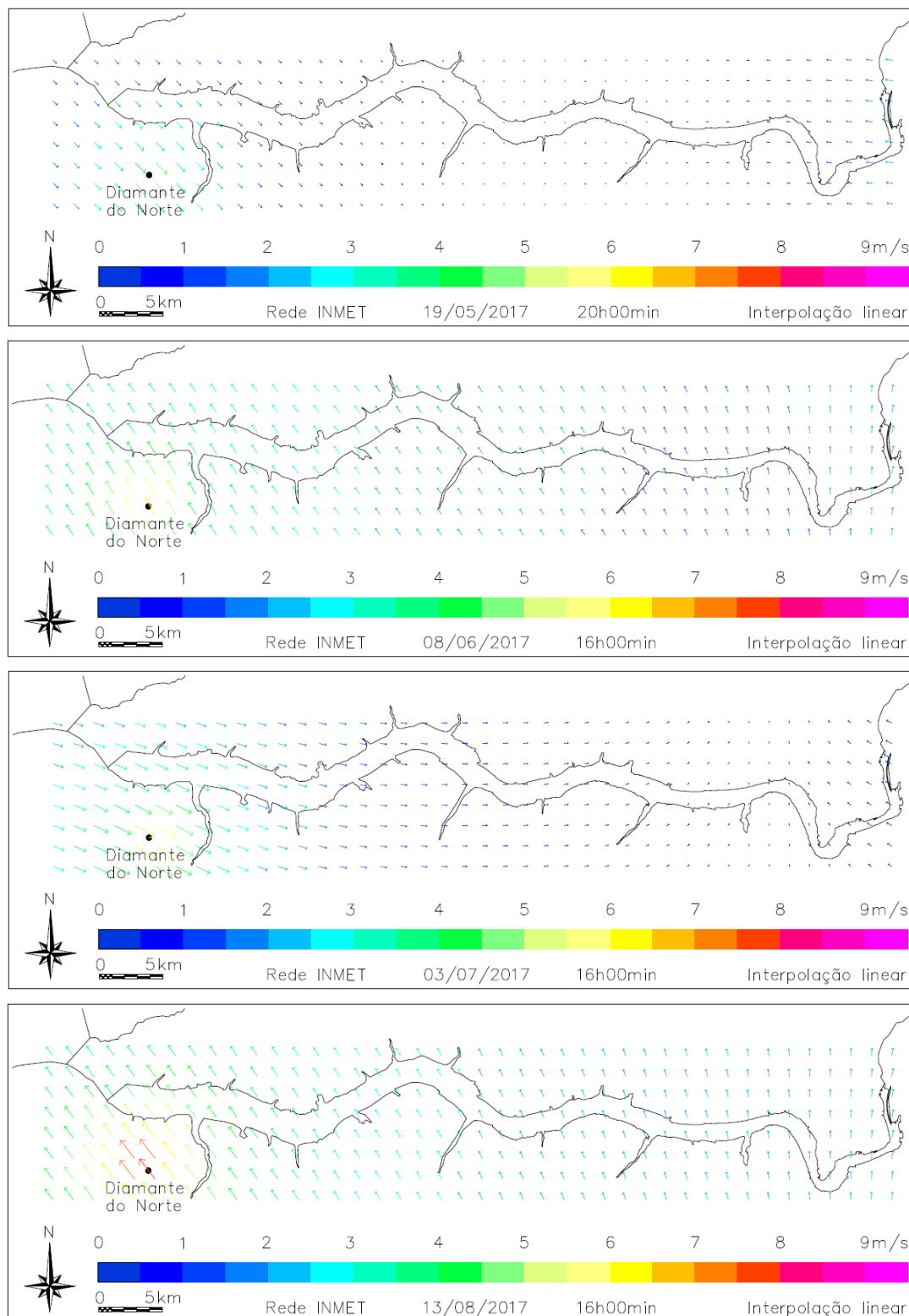


Figura 3 - Mapas da distribuição espacial da direção e velocidade do vento no Reservatório da UHE Rosana (SP/PR), pelo método do inverso ponderado da distância, referentes aos meses de maio, junho, julho e agosto de 2017



**APÊNDICE C - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DOS PONTOS DE AFERIÇÃO
VISUAL**

Tabela - Localização geográfica dos pontos de aferição visual

Pontos de controle	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
A	344.106	7.498.656
A	343.132	7.499.638
B	340.427	7.502.442
C	336.891	7.504.132
D	335.471	7.503.689
E	329.927	7.500.263
F	328.562	7.499.598
G	324.356	7.498.561
H	321.090	7.499.917
I	318.029	7.500.796
J	316.463	7.501.043
K	312.841	7.500.518
L	312.856	7.500.520
M	311.602	7.500.664
A	311.961	7.497.587
A	314.607	7.498.075
A	317.428	7.497.451
N	321.616	7.496.520
O	326.077	7.495.301
A	328.826	7.496.360
A	331.760	7.498.719
A	333.944	7.500.396
P	339.740	7.499.607
Q	341.098	7.498.451
R	344.029	7.496.802
S	345.190	7.496.083