

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

LORENA LUCAS PUERTA

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA ÁREA DO CANAL DO ALTO RIO PARANÁ NA
PORÇÃO JUSANTE À UHE PORTO PRIMAVERA**

Maringá

2011

LORENA LUCAS PUERTA

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA ÁREA DO CANAL DO ALTO RIO PARANÁ NA
PORÇÃO JUSANTE À UHE PORTO PRIMAVERA**

Dissertação de Mestrado, apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Geografia
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Edvard Elias de Souza
Filho.

Maringá
2011

**“ANÁLISE MULTITEMPORAL DA ÁREA DO CANAL DO ALTO RIO PARANÁ NA
PORÇÃO JUSANTE À UHE PORTO PRIMAVERA”.**

Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental.

Aprovada em **30 de maio de 2011.**

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho
Orientador - UEM
Universidade Estadual de Maringá



Prof. Dr. Messias Modesto dos Passos
Membro convidado
Universidade Estadual de Maringá



Prof. Dr. Cleide Rodrigues
(membro convidado)
Universidade Estadual de Marília

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois sem ele não existiria vida, uma força maior que não vemos, mas que nos traz a esperança de que tudo vai dar certo.

Ao Evaristo Puerta meu pai amado incondicionalmente por sempre estar ao meu lado me dando suporte.

A minha amada mãe Elizabeth Lucas sempre me apoiando e a quem dedico minha vida.

Aos meus avós, Gelsa Puerta (*in memoriam*) e Francisco Puerta, que são fonte da minha inspiração e pessoas que ao longo da minha vida sempre me apoiaram em tudo, aconselhando-me para que seguisse o melhor caminho. Amo vocês estarão sempre comigo, onde quer que eu vá.

A Cristina Pappa, minha segunda mãe, pelos ensinamentos de vida não só com palavras, mas com exemplo.

Ao Fernando Hara pelo companheirismo e paciência durante esse percurso da minha vida me acalmando e incentivando. Obrigada Amor.

Ao meu orientador Edvard Elias de Souza Filho, que vem me acompanhando a tempo nessa jornada de pesquisas. Obrigada pela orientação e dedicação.

Ao Dimitri Salum, pela amizade e parceria de estudos desde a graduação, seguindo sempre firme e forte.

A Edinéia Grizio pela amizade e apoio.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Metodológico) pelo financiamento da pesquisa.

E a todos aqueles que de forma direta ou indireta colaboraram para a realização deste trabalho.

*Daqui a alguns anos estará mais arrependido
pelas coisas que não fez do que pelas que fez.
Solte as amarras! Afaste-se do porto seguro!
Agarre o vento em suas velas!
Explore! Sonhe! Descubra! (Mark Twain)*

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA ÁREA DO CANAL DO ALTO RIO PARANÁ NA PORÇÃO JUSANTE À UHE PORTO PRIMAVERA

Resumo

A implantação da barragem de Porto Primavera (UHE Engenheiro Sergio Motta) influenciou a região de Porto Rico (PR), na planície do alto rio Paraná, no segmento entre a UHE Engenheiro Sérgio Motta e a Ilha Mutum. Das alterações introduzidas pela barragem, está incluído o aumento do controle de descargas, o suprimento de sedimentos de fundo foi cortado e o transporte de material em suspensão diminuiu consideravelmente. Estas, entre outras modificações levaram o segmento situado à jusante da barragem a iniciar um processo de ajuste fluvial (SOUZA FILHO *et al.*, 2004). O ajuste fluvial ainda está em desenvolvimento e afeta todas as variáveis da dinâmica fluvial. O intuito deste trabalho foi avaliar mudanças no canal fluvial nas últimas três décadas, dando prioridade à situação em anos de maiores cheias, já que esses eventos são considerados como importantes agentes de alteração da paisagem e podem realizar consideráveis mudanças em curto espaço de tempo tanto no canal como na própria planície fluvial. Os procedimentos foram abordados com conhecimento a respeito dos controles de erosão marginal, das formas de avaliação da sua intensidade, das características da ferramenta utilizada, o sensoriamento remoto através de imagens do satélite Landsat 5. Quando analisada a variação de área entre 1985-1995, verifica-se que nos primeiros 10 anos o canal esteve sobre processos deposicionais e no ano de 1995 iniciou-se uma sequência de fortes modificações no canal até 1999 onde ocorreu o domínio de erosão, em 2004, 2005 e 2007 o canal volta a sedimentar, estando sobre processos erosivos nos anos de 2006 e 2010. Para complementar as análises foram realizadas análises de regressão para a avaliação da margem de erro; de área do canal; de área do canal e a descarga fluvial; de área do canal e a permanência da descarga fluvial; e a área do canal e a descarga fluvial e a permanência antes e depois do fechamento da barragem e em seguida realizou a análise dos dados normalizados permitindo verificar a confiabilidade dos resultados obtidos e por último a superposição das imagens para identificação dos locais e taxas de erosão marginal. Conforme os resultados, a construção da barragem provocou alteração na dinâmica do canal seja nos anos imediatamente anteriores ao seu fechamento, seja após ele ocorrer.

Palavras-chave: análise multitemporal, canal fluvial, variação de área, UHE Porto Primavera, rio Paraná.

MULTITEMPORAL ANALYSIS OF CHANNEL AREA OF THE UPPER PORTION OF THE PARANA RIVER DOWNSTREAM TO PORT HPU SPRING

ABSTRACT

The deployment of the Porto Primavera dam (UHE Engenheiro Sérgio Motta) influenced the region of Porto Rico (PR), the plain of the upper Paraná river, in the segment between the UHE Engenheiro Sérgio Motta and Mutum Island. The amendments made by the dam, is included to control the increase in discharges, the supply of bottom sediments was cut and transport of suspended material decreases considerably. These and other changes led the segment located downstream of the dam to begin a process of adjustment river (Souza Filho et al., 2004). The river setting is still in development and affects all the variables of river dynamics. The purpose of this study was to evaluate changes in river channel in the last three decades, giving priority to the situation in years of major floods, because these events are considered as important agents of landscape change and can make significant changes in the short space of time both in channel and the very river plain. The procedures were dealt with knowledge about the marginal erosion controls, ways of assessing its intensity, the characteristics of the tool used, the remote sensing using Landsat 5 satellite images. When analyzing the change in area between 1985-1990, it appears that the first 10 years the canal was about depositional processes and in 1995 began a string of strong changes in the channel until 1999 where the area of erosion occurred in 2004, 2005 and 2007 the channel back to ground, being on erosion processes in the years 2006 and 2010. To complement the analysis was performed regression analysis to assess the margin of error, the canal area, area of the canal and river discharge, the canal area and the permanence of river discharge, and the area of the canal and river discharge and residence before and after closure of the dam and then performed the analysis of standardized data allowing to check the reliability of the results and finally the overlay of images to identify the locations and rates of erosion. As the results, the dam construction has caused changes in the dynamics of the channel is in the years prior to its closure, either after they occur.

Keywords: multitemporal analysis, river channel, area change, UHE Porto Primavera, Parana river.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo. Imagem colorida, obtida a partir das imagens CCD/ CBERS 2, 14/05/05 dos canais 3,4 e 5 com as cores azul, verde e vermelha, respectivamente. Fonte: Puerta, L. L. (2006)	17
Figura 2: Modelo estatístico relacionando a taxa erosiva, a velocidade de fluxo, e o teor de argila nas margens. (ROCHA et al., 1999)	25
Figura 3: Canal fluvial do rio Paraná em 1985 – cena 223/76 de 14-07-1985.	32
Figura 4: Canal fluvial do rio Paraná em 1990 – cena 223/76 de 25-05-1990.	33
Figura 5: Hidrograma de cotas fluviométricas máximas e médias anuais. Período: 1985 – 1990.	34
Figura 6: Canal fluvial do rio Paraná em 1991 – cena 223/76 de 13-06-1991.	35
Figura 7: Canal fluvial do Rio Paraná em 1995 – cena 223/76 de 23-05-1995.	36
Figura 8: Hidrograma de cotas fluviométricas máximas e médias anuais. Período: 1991 – 1995.	37
Figura 9: Canal fluvial do rio Paraná em 1997 – cena 223/76 de 16-08-1997.	38
Figura 10: Hidrograma de cotas fluviométricas máximas e médias anuais. Período: 1995 – 1997.	38
Figura 11: Canal fluvial do rio Paraná em 1998 – cena 223/76 de 03-08-1998.	40
Figura 12: Canal fluvial do rio Paraná em 1999 – cena 223/76 de 02-05-1999.	41
Figura 13: Hidrograma de cotas fluviométricas máximas e médias anuais. Período: 1995 – 1999.	41
Figura 14: Canal fluvial do rio Paraná em 2004 – cena 223/76 de 16-06-2004.	43
Figura 15: Hidrograma de cotas fluviométricas máximas e médias anuais. Período: 1999 – 2004.	43
Figura 16: Canal fluvial do rio Paraná em 2005 – cena 223/76 de 03-06-2005.	44
Figura 17: Canal fluvial do rio Paraná em 2006 – cena 223/76 de 22-06-2006.	45
Figura 18: Canal fluvial do rio Paraná em 2007 – cena 223/76 de 09-06-2007.	46
Figura 19: Canal fluvial do rio Paraná em 2010 – cena 223/76 de 08-11-2010.	47
Figura 20: Hidrograma de cotas fluviométricas máximas e médias anuais. Período: 2005 – 2010.	47

Figura 21: Resultado da análise de regressão linear entre os dados de nível fluviométrico e área do canal do rio Paraná.	49
Figura 22: Variação da área do canal do rio Paraná ao longo do período de tempo analisado.	50
Figura 23: Taxa de variação média anual da área do canal do rio Paraná.	51
Figura 24: Resultado da análise de regressão entre a taxa de variação de área e o tempo.	52
Figura 25: Resultado da análise de regressão entre o módulo da taxa de variação de área e o tempo.	52
Figura 26: Resultado da análise de regressão do módulo da taxa de variação da área do canal ao longo do período pré-barragem.	53
Figura 27: Resultado da análise de regressão do módulo da taxa de variação da área do canal ao longo do período pós-barragem.	53
Figura 28: Resultado da análise de regressão da taxa de variação da área do canal ao longo do período 1985 – 2010, sem os dados de 1997 – 1999.	55
Figura 29: Resultado da análise de regressão do módulo da taxa de variação da área do canal ao longo do período 1985 – 2010, sem os dados de 1997 – 1999.	55
Figura 30: Resultado da análise de regressão da descarga média (esquerda) e da descarga máxima (direita) ao longo do período entre 1985 e 2010. Dados da Estação Porto São José. (SOUZA FILHO, 2011).	57
Figura 31: Resultado da análise de regressão da descarga média anual (esquerda) e da descarga máxima anual (direita) no período anterior à barragem de Porto Primavera (SOUZA FILHO, 2011)	58
Figura 32: Resultado da análise de regressão da descarga média anual (esquerda) e da descarga máxima anual (direita) no período posterior à barragem de Porto Primavera (SOUZA FILHO, 2011)	58
Figura 33: Resultados da análise de regressão entre os valores de variação de área e os de descarga média e máxima dos intervalos analisados, no período entre 1985 e 2010.	59
Figura 34: Resultados da análise de regressão entre os valores da taxa de variação de área e os de descarga média e máxima (acima) e do módulo da taxa de variação e da descarga média e máxima (abaixo).	60
Figura 35: Resultado da análise de regressão entre os valores da variação de área e os de permanência em nível fluviométrico superiores a 3,5 m nos períodos considerados.	62

Figura 36: Resultado da análise de regressão entre os valores do módulo da variação de área e os de permanência em nível fluviométrico superiores a 4,6 m nos períodos considerados.	62
Figura 37: Resultados da análise de regressão entre os valores da taxa de variação de área e a permanência em descargas em nível superior a 4,6 m (esquerda) e em nível superior a 6,0 m (direita).	63
Figura 38: Resultado da análise de regressão dos valores do módulo da taxa de variação de área de acordo com a permanência em descargas superiores a 6 m.	64
Figura 39: Resultados da análise de regressão entre a variação de área e a descarga média (esquerda) e a descarga máxima (direita) no período entre 1985 e 1998.	65
Figura 40: Resultados da análise de regressão entre o módulo da variação de área e a descarga média (esquerda) e a descarga máxima (direita) no período entre 1985 e 1998.	65
Figura 41: Resultados da análise de regressão entre a taxa de variação de área e a descarga média (esquerda) e a descarga máxima (direita) no período entre 1985 e 1998.	66
Figura 42: Resultados da análise de regressão entre o módulo da taxa variação de área e a descarga média (esquerda) e a descarga máxima (direita) no período entre 1985 e 1998.	66
Figura 43: Resultado da análise de regressão entre o módulo da variação de área e a permanência em níveis superiores a 4,6 m no período entre 1985 e 1998.	67
Figura 44: Resultado da análise de regressão entre a taxa da variação de área e a permanência em níveis superiores a 6,0 m no período entre 1985 e 1998.	68
Figura 45: Resultados da análise de regressão entre o módulo da taxa de variação de área e a permanência em níveis superiores a 4,6 m (esquerda) e em níveis superiores a 6,0 m (direita), no período entre 1985 e 1998.	68
Figura 46: Resultados da análise de regressão entre a variação de área e a descarga média (esquerda) e a descarga máxima (direita) no período entre 1999 e 2010.	69
Figura 47: Resultados da análise de regressão entre a taxa de variação de área e a descarga média (esquerda) e a descarga máxima (direita) no período entre 1999 e 2010.	70
Figura 48: Resultados da análise de regressão entre o módulo da taxa de variação de área e a descarga média (esquerda) e a descarga máxima (direita) no período entre 1999 e 2010.	70
Figura 49: Resultados da análise de regressão entre a variação de área e a permanência da em níveis superiores a 3,5 m (esquerda) e superiores a 4,6 m (direita) no período entre 1999 e 2010.	71
Figura 50: Resultado da análise de regressão entre módulo da variação de área e a permanência da em níveis superiores a 3,5 m no período entre 1999 e 2010.	72

Figura 51: Resultados da análise de regressão entre a taxa da variação de área e a permanência da em níveis superiores a 3,5 m (esquerda) e superiores a 6,0 m (direita) no período entre 1999 e 2010.	72
Figura 52: Sobreposição das cartas de 1985 (azul) e 1990 (vermelho).	79
Figura 53: Sobreposição das cartas de 1991 (azul) e 1995 (vermelho).	80
Figura 54: Sobreposição das cartas de 1999 (azul) e 2004 (vermelho).	81

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1: Síntese das informações obtidas por meio de fotografias aéreas e imagens orbitais para os arquipélagos Mutum e Porto Rico, Cariocas, e Floresta e Japonesa. (SOUZA FILHO, 2009).	20
Tabela 2: Processos dominantes no rio Paraná a partir de 1953. (SOUZA FILHO, 2009)	31
Tabela 3: Tempo de permanência da descarga fluvial em diferentes níveis fluviométricos no período entre 1985 e 1990 (SOUZA FILHO, 2009).	34
Tabela 4: Tempo de permanência da descarga fluvial em diferentes níveis fluviométricos no período entre 1991 e 1995 (SOUZA FILHO, 2009).	37
Tabela 5: Tempo de permanência da descarga fluvial em diferentes níveis fluviométricos no período entre 1995 e 1997 (SOUZA FILHO, 2009).	39
Tabela 6: Tempo de permanência da descarga fluvial em diferentes níveis fluviométricos no período entre 1995 e 1999 (SOUZA FILHO, 2009).	42
Tabela 7: Tempo de permanência da descarga fluvial em diferentes níveis fluviométricos no período entre 1999 e 2004 (SOUZA FILHO, 2009).	44
Tabela 8: Tempo de permanência da descarga fluvial em diferentes níveis fluviométricos no período entre 2005 e 2010 (SOUZA FILHO, 2009).	48
Tabela 9: Valores de cota fluviométrica, área do canal, largura média; diferença de área, taxa de variação da área do canal e processos dominantes no rio Paraná entre 1985 e 2010.	48
Tabela 10: Valores de nível fluviométrico médio, descarga média anual e descarga máxima anual registrados na estação fluviométrica de Porto São José, a partir de 1985. (SOUZA FILHO, 2010)	57
Tabela 11: Permanência da descarga em diferentes níveis fluviométricos no período de 1985 a 2010 (SOUZA FILHO, 2009 e 2011).	61
Tabela 12: Valores de r^2 obtidos entre as análises de regressão entre as variáveis utilizadas. Período entre 1985 e 2010. O realce em vermelho mostra a relação negativa e o em azul mostra relação positiva.	74
Tabela 13: Valores de r^2 obtidos entre as análises de regressão entre as variáveis utilizadas. Período entre 1985 e 1998. O realce em vermelho mostra a relação negativa e o em azul mostra relação positiva.	75
Tabela 14: Valores de r^2 obtidos entre as análises de regressão entre as variáveis utilizadas. Período entre 1999 e 2010. O realce em vermelho mostra a relação negativa e o em azul mostra relação positiva.	77

SUMÁRIO

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA ÁREA DO CANAL DO ALTO RIO PARANÁ NA PORÇÃO JUSANTE À UHE PORTO PRIMAVERA	13
1 - INTRODUÇÃO	13
2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	16
2.1 – Localização	16
2.2 – O processo de ajuste fluvial no rio Paraná	19
2.3. Evolução da intensidade da erosão marginal no rio Paraná	19
2.4. A hipótese de trabalho	21
3 – OBJETIVOS DA PESQUISA	22
4 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	22
4.1. A base teórica para a os procedimentos adotados.	22
4.1.1. Controles da erosão marginal e formas de avaliação de sua intensidade	22
4.1.2. Sensoriamento Remoto	25
4.2. Desenvolvimento da pesquisa.	26
4.2.1. Tratamento das imagens.	27
4.2.2. Tratamento dos dados de nível fluviométrico.	29
4.2.3. Tratamento estatístico dos dados obtidos.	30
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1. A variação de área do canal a partir de 1985	31
5.2. A avaliação da margem de erro.	48
5.3. A variação de área do canal.	50
5.4. A variação de área do canal e a descarga fluvial.	56
5.5. A variação de área do canal e a permanência da descarga fluvial.	60
5.6. A variação de área do canal, a descarga fluvial e a permanência antes do fechamento da barragem de Porto Primavera.	65
5.7. A variação de área do canal, a descarga fluvial e a permanência depois do fechamento da barragem de Porto Primavera.	69
5.8. Os resultados da análise dos dados normalizados.	73
5.8.1. Os resultados da análise dos dados normalizados do período entre 1985 e 2010.	73
5.8.2. Os resultados da análise dos dados normalizados no período entre 1985 e 1998.	75
5.8.3. Os resultados da análise dos dados normalizados no período entre 1999 e 2010.	76
5.9. A superposição de imagens para a identificação dos locais e taxas da erosão marginal.	78
6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	81
9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA ÁREA DO CANAL DO ALTO RIO PARANÁ NA PORÇÃO JUSANTE À UHE PORTO PRIMAVERA

1 - INTRODUÇÃO

A construção de uma barragem provoca diversas modificações no sistema fluvial em que ela é instalada, afetando os ecossistemas, o regime hidrológico, a dinâmica dos processos que ocorrem na calha fluvial, além de alterar inúmeras outras variáveis. Dentre as alterações que podem acontecer no canal fluvial situado à jusante de uma barragem incluem-se o controle do regime de descarga, a reconfiguração da distribuição das velocidades de fluxo, o corte do suprimento de sedimentos, a degradação do leito fluvial, a mudança dos padrões de erosão marginal, entre muitos outros efeitos (PETTS, 1979; ICOLD, 1980, 1988; HAN & TONG, 1983; CHIEN, 1985; ROCHA *et al.*, 1994; SOUZA FILHO, 1999, 2009; SOUZA FILHO, *et al.*, 2004; STEVAUX, *et al.*, 2009). Contudo, o tipo de modificação, sua intensidade e abrangência dependerão das características da barragem, do rio e do local de sua instalação.

Uma das variáveis afetadas é a erosão marginal, que é fundamental na dinâmica dos cursos d'água, pois a estabilidade das margens é um importante fator na manutenção de biomas, no âmbito do ecossistema fluvial e também econômico, pois pode levar à perda de terreno cultiváveis em áreas agrícolas ou comprometer obras de engenharias próximas ao canal fluvial (ROCHA 1996). Além disso, é uma variável utilizada na classificação e definição do padrão de rios deposicionais, é também uma das fontes de suprimento da carga fluvial, além de ser essencial para a caracterização da dinâmica fluvial, juntamente com os processos de erosão do leito, transporte e deposição.

O segmento fluvial do alto rio Paraná situado à jusante da barragem da UHE de Porto Primavera (“Usina Hidrelétrica Engenheiro Sergio Motta”) vem sofrendo modificações em seu regime hidrológico desde a década de 1960 e 1970 quando as barragens no rio Paranapanema, no rio Grande e no rio Tietê entraram em operação e iniciaram o controle da descarga fluvial (ROCHA *et al.*, 1998, 2001; ROCHA, 2002; SOUZA FILHO, 1999, 2009).

A UHE Porto Primavera começou a influenciar o rio Paraná já em 1992 quando o canal foi desviado (desvio de primeira fase) e aumentou sua influência em 1994, quando as águas passaram a correr pelos vertedores (desvio de segunda fase). No final de 1998, iniciou o processo de formação do reservatório de Porto Primavera, realizado em dois estágios: no período de cheia entre 1998 – 1999 e no período de cheia entre 2000-2001. A formação do

reservatório deu início à retenção da carga sedimentar e tornou completo o controle da descarga (SOUZA FILHO, 1999, 2009; SOUZA FILHO et al, 2004; SILVA, 2007; OKAWA, 2009).

Assim, com a conclusão da barragem de Porto Primavera, o controle de descargas aumentou, o suprimento de sedimentos de fundo foi cortado e o transporte de material em suspensão diminuiu consideravelmente. Estas, entre outras modificações levaram o segmento situado à jusante da barragem a iniciar um processo de ajuste fluvial (SOUZA FILHO *et al.*, 2004). O ajuste fluvial ainda está em desenvolvimento e afeta todas as variáveis da dinâmica fluvial. Uma das variáveis modificadas foi a intensidade dos processos erosivos e deposicionais (SOUZA FILHO *et al.* 2004; CORRÊA, 2004; BORGES, 2004; SOUZA FILHO, 2008, 2009 (RELATÓRIO ANUAL/PELD 2009 e RELATÓRIO ANUAL/PELD 2008); STEVAUX *et al.*, 2009).

A intensidade dos processos erosivos foi uma das primeiras variáveis a serem estudadas quando os estudos geomorfológicos referentes ao segmento fluvial em questão tiveram início no final da década de 1980. O trabalho pioneiro foi realizado por FERNANDEZ (1990) e FERNANDEZ & FULFARO (1993), ao qual se seguiram diversos outros, tais como os de ROCHA (1995), ROCHA & SOUZA FILHO (1997), SOUZA FILHO & STEVAUX (1997), ROCHA *et al.*(1999 a e b), SOUZA FILHO (1999), SOUZA FILHO, *et al.* (2001), e ROCHA *et al.* (2002), CORRÊA (2004), DESTEFANI & SOUZA FILHO (2002) e TEIXEIRA & SOUZA FILHO (2002); por fim BORGES *et al.*(2003) e BORGES (2004). Atualmente apenas a área próxima a Porto Rico é mantida sob monitoramento por parte dos pesquisadores da UEM, no caso, em parceria com pesquisadores da UEL.

O estudo sobre a variação das áreas das ilhas através de imagem de satélite foi iniciado por PEREIRA (2004) e o passo seguinte foi a utilização das imagens para avaliar a modificação de área do rio Paraná, o que resultou nos trabalhos de SANTOS (2005), SANTOS & SOUZA FILHO (2006), PUERTA et al.(2006), e PUERTA & SOUZA FILHO (2007).

Contudo, a maior parte dos trabalhos foi realizada por meio do uso da técnica dos pinos, das estacas e de levantamento de perfis sucessivos, que permitem apenas a verificação pontual da intensidade da erosão. Dentre os poucos trabalhos que foram realizados em grandes áreas destacam-se o de CORRÊA (2004) e CORRÊA e SOUZA FILHO (2009), mas devido ao uso de fotografias aéreas o período de avaliação das modificações da área das ilhas estendeu-se a até 1996, não permitindo a avaliação dos efeitos da barragem.

O intuito deste trabalho foi avaliar mudanças no canal fluvial nas últimas três décadas, dando prioridade à situação em anos de maiores cheias, já que esses eventos são considerados como importantes agentes de alteração da paisagem e podem realizar consideráveis mudanças em curto espaço de tempo tanto no canal como na própria planície fluvial. Pelo trabalho realizado, seja no que diz respeito à erosão, seja no que concerne à deposição, ou ainda pelo transporte de sedimentos ou mesmo a conexão de corpos de água, um episódio de cheia é um importante elemento para a manutenção da ecologia e sustentabilidade dos ambientes aquáticos.

A pesquisa faz parte do projeto PELD – Pesquisas Ecológicas de Longa Duração, intitulado “A Planície Alagável do Rio Paraná: Estrutura e Processo Ambiental”, contribuindo assim com maiores informações e dados a respeito da dinâmica fluvial do rio Paraná para estudos posteriores, já que é uma área de conservação que está sendo afetada pelos impactos introduzidos pela barragem de Porto Primavera e que é alvo de estudos de uma equipe multidisciplinar de grande porte (GEMA e NUPÉLIA).

2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

2.1 – Localização

A área de estudo está localizada em um trecho do alto rio Paraná, na região sudeste do Mato Grosso do Sul e noroeste do Paraná. O segmento fluvial a ser pesquisado inicia-se à jusante da Usina Hidrelétrica Sergio Motta (Porto Primavera) e se estende até o final da Ilha Mutum, próximo à cidade de Porto Rico – PR (Figura 1). Este segmento possui um único afluente de grande proporção em sua margem esquerda, representado pelo rio Paranapanema.

Na localidade de Porto São José encontra-se instalada uma estação fluviométrica (código 64575003), ativa desde o final de 1963. No período entre 1964 e 2010, a descarga média registrada nesta estação foi de 8817 m³/s, equivalente a um nível fluviométrico médio de 3,2 m (SOUZA FILHO, 2011). A maior descarga já registrada ocorreu em 18/02/1983 quando as águas atingiram 8,74 m na régua da estação e a vazão calculada foi de 33.698 m³/s. A menor vazão foi registrada em 17/08/1969 quando as águas atingiram 0,61 m e a vazão calculada foi de 3.115 m³/s.

Na seção de Porto São José, as cheias têm início à vazão de 9.900 m³/s (3,5 m), quando os corpos lânticos começam a se conectar; à vazão de 12.745 m³/s (4,6 m) a planície começa a ser inundada; a 16.356 m³/s (6,0 m) as partes de altitude intermediária da planície são cobertas e a 19.335 m³/s (7,0 m) toda a planície encontra-se sob água (ROCHA, 2002).

Uma vez que o canal encontra-se encaixado e o que é denominado de planície fluvial é um terraço baixo, o nível fluviométrico de 7,0 m é considerado como “nível de perímetro úmido máximo”, enquanto o nível de 5,8 m é considerado como o de “margens plenas” (SOUZA FILHO, 1993).

Nesse trecho, o alto rio Paraná possui um padrão multicanal, dividido em dois canais principais, separados por extensos conjuntos de ilhas e por barras fluviais. Assim, apresenta as formas típicas de canais do tipo anastomosado quando observado em planta e características próprias de canais entrelaçados quando analisado pela sua dinâmica fluvial (SOUZA FILHO, 1993).

As ilhas fluviais freqüentemente têm sua parte superior constituídas por depósitos tabulares argilosos e por lentes arenosas, relíquias da planície de inundação, antigos canais e diques marginais de uma fase que o rio Paraná era anastomosado. As ilhas por sua vez são limitadas por canais secundários profundos e largos, ou por canais mais rasos e de menores

dimensões, cujo talvegue muda de posição ao longo do tempo, definindo assim as áreas erosivas e deposicionais (SOUZA FILHO, 1993 e 1994).

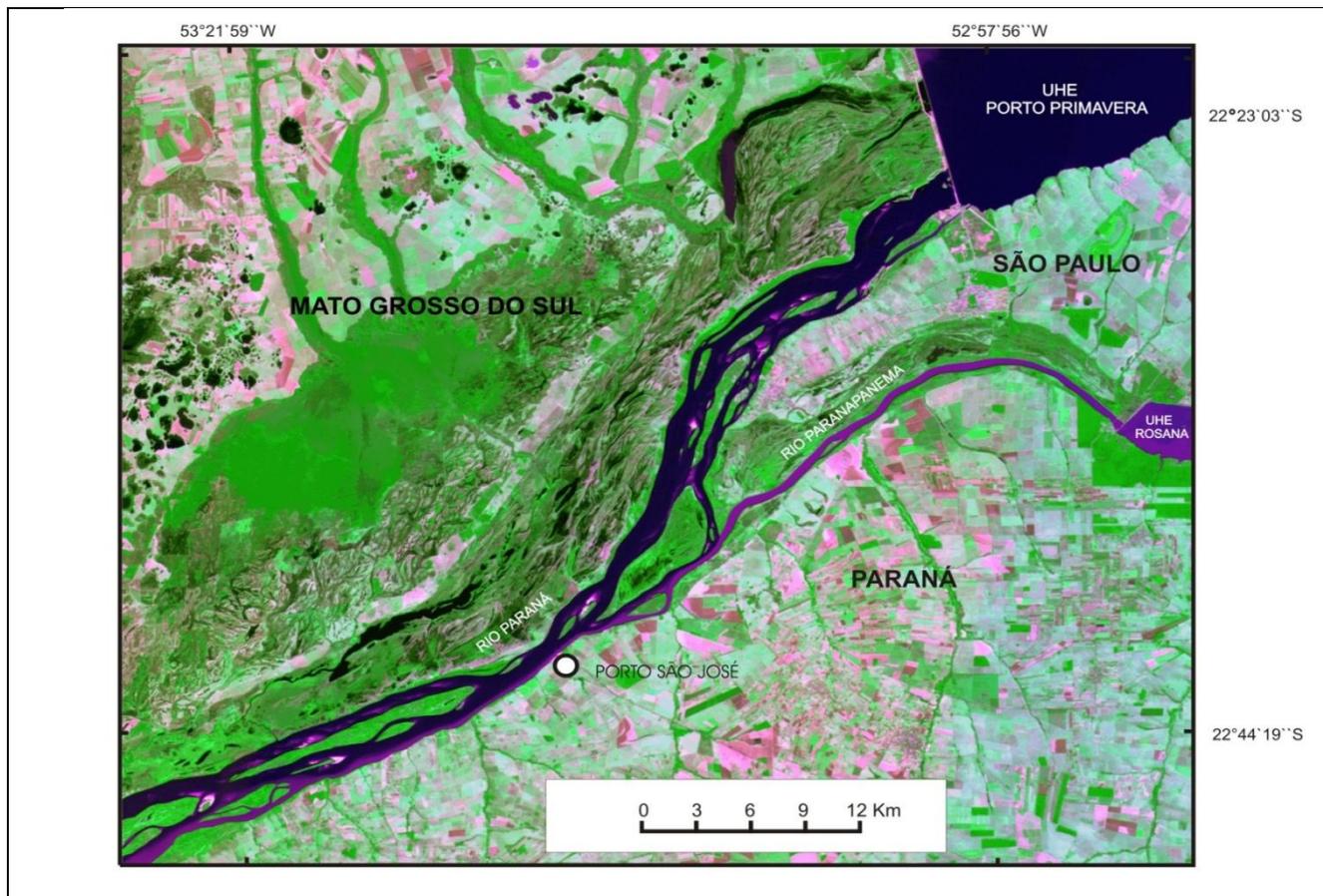


Figura 1: Localização da área de estudo. Imagem colorida, obtida a partir das imagens CCD/ CBERS 2, 14/05/05 dos canais 3,4 e 5 com as cores azul, verde e vermelha, respectivamente. Fonte: Puerta, L. L. (2006)

As barras encontradas no alto rio Paraná foram classificadas como barras centrais, laterais (margens e ilhas), de soldamento ou coalescência, desembocadura e em pontal, classificadas conforme as características morfológicas, evolutivas, posição espacial e comportamento erosivo (SANTOS *et al.* 1992 e SOUZA FILHO e STEVAUX 2000). As barras centrais, as laterais e as de coalescência são as de maior porte e foram consideradas por SOUZA FILHO (1993) como barras transversais.

As barras transversais dividem o fluxo de água do rio, movimentando-se a jusante. Sendo assim, as barras fazem com que diferentes partes das margens sejam submetidas a diferentes velocidades de fluxo e tenham taxas de erosão marginal distintas. Se a margem estiver sujeita a uma velocidade alta, ela terá maior taxa de erosão e se a velocidade for muito baixa, ela estará sujeita a deposição de areia, com a conseqüente formação de barras. Uma vez

que as barras se movimentam, as velocidades junto às margens também são alteradas, assim como os locais de alta taxa de erosão e de sedimentação.

Após o fechamento da barragem, o canal do rio Paraná tornou-se encaixado e a maior parte da planície só é coberta pelos pulsos de inundação a cada 3,3 anos (perímetro úmido máximo), sofrendo apenas acresção vertical em cheias com retorno superior a 14 anos (débitos superiores a 26.000 m³/s). SOUZA FILHO *et al.* (2001).

Na área de estudo, a calha do alto rio Paraná está assentada sobre arenitos da Formação Caiuá (K) e apresenta sucessivas faixas de exposição de diferentes depósitos de sedimentos inconsolidados. Os solos da planície de inundação e das ilhas são caracterizados como hidromórficos, devido à influência do rio Paraná. Este trecho é caracterizado pela assimetria entre ambos os lados do vale. O lado leste é mais elevado, mais dissecado e com afluentes de maior declividade. A porção oeste possui relevo tabular desdobrado em três níveis de terraços (SOUZA FILHO E STEVAUX, 2003).

A área de estudo está inserida na região da Floresta Estacional Semidecidual, que se refere à dupla estacionalidade climática, classificada por CAMPOS e SOUZA (1997) como Floresta Estacional Semidecidual Aluvial. De acordo com CORRÊA (1998) em solos hidromórficos, as espécies arbóreas são altamente seletivas nas áreas secas e mais drenadas. A vegetação é mais densa nos diques marginais, onde há emergência de árvores de 25 a 30 metros. Com a ocupação da região em meados das décadas de 1950, a região sofreu graves transformações, convertendo áreas florestadas em áreas agricultáveis.

Nas ilhas, a retirada da vegetação foi iniciada para o plantio de café na década de 1950, depois substituído por pastagens e lavouras de subsistência (CORRÊA, 1998). No lado sul-mato-grossense a vegetação natural foi parcialmente substituída por pastagens e cultivo de grãos. As formações pioneiras ocorrem em ambientes geomorfologicamente instáveis, com solos formados por processos de deposição (neossolos) ou pela presença acentuada de matéria orgânica (organossolos), podendo ainda sofrer inundações periódicas.

A região esta inserida na zona intertropical sul ao norte da linha do Trópico de Capricórnio, com tipologia climática Cfa (classificação de Köppen), subtropical úmido com tendência de concentração de chuva nos meses de verão sem estação seca definida. A média das temperaturas dos meses mais quentes é superior a 22°C e dos meses mais frios é inferior a 18°C. A pluviosidade é característica tropical e as máximas e mínimas anuais podem ocorrer em qualquer época do ano (DESTEFANI, 2005). A variabilidade apresenta-se mais perceptível somente em anos anômalos, em virtude dos fenômenos El Niño e La Niña. Os índices médios de precipitação possuem valores próximos a 1350 mm anuais.

2.2 – O processo de ajuste fluvial no rio Paraná

Com a construção de diversas barragens desde a década de 1960, o rio Paraná vem sofrendo mudanças quanto ao ajuste fluvial do canal e descarga sedimentar em diferentes escalas, de montante para jusante. A construção da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta intensificou o processo promovendo cortes no suprimento da carga detrítica. O ajuste fluvial é demonstrado pelas modificações do comportamento entre o balanço da sedimentação e erosão marginal e pela alteração da velocidade de deslocamentos das barras fluviais, entre outros efeitos.

De acordo com SOUZA FILHO (2007) o ajuste fluvial ocorreria por: 1) aporte de areia mais fina, maior mobilidade do talvegue, e incremento da erosão marginal; 2) remoção das areias mais finas e diminuição das formas de leito, menor mobilidade do talvegue; 3) formação de depósitos residuais, posicionamento de um talvegue retilíneo e diminuição da erosão marginal; 4) remoção dos depósitos residuais, erosão do leito associada à fixação do talvegue e diminuição da área atingida pelas cheias.

Dessa maneira, o canal situado à jusante da barragem de Porto Primavera vem sofrendo modificações e como o processo de ajuste propaga-se de montante para jusante, diferentes segmentos fluviais encontram-se em diferentes situações, de acordo com a fase dominante no local.

Nos dias de hoje o segmento estudado teria sua parte superior no estágio 4, o leito já é rochoso (pelo menos no talvegue) e sua parte inferior no estágio 3, onde o leito é dominado por depósitos residuais. (SOUZA FILHO 2008).

2.3. Evolução da intensidade da erosão marginal no rio Paraná

O relatório “A influência da UHE de Porto Primavera na erosão marginal da parte do rio Paraná situada à jusante da barragem” (SOUZA FILHO, 2009 inédito) analisou os processos de erosão marginal em diferentes períodos: 1) anterior a construção da barragem; 2) durante a construção; e 3) posterior a construção e fechamento das comportas. A síntese dos resultados encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Síntese das informações obtidas por meio de fotografias aéreas e imagens orbitais para os arquipélagos Mutum e Porto Rico, Cariocas, e Floresta e Japonesa. (SOUZA FILHO, 2009).

Mutum/Porto Rico	1953	1965	1970	1980	1987	1995	1996	1999	2000	2002	2004	2006
Taxa (km ² /ano)		0,117	0,006	0,018			0,076	0,003	0,07	0,07	0,045	0,083
Processo		Sed.	Sed.	Eros.	Sed.	Sed.						
Cariocas	1953	1963	1970	1980	1989		1996		2000		2004	2006
Taxa (km ² /ano)		0,074	0,007	0,001	0,013		0,069		0,028		0,013	0,25
Processo		Sed.	Eros.	Sed.								
Floresta e Japonesa	1953	1963	1970	1980	1989		1996		2000		2004	2006
Processo		Sed.	Sed.	Eros.	Eros.	Eros.	Eros.	Sed.	Sed.	Sed.	Sed.	Sed.

No período anterior a construção da barragem as fotografias aéreas do ano de 1953 e 1970 mostram acréscimo de sedimentação nas ilhas Mutum e Porto Rico com aumento do seu tamanho. Após 1970 predominam os processos erosivos. Já entre 1988 e 1999, algumas ilhas apresentavam margens erosivas, como a Ilha Floresta e a Japonesa.

Já as Ilhas Cariocas até 1963 encontrava-se sobre o processo de sedimentação, passando por processos erosivos e uma tendência ao equilíbrio dos processos entre 1970 e 1980, e voltando a ter o domínio de processos erosivos entre 1980 e 1989.

As análises realizadas por meio de imagens de satélite deram seqüência à identificação das tendências já registradas pelas fotografias aéreas indicando o domínio de processos erosivos sobre o canal fluvial.

Durante a construção da barragem entre 1992 e 1998, considerado como intervalo entre o desvio do rio e o fechamento da barragem, assim como visto no período anterior o canal continua sobre processos erosivos e, apenas nas margens da Ilha Floresta Japonesa esse processo foi mais elevado.

Entre 1999 e 2001, após a construção da barragem, as taxas de erosão foram baixas, explicada pela descarga média registrada em Porto Primavera, reduzindo a velocidade do fluxo e conseqüentemente as taxas de erosão. Em 2002 e 2003 a Ilha Floresta Japonesa apresentou aumento no processo de erosão sobre sua margem, explicado possivelmente pelo rearranjo das barras fluviais, já que a descarga média entre esses anos foi mais baixa que no período entre 1999 e 2001. Já entre 2000 e 2004, a área do canal tendeu a um domínio de sedimentação e a partir de 2004 o processo de erosão voltou a dominar. Tais resultados podem ser explicados pelo avanço para a jusante da remoção das formas de leito de grande porte.

Em todos os períodos não houve ausência de ambos os processos, apenas a preponderância de um sobre o outro, visto que ambos ocorrem em diferentes locais, já que as

formas do canal dividem o fluxo do canal, à medida que se deslocavam as margens eram sucessivamente submetidas a diferentes velocidades de fluxo e sofriam diferentes intensidades de erosão.

2.4. A hipótese de trabalho

Considerando que a operação da UHE de Porto Primavera diminuiu a ocorrência e a permanência de descargas elevadas e o ajuste fluvial vem tornando o canal mais profundo é possível que as taxas de erosão marginal tenham sido modificadas. Os dados de monitoramento de campo demonstram isso, mas se por um lado parte dos levantamentos mostra uma diminuição das taxas erosivas, os dados de BORGES (2004) e as interpretações de STEVAUX *et al.* (2009) apontam para uma intensificação do processo.

Ambos os autores mencionados basearam-se em dados coletados em locais específicos, assim como os dados obtidos pelos autores que realizaram monitoramento de campo, dessa forma, uma avaliação que compreenda áreas extensas pode vir a deixar clara a real situação da intensidade do processo erosivo.

Uma vez que os processos de erosão e de sedimentação continuam a ocorrer, a intensificação dos processos erosivos deve levar a um aumento da área de canal, pois a sua largura média aumentaria. Por outro lado, a diminuição da intensidade da erosão marginal proporcionaria a redução da área do canal (e da largura média) porque as áreas deposicionais poderiam manter-se estáveis e seriam ocupadas por vegetação pioneira.

A avaliação das modificações da área do rio Paraná enfrenta um obstáculo que é a falta de base cartográfica atualizada, ausência de levantamentos aerofotogramétricos posteriores a 1996 e a inexistência de levantamentos sistemáticos de campo. Portanto, a opção restante é o uso de imagens orbitais.

Dessa forma, o uso de imagens orbitais pode permitir a avaliação das modificações temporais da área do canal do rio Paraná na parte situada a jusante da UHE de Porto Primavera e contribuir para o esclarecimento da intensidade das taxas erosivas posteriores à construção da barragem.

3 – OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo geral da desta dissertação é avaliar as modificações de área do segmento do rio Paraná situado à jusante da barragem de Porto Primavera (Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta), em períodos de vazante do canal fluvial, por meio de imagens orbitais TM/LANDSAT 5, obtidas em três tempos: antes, durante e depois da construção da barragem de Porto Primavera.

Os objetivos específicos são:

- 1) Fazer a cartografia da área ocupada pelas águas do rio Paraná a partir de 1985, contemplando anos em que as cheias foram intensas e o período anterior e posterior à construção da barragem;
- 2) Calcular a área ocupada pelo canal nas datas utilizadas;
- 3) Verificar o comportamento fluviométrico do rio Paraná nos períodos entre as datas das imagens utilizadas;
- 4) Avaliar a variação da área do canal, sua taxa de variação e as relações com o regime de descargas fluviais;
- 5) Identificar os locais em que ocorreu erosão e sedimentação;
- 6) Avaliar o balanço entre a erosão e a sedimentação ao longo do período estudado.

4 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1. A base teórica para a os procedimentos adotados.

Os procedimentos adotados nessa pesquisa são provenientes dos estudos anteriores a respeito dos processos de avaliação de variação de área do canal do rio Paraná, em especial dos trabalhos que fizeram uso de sensoriamento remoto. Dessa maneira será abordado o conhecimento adquirido a respeito dos controles da erosão marginal, das formas de avaliação de sua intensidade, das características da ferramenta utilizada, o sensoriamento remoto.

4.1.1. Controles da erosão marginal e formas de avaliação de sua intensidade

A erosão marginal ocorre em margens de canais fluviais e lagos, sendo provocada pela ação da corrente fluvial e das ondas. Apesar de ocorrer de forma natural, pode ser acelerada ou diminuída pela ação antrópica. Em casos de construção de barragens em canais fluviais, a

erosão marginal pode ser modificada tanto na parte situada à montante como na situada à jusante, mas essas modificações dependem da característica do rio, da construção e operação da barragem.

Segundo THORNE e TOVEY (1981), os fatores que condicionam a erosão das margens fluviais são numerosos, destacando: a granulometria dos sedimentos, a geometria e a estrutura da margem, as propriedades mecânicas do material, as características hidrodinâmicas do fluxo nas proximidades das margens e as condições climáticas.

O relatório elaborado por SOUZA FILHO (2009) contém uma síntese dos processos que podem promover a retirada de materiais das margens, cuja apresentação é feita a seguir: de acordo com o autor, a erosão das margens pode ocorrer pela ação das águas do rio (erosão marginal), pela água de escoamento das vertentes (erosão laminar e concentrada) e por meio de processos subsuperficiais (“pipping”) (SOUZA FILHO, 2009).

No caso das margens dos rios, estas podem ainda estar sujeitas aos movimentos de massa e a estabilidade das margens depende de: sua inclinação, do peso do material não rochoso que ali se encontra e da coesão desses materiais. Quanto maior for a inclinação e o peso dos materiais, menor será sua estabilidade. Quanto maior for a coesão dos materiais, maior será sua estabilidade.

Outro fenômeno que pode promover a remoção das margens é a liquefação, que afeta as margens argilosas. Quando a saturação da água atinge o limite de fluidez das argilas que a compõem, elas comportam-se como líquido, escoando encosta abaixo promovendo um fluxo de lama. O mesmo pode acontecer em margens arenosas e com pouca argila, quando a pressão exercida pela água faz com que os grãos percam o contato entre si, fazendo com que o material saturado escoe, formando um fluxo de areia.

O fenômeno de “pipping” ou erosão subterrânea pode ocorrer nas margens em diferentes situações: em margens íngremes, ou em margens planas, ambas de composição arenosa. Nas margens íngremes o processo é iniciado pela instalação de sulcos onde há erosão concentrada. O avanço da erosão transforma o sulco em ravina, e quando esta atinge a zona saturada há início do processo, ou seja, há a instalação de uma voçoroca.

Em margens planas o processo pode ocorrer quando as águas da cheia abaixam muito rapidamente. As águas altas saturam os materiais das margens e se o nível do rio abaixar rapidamente há a formação de um forte gradiente entre a água que está dentro dos materiais da planície e o nível do rio. Nesse caso, o escoamento dessa água subterrânea promove a retirada das partículas das margens, até que o topo da zona saturada fique no nível do rio.

A erosão marginal propriamente dita é o processo de remoção de partículas das margens dos rios por meio da atuação da água. As partículas podem ser removidas por vários mecanismos: a corrasão, a força da água, e a ação das ondas.

A corrasão é o fenômeno de desgaste promovido pelo choque das partículas que são carregadas pela água contra as margens do rio ou contra as rochas que existirem em seu leito, semelhante a um jato de areia. É bastante ativa em rios com velocidade de fluxo alta e que transportam areia em suspensão. Uma das feições relacionadas a esse processo são os “caldeirões”, ou seja, orifícios verticais escavados em rochas pelo turbilhão da água com sedimentos.

A ação da força da água é maior conforme aumenta a profundidade e a velocidade de fluxo, e menor quanto maior for a rugosidade. Dessa forma, para avaliar o efeito dessa variável é necessário conhecer a profundidade, a velocidade de fluxo junto à margem e a rugosidade da margem. De qualquer forma, as taxas erosivas serão maiores nos períodos de cheia do que nos de vazante, porque a profundidade e a velocidade de fluxo serão maiores.

A retirada de partículas pela ação das ondas é resultante do aumento da força da água quando a ondulação atinge a margem. A avaliação desse processo é dificultada pela dificuldade de medir a altura da onda, sua velocidade de deslocamento, e a frequência em que elas ocorrem. Contudo, as ondas não são comuns em rios que estão em situação natural, embora elas possam ocorrer em rios largos que estejam sob ventos fortes e em sentido contrário ao fluxo das águas. A situação mais comum é a criação de ondas pelo movimento de barcos rápidos. Em reservatórios com extensos corpos de água o processo pode ser muito ativo.

A taxa de erosão marginal dependerá da intensidade dos processos mencionados e das características das margens. Dentre as características das margens o fator mais importante é a sua coesão. Ou seja, quanto maior a coesão menor será o efeito da erosão marginal. Assim, as margens rochosas serão menos afetadas e as margens constituídas por sedimentos (como nos rios com planície) serão mais vulneráveis. Dentre estas, as margens mais arenosas serão mais afetadas que as argilosas.

O estudo das variáveis mencionadas permitiu verificar que a velocidade de fluxo é responsável por 90% da intensidade da erosão marginal e que o teor de argila responde por outros 9%. O modelo obtido para o rio Paraná, relacionando a velocidade de fluxo e o teor de argila das margens encontra-se na Figura 2.

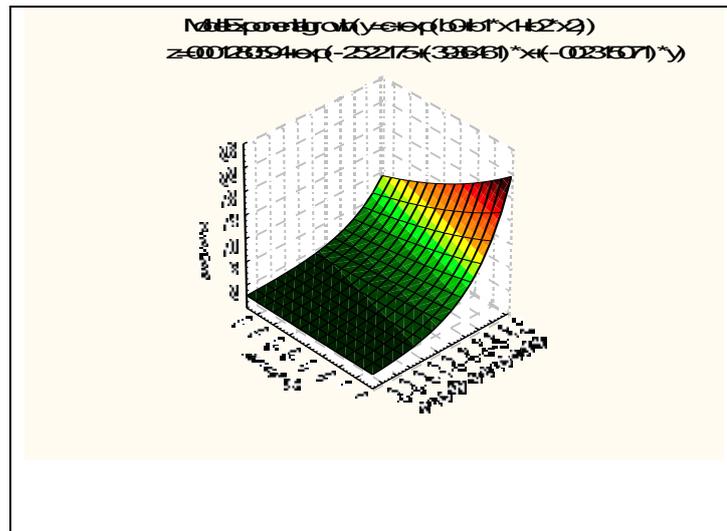


Figura 2 – Modelo estatístico relacionando a taxa erosiva, a velocidade de fluxo, e o teor de argila nas margens. (ROCHA *et al.*, 1999).

Outro fator importante pode ser a presença de raízes de plantas. Quando a margem tem uma grande quantidade delas, sua rugosidade é aumentada. Dessa maneira, a presença da vegetação marginal pode ser muito importante porque pode diminuir a taxa de erosão face à diminuição da velocidade de fluxo. Contudo, deve ser ressaltado que este efeito somente ocorre quando as raízes encontram-se abaixo da linha d'água, o que não ocorre no rio Paraná.

A avaliação da erosão marginal tem sido feita no rio Paraná por diversos métodos, como a análise de fotografias aéreas e o método dos pinos, este último consiste na leitura do recuo da face da margem realizada diretamente em campo. O primeiro método não tem mais sido utilizado, pois os levantamentos aerofotogramétricos que eram realizados com relativa frequência tornaram-se espaçados e o último deles foi realizado em 1996. Já o segundo método permite uma avaliação refinada das taxas erosivas, porém não é possível de se realizar comparações das taxas erosivas anteriores e posteriores às barragens, já que o monitoramento de campo foi iniciado em período que o rio já estava regularizado por elas.

Em face da ausência destes levantamentos de campo e fotografias aéreas, a opção mais plausível é a utilização de imagens orbitais para tal finalidade, como foi o processo realizado neste trabalho.

4.1.2. Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto é uma tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou

emitida pela superfície. Esses sensores instalados em satélites artificiais são resultados da evolução da ciência e da tecnologia espacial. Em outras palavras, Sensoriamento Remoto é a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações (NOVO, 1995).

Os sensores remotos são equipamentos que captam e registram energia refletida ou emitida pelos elementos da superfície terrestre, podendo ser: **a)** imageadores: sensores que produzem uma representação bi-dimensional da superfície da terra, sendo estes fotográficos e eletroópticos; ou **b)** não-imageadores: produzem informações unidimensionais do terreno, sendo estes radiômetros e espectro radiômetros.

No caso desse trabalho foi utilizado o sensor eletrônico multiespectral TM (Thematic Mapper), do satélite LANDSAT 5 (*Land Remote Sensing Satellite*), que é um sistema de varredura mecânica que capta dados em diferentes faixas espectrais (três da região do visível e quatro da região do infravermelho). O LANDSAT 5 foi lançado em 1984, atualmente está em operação, superando em muitos anos a vida útil prevista. Os produtos do sensor TM possuem resolução espacial de 30 metros, o satélite faz passagens a cada 16 dias e as imagens produzidas possuem 185 km de largura.

A opção pelos produtos deste sensor deve-se ao período em que há imagens disponíveis, à regularidade do imageamento, existência de imagens nas datas de interesse e a inexistência de custo para sua obtenção. Além disso, uma vez que a área de estudo supera 100 km², a margem de erro é razoável, já que o pixel possui 600 m².

A outra opção disponível seria a utilização de produtos do SPOT (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*), que possui melhor resolução espacial, mas ela variou ao longo do tempo (conforme os satélites foram sendo substituídos), seu período de retorno é de 28 dias e o custo das imagens é alto. Por essas razões tais produtos não foram utilizados.

4.2. Desenvolvimento da pesquisa.

O trabalho foi desenvolvido na presunção de que as variações de área do canal fluvial dependem do nível das águas e do balanço entre a deposição e a erosão marginal. A influência do nível das águas pode ser minimizada por meio da escolha de imagens obtidas em períodos

de vazante, uma vez que o canal encontra-se encaixado nos sedimentos da planície e pequenas diferenças do nível fluviométrico não produzem modificações significativas na área do canal.

A área ocupada pelas águas do rio Paraná foi cartografada para a obtenção do cálculo de área na data escolhida. Da mesma forma, as diferentes superfícies, uma vez georreferenciadas, podem ser comparadas entre si e as posições das margens em diferentes datas indicam os locais em que houve erosão e aqueles em que ocorreu sedimentação. Todo o levantamento de dados se baseou em imagens TM /LANDSAT 5, disponíveis no “site” do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>).

As imagens foram escolhidas de acordo com os seguintes critérios: imagens sem cobertura de nuvens, obtidas em período de vazante e em anos em que ocorreram cheias significativas. Uma vez que as cheias do rio Paraná têm início em dezembro e persiste até março (SOUZA FILHO, 2009), o período entre maio e outubro normalmente é caracterizado por águas baixas, mas por maior segurança foi dada preferência a imagens obtidas entre junho e setembro, embora tenham sido utilizadas passagens de maio e de novembro quando não houve opção devido à cobertura de nuvens.

Os anos com cheias significativas foram obtidos a partir de SOUZA FILHO (2009), e além deles foram incluídos os anos de 1998 e 1999, pois a formação do reservatório teve início no final de 1998. As imagens utilizadas são as da órbita 223, ponto 076, obtidas nas seguintes datas: 14 de julho de 1985; 25 de maio de 1990; 13 de junho de 1991; 23 de maio de 1995; 16 de agosto de 1997; 03 de agosto de 1998; 02 de maio de 1999; 16 de junho de 2004; 03 de junho de 2005; 22 de junho de 2006; 09 de junho de 2007; 08 de novembro de 2010.

Para a obtenção dos níveis fluviométricos foram utilizados os dados da Estação de Porto São José - Jusante (código 64575003), localizada dentro da área de estudo, obtidos junto à ANA (Agência Nacional das Águas) e junto à ITAIPÚ BINACIONAL. As mesmas informações foram utilizadas para a avaliação do comportamento fluviométrico do rio no período entre as datas das imagens utilizadas.

4.2.1. Tratamento das imagens.

As imagens de satélites e de outros produtos do sensoriamento remoto são obtidas como dados brutos que necessitam ser analisados e interpretados para que se transformem em informações. Para isso elas devem passar por um tratamento.

O tratamento das imagens foi realizado por meio do *software SPRING*[®] 4.3, capaz de “administrar” dados vetoriais e matriciais, além de realizar uma integração de dados de Sensoriamento Remoto em um SIG. O tratamento de imagens digitais nada mais é do que a análise e a manipulação dos dados matriciais através de técnicas computacionais, com a finalidade de identificar e extrair informações da imagem sobre fenômenos ou objetos do mundo real, e transformar a imagem de tal modo que as informações radiométricas contidas nela sejam mais facilmente discrimináveis pelo analista.

Primeiramente as imagens foram georreferenciadas, no *software SPRING*[®], utilizando-se a projeção UTM-SAD69 de origem longitudinal oeste 51 0 0.00 e zona 22 sul. Para o georreferenciamento foram marcados de 20 a 30 pontos em cada imagem.

Depois de georreferenciadas elas foram submetidas ao processo de segmentação. A segmentação consiste num processo de divisão da imagem por regiões para que apenas aquelas de interesse sejam utilizadas (INPE, 2004). Estas regiões são entendidas como um conjunto de pixels contíguos que apresentam similaridade.

A segmentação foi realizada pela técnica de crescimento de regiões, onde ocorre a divisão em regiões homogêneas, sendo cada uma delas identificada por um rótulo, seguindo um critério de similaridade. De acordo com MOREIRA (2003) a similaridade se relaciona com o valor mínimo abaixo do qual duas classes são consideradas similares e agrupadas em uma única região, enquanto o limiar da área define o número mínimo de pixels necessários para que uma área seja individualizada. Neste trabalho utilizou-se a similaridade oito e a área (pixels) dez, conforme recomendado pelo INPE (2004).

Após esta etapa foi realizada a classificação. A classificação utiliza a informação espectral e a espacial envolvendo a relação entre os *pixels* vizinhos, que permite separar somente os componentes utilizados na pesquisa. Nesse caso separaram-se os corpos d’água dos demais elementos superficiais da crosta, já que estes apresentam diferentes valores de reflectância dos *pixels*.

Durante a classificação esses componentes foram devidamente diferenciados por meio da classificação não-supervisionada, na qual o usuário não define o número de classes a serem identificadas durante a classificação. Dessa forma, foi utilizado o algoritmo *isoseg* que é um classificador, que quando aplicado sobre um conjunto de regiões resultantes da segmentação, permite o agrupamento e a separação delas em classes. Apenas foi classificada a banda 5, por esta permitir a melhor visibilidade da água, que é o segmento desse estudo.

Após classificar a área do canal a ser analisada, foi criado um plano de informação para cada imagem na categoria temática, para o cálculo da área ocupada pelo canal. Para isso,

realizou-se o recorte da área de interesse, ou seja, criada então a categoria temática “água”, a mesma foi selecionada e recortada o segmento de interesse sobre o canal. Em seguida utilizou-se a ferramenta *Temática* do *SPRING*[®], valendo-se da função “Medidas de classes” para calcular a área de polígonos representados por mapas temáticos ou mapas cadastrais por objetos (INPE, 2004).

Os valores de área de canal foram utilizados para a obtenção da diferença de área entre duas passagens sucessivas. Os resultados das subtrações sucessivas foram divididos pelo número de meses existentes entre as passagens, permitindo o cálculo da taxa de variação de área mensal, que quando multiplicado por 12 definiu a taxa de variação anual.

As variações positivas indicam aumento da área de canal e domínio dos processos erosivos, enquanto que os valores negativos indicam o domínio de processos deposicionais. O módulo da variação de área indica a diferença de intensidade dos processos em cada intervalo utilizado.

A taxa de variação de área é um indicador mais refinado da preponderância de um processo sobre o outro. Quanto maior for o valor da taxa maior o domínio dos processos erosivos e quanto menor, maior a preponderância dos processos deposicionais. O módulo da taxa é um indicador da intensidade de modificação do canal, seja sob o domínio de um processo ou de outro.

4.2.2. Tratamento dos dados de nível fluviométrico.

Os níveis ou cotas fluviométricas são os valores obtidos por meio de régua linimétrica, ou por meio de linígrafos para permitir a avaliação da descarga fluvial em uma determinada seção transversal de um rio. A vazão é obtida por medidas de velocidade de fluxo e de profundidade (por meio de diversas técnicas) ao longo da seção transversal. Após a obtenção de seus valores em diferentes situações de descarga, é estabelecida uma curva de regressão entre os dados de cota fluviométrica e os dados de descarga obtidos em campo. Tal curva é chamada de “curva chave” e é utilizada para o cálculo da descarga fluvial, uma vez que não é possível fazer os levantamentos de campo todos os dias em todas as estações fluviométricas existentes.

A estação de Porto São José possui um conjunto de réguas e um linígrafo instalado em um poço fluviométrico. As medidas são realizadas duas vezes por dia e os dados são

utilizados para a obtenção da cota fluviométrica média diária e para a avaliação da descarga média diária.

Os dados oriundos da ANA são disponibilizados no sistema HIDROWEB (<http://hidroweb.ana.gov.br/>) sob forma de arquivo ACCESS (.mdb) ou TEXTO (.txt). Os dados oriundos da ITAIPÚ BINACIONAL são disponibilizados sob forma de arquivos “.txt”, mas apenas os dados do ano corrente estão disponíveis.

Os dados de nível fluviométrico foram exportados para o “software” Excell e calculada a média e máxima de cotas e vazões de cada período de tempo entre as passagens, para a confecção dos gráficos com os valores selecionados.

4.2.3. Tratamento estatístico dos dados obtidos.

Os dados das variáveis obtidas foram submetidos à análise de regressão por meio do uso do “software” “STATISTICA”, para permitir a avaliação de seu comportamento temporal e de seus prováveis controles. Em um primeiro momento foi realizado a análise da variação temporal de todas as variáveis obtidas para o período entre 1985 e 2010 para verificar a existência de uma tendência persistente ao longo do tempo e para verificar a influência da descarga fluvial sobre as variáveis relacionadas à área do canal.

No que diz respeito à descarga, foram utilizados os valores médios e máximos de cada período entre duas passagens do satélite. Além disso, foram utilizados os valores de permanência em descargas que mantinham nível fluviométrico superiores a 3,5 metros, 4,6 metros e 6,0 metros, que são aqueles com significado geomorfológico, conforme já mencionado. O valor de 7,0 metros não foi utilizado devido à baixa ocorrência desses eventos. Os valores de permanência foram obtidos a partir de SOUZA FILHO (2009 e 2011).

O segundo passo foi a realização da análise de regressão os dados do período anterior a 1988 (inclusive) e dos dados posteriores a 1999 (inclusive) para permitir avaliar o comportamento das variáveis e de suas relações com a descarga fluvial antes do controle da barragem e depois de sua instalação.

Por fim, foram realizadas as análises estatísticas utilizando-se os dados normalizados. A normalização dos dados foi efetuada por meio da divisão dos valores obtidos para cada variável pela média de cada série. Dessa maneira os dados puderam ser comparados por seu valor relativo em relação à média da variável, assegurando a aplicabilidade da análise de regressão a conjuntos de informação com distribuição normal.

As análises de regressão foram realizadas utilizando o modelo linear e o r^2 foi utilizado para avaliar a influência da variável independente (em x) sobre a dependente (em y nos gráficos). Os valores de r^2 superiores a 0,7 indicam forte influência e com alta confiabilidade; Os valores entre 0,5 e 0,7 indicam que há influência, mas há outros fatores que também condicionam a variável dependente; os valores entre 0,3 e 0,5 indicam uma possível influência, mas com baixa confiabilidade; os valores entre 0,1 e 0,3 indicam baixa influência e baixa confiabilidade; e por fim os valores inferiores a 0,1 indicam que não há relação de dependência entre as variáveis.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. A variação de área do canal a partir de 1985

Os dados bibliográficos demonstram que há períodos de domínio de processos erosivos e períodos de domínio de processos de sedimentação. Contudo, se os dados obtidos por fotografia aérea e imagem das ilhas Mutum e Porto Rico e das ilhas Cariocas forem comparados, verifica-se que não há sincronia entre os processos dominantes em cada conjunto insular. O mesmo pode ser dito com relação à área entre a barragem de Porto Primavera e as ilhas Floresta (Tabela 2). Da mesma maneira, a intensidade dos processos erosivos é distinta em termos espaciais, uma vez que os dados de BORGES (2004) demonstram que a taxa erosiva média dos pontos de monitoramento situados na ilha óleo Crú foi de 3,3 cm/mês, enquanto a média dos pontos situados na área de Porto Rico foi de 19,3 cm/mês, considerando-se o mesmo período de tempo (09/2002 a 12/2003).

Tabela 2: Processos dominantes no rio Paraná a partir de 1953. (SOUZA FILHO, 2009)

	1953	1963	1970	1976	2000	2002	2004	2006	2007
Ilhas Mutum e Porto Rico	Sedimentação			Erosão			sedimentação		Sem informação
Ilhas Cariocas	Sedimentação		Erosão					sedimentação	Sem informação
Porto Primavera – Ilhas Floresta	sem informação			erosão (baixa)		Sedimentação		Erosão (forte)	

Tais dados demonstram que os processos erosivos e os deposicionais ocorrem simultaneamente em diferentes locais e que o estudo localizado não permite fazer inferência sobre o processo dominante em segmentos extensos do canal fluvial.

O processamento das imagens selecionadas permitiu a elaboração dos mapas da área ocupada pelo canal nas diferentes datas e o cálculo de suas respectivas áreas. A Figura 3 mostra a distribuição das águas do rio Paraná em 14 de julho de 1985, quando o canal possuía 112,59 km² e o nível fluviométrico era de 3,20 m.

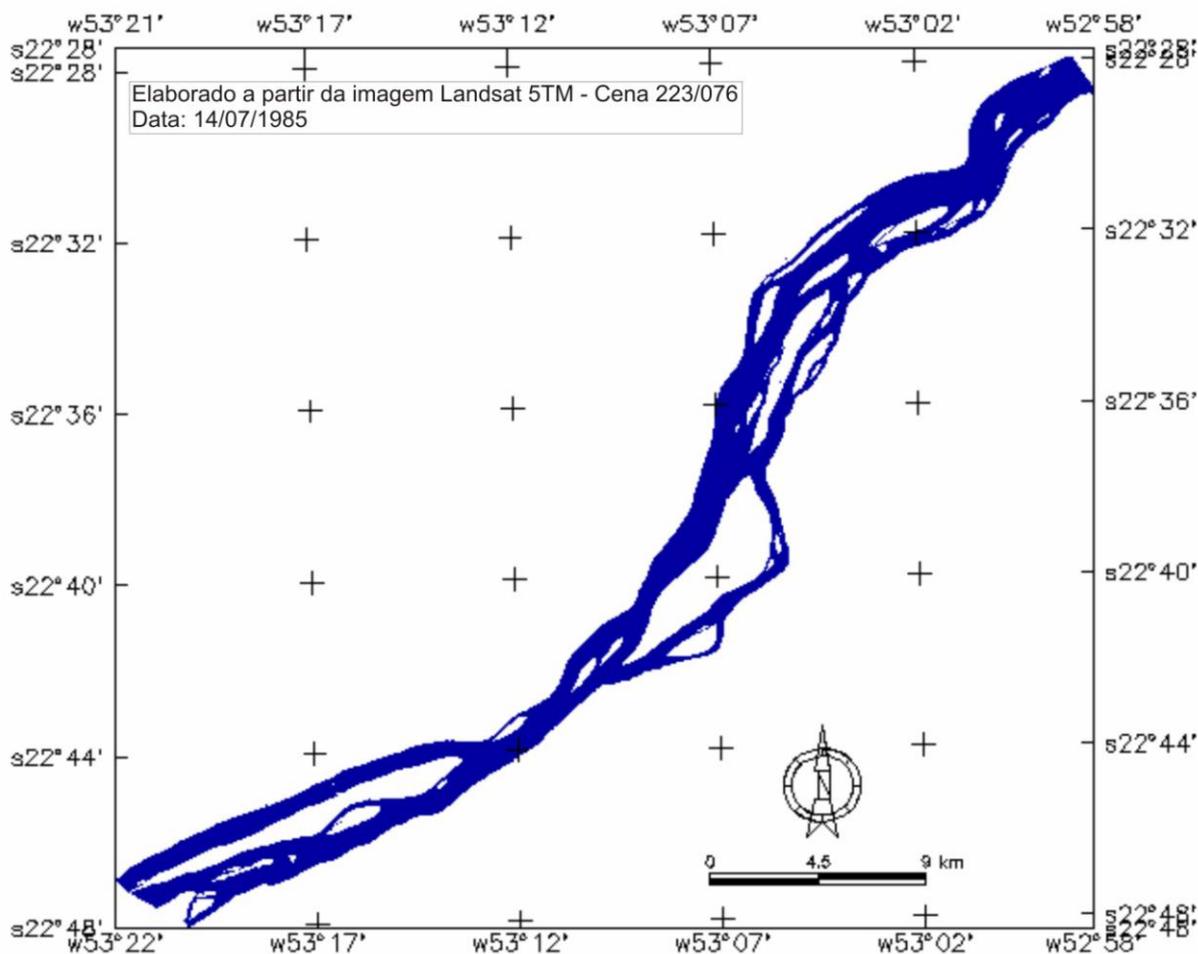


Figura 3: Canal fluvial do Rio Paraná em 1985 – cena 223/076 de 14-07-1985, cota fluviométrica de 3,20 m. Fonte: Puerta, L. L. (2010).

Em 25 de maio de 1990 a área do canal era de 109,33 km² (figura 4) e o nível fluviométrico era de 2,95 m. Portanto, houve uma redução de 3,26 km² em aproximadamente 5 anos, indicando que o segmento estudado teve domínio de processos deposicionais e a área do canal diminuiu cerca de 0,67 km² por ano.

No período entre as duas passagens a descarga média foi de 8.687 m³/s, correspondente a uma cota média de 3,24 metros. Os níveis médios anuais oscilaram entre 2,91 m e 3,65 m, enquanto os níveis máximos anuais oscilaram entre 3,65 m (9.568 m³/s) e 7,91 m (27.000 m³/s), Figura 5.

A análise do tempo de permanência da descarga em diferentes níveis fluviométricos no período em questão (Tabela 3) mostra que o tempo em que as cheias mantiveram as águas acima de 6 m foi de 65 dias (os 11 dias de 1985 ocorreram antes da passagem do satélite) e apenas em 1990 as águas cobriu completamente a planície. Provavelmente esta situação contribuiu fortemente para o domínio dos processos deposicionais.

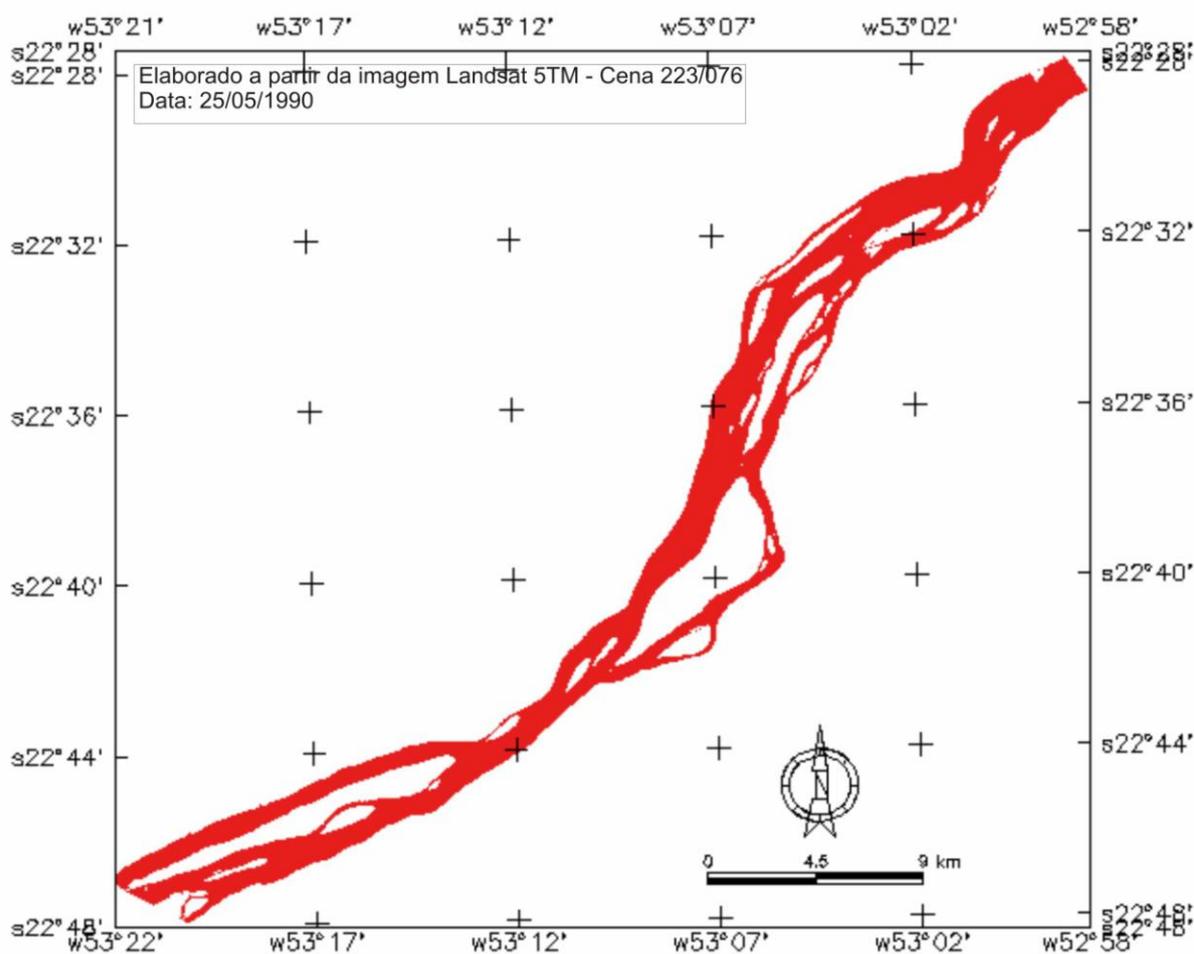


Figura 4: Canal fluvial do Rio Paraná em 1990 - cena 223/076 de 25-05-1990, cota fluviométrica de 2,95 m. Fonte: Puerta, L. L. (2010).

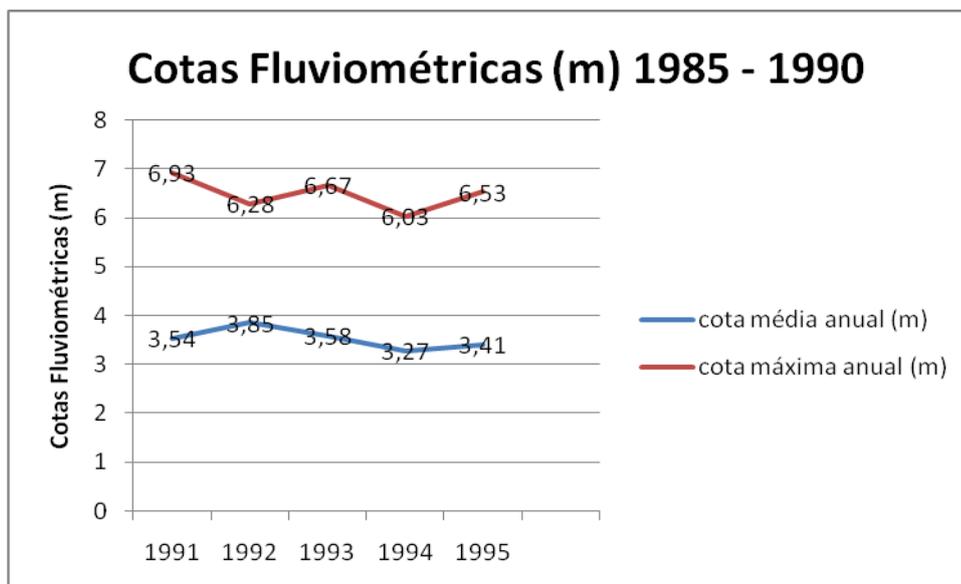


Figura 5: Hidrograma de Cotas Fluviométricas máximas e médias anuais. Período: 1985 - 1990. Fonte: Puerta L. L. (2011).

Tabela 3: Tempo de permanência da descarga fluvial em diferentes níveis fluviométricos no período entre 1985 e 1990 (obtido de SOUZA FILHO, 2009).

Ano	maior 3,5 m	maior 4,6 m	maior 6,0 m	maior 7,0 m
1985	115	55	11	0
1986	7	0	0	0
1987	49	1	0	0
1988	124	30	0	0
1989	102	41	41	0
1990	55	33	24	15
	452	160	76	15

O tratamento da cena de 13 de junho de 1991 (Figura 6) mostrou que a área ocupada pelo canal era de 106,44 km², no nível fluviométrico de 2,83 m, ou seja, ocorreu uma redução de 2,89 km² da área do canal.

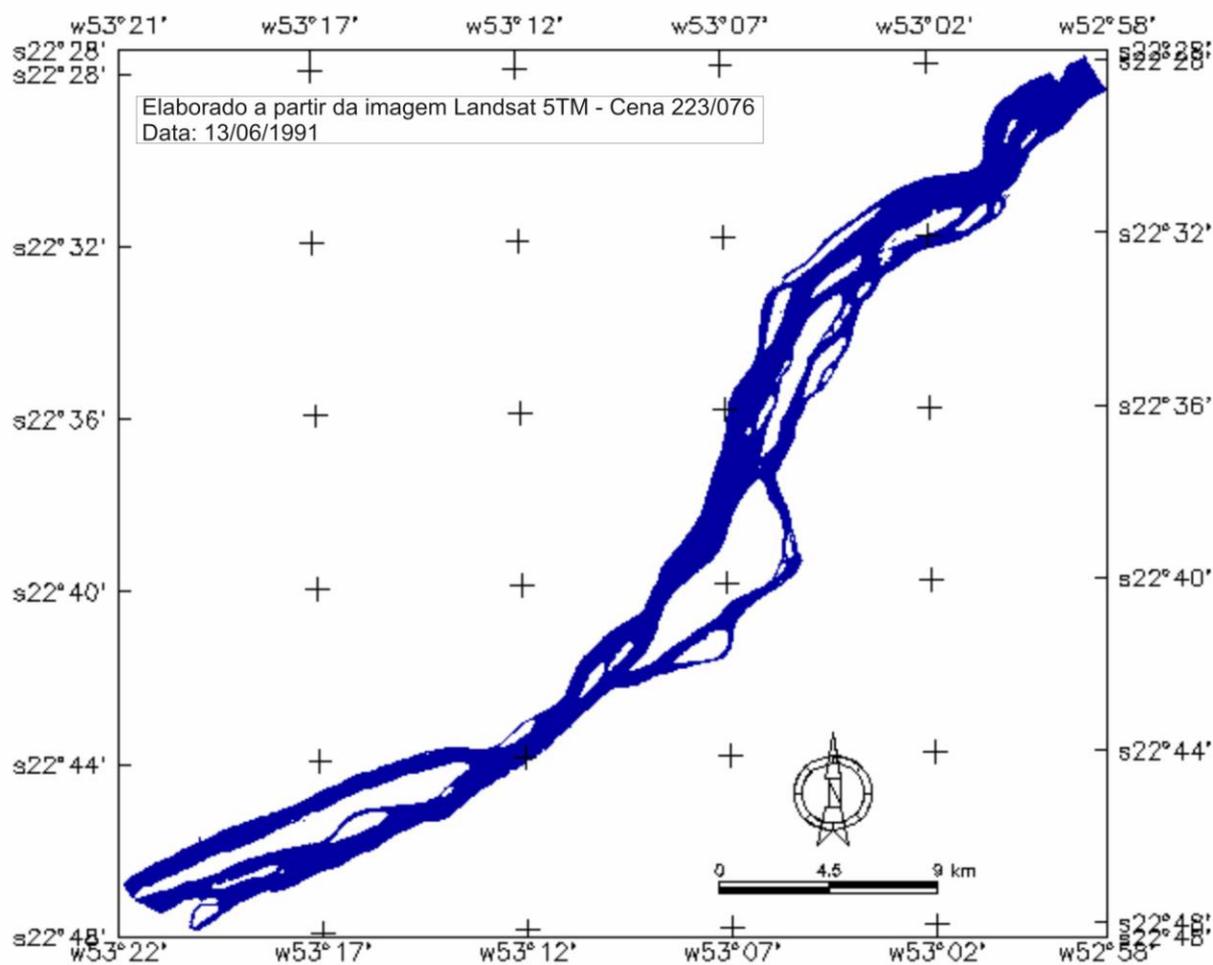


Figura 6: Canal fluvial do Rio Paraná em 1991 – cena 223/076 de 13-06-1991, com nível fluviométrico de 2,83 m. Fonte: Puerta, L. L. (2010).

No período entre a obtenção das duas imagens a descarga média foi de $9.374 \text{ m}^3/\text{s}$ e a descarga máxima foi de $20.840 \text{ m}^3/\text{s}$ (nível de 6,93 m). Neste intervalo de tempo, a permanência da descarga em níveis superiores a 6 m foi de 18 dias.

A dominância de processos deposicionais pode ter sido causada pelo reposicionamento das barras fluviais na cheia do início de 1990 ($27.000 \text{ m}^3/\text{s}$) e continuado durante a cheia de 1991. O reposicionamento destas formas fluviais pode ter propiciado o aparecimento de áreas deposicionais (FERNANDEZ & SOUZA FILHO, 1995) e a ocupação das barras pela vegetação somente foi registrada em 1991.

Em 23 de maio de 1995 a área do canal (Figura 7) era de $106,14 \text{ km}^2$ a um nível fluviométrico de 3,09 m, ou seja, a redução de área foi de apenas $0,3 \text{ km}^2$ quando comparada com a situação de 1991 e de $3,19 \text{ km}^2$ quando comparada à área do canal em 1990.

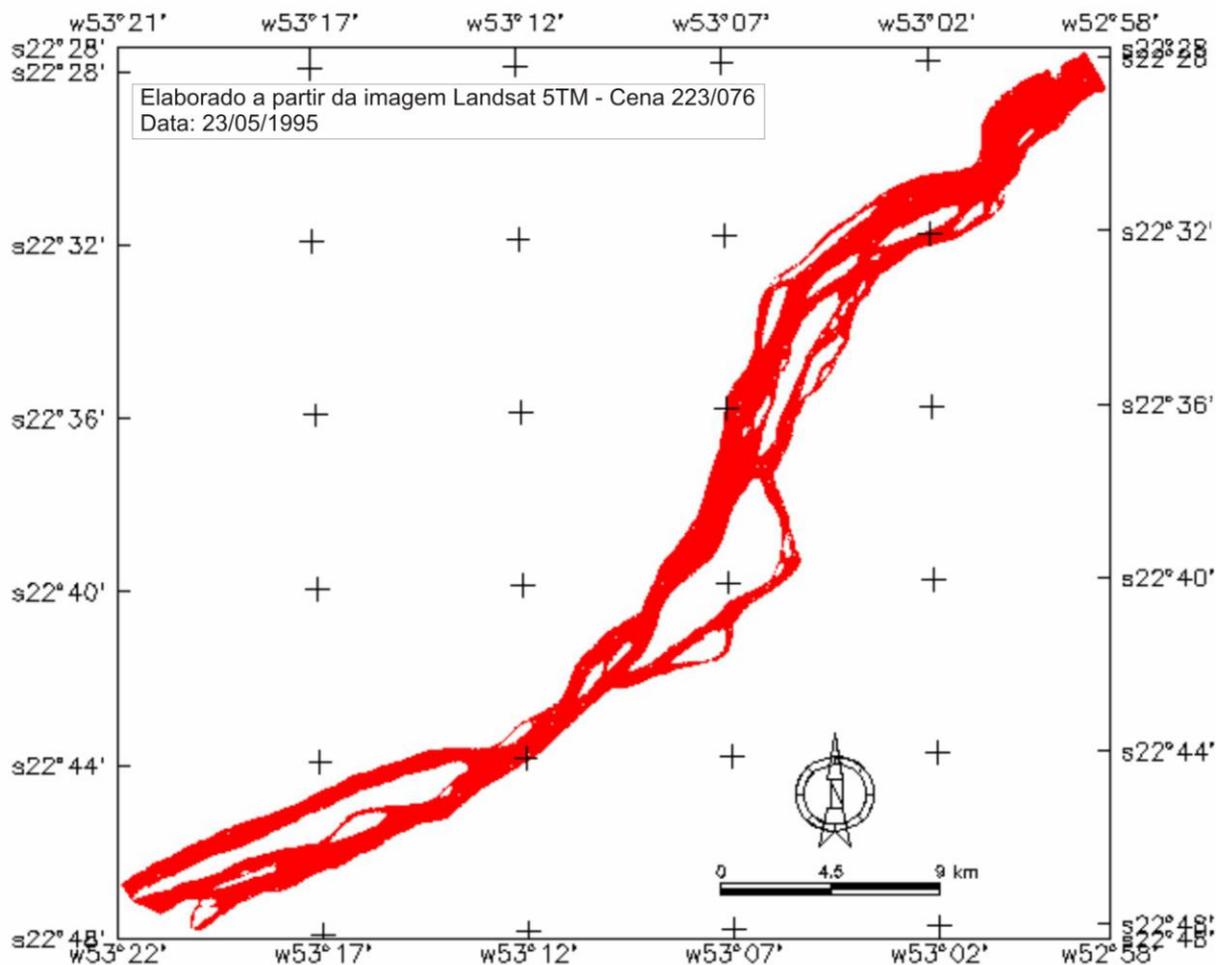


Figura 7: Canal fluvial do Rio Paraná em 1995 – cena 223/076 de 23-05-1995, nível fluviométrico de 3,09 m. Fonte: Puerta, L. L. (2010).

Tais dados demonstram que após um ano de claro domínio de deposição, que permitiu a redução do canal a uma taxa de $0,23 \text{ km}^2$ por mês. Os quatro anos seguintes passaram a ter uma situação de equilíbrio entre os processos deposicionais e os erosivos, com ligeira dominância dos primeiros, já que o canal teve sua área reduzida a uma taxa de $0,076 \text{ km}^2$ por ano.

No período entre as duas passagens a descarga média foi de $9.505 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondente a uma cota média de 3,53 m. Os níveis médios anuais variaram entre 3,27 m e 3,85 m, enquanto os níveis máximos anuais ficaram compreendidos entre 6,03 m ($17.320 \text{ m}^3/\text{s}$) e 7,93 m ($27.250 \text{ m}^3/\text{s}$), conforme Figura 8.

O tempo de permanência das descargas com nível superior a 6 m foi de 36 dias (os 18 dias de 1991 são do início do ano) e em nenhuma ocasião os níveis ultrapassaram 7 m (Tabela 4: 1991 a 1995).

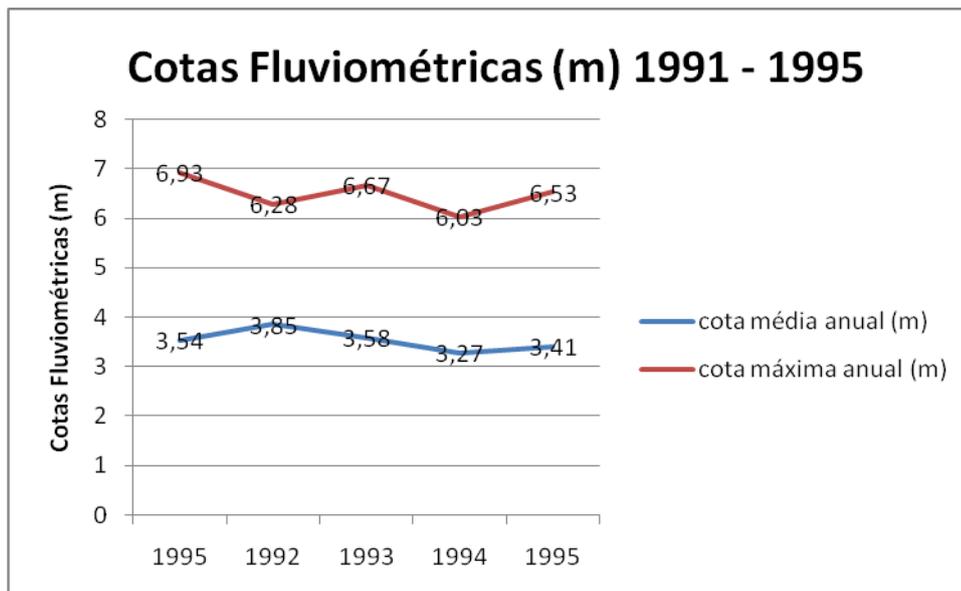


Figura 8: Hidrograma de Cotas Fluviométricas máximas e médias anuais. Período: 1991 - 1995. Fonte: Puerta L. L. (2011).

Tabela 4: Tempo de permanência da descarga fluvial em diferentes níveis fluviométricos no período entre 1991 e 1995 (obtido de SOUZA FILHO, 2009).

Ano	maior 3,5	maior 4,6	maior 6,0	maior 7,0
1991	114	64	18	0
1992	196	99	6	0
1993	113	40	16	0
1994	86	25	0	0
1995	111	34	14	0
total	620	262	54	0

Em 16 de agosto de 1997 (Figura 9) a área do canal era de 117,97 km², ao nível fluviométrico de 2,98 m. Neste período, o domínio de processos erosivos aumentou a área do canal em 11,83 km², a uma taxa de 5,3 km² por ano.

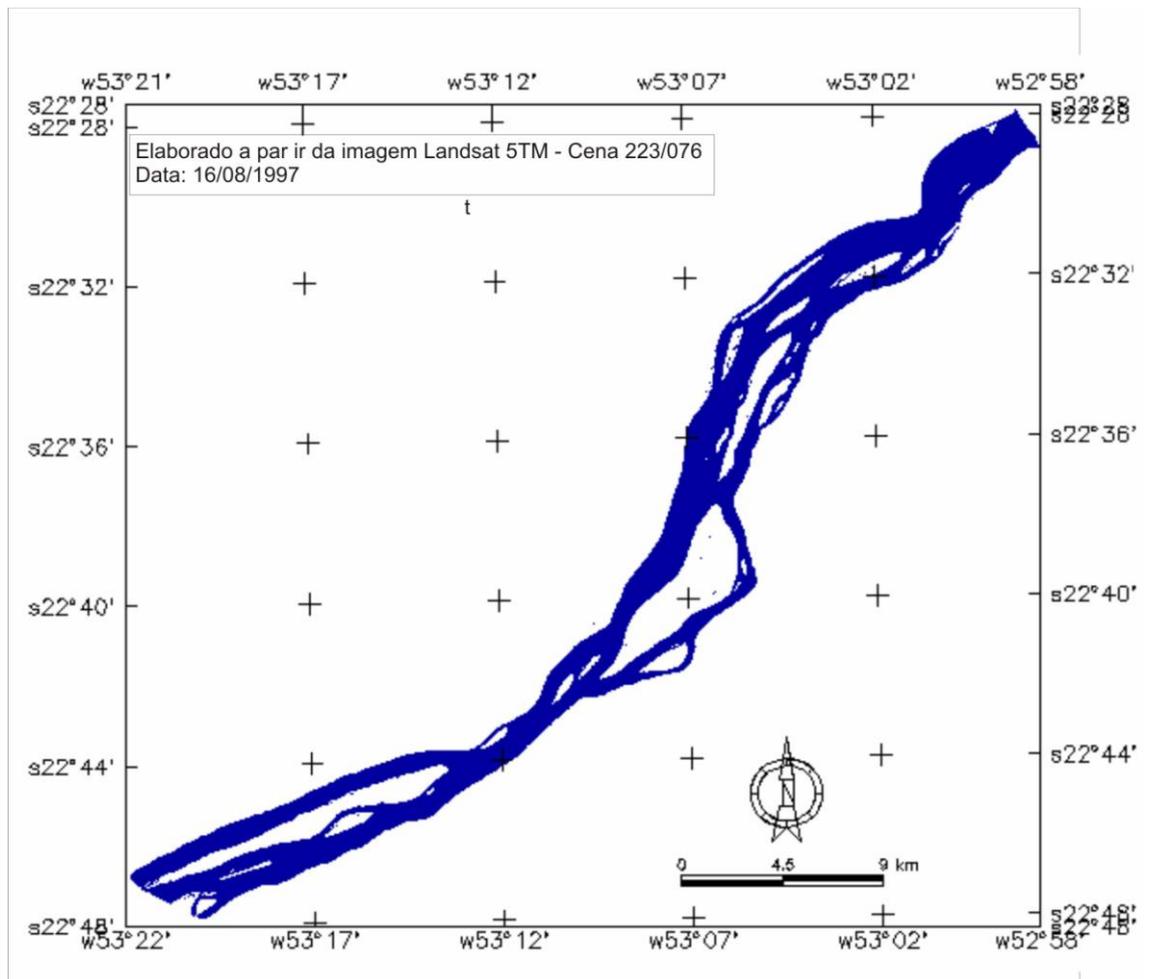


Figura 9: Canal fluvial do Rio Paraná em 1997 – cena 223/076 de 16-08-1997, cota fluviométrica de 2,98 m. Fonte: Puerta, L. L. (2010).

A descarga média registrada entre a data das duas passagens do LANDSAT 5 foi de $8.827 \text{ m}^3/\text{s}$ (3,30 m) e a descarga máxima registrada foi de $23.620 \text{ m}^3/\text{s}$ (7,42 metros). As cotas médias e máximas anuais encontram-se na Figura 10 e a permanência em níveis fluviométricos superiores a 6 metros foi de 26 dias, descontada a permanência de 1995 (Tabela 5).

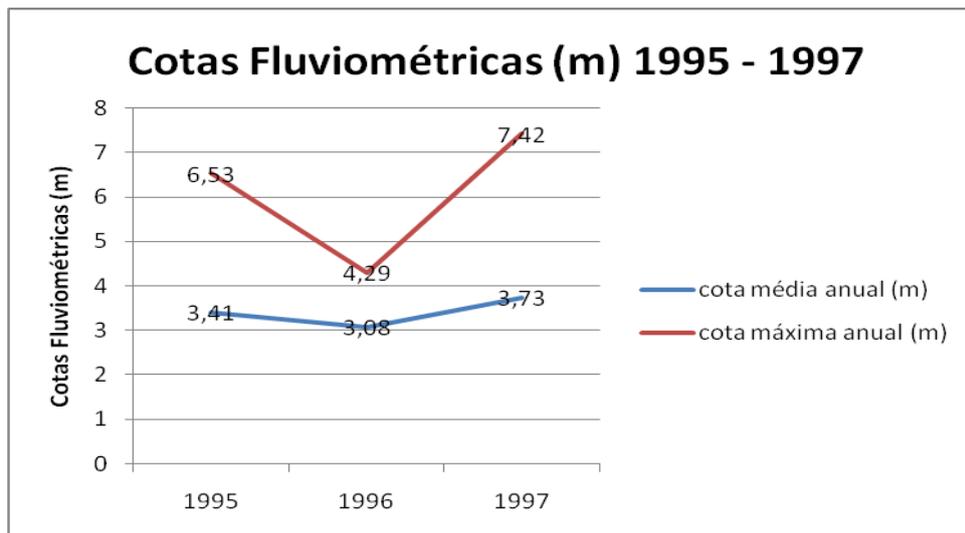


Figura 10: Hidrograma de Cotas Fluviométricas máximas e médias anuais. Período: 1995 - 1997. Fonte: Puerta L. L. (2011).

Tabela 5: Tempo de permanência da descarga fluvial em diferentes níveis fluviométricos no período entre 1995 e 1997 (obtido de SOUZA FILHO, 2009).

Ano	maior 3,5	maior 4,6	maior 6,0	maior 7,0
1995	111	34	14	0
1996	68	2	2	0
1997	157	45	24	17
total	336	81	40	17

A área do canal em 03 de agosto de 1998 (Figura 11) era de 109,38 km² ao nível fluviométrico de 3,35 m. Neste intervalo de tempo os processos deposicionais predominaram e a área do canal diminuiu em 8,59 km², a uma taxa mensal de 0,747 km²/mês.

A descarga média no período foi de 9.583 m³/s (3,61 metros), tendo atingido o máximo de 16.310 m³/s (5,77 m). Dessa forma, a descarga não atingiu o nível de 6 m e a permanência em descargas com cota fluviométrica superior a 4,6 m foi de 42 dias.

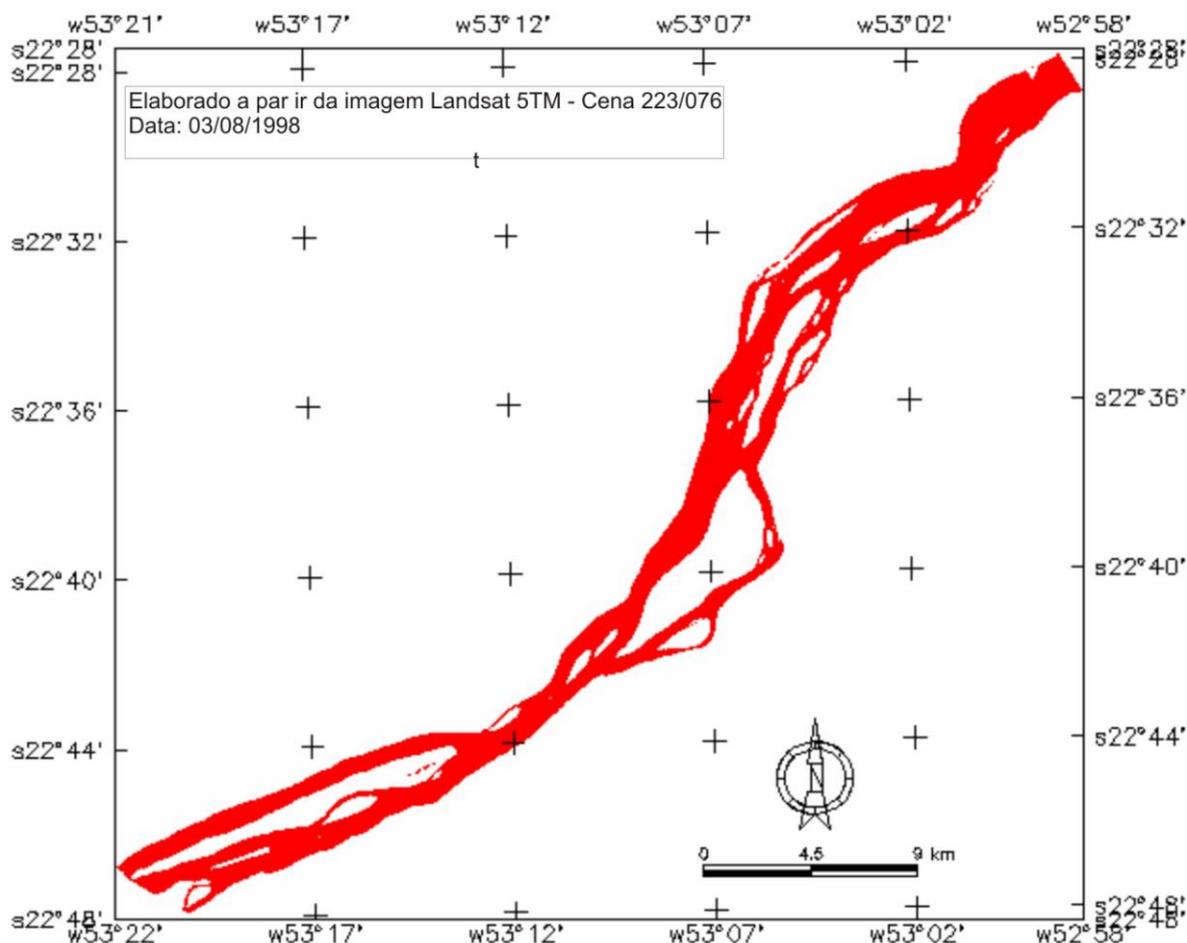


Figura 11: Canal fluvial do Rio Paraná em 1998 – cena 223/076 de 03-08-1998, cota fluviométrica de 3,35 m. Fonte: Puerta, L. L. (2010).

A área de canal calculada a partir da imagem de 02 de maio de 1999 (Figura 12) foi de 117,27 km², ao nível fluviométrico de 3,16 m, indicando que o canal ampliou sua área em 7,89 km², a uma taxa de 0,877 km² por mês. Esta situação indica que os processos erosivos tiveram uma forte dominância no período.

A descarga média do período foi de 9.722 m³/s (3,63 m), enquanto a máxima foi de 17.133 m³/s (5,98 m), não tendo ocorrido descargas superiores a 6 m. A permanência da descarga em cotas superiores a 4,6 m foi de 42 dias, como ocorreu no período anterior. Apesar da retenção de água para a primeira fase do fechamento da barragem, o período de cheia foi similar ao de 1997-1998.

A cota fluviométrica média de 1999 (3,34 metros) foi menor que a de 1998 (3,54 metros), mas maior que a de 1996 (3,08 metros) enquanto a cota máxima foi maior que a de 1996 e a de 1998 (Figura 13).

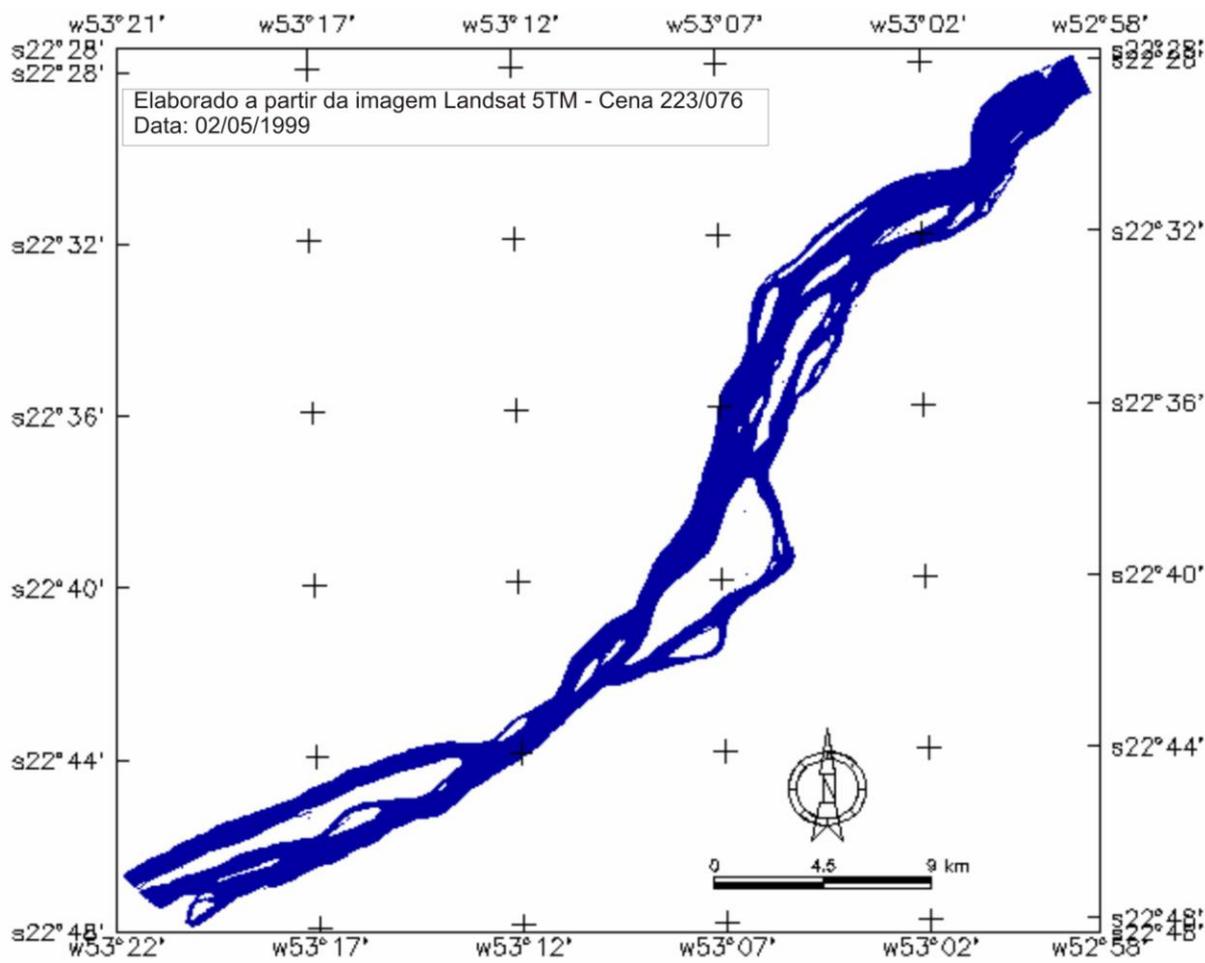


Figura 12: Canal fluvial do Rio Paraná em 1999 – cena 223/076 de 02-05-1999, nível fluviométrico a 3,16 m. Fonte: Puerta, L. L. (2010).

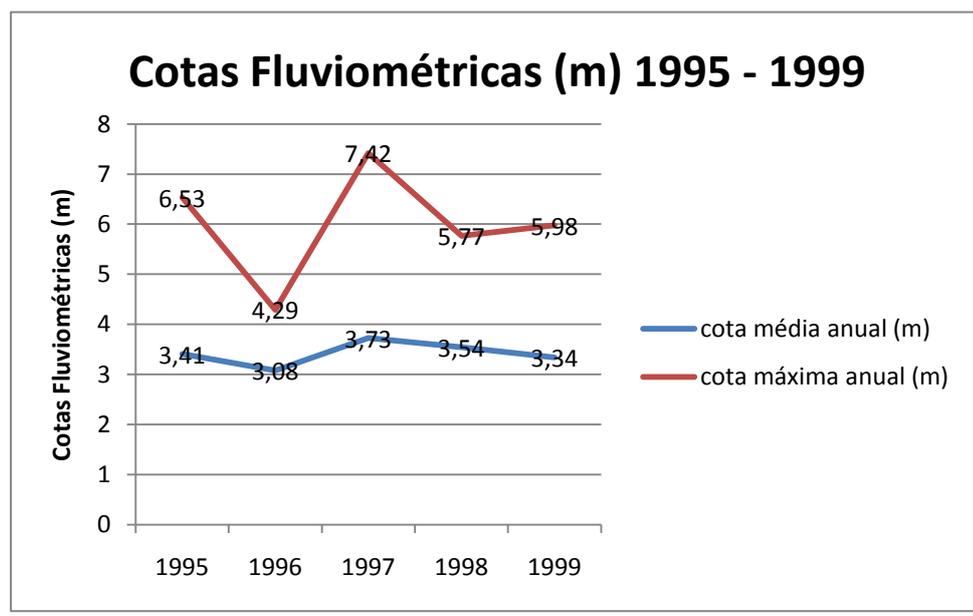


Figura 13: Hidrograma de Cotas Fluviométricas máximas e médias anuais. Período: 1995 - 1999. Fonte: Puerta L. L. (2011).

A comparação do tempo de permanência das descargas em diferentes níveis fluviométricos demonstra que a cheia de 1989 teve baixa magnitude e embora as águas não tenham alcançado os intervalos mais elevados, a descarga permaneceu por mais tempo em níveis superiores a 3,5 m que o ano de 1996, quando ocorreu uma estiagem (Tabela 6).

Tabela 6: Tempo de permanência da descarga fluvial em diferentes níveis fluviométricos no período entre 1995 e 1999 (obtido de SOUZA FILHO, 2009).

Ano	maior 3,5	maior 4,6	maior 6,0	maior 7,0
1995	111	34	14	0
1996	68	2	2	0
1997	157	45	24	17
1998	168	42	0	0
1999	159	42	0	0
total	663	165	40	17

A área do canal em 16 de junho de 2004 (Figura 14) era de 106,6 km², mesmo com as águas a 3,47 m na régua de Porto São José. Isso indica que os processos deposicionais voltaram a predominar e permitiram que o canal fosse reduzido em 10,67 km², a uma taxa de 2,08 km²/ano.

No período entre a passagem de maio de 1999 e a de junho de 2004 a descarga média foi de 7.394 m³/s, equivalente à cota fluviométrica média de 2,72 m. Os níveis médios anuais variaram entre 2,69 m e 3,34 m e os níveis máximos anuais variaram entre 4,34 m (11.535 m³/s) e 5,98 m (17.110 m³/s), conforme Figura 15.

O período em discussão foi caracterizado pela dominância de baixos valores de descarga causados pelas duas etapas de enchimento do reservatório de Porto Primavera, a crise de energia e possivelmente pela recuperação dos reservatórios situados à montante, uma vez que mesmo após o período da crise de energia as cheias não foram significativas. Uma das conseqüências desta situação foi a ausência de descargas com níveis superiores a 6 m e baixo tempo de residência em descargas superiores a 4,6 m (Tabela 7)

A área do canal em 03 de junho de 2005 (Figura 16) era de 103,66 km², ao nível fluviométrico de 2,96 m. No intervalo de um ano ocorreu uma redução de área de 2,94 km², a uma taxa de 0,26 km² por mês. A descarga média entre as datas das duas passagens foi de 8278 m³/s (nível médio de 3,05 m), o maior valor atingido foi de 20.030 m³/s (7,76 m) e a permanência em vazões com nível superior a 6 m foi de 15 dias.

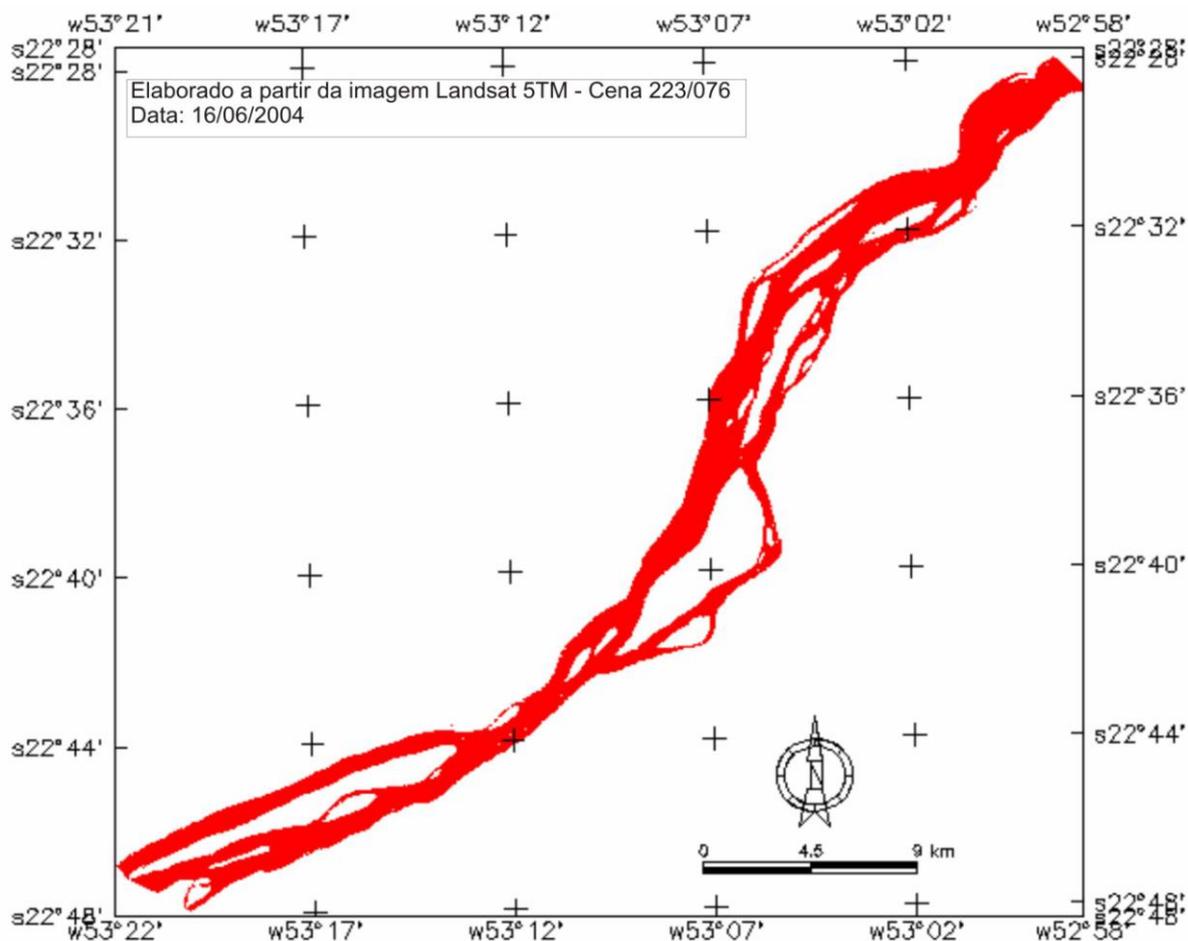


Figura 14: Canal fluvial do Rio Paraná em 2004 – cena 223/076 de 16-06-2004, nível fluviométrico a 3,47 m. Fonte: Puerta, L. L. (2010).

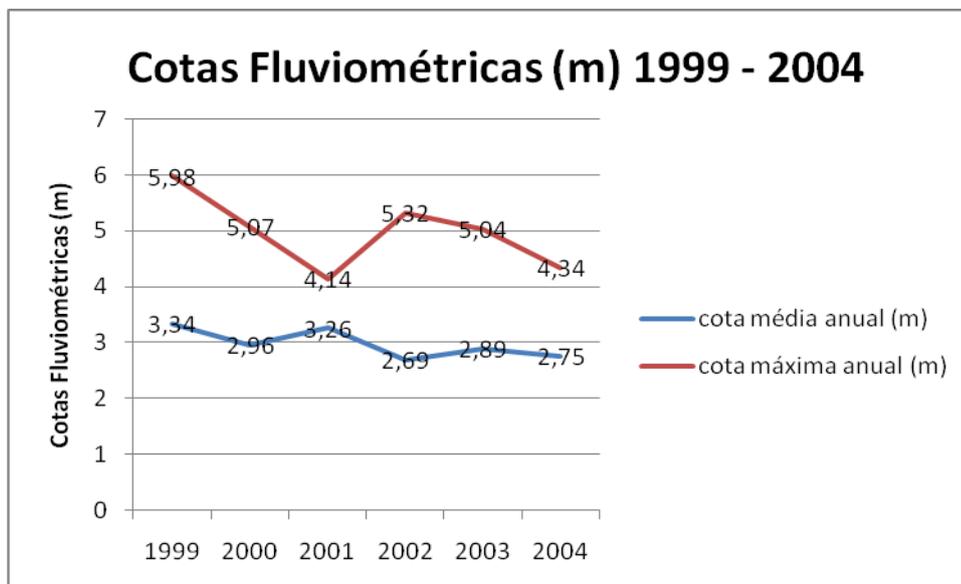


Figura 15: Hidrograma de Cotas Fluviométricas máximas e médias anuais. Período: 1999 - 2004. Fonte: Puerta L. L. (2011).

Tabela 7: Tempo de permanência da descarga fluvial em diferentes níveis fluviométricos no período entre 1999 e 2004 (obtido de SOUZA FILHO, 2009).

Ano	maior 3,5	maior 4,6	maior 6,0	maior 7,0
1999	159	42	0	0
2000	26	3	0	0
2001	11	0	0	0
2002	51	11	0	0
2003	40	9	0	0
2004	24	0	0	0
Total	311	65	0	0

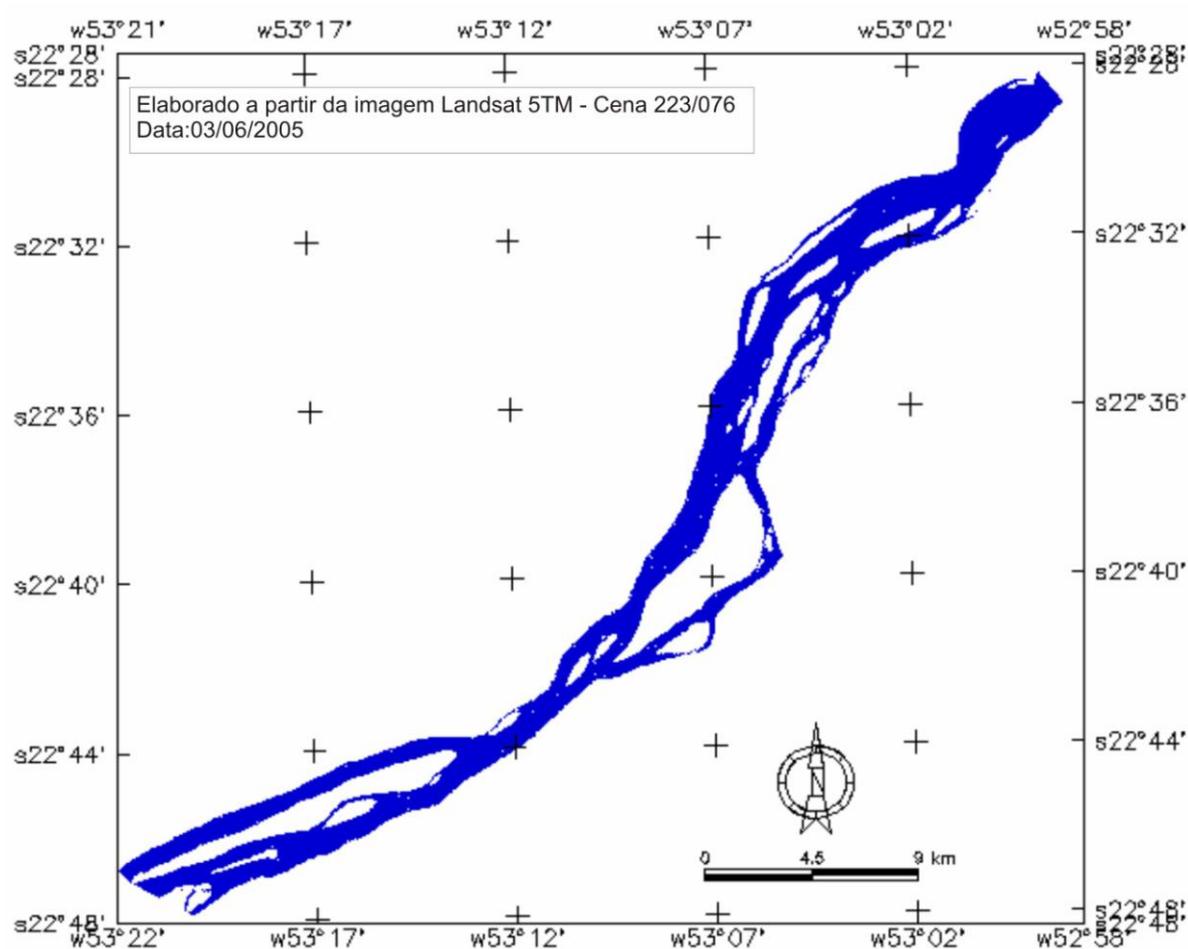


Figura 16: Canal fluvial do Rio Paraná em 2005 – cena 223/076 de 03-06-2005, nível fluviométrico a 2,96 m. Fonte: Puerta, L. L. (2010).

Em 22 de junho de 2006 (Figura 17), a área do canal era de 104,17 km², ao nível de 3,0 m na estação de Porto São José. No período a área de água aumentou em 0,51 km² a uma taxa de 0,041 km² por mês, indicando um pequeno domínio dos processos erosivos. A descarga média no período foi de 8.251 m³/s (3,07 m), com máximo de 14.288 m³/s (5,16 m) e a permanência em níveis fluviométricos superiores a 4,6 m foi de apenas 13 dias.

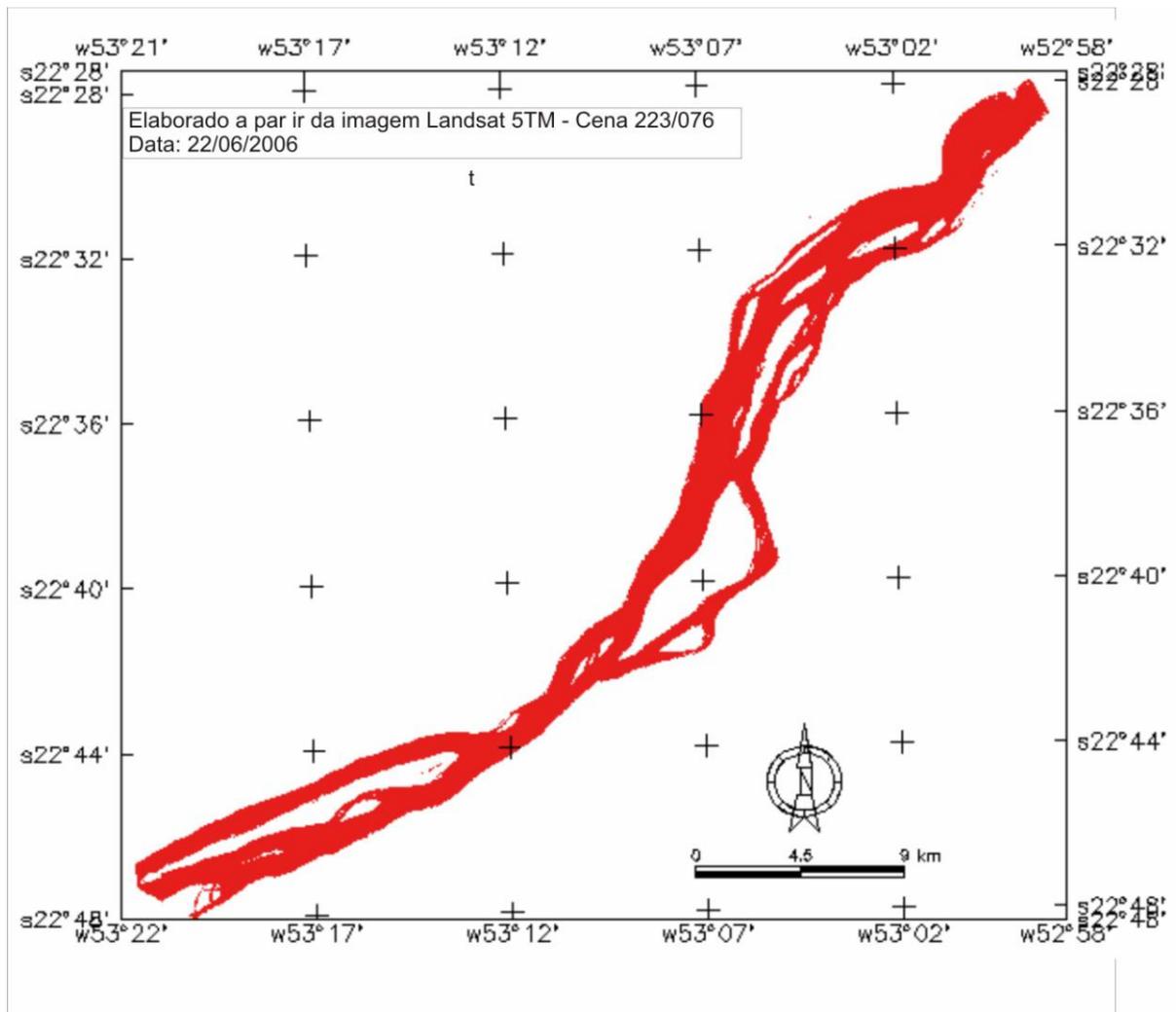


Figura 17: Canal fluvial do Rio Paraná em 2006 – cena 223/076 de 22-06-2006, nível fluviométrico a 3,10 m. Fonte: Puerta, L. L. (2010).

Em 09 de agosto de 2007 (Figura 18) a área do canal era de $100,86 \text{ km}^2$, ao nível fluviométrico de 2,76 m. A redução de área no período foi de $3,31 \text{ km}^2$ a uma taxa de $0,245 \text{ km}^2/\text{mês}$. A descarga média entre a data de obtenção das duas imagens foi de $9.194 \text{ m}^3/\text{s}$ (3,38 m), a descarga máxima foi de $18.800 \text{ m}^3/\text{s}$ (6,45 metros) e o tempo de residência em cotas superiores a 6 m foi de 43 dias.

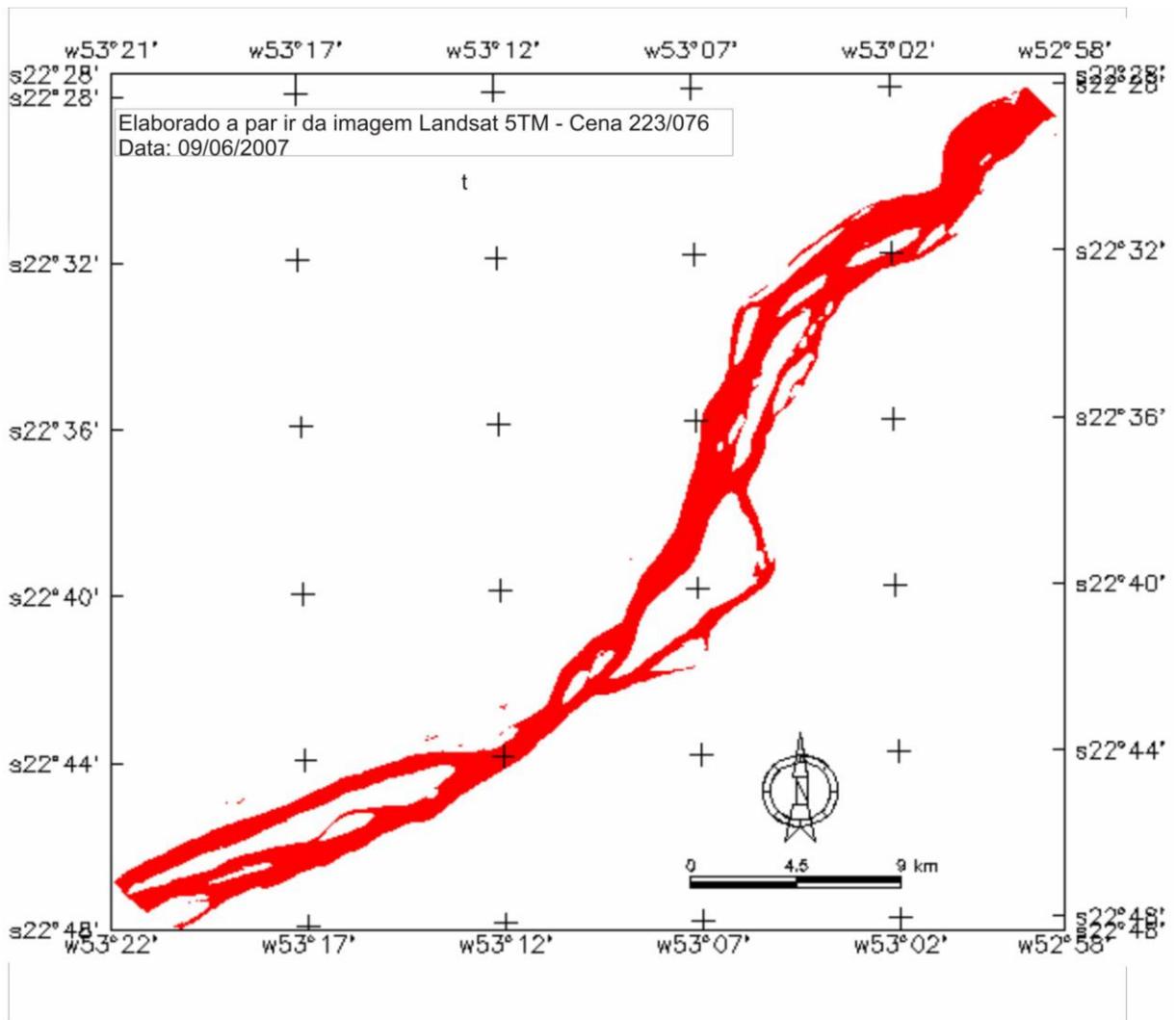


Figura 18: Canal fluvial do Rio Paraná em 2007 – cena 223/076 de 09-06-2007, nível fluviométrico a 3,24 m. Fonte: Puerta, L. L. (2010).

Em 08 de novembro de 2010 (Figura 19) a área do canal era de 106,51 km², ao nível fluviométrico de 3,10 m. Ou seja, os processos erosivos voltaram a predominar e proporcionaram o aumento de 5,65 km², a uma taxa de 1,88 km²/ano.

A descarga média do período foi de 8.923 m³/s e a descarga máxima foi de 22.065 m³/s. As cotas fluviométricas médias anuais variaram entre 2,82 m e 3,39 m, enquanto as cotas máximas variaram entre 4,6 m e 7,19 m (Figura 20). O tempo de residência foi de 37 dias sob descargas acima de 6 m (Tabela 8).

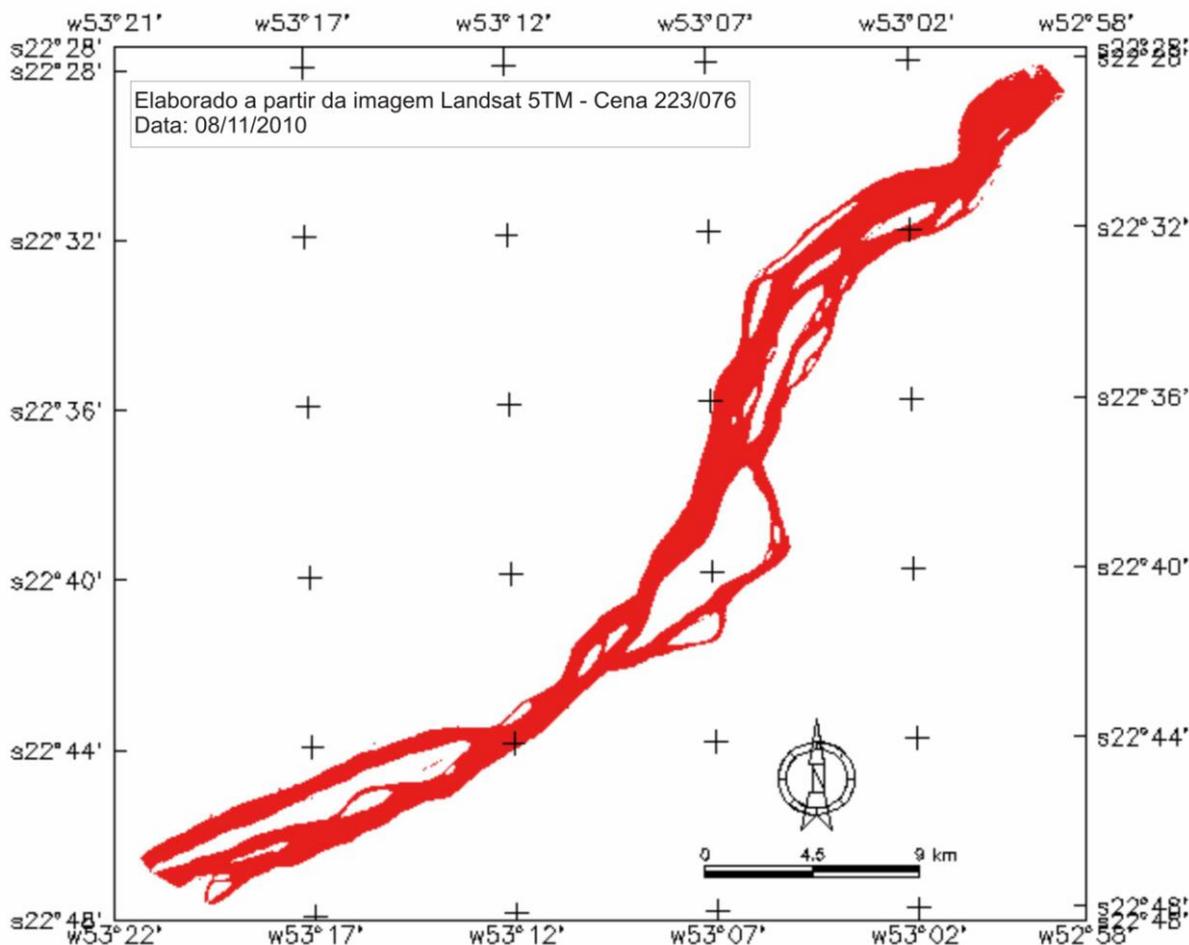


Figura 19: Canal fluvial do Rio Paraná em 2010 – cena 223/076 de 08-11-2010, nível fluviométrico de 3,25 m . Fonte: Puerta, L. L. (2010)

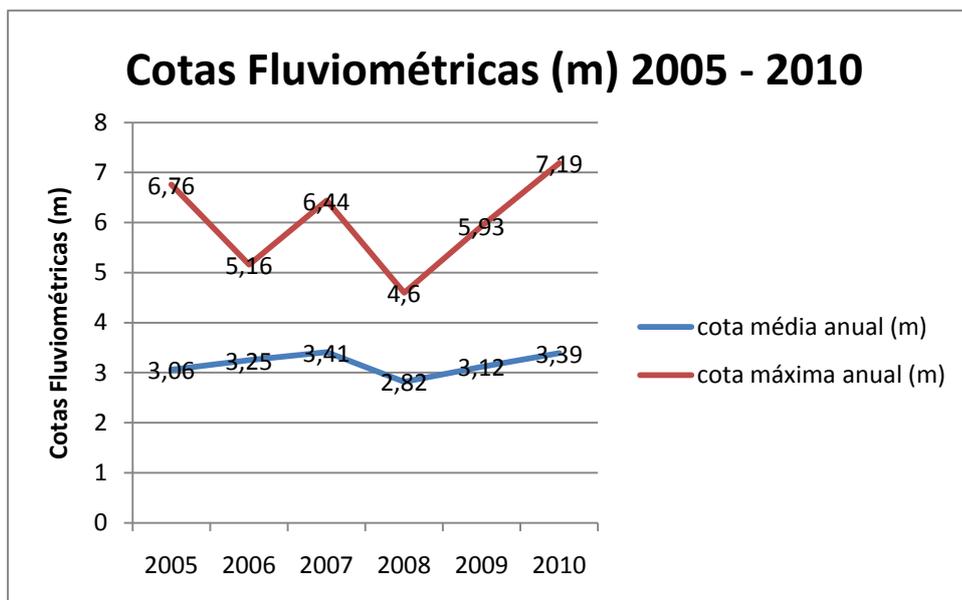


Figura 20: Hidrograma de Cotas Fluviométricas máximas e médias anuais. Período: 2005 -2010. Fonte: Puerta L. L. (2011).

Tabela 8: Tempo de permanência da descarga fluvial em diferentes níveis fluviométricos no período entre 2005 e 2010 (obtido de SOUZA FILHO, 2009).

Ano	maior 3,5	maior 4,6	maior 6,0	maior 7,0
2005	66	36	15	0
2006	88	13	0	0
2007	77	55	43	0
2008	56	8	0	0
2009	115	31	12	0
2010	120	72	25	4
Total	522	215	95	4

A síntese das informações obtidas encontra-se na Tabela 9 e pelo observado, o canal passou por ciclos de domínio de sedimentação e ciclos de domínio de erosão. Ao final de 25 anos a área do canal encontrava-se 6,08 km² menor que a medida inicialmente, enquanto a largura média teria sido reduzida em 106 m.

Tabela 9: Valores de cota fluviométrica, área do canal, largura média; diferença de área, taxa de variação da área do canal e processos dominantes no rio Paraná entre 1985 e 2010.

Ano	Cota fluviométrica (m)	Área (km ²)	Largura do canal (km)	Diferença de área (km ²)	Taxa de variação (km ² /ano)	Processo dominante
1985	3,20	112,59	1,975			
1990	2,95	109,33	1,918	-3,26	-0,671	sedimentação
1991	2,83	106,44	1,867	-2,89	-2,752	sedimentação
1995	3,09	106,14	1,862	-0,30	-0,076	sedimentação
1997	2,98	117,97	2,070	11,83	5,297	erosão
1998	3,35	109,38	1,919	-8,59	-8,963	sedimentação
1999	3,16	117,27	2,057	7,89	10,520	erosão
2004	3,47	106,60	1,870	-10,67	-2,082	sedimentação
2005	2,96	103,66	1,819	-2,94	-3,068	sedimentação
2006	3,0	104,17	1,828	0,51	0,482	erosão
2007	2,76	100,86	1,769	-3,31	-2,921	sedimentação
2010	3,25	106,51	1,869	5,65	1,738	erosão

5.2. A avaliação da margem de erro.

As medidas da área do canal podem estar submetidas a pelo menos dois tipos de erros metodológicos: a unidade de informação das imagens e a variação da área de água devido ao nível fluviométrico.

O erro oriundo da unidade de informação das imagens está relacionado à possibilidade de os pixels que cubram água e margem possam ser registrados como margem porque as áreas de vegetação possuem alta reflectância nas bandas do Infra Vermelho próximo e as áreas de solo exposto possuem alta reflectância nas faixas do Visível, enquanto a água possui baixa

reflectância nas duas condições. Neste caso, o píxel que tenha alta porcentagem de área de água pode ser representado como margem porque apesar da pequena área de margem, sua reflectância faz com que o ND do píxel seja muito maior do que o da água.

Para avaliar esta situação, foi considerado que todos os píxels da margem continham área de água e foram considerados como margem. O perímetro do canal foi medido na imagem de menor área e o resultado foi de 229,07 km. Ou seja, o perímetro possui 7.636 píxels, representando uma área potencialmente subestimada de 6,87 km², o que corresponde a 6,81% da área de 100,86 km² medida na imagem de 2007. Uma vez que é impossível que todos os píxels marginais tenham registrado área de água como área de margem e que apenas eventualmente uma grande área de água seria representada como margem, o erro é certamente muito inferior à porcentagem mencionada.

O erro relativo ao nível fluviométrico foi avaliado a partir da realização de análise de regressão linear entre os dados de área e de nível fluviométrico do dia da obtenção da imagem. O resultado obtido encontra-se na Figura 21.

A análise de regressão mostrou que os valores da área do canal não foram influenciadas pelos níveis fluviométricos registrados no dia de sua obtenção, uma vez que o valor de r^2 é muito baixo (0,0678). Caso essa influência fosse significativa, o valor de r^2 seria igual ou superior a 0,7.

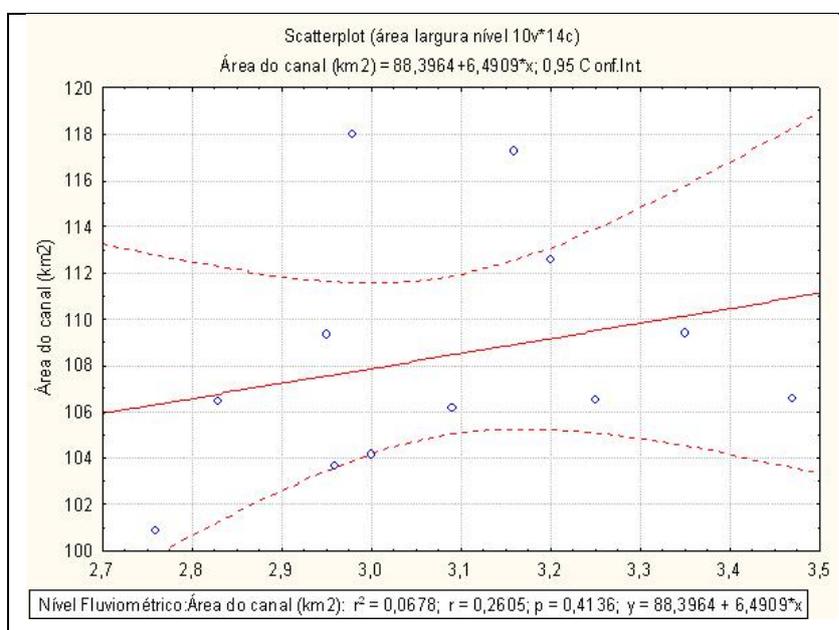


Figura 21: Resultado da análise de regressão linear entre os dados de nível fluviométrico e área do canal do rio Paraná.

5.3. A variação de área do canal.

Os valores obtidos para a variação de área demonstram que os períodos de redução do canal são longos, enquanto que os de aumento são curtos (Figura 22). Aparentemente há uma tendência à diminuição da área, mas esta afirmação mostra baixa confiabilidade, pois a análise de regressão obteve r^2 de 0,2212.

A mesma análise quando aplicada aos dados anteriores a 1999 também não mostrou tendência confiável, já que o r^2 foi de 0,0845. Por sua vez, o módulo da variação de área mostrou tendência a aumento entre 1985 e 1998, com r^2 de 0,4345.

No período posterior à conclusão da barragem a variação de área também não mostrou tendência confiável (r^2 de 0,0130), enquanto o módulo da variação apresentou tendência à diminuição até 2010 (r^2 de 0,2678).

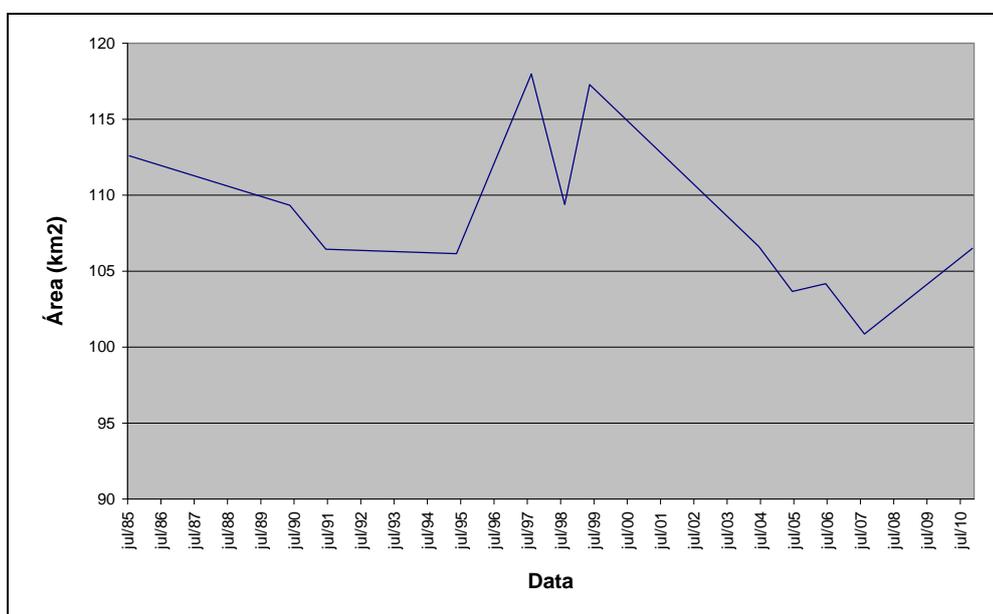


Figura 22: Variação da área do canal do rio Paraná ao longo do período de tempo analisado.

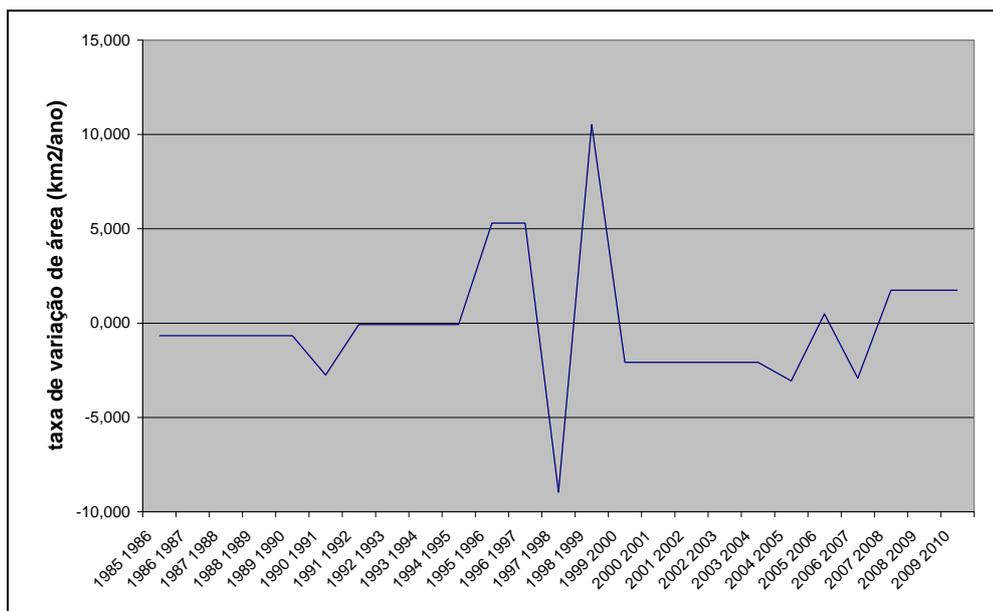


Figura 23: Taxa de variação média anual da área do canal do rio Paraná.

As diferentes inclinações da linha da figura 22 demonstram que as taxas de variação de área do canal são variáveis ao longo do tempo. A representação da taxa média anual encontra-se na Figura 23 e ela permite observar que as taxas negativas (diminuição da área do canal) persistem por mais tempo, mas em geral possuem valores menores do que as positivas. O gráfico demonstra claramente os extremos negativo (1997-1998) e positivo (1998-1999), situados em período anterior e posterior ao fechamento da barragem de Porto Primavera.

O extremo positivo de 1998-1999 provavelmente está relacionado à formação do reservatório, mas o extremo negativo deve ter outra causa. Uma vez que o desvio de segunda fase ocorreu em 1994, é possível que possa existir alguma relação tardia entre a passagem de água pelas comportas e a taxa anômala observada.

A análise de regressão envolvendo as taxas de variação da área e o tempo (Figura 24) demonstrou que o balanço entre as taxas negativas e positivas é muito pouco inferior a zero e o r^2 obtido indica que as taxas são completamente independentes do tempo. A análise de regressão entre o módulo da taxa de variação e o tempo (Figura 25) confirma a ausência de relação entre as variáveis e mais uma vez destaca os valores anômalos obtidos para os períodos entre 1997-1998 e 1998-1999.

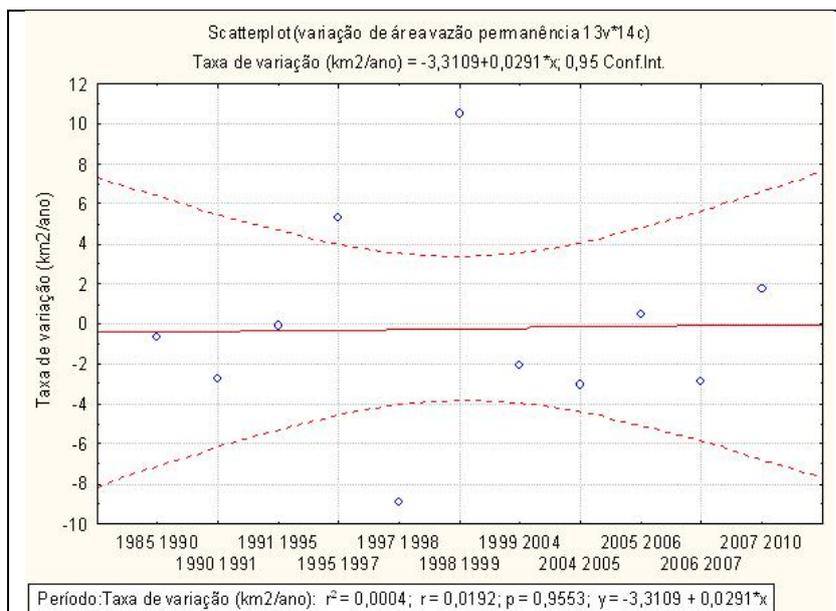


Figura 24: Resultado da análise de regressão entre a taxa de variação de área e o tempo.

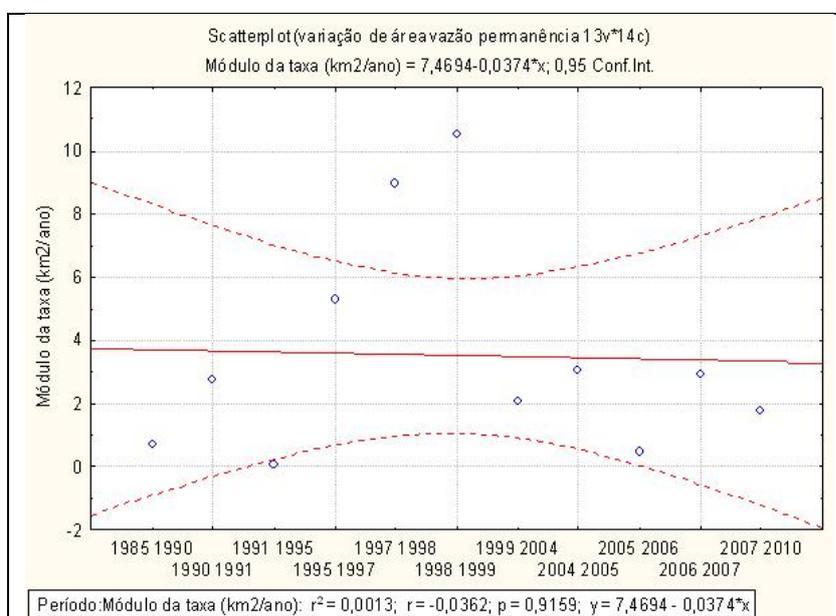


Figura 25: Resultado da análise de regressão entre o módulo da taxa de variação de área e o tempo.

As taxas de variação de área no período anterior e no posterior à barragem não mostraram tendência significativa em sua variação (r^2 de 0,0668 e de 0,0130). Por sua vez, o módulo da taxa de variação no período pré barragem mostrou tendência de aumento dos valores, com r^2 de 0,6859 (Figura 26), enquanto que no período pós-barragem a tendência foi de diminuição, embora com r^2 de 0,4316 (Figura 27).

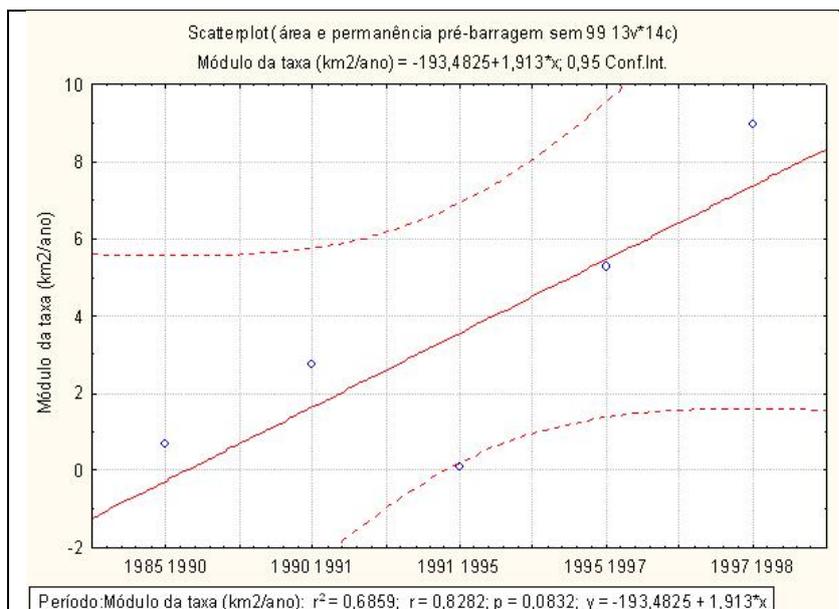


Figura 26: Resultado da análise de regressão do módulo da taxa de variação da área do canal ao longo do período pré-barragem.

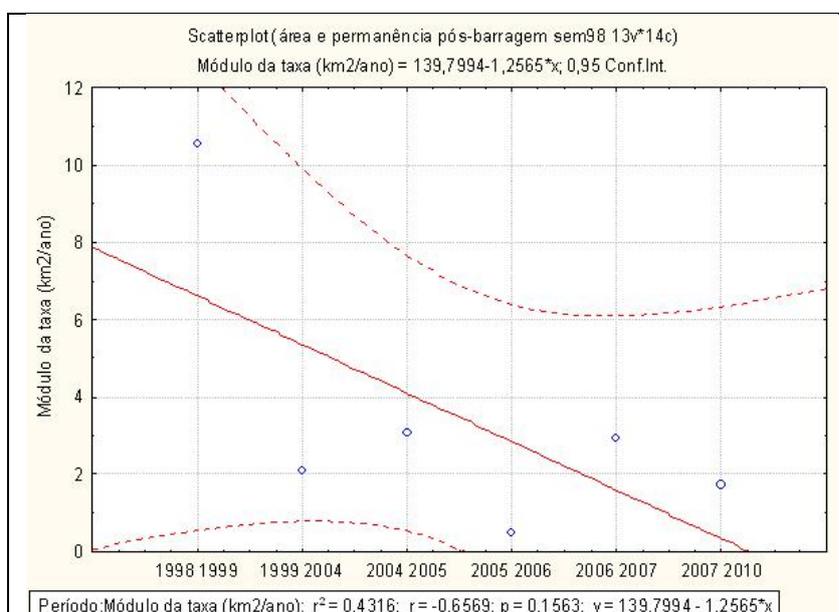


Figura 27: Resultado da análise de regressão do módulo da taxa de variação da área do canal ao longo do período pós-barragem.

No período entre 1985 e 2010 a área do canal variou de 112,59 para 106,51 km², com possibilidade de tendência de diminuição. A taxa de variação de área foi ligeiramente negativa e sem tendência temporal. As variações ocorridas tiveram média de 5,2 km² por período e também não mostraram tendência de variação temporal. Os dados demonstram que há 22% de possibilidade dos processos deposicionais tenderem a predominar sobre os processos erosivos.

No período anterior à barragem, a área do canal variou de 112,59 para 109,38 km², mas sem tendência temporal. Seu módulo teve variação média de 5,4 km² por intervalo analisado, com tendência de aumento ao longo do tempo. A taxa de variação de área não apresentou tendência temporal, mas seu módulo tendeu a aumentar ao longo do tempo. Os dados obtidos indicam que no período houve equilíbrio entre erosão e deposição, mas que o domínio de um processo sobre o outro tinha 69% de aumentar. Ou seja, uma vez instalada as condições para o domínio da erosão, ela seria cada vez mais intensa e vice e versa.

No período do enchimento do reservatório (final de 1998 e início de 1999) a área do canal aumentou em 7,89 km² demonstrando que os processos erosivos foram intensos, dando continuidade à tendência que vinha sendo observada.

No período entre 1999 e 2010 a área do canal diminuiu de 117,27 para 106,51km², mas sem tendência definida, enquanto o valor do módulo apresentou tendência à diminuição. A taxa de variação da área não apresentou tendência definida, mas seu módulo tendeu a diminuir. Os dados obtidos mostraram que embora a área do canal tenha diminuído, os processos mostraram tendência ao equilíbrio e a preponderância de qualquer um deles teve 43% de possibilidade de diminuição.

A observação dos gráficos expostos nas Figuras 26 e 27 demonstra que os valores anômalos obtidos entre os anos de 1997 e 1999 são os responsáveis pelas tendências indicadas e que ao se desconsiderar tais valores a dinâmica fluvial é relativamente estável, ainda que com a alternância de domínio dos processos. A análise de regressão da variação dos valores da taxa de variação da área e de seu módulo demonstra que não há tendência de variação temporal, face aos valores de r² (Figuras 28 e 29, respectivamente).

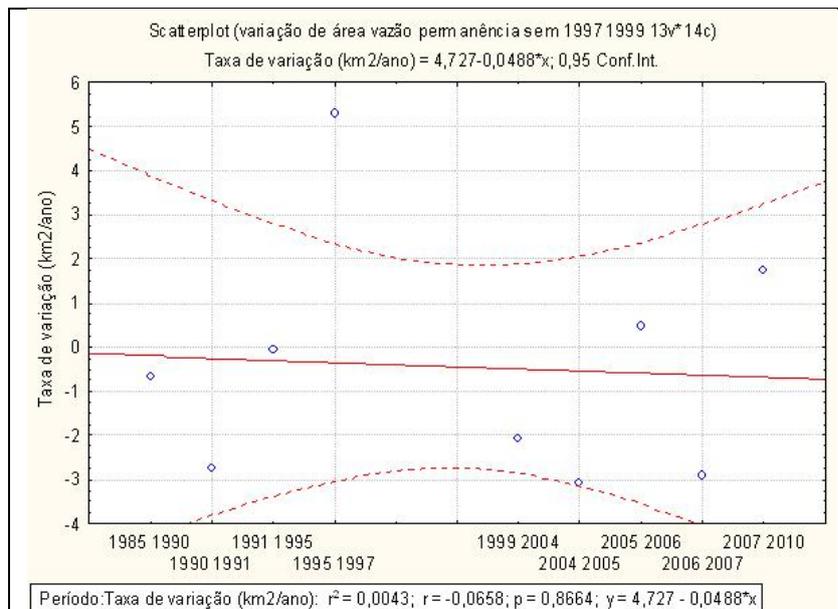


Figura 28: Resultado da análise de regressão da taxa de variação da área do canal ao longo do período 1985-2010, sem os dados de 1997-1999.

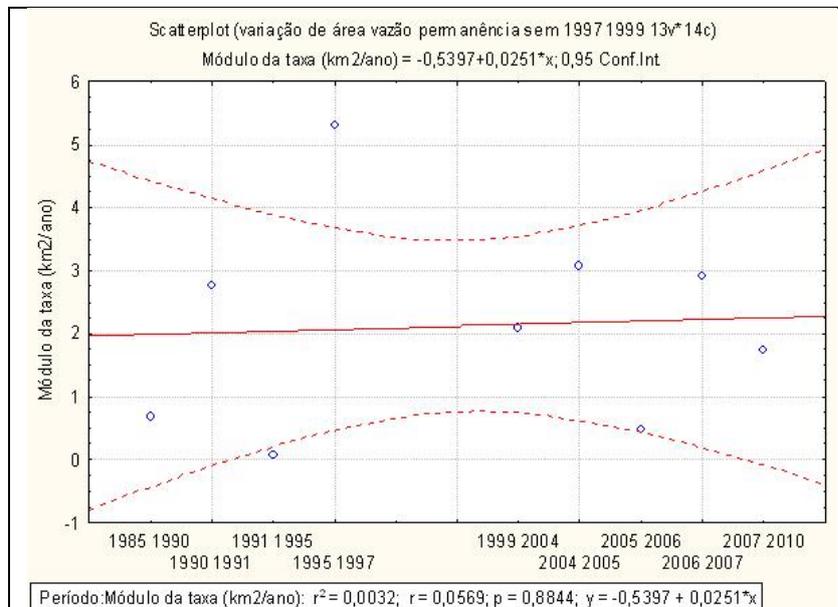


Figura 29: Resultado da análise de regressão do módulo da taxa de variação da área do canal ao longo do período 1985-2010, sem os dados de 1997-1999.

O gráfico da Figura 28 indica o valor médio de uma taxa de diminuição da área do canal entre 1985 e 2010 ($0,23 \text{ km}^2/\text{ano}$) e o gráfico da Figura 29 indica que a dinâmica do canal envolvia modificações de área com valores próximos a $2 \text{ km}^2/\text{ano}$. Portanto, se os dados anômalos fossem desconsiderados, a tendência seria de equilíbrio entre os processos, com alternância entre eles.

Tais resultados demonstram que embora a área do canal tenha aumentado e diminuído por diversas vezes ao longo do tempo, os processos erosivos e os processos deposicionais

foram praticamente equivalentes, embora dominantes em períodos alternados. Além disso destaca a maior dinâmica fluvial no período 1997 a 1999, ou seja nos meses imediatamente anteriores e posteriores ao fechamento do reservatório de Porto Primavera. No período entre 1985 e 1997 e no intervalo entre 1999 e 2010 a dinâmica fluvial foi relativamente estável e o canal apresentou variação anual (negativa e positiva) próxima a 1,9 % de sua área média (108,41 km²).

5.4. A variação de área do canal e a descarga fluvial.

Os dados de nível fluviométrico, descarga média e descarga máxima anuais obtidos a partir da série histórica da estação de Porto São José obtidos por SOUZA FILHO (2011) encontram-se na Tabela 10. Os valores de descarga média e máxima anuais mostraram aumento dos valores entre 1985 e 1992, diminuição entre 1992 e 2002, a partir de quando voltaram a aumentar. A Figura 30 apresenta os gráficos resultantes da análise de regressão por mínimos quadrados que ilustra a tendência mencionada, embora os valores de r não mostrem significância estatística.

Tabela 10: Valores de nível fluviométrico médio, descarga média anual e descarga máxima anual registrados na estação fluviométrica de Porto São José, a partir de 1985. (SOUZA FILHO, 2011)

Ano	Nível fluviométrico (m)	Descarga média (m³/s)	Descarga máxima (m³/s)
1985	3,65	9.736	17.587
1986	2,91	7.723	9.589
1987	3,07	8.140	12.289
1988	3,4	9.023	16.101
1989	3,39	9.015	16.668
1990	3,23	8.695	23.552
1991	3,54	9.517	19.997
1992	3,85	10.273	17.829
1993	3,59	9.523	18.881
1994	3,27	8.708	16.837
1995	3,41	9.175	18.386
1996	3,08	8.112	12.852
1997	3,73	9.980	21.667
1998	3,54	9.450	15.837
1999	3,34	8.916	16.735
2000	2,97	7.903	13.765
2001	2,14	6.115	11.337
2002	2,69	7.351	14.853
2003	2,89	7.779	13.840
2004	2,75	7.417	11.793
2005	3,06	8.320	20.030
2006	3,25	8.650	14.288
2007	3,41	9.313	18.800
2008	3,08	8.141	13.650
2009	3,43	9.042	18.555
2010	3,39	8.923	22.065
média	3,23	8.651	16.453

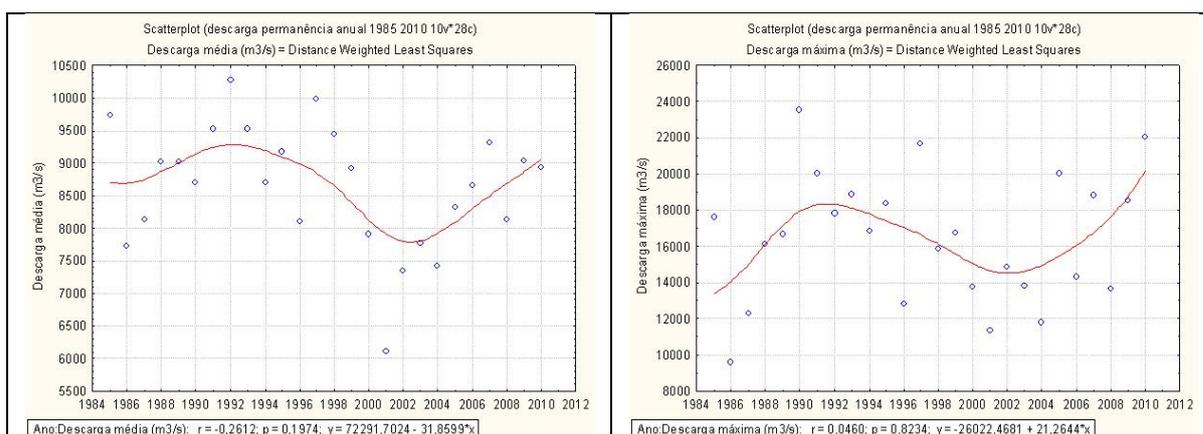


Figura 30: Resultado da análise de regressão da descarga média (esquerda) e da descarga máxima (direita) ao longo do período entre 1985 e 2010. Dados da Estação de Porto São José. (SOUZA FILHO, 2011).

A análise dos dados de descarga anuais anteriores a 1998 também demonstra que há ciclos de aumento e diminuição dos valores, com mínimos em 1985 e 1995 e máximos em 1992 e 1998, enquanto a tendência geral é de aumento, ainda que com r baixo (Figura 31, à esquerda). Já os valores de descarga máxima apresentaram tendência de aumento até 1991, a partir de quando passaram a diminuir (Figura 31 à direita). A tendência geral dos valores máximos também foi de aumento, ainda que sem significância estatística.

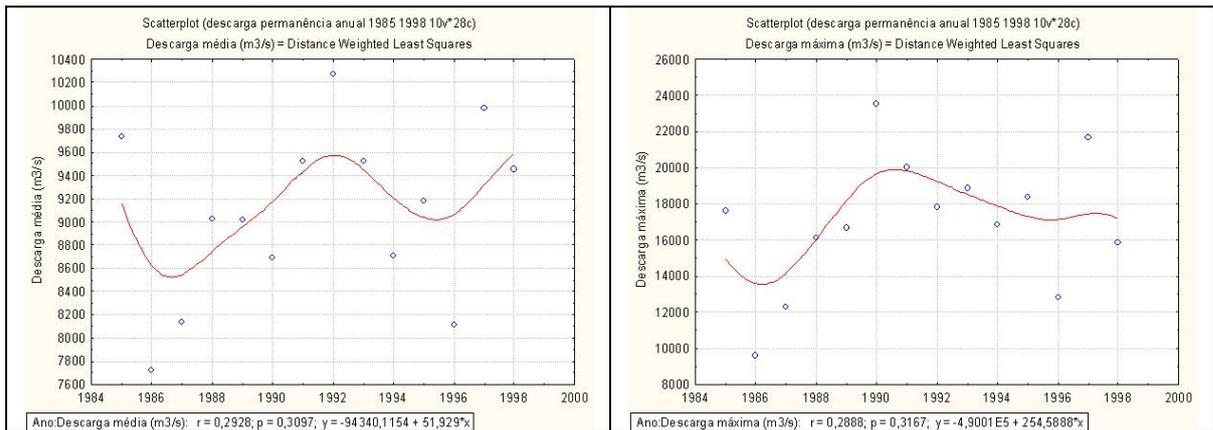


Figura 31: Resultado da análise de regressão da descarga média anual (esquerda) e da descarga máxima anual (direita) no período anterior à barragem de Porto Primavera. (SOUZA FILHO, 2011)

Por sua vez, os valores de descarga média anual do período pós-barragem diminuíram de valor até 2001 (crise de energia) e passaram a aumentar até 2010 (Figura 32, à esquerda), enquanto a tendência geral foi de aumento. A descarga máxima anual teve comportamento similar, mas a tendência de aumento não foi contínua (Figura 32, à direita). A tendência geral também foi de aumento dos valores.

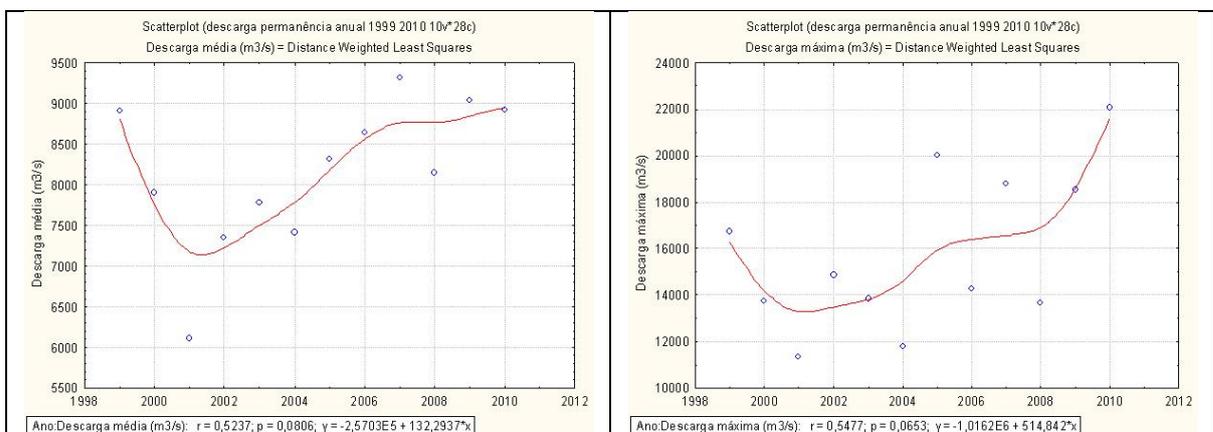


Figura 32: Resultado da análise de regressão da descarga média anual (esquerda) e da descarga máxima anual (direita) no período posterior à barragem de Porto Primavera. (SOUZA FILHO, 2011).

As relações entre as modificações de área e os valores de descarga média e máxima de cada intervalo analisado não apresentaram resultados significativo para o período entre 1985 e 2010, nem mesmo quando a análise de regressão foi realizada com o módulo da variação (Figura 33).

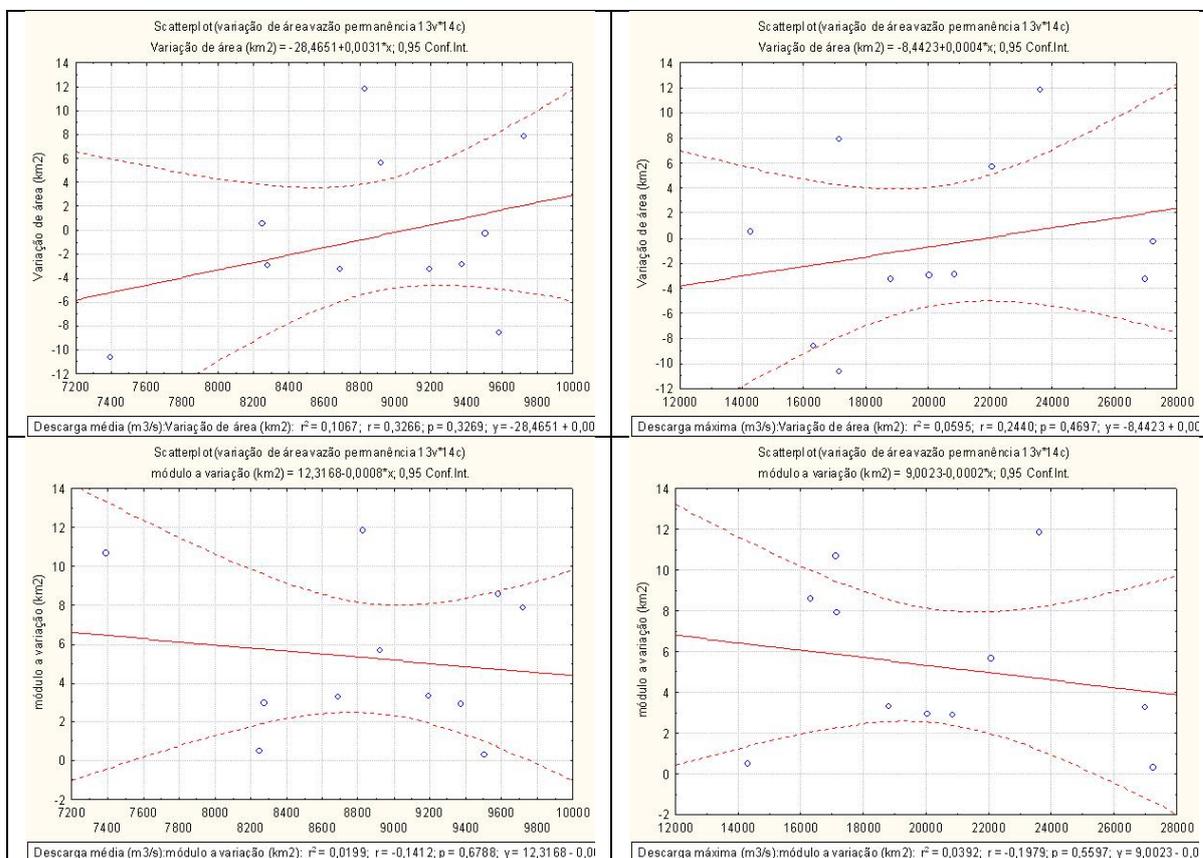


Figura 33: Resultados da análise de regressão entre os valores de variação de área e os de descarga média e máxima dos intervalos analisados, no período entre 1985 e 2010.

Apesar da tendência dos valores da variação de área tornarem-se positivos com o aumento da descarga média ou máxima, indicando que à medida que a vazão aumenta os processos erosivos dominam sobre os processos deposicionais, os valores de r^2 indicam que não há confiabilidade na afirmação. Ou seja há apenas 10 % de chance do aumento da descarga média ter propiciado o domínio dos processos erosivos.

O mesmo raciocínio, quando aplicado aos valores do módulo da variação de área permite afirmar que a descarga média e a máxima não tiveram influência sobre a intensidade da ampliação ou diminuição do canal em cada intervalo analisado.

Por essa razão, o domínio dos processos deposicionais ou dos processos erosivos e o valor da modificação de área do canal não dependem dos valores de descarga, pelo menos no intervalo de tempo analisado.

As análises de regressão entre a taxa de variação da área e a descarga confirmam que no período entre 1985 e 2010, os valores de vazão não influenciaram a predominância de um processo sobre o outro, tendo em vista os valores de r^2 (Figura 34, gráficos superiores). Contudo, há 23% de chance da intensidade da modificação de área aumentar conforme o incremento da descarga média e 17% de chance dela diminuir conforme o aumento da descarga máxima (Figura 34, gráficos inferiores).

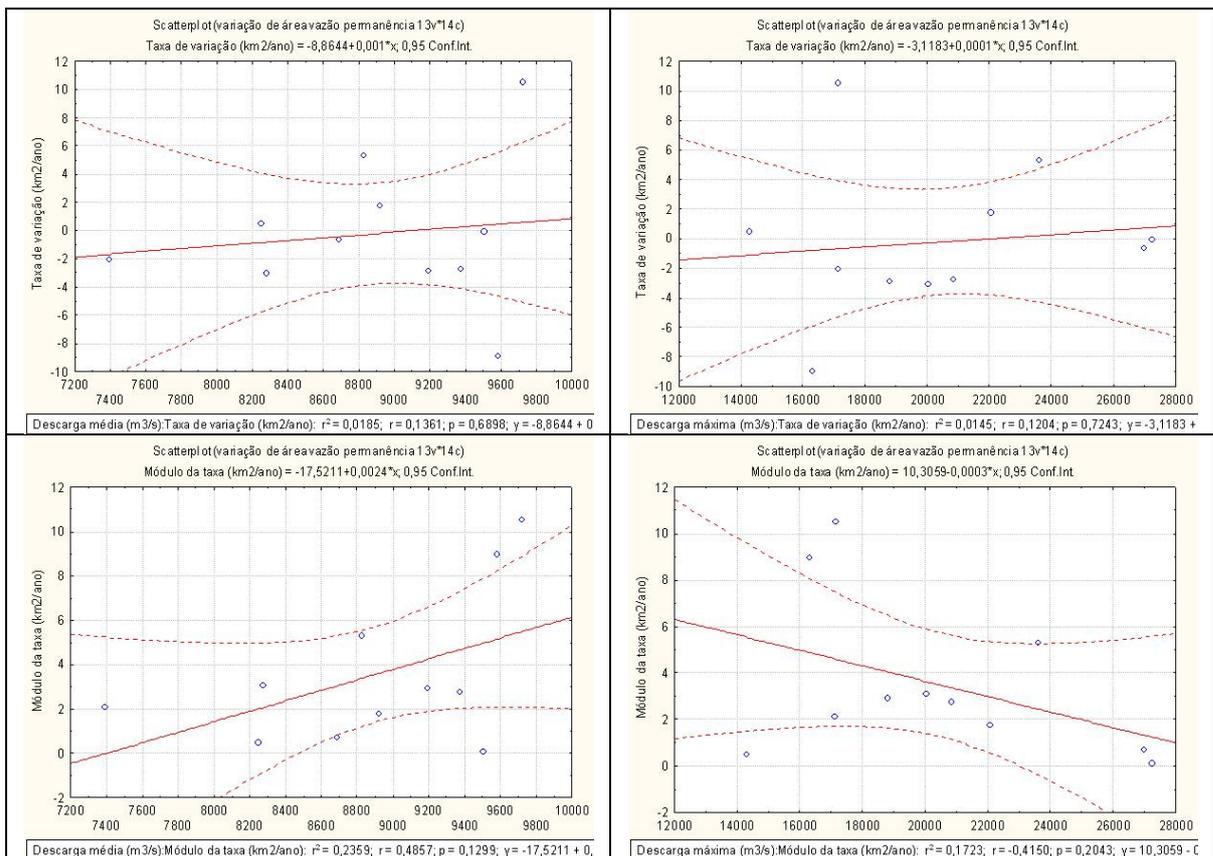


Figura 34: Resultados da análise de regressão entre os valores da taxa de variação de área e os de descarga média e máxima (acima) e do módulo da taxa de variação e da descarga média e máxima (abaixo).

5.5. A variação de área do canal e a permanência da descarga fluvial.

A permanência das descargas em diferentes níveis fluviométricos ao longo do período entre 1985 e 2010 encontra-se na Tabela 11. Os anos de 1986, 2001 e 2004 destacam-se pela inexistência de valores de descarga que permitiram o nível fluviométrico superar 4,6 m. Ou seja foram anos sem cheia significativa. Os anos de 1987, 1988, os de 1998 a 2000, os de 2002, 2003, 2006 e 2008 tiveram cheia pouco expressiva e os anos de 1990, 1997 e 2010 tiveram cheias excepcionais.

Tabela 11: Permanência da descarga em diferentes níveis fluviométricos no período de 1985 a 2010 (SOUZA FILHO, 2009 e 2011)

Ano	Permanência (em dias) acima de :			
	3,5 m	4,6 m	6,0m	7,0 m
1985	115	55	11	0
1986	7	0	0	0
1987	49	1	0	0
1988	124	30	0	0
1989	102	41	41	0
1990	55	33	24	15
1991	114	64	18	0
1992	196	99	6	0
1993	113	40	16	0
1994	86	25	0	0
1995	111	34	14	0
1996	68	2	2	0
1997	157	45	24	17
1998	168	42	0	0
1999	159	42	0	0
2000	26	3	0	0
2001	11	0	0	0
2002	51	11	0	0
2003	40	9	0	0
2004	24	0	0	0
2005	66	36	15	0
2006	88	13	0	0
2007	77	55	43	0
2008	56	8	0	0
2009	115	31	12	0
2010	120	72	25	4

A análise de regressão entre os valores de variação de área e os valores de permanência não obteve valores significativos pois o maior valor de r^2 encontrado foi de 0,0360 (Figura 35). Ou seja, a permanência da água acima de qualquer nos níveis utilizados não influenciou o domínio de um processo sobre o outro.

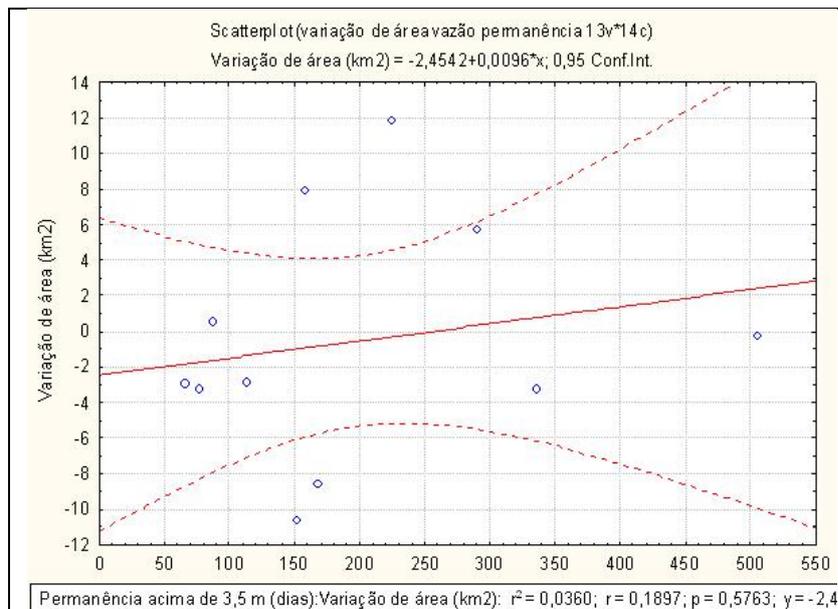


Figura 35: Resultado da análise de regressão entre os valores da variação de área e os de permanência em nível fluviométrico superiores a 3,5 m nos períodos considerados.

A análise entre o módulo da variação de área e os valores de permanência também não obteve valores de r^2 significativos, à excessão dos do número de dias em que a água permaneceu acima de 4,6 m (Figura 36). Ainda assim, há apenas 17% de chance da permanência em níveis superiores a 4,6 m influenciar a diferença de intensidade de um processo sobre o outro. Neste caso, o aumento da permanência diminuiria a diferença de intensidade dos processos.

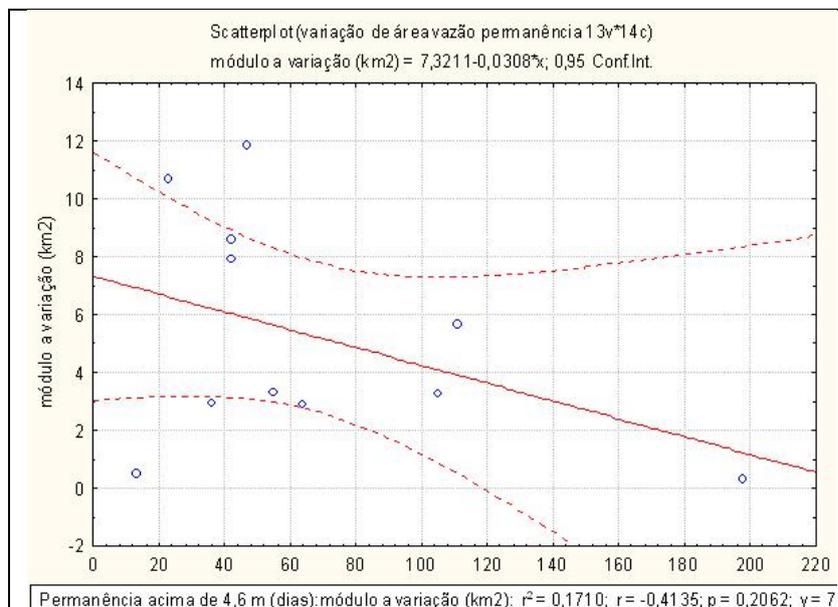


Figura 36: Resultado da análise de regressão entre os valores do módulo da variação de área e os de permanência em nível fluviométrico superiores a 4,6 m nos períodos considerados.

A análise de regressão entre a taxa de variação de área e a permanência permitiu verificar que a velocidade de ampliação ou de redução do canal é independente do tempo em que a descarga permanece acima de quaisquer dos níveis considerados, reafirmando as considerações anteriores. Além disso, ao longo do período o valor médio das taxas foi próximo a zero nas permanências superiores a 4,6 e 6,0 m (Figura 37).

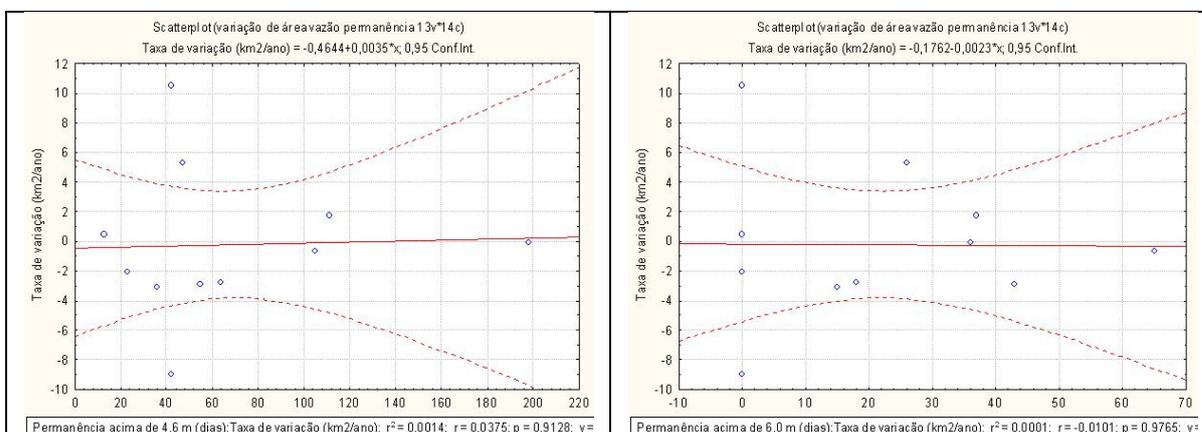


Figura 37: Resultados da análise de regressão entre os valores da taxa de variação de área e a permanência em descargas em nível superior a 4,6 m (esquerda) e em nível superior a 6,0 m (direita).

A análise entre o módulo da taxa de variação e a permanência também não obteve resultado significativo, embora o r^2 obtido para os valores superiores a 6 m indique que há quase 25 % de chance da diferença de intensidade diminuir conforme o aumento do tempo em que as águas permanecem acima de 6 m (Figura 38). Em todos os casos foi verificada a tendência de diminuição do valor do módulo da taxa de variação conforme o aumento da permanência, reforçando a possibilidade de que a variação de área diminua conforme o aumento da descarga.

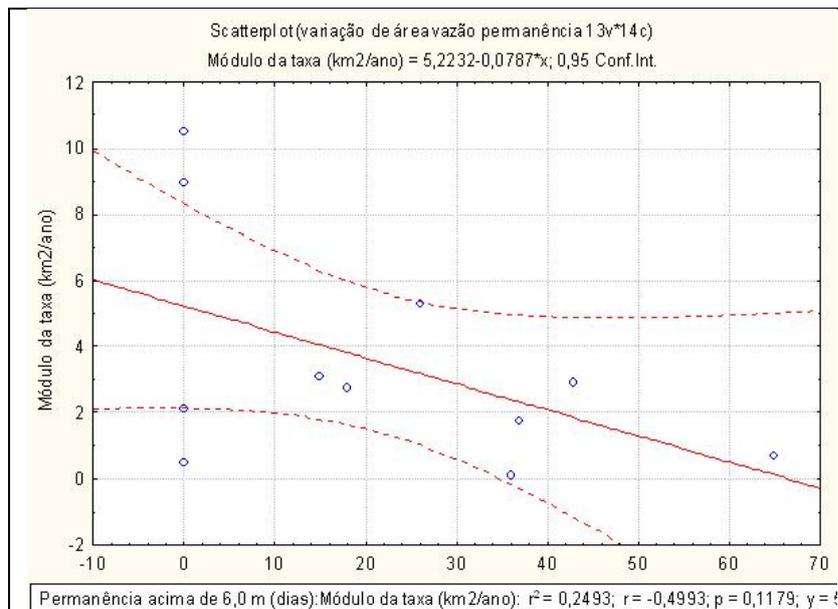


Figura 38: Resultado da análise de regressão dos valores do módulo da taxa de variação de área de acordo com a permanência em descargas superiores a 6 m.

Uma vez que a erosão marginal é intensificada conforme o aumento da velocidade de fluxo (Figura 2), a elevação das descargas e de sua permanência em níveis mais elevados proporciona maior taxa de erosão das margens, uma vez que em canais livres a velocidade de fluxo é diretamente proporcional à vazão. Dessa maneira, o aumento da descarga e da sua permanência em cheias deveria promover a ampliação do canal.

Contudo os dados indicam que há quase 25 % de chance dos processos diminuírem a diferença de intensidade entre eles conforme a elevação daquela variáveis. Ou seja, uma vez que há aumento da erosão marginal, também há intensificação da deposição. É claro que os sítios erosivos terão erosão acentuada e os sítios deposicionais receberão mais sedimentos. O aumento da sedimentação pode ser explicado pelo aumento do transporte devido ao aumento da potência de corrente de acordo com o incremento da vazão (ROCHA, 2001).

Uma vez que a barragem de Porto Primavera cortou o suprimento detrítico e modificou o regime de descargas é possível que essa dinâmica mostre o resultado de diferentes situações. Ou seja, as relações observadas exibam valores médios entre aqueles existentes antes da barragem e os predominantes depois da formação do reservatório.

5.6. A variação de área do canal, a descarga fluvial e a permanência antes do fechamento da barragem de Porto Primavera.

As análises de regressão entre a variação de área e a descarga média e a máxima demonstraram que antes da barragem havia pequena possibilidade de tendência ao domínio dos processos deposicionais conforme o aumento da descarga média (28% de chance) e ao domínio dos processos erosivos conforme o aumento da descarga máxima (quase 17 % de chance), Figura 39.

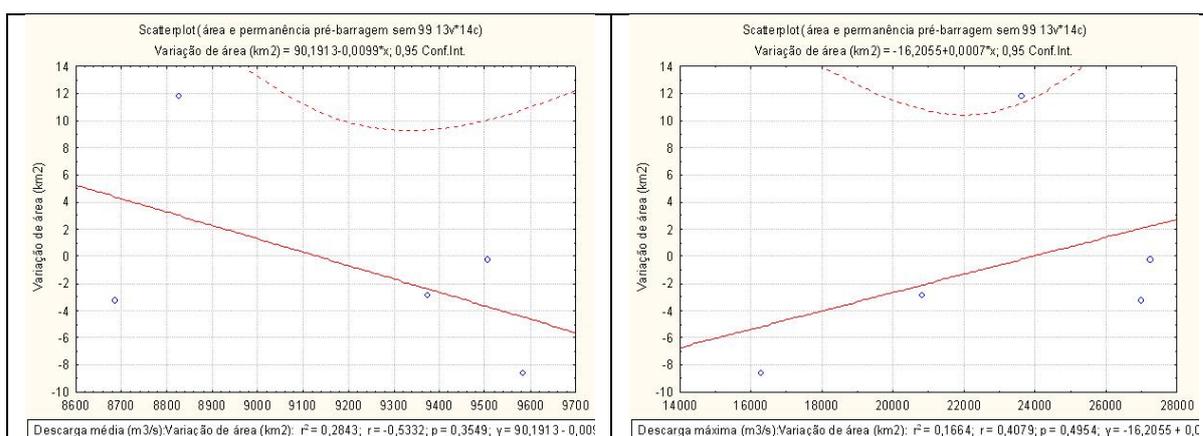


Figura 39: Resultados da análise de regressão entre a variação de área e a descarga média (esquerda) e a descarga máxima (direita) no período entre 1985 e 1998.

Por sua vez, os resultados da análise de regressão do módulo da variação de área e as descargas média e máxima mostram que a vazão máxima possuía alguma influência sobre a alteração da área enquanto a média não exercia influência alguma (Figura 40). À luz destes dados, havia 24% de possibilidade de o aumento da descarga máxima tornar os processos deposicionais e erosivos equivalentes.

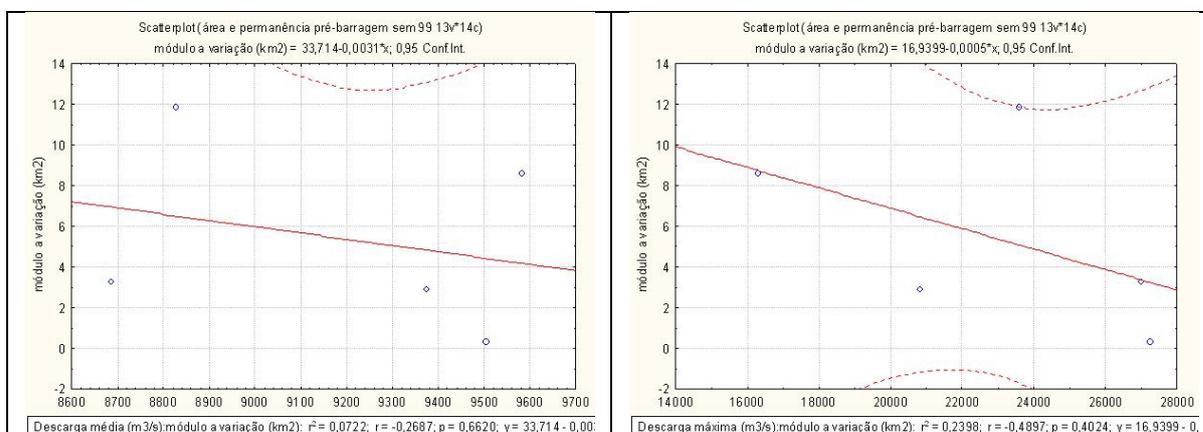


Figura 40: Resultados da análise de regressão entre o módulo da variação de área e a descarga média (esquerda) e a descarga máxima (direita) no período entre 1985 e 1998.

A análise de regressão entre a taxa de variação de área e a descarga média e a máxima (Figura 41) mostrou que a vazão influencia o domínio de um processo sobre o outro. Neste caso havia 44% de chance da intensificação da descarga média favorecer o domínio dos processos deposicionais. Por sua vez, havia 49% de possibilidade do aumento da descarga máxima propiciar o domínio dos processos erosivos.

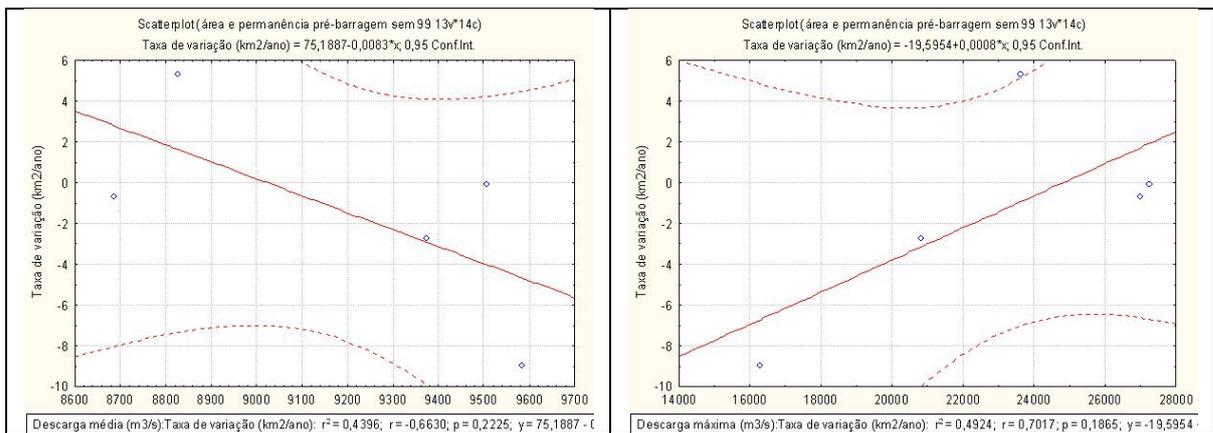


Figura 41: Resultados da análise de regressão entre a taxa de variação de área e a descarga média (esquerda) e a descarga máxima (direita) no período entre 1985 e 1998.

A análise de regressão entre o módulo da taxa de variação de área e a descarga média e a máxima (Figura 42) demonstrou que a velocidade de modificação de área não depende da descarga média, mas diminui conforme o aumento da descarga máxima. O aumento da vazão máxima tinha quase 80% de chance de proporcionar a equivalência entre os dois processos. Ou seja, é muito provável que quanto maior era a descarga, maior era a sedimentação nos sítios deposicionais.

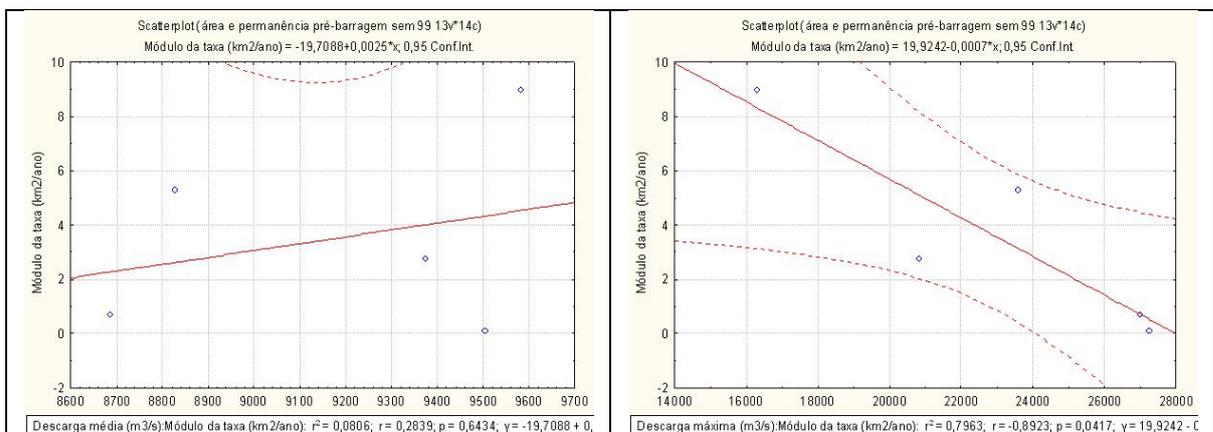


Figura 42: Resultados da análise de regressão entre o módulo da taxa de variação de área e a descarga média (esquerda) e a descarga máxima (direita) no período entre 1985 e 1998.

A análise de regressão entre a variação de área e a permanência não obteve resultado significativo em nenhuma das situações, o que indica que a permanência não controlava o balanço entre a erosão e a sedimentação. Por sua vez, a análise de regressão entre o módulo da variação de área e a permanência demonstrou que havia quase 61% de possibilidade de que quanto mais o nível permanecesse acima de 4,6 m (Figura 43), mais equivalentes seriam os processos deposicionais e erosivos. Ou seja, quanto maior a duração da cheia, mais intensos seriam os processos deposicionais.

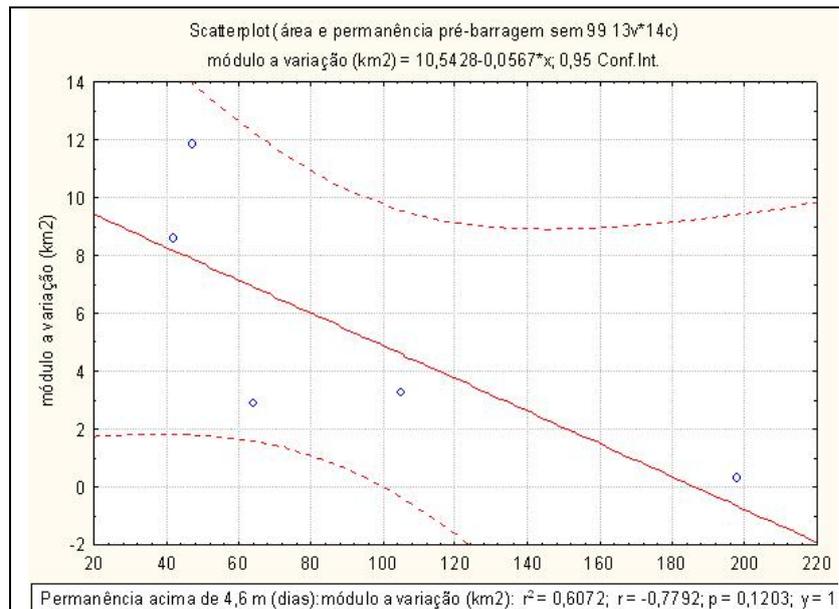


Figura 43: Resultado da análise de regressão entre o módulo da variação de área e a permanência em níveis superiores a 4,6 m no período entre 1985 e 1998.

A análise de regressão entre a taxa de variação de área e a permanência não mostrou resultados significativos. Apenas a permanência em níveis superiores a 6 m tinha alguma influência sobre a variável (Figura 44) e indica que havia 25% de chance de que os processos erosivos tendessem a dominar conforme o aumento do tempo em que a descarga mantinha o nível das águas acima deste valor.

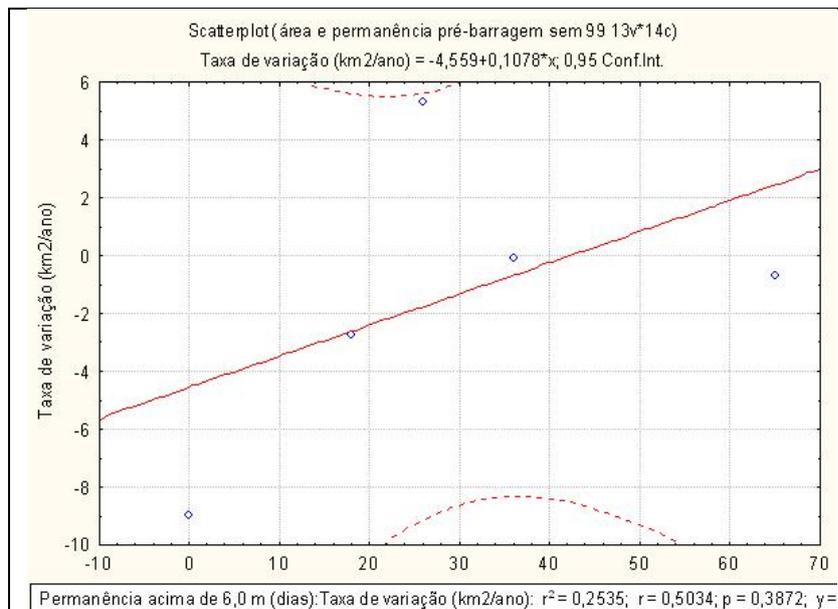


Figura 44: Resultado da análise de regressão entre a taxa da variação de área e a permanência em níveis superiores a 6 m no período entre 1985 e 1998.

Os resultados da análise de regressão entre o módulo da taxa de variação de área e a permanência foram mais robustos (Figura 45). Nos três casos analisados havia tendência de diminuição da velocidade de modificação da área do canal conforme a permanência aumentava.

Os r^2 obtidos foram 0,4462, 0,6020 e 0,6410 para a permanência acima de 3,5 m, 4,6 m e 6,0 m (respectivamente) e indicam que a duração das descargas mais elevadas possuía maior controle sobre a taxa de variação de área. Tal resultado reafirma que quanto mais elevada a descarga, mais intensos e equivalentes eram os processos erosivos e deposicionais.

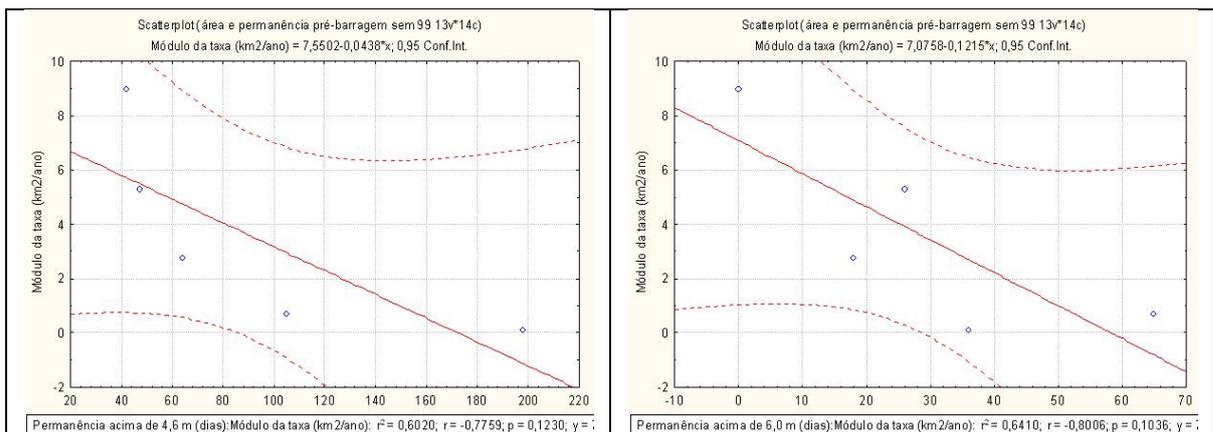


Figura 45: Resultados da análise de regressão entre o módulo da taxa de variação de área e a permanência em níveis superiores a 4,6 m (esquerda) e em níveis superiores a 6 m (direita), no período entre 1985 e 1998.

Os resultados obtidos demonstram que antes do fechamento da barragem, quanto maior a descarga máxima e maior a permanência das descargas elevadas, mais intensos eram

os processos deposicionais e erosivos. Mas apesar disso, os processos erosivos tinham 25% de chance de predominar, proporcionando a ampliação da área do canal.

5.7. A variação de área do canal, a descarga fluvial e a permanência depois do fechamento da barragem de Porto Primavera.

Os resultados das análises de regressão entre a variação de área e a descarga média e a máxima demonstraram que depois da barragem, a descarga média passou a ter uma influência considerável sobre a variação de área do canal. Além disso, ao contrário do período anterior, o aumento da descarga média passou a ter mais de 65% de chance de proporcionar o domínio dos processos erosivos. Por outro lado, a descarga máxima não apresentou influência sobre a variação de área (Figura 46).

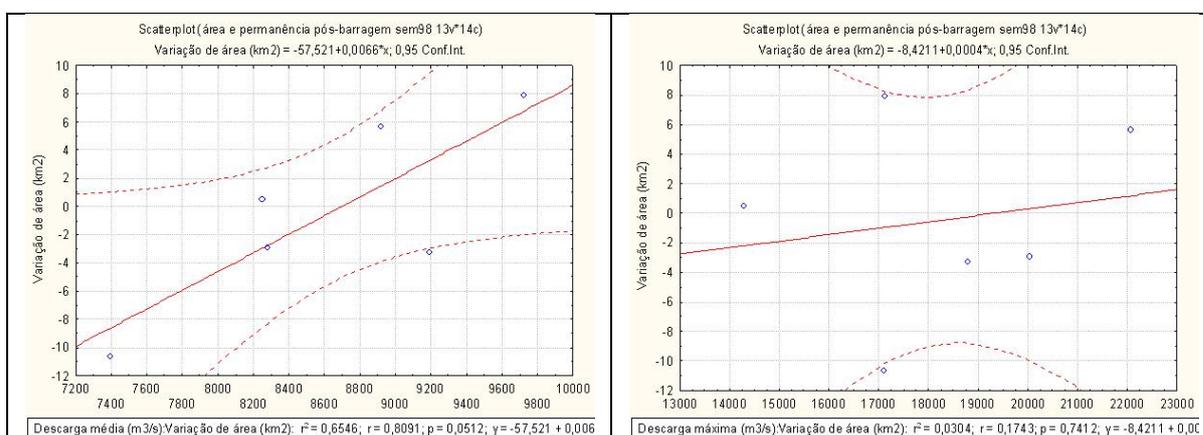


Figura 46: Resultados da análise de regressão entre a variação de área e a descarga média (esquerda) e a descarga máxima (direita) no período entre 1999 e 2010.

As análises de regressão entre o módulo da variação de área e as descargas média e máxima demonstraram que não havia relação entre as variáveis pois o maior valor de r^2 foi de 0,0207. No período pré-barragem a descarga máxima havia apresentado influência sobre a variável, embora pequena.

A descarga deixar de ter influência sobre o quanto o canal foi alargado ou estreitado, é incoerente face ao controle da dominância dos processo demonstrado na Figura 46, uma vez que se o domínio dos processos erosivos aumenta conforme a descarga média, a variação de área também deveria aumentar. A incoerência entre as afirmações pode vir a ser resolvida por meio da análise dos resultados da taxa de variação e do seu módulo, pois a avaliação por períodos não obedece a intervalo temporal regular.

A análise de regressão entre a taxa de variação de área e a descarga média e a máxima (Figura 47) demonstrou que o domínio dos processos erosivos passou a ter mais de 42% de probabilidade de aumentar conforme o incremento da descarga média, enquanto a descarga máxima não apresentou influência sobre os valores da taxa em questão. Estes resultados reforçam que a descarga média passou a ter controle sobre o balanço entre as intensidades dos processos deposicionais e erosivos, favorecendo o domínio dos processos erosivos quando em valores mais altos.

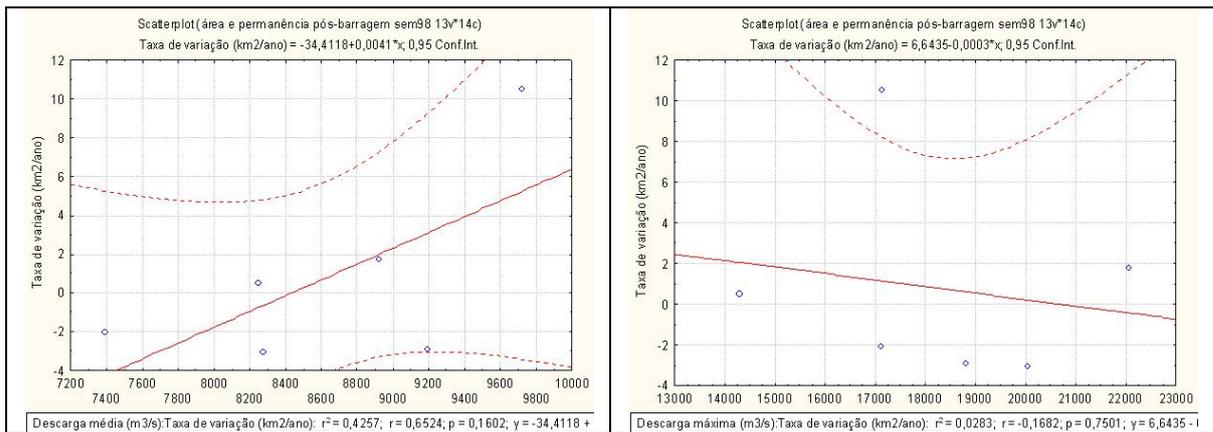


Figura 47: Resultados da análise de regressão entre a taxa de variação de área e a descarga média (esquerda) e a descarga máxima (direita) no período entre 1999 e 2010.

As análises de regressão entre o módulo da taxa de variação de área e a descarga média e a máxima (Figura 48) demonstraram que a velocidade de modificação de área passou a aumentar de acordo com o incremento da descarga média e que a descarga máxima deixou de influenciar esta variável. Ambas as situações são distintas das encontradas no período anterior, até porque o controle da taxa de variação de área pela descarga máxima foi a relação mais confiável obtida nas análise de regressão (Figura 42).

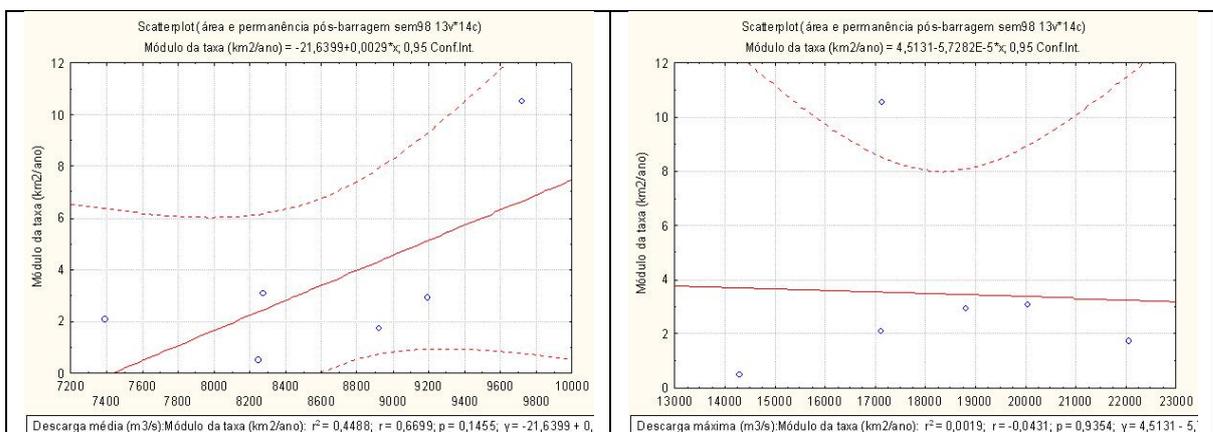


Figura 48: Resultados da análise de regressão entre o módulo da taxa de variação de área e a descarga média (esquerda) e a descarga máxima (direita) no período entre 1999 e 2010.

Os resultados da Figura 48 resolvem a incoerência anteriormente apontada, uma vez que demonstrou que há 45% de probabilidade de aumento da variação da largura do canal conforme o incremento da descarga média. Ou seja, se o domínio das taxas erosivas tende a aumentar conforme o incremento da vazão média, a variação da largura também aumenta.

A análise de regressão entre a variação de área e a permanência demonstrou que o número de dias em que a descarga permaneceu em níveis fluviométricos superiores a 3,5 e a 4,6 m mostrou que há respectivamente, 20 e 23% de probabilidade de que quanto maior a permanência maior a predominância dos processos erosivos (Figura 49). Já a permanência em níveis superiores a 6 metros não influenciou a relação entre os processos (r^2 de 0,0105).

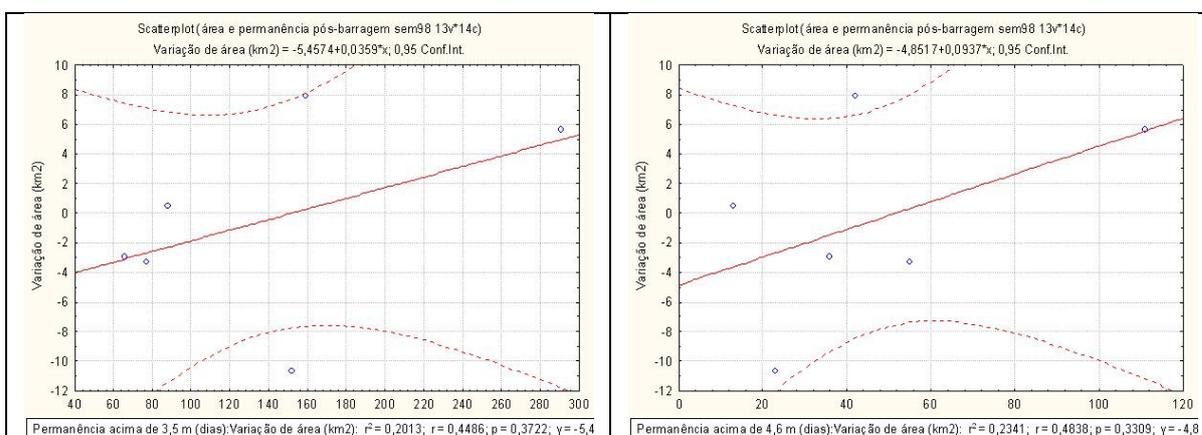


Figura 49: Resultados da análise de regressão entre a variação de área e a permanência da descarga em níveis superiores a 3,5 m (esquerda) e superiores a 4,6 m (direita) no período entre 1999 e 2010.

A análise de regressão entre o módulo da variação de área e a permanência demonstrou que apenas em níveis superiores a 3,5 m há alguma influência desta variável sobre a intensidade das variações do canal. A relação positiva e o r^2 (Figura 50) indicam que há 21% de chance de que o aumento da permanência em níveis superiores a 3,5 m induza modificações de maior porte na área do canal.

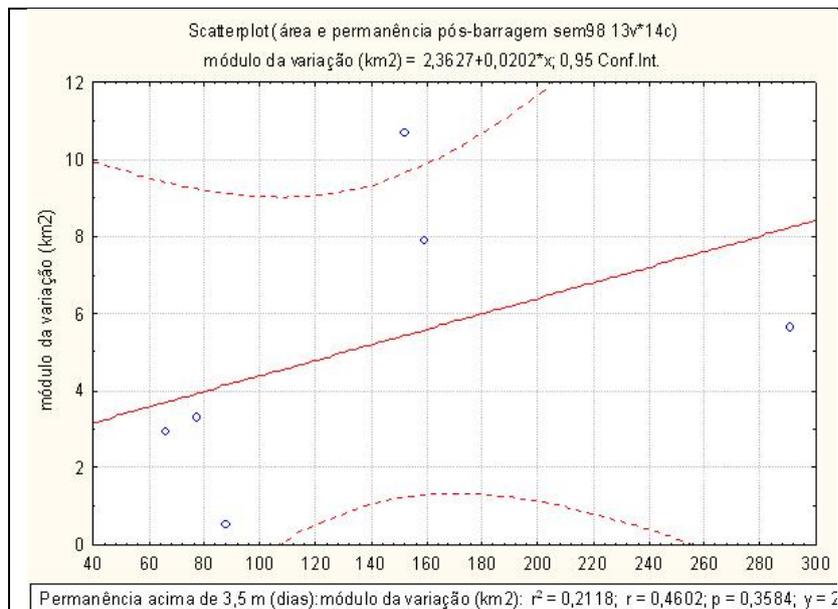


Figura 50: Resultado da análise de regressão entre o módulo da variação de área e a permanência em níveis superiores a 3,5 m no período entre 1999 e 2010.

A análise de regressão entre a taxa de variação de área e a permanência não mostrou resultados significativos. A permanência acima de 3,5 m indicou que há pouco mais de 14% de possibilidade de que o aumento da permanência acima deste nível propicie domínio dos processos erosivos (Figura 51, à esquerda). Por sua vez, o gráfico da parte direita da Figura 51 indica que há quase 13% de chance de que o aumento do tempo em que as águas permanecem acima de 6,0 m induza o domínio de processos deposicionais (Figura 51).

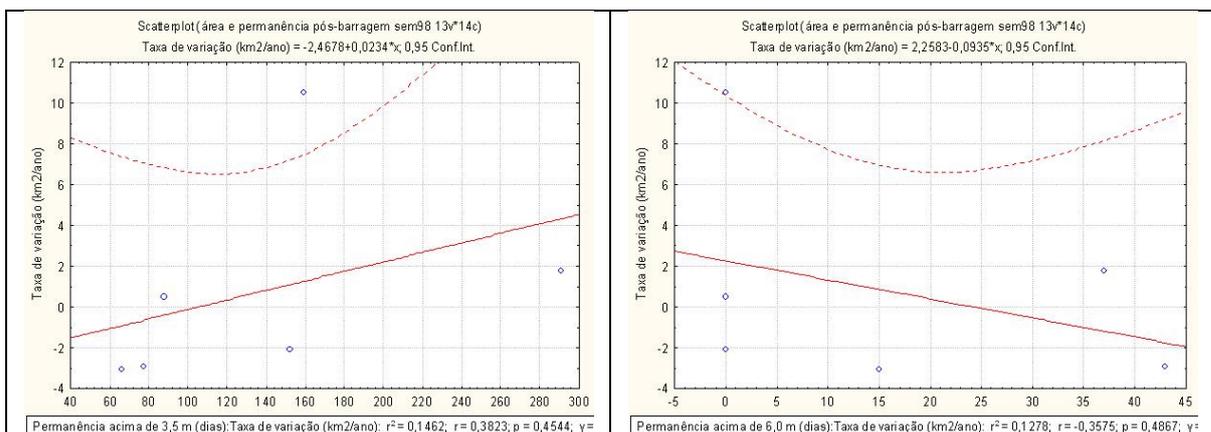


Figura 51: Resultados da análise de regressão entre a taxa da variação de área e a permanência em níveis superiores a 3,5 m (esquerda) e a 6 m (direita) no período entre 1999 e 2010.

Os resultados da análise de regressão entre o módulo da taxa de variação de área e a permanência demonstraram que ao contrário do período anterior à barragem, a permanência não influenciou em nada a velocidade de modificação do canal, uma vez que o maior valor de r^2 foi de 0,0704.

Tais resultados mostram que a dinâmica fluvial foi modificada pela formação do reservatório de Porto Primavera. Antes de sua formação a descarga máxima controlava a relação entre os processos e depois dela a relação passou a ser controlada pela descarga média. Além disso, antes de 1998 o aumento da descarga máxima promovia maiores taxas de sedimentação nos sítios deposicionais e depois de 1999, o aumento da descarga média não mais promoveu o aumento da deposição, pelo menos nas mesmas intensidades anteriormente existentes.

É possível que tal situação esteja relacionada à falta de suprimento detrítico. O corte do suprimento de carga de fundo pode ter feito com que o aporte de areia nos sítios deposicionais tenha diminuído, o que restringiria a intensidade da expansão das áreas deposicionais.

Outra diferença importante foi a diminuição da influência da taxa de permanência sobre o balanço entre os processos e sobre a intensidade da variação de área. Uma explicação para isso pode estar relacionada ao controle da descarga, uma vez que houve diminuição dos valores de permanência em todos os níveis. Ou seja, as ondas de cheia passaram a ser mais curtas e a terem menores magnitudes, o que pode ter mudado o valor da descarga que realiza trabalho mais efetivo.

5.8. Os resultados da análise dos dados normalizados.

A normalização dos dados permitiu a verificação da confiabilidade dos resultados anteriormente obtidos por meio das análises de regressão. Nesta forma a investigação entre as variáveis é feita por meio de valores adimensionais, uma vez que todos eles referem-se à sua relação com o seu respectivo valor médio. A análise dos resultados obtidos será realizada considerando o intervalo entre 1985 e 2010, o período anterior a 1998 (inclusive) e o posterior a 1999 (*idem*).

5.8.1. Os resultados da análise dos dados normalizados do período entre 1985 e 2010.

As análises de regressão dos valores normalizados das variáveis dependentes (variação de área, módulo da variação de área, taxa de variação de área, módulo da taxa de variação de área) e das variáveis independentes (tempo, descarga média, descarga máxima e permanência acima de 3,5, 4,6 e 6,0 m) mostraram que, uma vez considerados os dados do período

completo, não foi obtida correlação na maior parte das combinações efetuadas (Tabela 12). Nas sete situações em que foi obtido valor de r^2 superior a 0,1, os valores não ultrapassaram 0,25.

Os dados demonstraram que não foi obtida nenhuma relação temporal no que diz respeito à variabilidade de todas as variáveis utilizadas. Ou seja, a probabilidade de 22% da sedimentação ter dominância sobre a erosão não foi confirmada e no conjunto, os processos foram equivalentes. Portanto, a diferença entre a área inicial do canal e a área final deve ser considerada como dentro da variabilidade da série utilizada.

Tabela 12: Valores de r^2 obtidos entre as análises de regressão entre as variáveis utilizadas. Período entre 1985 e 2010. O realce em vermelho mostra relação negativa e o em azul mostra relação positiva.

	Valor de r^2			
	Variação de área	Módulo da variação de área	Taxa de variação de área	Módulo da taxa de variação de área
Tempo	0,0037	0,0001	0,0004	0,0013
Descarga média	0,1067	0,0199	0,0185	0,2359
Descarga máxima	0,0595	0,0392	0,0145	0,1723
Permanência acima de: (m)	3,5	0,0360	0,0216	0,0950
	4,6	0,0155	0,1710	0,1629
	6,0	0,0164	0,1091	0,2494

A descarga média apresentou pequena influência sobre a variação da área e sobre o módulo da taxa de variação de área. Os resultados apresentados na Tabela 12 indicam que havia 10% de chance da erosão ter dominância sobre a deposição em vazões médias mais elevadas e mais de 23% de probabilidade da diferença de intensidade entre os processos aumentar. Tais dados confirmam as informações obtidas anteriormente.

Os resultados da Tabela 12 indicam que a descarga máxima teve alguma influência apenas sobre o módulo da taxa de variação de área repetindo a situação mostrada anteriormente. Neste caso, havia pouco mais de 17% de probabilidade do aumento da vazão máxima promover a equivalência entre os processos deposicionais e erosivos.

A permanência em descargas com nível fluviométrico superior a 3,5 m não mostrou controle sobre quaisquer das variáveis, confirmando os resultados anteriormente obtidos. Por sua vez, a permanência acima de 4,6 m apresentou relação negativa com o módulo da variação de área e o módulo da taxa de variação, ainda que baixa (Tabela 12), confirmando o obtido anteriormente. Portanto, o aumento da permanência acima deste nível tinha pouco mais de 16% de chance de diminuir a diferença de intensidade entre os processos.

A permanência em níveis superiores a 6,0 m apresentou relações semelhantes à obtida para 4,6 m, embora com valores distintos, mas confirma os resultados que não foram normalizados. Ou seja, há quase 25% de chance de que o aumento do tempo em que as águas superaram 6,0 m diminua tenha atenuado a diferença de intensidade dos processos.

O conjunto desses resultados mostra que a descarga e sua permanência não foram os principais fatores que controlaram o balanço entre a erosão e a deposição no período entre 1985 e 2010. Contudo, a intensidade e duração das cheias tiveram participação de até 25% desse controle, fazendo com que os processos deposicionais fossem mais intensos conforme seu aumento.

5.8.2. Os resultados da análise dos dados normalizados no período entre 1985 e 1998.

Os resultados das análises de regressão (Tabela 13) dos dados referentes ao período entre 1985 e 1998 (inclusive) apresentaram valores que permitiram estabelecer tendências para a maior parte das variáveis.

Tabela 13: Valores de r^2 obtidos entre as análises de regressão entre as variáveis utilizadas. Período entre 1985 e 1998. O realce em vermelho mostra relação negativa e o em azul mostra relação positiva.

		Valor de r^2			
		Variação de área	Módulo da variação de área	Taxa de variação de área	Módulo da taxa de variação de área
Tempo		0,0071	0,4345	0,2620	0,6859
Descarga média		0,2843	0,0722	0,4396	0,0806
Descarga máxima		0,1664	0,2398	0,4925	0,7963
Permanência acima de: (m)	3,5	0,0114	0,2876	0,1056	0,4462
	4,6	0,0025	0,6072	0,0394	0,6021
	6,0	0,0297	0,1894	0,2535	0,6410

A variação de área não apresentou tendência temporal, mas sua taxa de variação tendeu a diminuir, enquanto o módulo de ambas tendeu a aumentar mostrando situação similar à mostrada pelos dados não normalizados, exceto para a taxa de variação de área. Portanto, há mais de 68% de chance de que a diferença de intensidade entre os processos tenha aumentado, embora a alternância entre eles tenha levado à pequena diferença entre a área medida em 1985 e aquela obtida em 1998. Há pelo menos 26% de chance de pode ter havido um progressivo domínio dos processos deposicionais.

A descarga média teve influência sobre a variação de área e sobre sua taxa, e os resultados obtidos para todas as variáveis dependentes foram idênticos aos dos dados não normalizados. Ou seja, havia quase 44% de possibilidade do aumento da descarga média proporcionar o domínio dos processos deposicionais.

A descarga máxima apresentou relação positiva com a variação de área e com sua taxa, embora tenha apresentado relação negativa com o módulo de ambas, com valores quase idênticos aos dos dados não normalizados. Isso significa que o aumento da descarga máxima tinha pelo menos 49% de chance de propiciar o domínio dos processos erosivos e mais de 79% de possibilidade de fazer com que os processos se iguallassem.

Aparentemente, a taxa de deposição aumentava conforme o aumento da descarga e até certo valor tinha domínio sobre a intensidade dos processos erosivos. Contudo, nas cheias, a partir de determinado valor de vazão, as taxas erosivas seriam intensificadas a ponto de igualar ou mesmo suplantar o valor das taxas deposicionais.

Uma vez que a taxa de erosão marginal aumenta exponencialmente de acordo com a velocidade de fluxo (Figura 2), é possível que o aumento da taxa de sedimentação seja linear, ou siga uma curva exponencial mais aberta. Infelizmente, no rio Paraná, não há estudo a respeito do controle da descarga sobre a sedimentação para permitir que essa suposição seja confirmada.

Os resultados das análises dos dados de permanência também foram quase idênticos aos obtidos a partir dos dados não normalizados. Eles não mostraram influência sobre a variação de área, em dois casos influenciaram positivamente sua taxa e em todos os casos tiveram influência negativa sobre os módulos de ambas as variáveis.

Os dados indicam que havia pouco mais de 25% de chance da permanência acima do nível mais elevado proporcionar o domínio dos processos erosivos e que quanto maior o nível das águas, maior a possibilidade do equilíbrio entre os processos ser influenciado. Em todos os casos o aumento da permanência teria levado à equivalência entre a erosão e a deposição, mas as águas acima de 6 m teriam tido pelo menos 64% de chance de proporcionar o afirmado. Esse quadro reforça as interpretações referentes ao controle da descarga sobre os processos fluviais do rio Paraná no período anterior à barragem ser completada.

5.8.3. Os resultados da análise dos dados normalizados no período entre 1999 e 2010.

Os resultados das análises de regressão dos dados do período posterior a 1999 (inclusive) não mostraram a mesma consistência que os obtidos para o período que o

antecedeu (Tabela 14). Apesar disso, a variação de área teve 73 % de chance de aumento ao longo do período e a taxa de variação teve pouco mais de 32 %, indicando que os processos erosivos tenderam a aumentar com o passar do tempo.

A pequena tendência à diminuição do módulo da variação de área e a inexistência de controle temporal do módulo da taxa de variação indica que havia menos de 16 % de chance das intensidades dos processos tenderem à igualdade.

O progressivo domínio dos processos erosivos e a pequena possibilidade de equilíbrio entre os processos deposicionais e erosivos mostra um quadro distinto daquele obtido com os dados não normalizados. Tal quadro difere também da situação apurada para o período anterior à barragem, quando havia possibilidade de progressivo domínio da deposição e tendência ao aumento da diferença de intensidade entre eles.

Tabela 14: Valores de r^2 obtidos entre as análises de regressão entre as variáveis utilizadas. Período entre 1999 e 2010. O realce em vermelho mostra relação negativa e o em azul mostra relação positiva.

	Valor de r^2			
	Variação de área	Módulo da variação de área	Taxa de variação de área	Módulo da taxa de variação de área
Tempo	0,7309	0,1582	0,3246	0,0160
Descarga média	0,4695	0,2885	0,0293	0,0432
Descarga máxima	0,1458	0,0449	0,0024	0,3491
Permanência acima de: (m)	3,5	0,2293	0,5384	0,0595
	4,6	0,4383	0,2243	0,0307
	6,0	0,2209	0,0191	0,0005

A descarga média mostrou influência sobre a variação de área e sobre seu módulo, mas não influenciou nem a taxa de variação de área e tampouco o seu módulo, quadro bastante distinto daquele obtido pelos dados não normalizados.

Pelos valores de r^2 , teria havido quase 47 % de chance do aumento da descarga média favorecer o domínio dos processos erosivos e quase 29 % de possibilidade dele favorecer a diminuição da diferença de intensidade entre eles. Contudo, tais tendências não foram confirmadas pelas relações com a taxa de variação e com seu módulo.

A descarga máxima não havia demonstrado nenhuma influência sobre as quatro variáveis quando os dados não normalizados foram analisados. Contudo, os dados normalizados mostram que ela teve influência na variação de área do canal e no módulo da taxa de variação. Ou seja, havia mais de 14 % de chance dos processos erosivos predominarem em altas descargas e quase 35 % de ocorrer aumento da diferença entre a intensidade dos processos.

A influência dos valores da descarga sobre as quatro variáveis demonstra que a dinâmica do canal foi alterada. Se antes da barragem o aumento da descarga média poderia provocar o aumento do domínio da deposição e o incremento da vazão máxima poderia proporcionar o predomínio da erosão, depois da barragem o aumento da descarga tendeu a aumentar o domínio dos processos erosivos e a diferença entre a intensidade deles.

As relações entre os valores dos diversos níveis de permanência somente foram similares aos obtidos por meio dos dados não normalizados no que diz respeito ao módulo da taxa de variação de área. Nos demais casos a situação foi bastante distinta.

Os dados da tabela 14 indicam que quanto maior a duração das cheias, maior o domínio dos processos erosivos e maior a diferença de intensidade entre os processos. A influência da permanência tendeu a diminuir conforme o aumento do nível fluviométrico de referência, mas persistiu até o valor mais elevado.

A influência dos valores de permanência sobre o balanço dos processos é distinta do que foi verificado no período anterior à barragem, quando seu aumento levava ao domínio da sedimentação e à tendência de equivalência entre os processos. Além disso, a equivalência tornava-se maior conforme aumentava o nível de referência. No período em discussão, o aumento da permanência favorecia o domínio da erosão e quando no nível mais elevado podia levar ao aumento da diferença entre a intensidade dos processos.

O período posterior à barragem aparentemente mostra uma atenuação da intensidade dos processos deposicionais, o que pode ser explicado pela progressiva diminuição da disponibilidade dos sedimentos de fundo. Uma vez que essa disponibilidade deve ter diminuído gradualmente, a coerência entre as relações é menor do que a obtida para os dados anteriores à barragem.

5.9. A superposição de imagens para a identificação dos locais e taxas da erosão marginal.

A superposição de imagens de datas diferente pode ser uma ferramenta interessante para a localização de áreas erosivas e deposicionais ou para a verificação das taxas de deslocamento lateral do canal. Contudo, após a verificação do maior valor de variação de área do canal (10,52 km²) foi verificado que o tamanho “pixel” e a margem de erro do registro das imagens poderiam inviabilizar este procedimento.

A largura do “pixel” é de trinta metros e a margem de erro do registro das imagens variou de 2 a 4 pixels. Dessa forma, uma imagem pode estar deslocada em relação à outra em

até 8 “pixels”. Uma vez que a maior variação de área observada correspondeu a uma variação de 185 m da largura média, a possibilidade de erro (entre 0 e 240 m) pode superar o referido valor. As tentativas de superposição comprovam a afirmação, como pode ser verificado nas figuras 52 e 53.

A Figura 52 apresenta as áreas erodidas dispostas nas mesmas posições relativas, ou seja, sempre na porção esquerda do canal e em todas as margens, incluindo as áreas de afloramento rochoso. A figura 53 mostra uma situação semelhante, mas com as áreas menores. Neste caso a diferença do georreferenciamento é menor, mas ainda existe.

No caso da figura 54 o problema não é observável, mas o deslocamento de um “pixel” pode ter persistido, podendo ter provocado um erro de 3,2 % da largura média. Contudo, quando considerada a variação da largura do canal no período entre 1999 e 2004 (187 m), o erro aumenta para 32%, incompatível com as medidas referentes à área erodida e depositada.

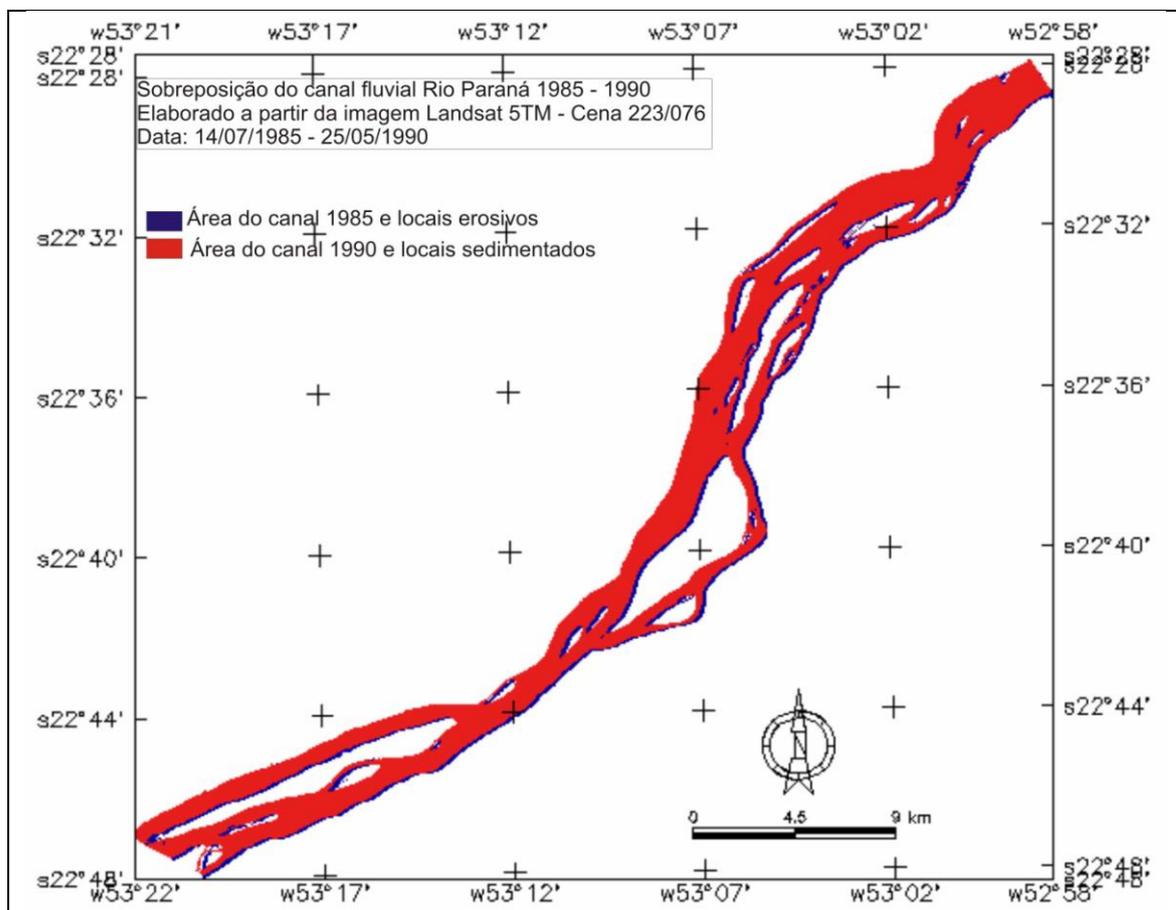


Figura 52: Sobreposição das cartas de 1985 (azul) e 1990 (vermelho). Fonte: Puerta, L. L. (2010)

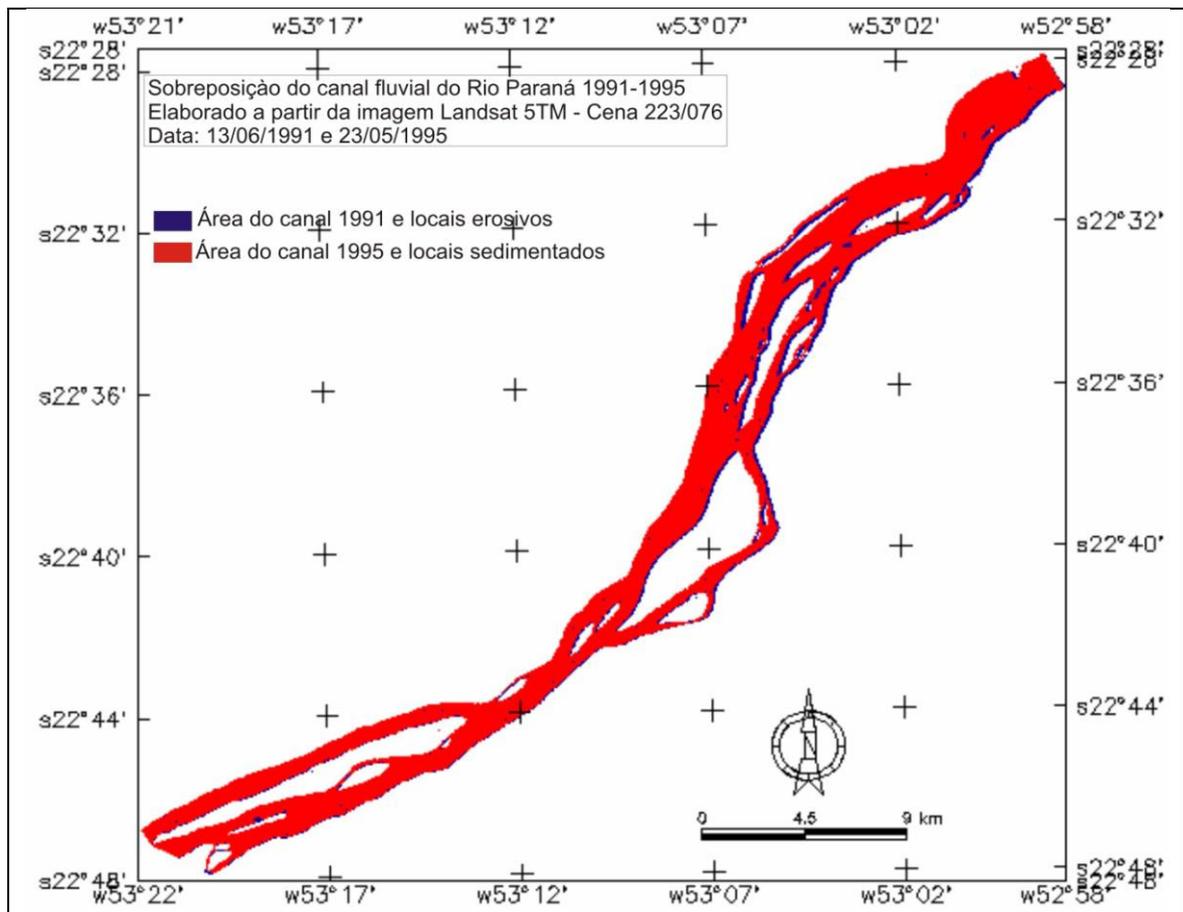


Figura 53: Sobreposição das cartas de 1991 (azul) e 1995 (vermelho). Fonte: Puerta, L. L. (2010).

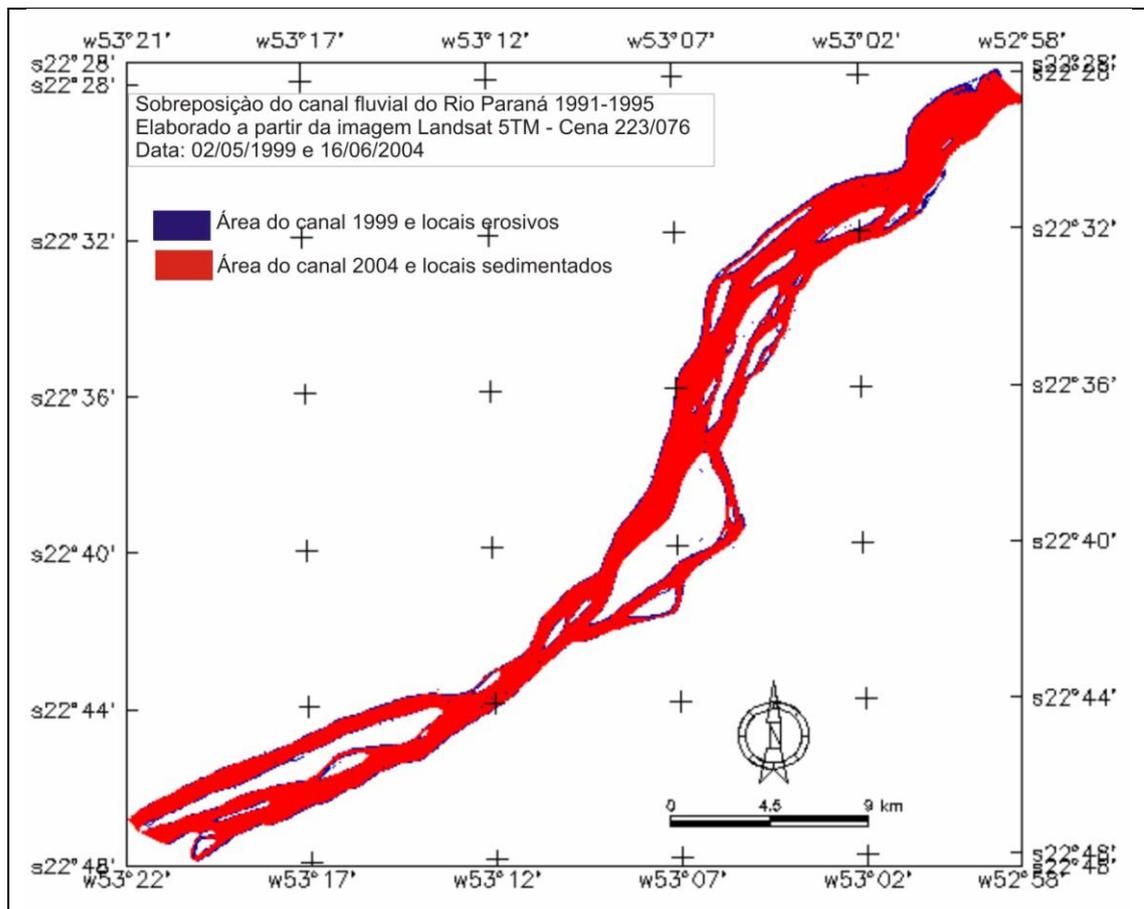


Figura 54: Sobreposição das cartas de 1999 (azul) e 2004 (vermelho). Fonte: Puerta, L.L. (2010).

Por essas razões, não foi possível quantificar a área erodida e a área depositada em cada intervalo de tempo analisado, tampouco definir a localização dos sítios onde os processos ocorreram. Para o rio Paraná, a realização desta abordagem exige o uso de imagens de alta resolução espacial, o que limita sua aplicação aos anos 2000, inviabilizando a comparação com o período anterior ao barramento.

6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os métodos utilizados demonstraram bastante eficiência no que diz respeito à cartografia da área do canal e sua quantificação, mas a tentativa de definir os sítios deposicionais e erosivos não obteve sucesso, inviabilizando o cálculo das taxas de erosão e de deposição. Por sua vez, o balanço entre os processos deposicionais e erosivos pôde ser bem avaliado, assim como as tendências temporais de domínio ou de equilíbrio entre eles.

O uso da análise de regressão para averiguar a influência de diversos aspectos da descarga fluvial sobre a variação de área do canal mostrou-se eficiente, com exceção daquelas

efetuadas com os dados do período posterior ao barramento, em que os valores normalizados não confirmaram as relações estabelecidas inicialmente.

No período entre 1985 e 2010 a área do canal variou de 112,59 para 106,51 km² (nas datas utilizadas), tendo obtido o valor máximo de 117,97 km² em 1997 e o mínimo de 100,86 km² em 2007. A diminuição do canal ocorreu a uma taxa média de 0,234 km² por ano, mas a tendência de domínio dos processos deposicionais não pode ser confirmada estatisticamente.

Nos primeiros 10 anos o canal esteve sob domínio de processos deposicionais, mas as taxas anuais iniciais mudaram de -0,671 para -0,076 km² por ano nos últimos anos desse decênio, indicando uma redução da diferença de intensidade entre os processos. Tal situação foi interrompida após 1995, ano em que teve início uma sequência de fortes modificações no canal e que persistiu até 1999. Neste intervalo de tempo as taxas anuais alternaram-se de 5,297 para -8,963 e para 10,520 k²/ano e caracterizaram um período de perturbação da dinâmica fluvial. O tratamento estatístico confirmou que o período entre 1997 e 1999 apresentou dados anômalos tanto no que diz respeito à variação de área como na taxa de variação do canal. É necessário reforçar que o fechamento da barragem ocorreu no final de 1998.

A partir de 1999 os processos deposicionais voltaram a dominar e a diferença de intensidade aumentou fazendo com que as taxas passassem de -2,082 para -3,068 km² por ano em 2005. Entre este ano e 2006 os processos erosivos mostraram-se mais intensos levando à uma ampliação do canal à taxa de 0,482 km²/ano, mas os processos deposicionais voltaram a dominar e em 2006 a taxa foi de -2,921 km²/ano. Nos últimos tres anos os processos erosivos propiciaram a ampliação do canal à uma taxa de 1,738 km²/ano.

A análise da influência das variáveis hidrológicas mostrou que descarga e sua permanência não foram os principais fatores que controlaram o balanço entre a erosão e a deposição no período entre 1985 e 2010. A intensidade e duração das cheias obtiveram os melhores resultados, mas ainda assim elas explicaram apenas 25% do controle. Ou seja, há outros fatores que influenciaram a dinâmica erosiva e deposicional.

No intervalo entre 1985 e 1998 a área do canal não teve tendência significativa de aumento ou de diminuição, mas a diferença de intensidade dos processos tendeu a aumentar, principalmente devido aos valores obtidos no final do intervalo (período perturbado). A tendência de domínio dos processos deposicionais mostrou-se baixa. A descarga apresentou influência significativa sobre o balanço entre erosão e deposição. A descarga média foi um dos fatores de controle do domínio da deposição (44%), enquanto a descarga máxima mostrou 79% de tendência de aumentar a intensidade de ambos os processos.

A taxa de aumento da intensidade da erosão devia ser diferente da taxa de aumento da deposição, pois em descargas máximas mais baixas ocorreu o domínio de processos deposicionais, enquanto nas altas os processos erosivos tornaram-se mais intensos, chegando próximo ao equilíbrio. Os resultados da análise dos valores de permanência foram coerentes com tal informação, ou seja, quanto maior o tempo que a descarga permaneceu em níveis mais elevados, maior a igualdade entre os processos (64 % de chance para o número de dias em que a água permaneceu acima de 6 metros).

O período posterior ao fechamento da barragem mostrou crescente domínio dos processos erosivos (73% de possibilidade), indicando que os processos deposicionais diminuíram de intensidade progressivamente. A progressiva remoção dos depósitos do leito pode explicar a diferença entre o balanço dos processos.

A descarga fluvial mostrou baixo controle sobre o balanço entre os processos, mas as descargas elevadas tenderam a aumentar o domínio de um processo sobre o outro, ainda que com apenas com 35 % de chance. O mesmo pode ser dito com relação à permanência, já que quanto maior a duração das cheias, maior foi o domínio dos processos erosivos e maior a diferença de intensidade entre os processos. Contudo, tal influência tendeu a diminuir conforme o aumento do nível fluviométrico de referência.

Portanto, a construção da barragem provocou alteração na dinâmica do canal seja nos anos imediatamente anteriores ao seu fechamento, seja após ele ocorrer. É possível que o desvio de segunda fase tenha proporcionado a perturbação observada em 1997 e 1998 e a formação do reservatório seja responsável pela anomalia de 1999. Ou seja, a barragem provocou a perturbação observada no período entre 1997 e 1999.

Contudo, a modificação da dinâmica continuou, pois antes da barragem o aumento da descarga média provocava o aumento do domínio da deposição e o da vazão máxima proporcionava o predomínio da erosão, enquanto depois da barragem o aumento da descarga tendeu a aumentar o domínio dos processos erosivos e a diferença entre a intensidade deles. Ou seja, o período posterior à barragem mostrou uma atenuação da intensidade dos processos deposicionais devido ao corte de suprimento de sedimentos.

As conclusões obtidas permitem recomendar diversas abordagens para a continuidade de estudos sobre o tema. Uma delas refere-se ao abandono do uso de imagens de média resolução para identificar sítios deposicionais e sítios erosivos, devido à margem de erro inerente aos procedimentos de registro de imagem.

Outra recomendação é a intensificação de estudos relativos ao transporte de sedimentos e à intensidade da deposição fluvial no rio Paraná. Por fim, recomenda-se o estudo

da variação de área do canal em períodos mais curtos para definir o comportamento do balanço entre a erosão e a deposição ao fim de cada ciclo de cheia/vazante.

9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. A.; HAHNN, N. S. (Eds.) - **A Planície de Inundação do Alto rio Paraná – Aspectos Físicos, Biológicos e Econômicos** – EDUEM – Nupélia – Maringá – 460pp. Il.

AMARAL, J. A. B. do; MATTOS, A.; SOUZA FILHO, E. E. de. – **Proposta da Planície de Inundação do Rio Paraná. Estudo de Caso – “Canal Cortado, por José Américo Bordini do Amaral e outros. Embrapa Algodão.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 59. Campina Grande, PB. 33p.

ANA – Agência Nacional de Águas – Sistema de Informações Hidrológicas - Séries Históricas. [HTTP: //hidrowed.ana.gov.br](http://hidrowed.ana.gov.br)

BORGES, C. Z. -2004 - **A erosão marginal no rio Paraná após a conclusão da barragem de Porto Primavera.** Dissertação de mestrado, PGE, 55pp (inédito).

BORGES, C.Z., 2004. **Erosão marginal no rio Paraná após a conclusão do reservatório da UHE Engenheiro Sérgio Motta (Porto Primavera) a jusante da barragem.** MSc.Dissertation, University of Maringá, Maringá PR, Brazil.

CAMPOS, J.B & SOUZA, M.C. 1997, Vegetação. In: VAZZOLER, A. E. A. de M; AGOSTINHO, A. A; HAHN, N. S. (Org.). **A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos.** Maringá: EDUEM, 1997. p. 331-342.

CHIEN, N. - 1985 - **Changes in River Regime after the Construction of Upstream Reservoirs.** Earth Surface Processes and Landforms, v. 10, 143-149.

CORRÊA. G. T. **O uso do solo no arquipélago Mutum-Porto Rico – Alto rio Paraná, (PR/MS).** 1998. 27 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 1998.

CORRÊA, G. T. – 2004 – **A erosão marginal no arquipélago das ilhas Floresta e Japonesa.** Tese de doutorado, PEA, 97 pp (inédito).

CORRÊA, G. T., SOUZA FILHO, E. E. **Avaliação dos Processos de Erosão marginal no Arquipélago Floresta Japonesa (Alto Rio Paraná).** Geografia (Londrina) v.18, n. 2, 2009. <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/>

DESTEFANI, E. V. 2002. **Caracterização da erosão marginal no Rio Paraná: período pré e pós-barragem de Porto Primavera.** Monografia. DGE/UEM, Maringá, Brasil.

DESTEFANI, E. V. **Regime Hidrológico do Rio Ivaí-PR.** 2005. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro, 1981. 107 p.

FERNANDEZ, O.V.Q. (1990). **Mudanças no canal do Rio Paraná e processos de erosão nas margens: região de Porto Rico (PR)**. Dissertação de mestrado. IGCE, UNESP, Rio Claro, Brasil.

FERNANDEZ, O. V. Q. & SOUZA FILHO, E. E. (1995). **Efeitos do regime hidrológico sobre a evolução de um conjunto de ilhas no Rio Paraná, PR**. Boletim Paranaense de Geociências, 43, 161-171. Ed. da UFPR. Curitiba.

FLORENZANO, TERESA G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

HAN, Q. W. & TONG, Z. J. - 1983 - **The Impact of Danjiangkou Reservoir on the Downstream River Channel and Environment**. Proc. 14 th Congr. Intern. Comm. on Large Dams, Brazil.

ICOLD - 1980 - **Dams and the Environment**. CIGB/ICOLD, Bull. 36, 79 pp.

ICOLD - 1988 **Dams and Environment**. Case Histories. CIGB/ICOLD, Bull. 85, 112 pp.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. – 2004 - **“Tutorial (Apostila Teórica) – Introdução ao SPRING – Geoprocessamento ao alcance de Todos”**. São José dos Campos, INPE.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Relatório Técnico nº 62878 – Inspeção técnica na margem direita do rio Paraná, nos entornos da área do pesqueiro Lagoa Preta, a jusante da barragem de Porto Primavera, Batayporã, MS**. 20 pp. (inédito). Novembro de 2002.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed., Viçosa: UFV. 2003, p. 370.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2 ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1995.

OKAWA, C. M. P. **Em busca do hidrograma ecológico para a planície de inundação do alto rio Paraná: considerações iniciais**. Tese de Doutorado. PEA/UEM, 2009.

PEREIRA, V.R.; SOUZA FILHO, E.E.; AGUIAR, A.M. - **Estudo da variação de área do arquipélago Mutum-Porto Rico (Alto rio Paraná) por meio de imagens orbitais**. In: I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia Geomorfologia e Riscos Ambientais, 2004, Santa Maria. Anais de Trabalhos Completos do I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia. Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, 2004. p. 01-10.

PETTS, G. E. - 1979 - **Complex Response of River Channel Morphology Subsequent to Reservoir Construction**. Progress in Physical Geography, v 3, 329-362.

PUERTA, L. L.; SOUZA FILHO, E. E. **Estudo da variação de área do canal do rio Paraná no segmento entre a UHE Porto Primavera e a ilha Mutum, por meio de imagens MSS**

(**LANDSAT 1,2 e 3**). XV EAIC – Encontro Anual de Iniciação Científica PIBIC/CNPQ, UEPG -2006.

PUERTA, L. L.; SOUZA FILHO, E. E. **O uso de imagens CCD/CBERS 2 e de imagens MSS / LANDSAT 1, 2 e 3 para análise da dinâmica fluvial de um segmento do alto rio Paraná**. XVI EAIC – Encontro Anual de Iniciação Científica PIBIC/CNPQ, UEM - 2007.

ROCHA, P. C.; COMUNELLO, EDER. **Geomorfologia E Áreas Inundáveis Na Planície Fluvial Do Alto Rio Paraná**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa. Anais do XIII SBGFA, VIÇOSA-MG, 06 10 / 07 / 2009. Viçosa, 2009.

ROCHA, P.C.; FERNANDEZ, O.V.Q.; & SOUZA FILHO, E.E. 1994- **Influência de grandes barragens sobre o regime hidrológico do rio Paraná em Guaíra, PR**. Boletim Paranaense de Geociências (no prelo).

ROCHA, P. C. SOUZA FILHO, E. E. (1996) **Erosão marginal em canais associados ao Rio Paraná na região de Porto rico (PR)**. Boletim Paranaense de Geociências, 44, 97 – 114.

ROCHA, P.C., SOUZA FILHO, E.E & FERNANDEZ, O.V.Q., 1998. **Aspectos do controle de descargas efetuado por barramentos no alto rio Paraná**. Boletim Paranaense de Geociências 46. Curitiba-Pr-Brasil, pp 117-122.

ROCHA, P. C., SOUZA FILHO, E. E., & FERNANDEZ, O. V. Q. (1999) **Intensity of erosive processes at channel banks of up Parana river, Porto Rico Town area, Parana State, Brazil**. International Symposium on Paleohydrology Geomorphology. of Large Rivers and Field Conference, Araguaia, 3pp.

ROCHA, P.C., SANTOS, M.L. & SOUZA FILHO, E.E., 2001. **Alterações no regime hidrológico do alto rio Paraná como resposta ao controle de descargas efetuado por grandes barramentos a montante**. VIII Encuentro de Geógr. de América Latina, Santiago-Chile, pp 28-39.

ROCHA, P. C.; SOUZA FILHO, E. E.; COMUNELLO, E.; CORRÊA, G. T. (2002). **Evolução hidrodinâmica e processos erosivos marginais nos canais do sistema de inundação do alto rio Paraná, Região Centro Sul do Brasil**. Revista Pesquisas, Porto Alegre, v. 28, n. 02, p. 161-170.

ROCHA, P. C. (2002). **Dinâmica dos canais no sistema rio-planície fluvial do Alto Rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico-PR**. Tese de Doutorado. NUPELIA – UEM, Maringá, Brasil.

SANTOS, GISELE BARBOSA DOS; SOUZA FILHO, E. E. **Uso de imagens LANDSAT/TM para o calculo de área do canal do rio Paraná**. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/IAG, 2006.

SANTOS, M. L. **Faciologia e Evolução de Barras de Canal do Rio Paraná na Região de Porto Rico – Pr**. Rio Claro. Dissertação de Mestrado. IGCE/UNESP. 1991.

SANTOS, MANOEL LUIZ DOS ; FERNADEZ, O. V. Q. ; STEVAUX, J. C. . **Faciologia e**

morfologia de barras de canal no rio Paraná. Boletim de Geografia, Maringá, PR, v. 10, n. 1, p. 11-24, 1992.

SANTOS, M.L. dos -2005- **Unidades geomorfológicas e depósitos sedimentares associados no sistema fluvial do rio Paraná no seu curso superior.** Revista Brasileira de Geomorfologia, 6,1: 85-96.

SILVA, S. A. – 2007 – **Características do regime hidrológico do alto rio Paraná: modificações e aspectos ambientais.** Artigo integrante da tese de Doutorado defendida junto ao PEA, UEM. (inédito), 36 pp.

SOUZA FILHO, E. E. **Aspectos da Geologia e Estratigrafia dos Depósitos Sedimentares do Rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaíra (Pr).** São Paulo, 1991, tese de (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

SOUZA FILHO, E. E. **Aspectos da geologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares do rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaíra (PR).** 1993. 214 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

SOUZA FILHO, E. E. . **Feições do sistema anastomosado pré-atual do rio Paraná.** In: 38 CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1994, CAMBURIÚ, SC. *Anais...*Camburiú : SBG., v. 1. p. 407-409, 1994.

SOUZA FILHO, E. E. de. **Diagnóstico do meio físico e condições emergentes da planície do rio Paraná em Porto Rico.** *Geonotas*, Maringá, v. 03, n. 03, p. 1-10, 1999.

SOUZA FILHO, E.E. 2008. Evaluation of the Upper Paraná River discharge control by reservoirs. **The Brazilian Journal of Biology (ASRBB)**, 19 p.

SOUZA FILHO, E. E. - **Evaluation of the Parana River discharge control on Porto São José Fluvimetric Station (State Of Parana - Brazil).** *Brazilian Journal of Biology*, 69 (2, Suppl.): 631-637, 2009

SOUZA FILHO, E. E. **Relatório PELD MEIO FÍSICO Geologia e Geomorfologia.** 2011. (inédito).

SOUZA FILHO, E.E. **A influência da UHE de Porto Primavera na erosão marginal da parte do rio Paraná situada à jusante da barragem.** Laudo Judicial. 40 pp (inédito).

SOUZA FILHO, E. E.; MARTINS, D. P.; MEURER, M.; STEVAUX, J. C. – 2004 – **As modificações do canal do rio Paraná após o reservatório da Usina Hidrelétrica Eng. Sergio Motta (Porto Primavera), Brasil.** III Encontro Latino Americano de Geografia Física, México, AMB 7, 9 pp.

SOUZA FILHO, E. E. de; ROCHA, P. C.; CORREA, G. T.; COMUNELLO, E. **O ajuste fluvial e a erosão das margens do rio Paraná em Porto Rico (Brasil).** In: REQUI/ICQPLI, 5., 2001, Lisboa. *Anais...* Lisboa, 2001. v. 0. p. 01-05.

SOUZA FILHO, E.E. & STEVAUX, J.C.- 1997- **Geologia e geomorfologia do complexo rio Baía, Curutuba, Ivinheima.** In: **A Planície de Inundação do Alto Rio Paraná.** A.E.A.

de M. VAZZOLER, A.A. AGOSTINHO, & N.S. HAHN, (Eds.), EDUEM NUPÉLIA, Maringá, 460 pp.

SOUZA FILHO, EE. & STEVAUX, JC. -1997- **As barras fluviais da parte média do alto rio Paraná**. VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - ABEQUA, Curitiba, Boletim de Resumos Expandidos, p. 265-269.

SOUZA FILHO, E. E. & STEVAUX, J. C. (2000). **Relatório anual do Programa de Ecologiade Longa Duração (PELD) – Meio Físico**. Maringá. www.uem.nupelia.br.

SOUZA FILHO, E. E. & STEVAUX, J. C. (2001). **Relatório anual do Programa de Ecologiade Longa Duração (PELD) – Meio Físico**. Maringá. www.uem.nupelia.br.

SOUZA FILHO, E. E.; STEVAUX, J. C. – 2003 – **Relatório PELD, Meio Físico**, www.uem.nupelia/peld

SOUZA FILHO, E. E. ; STEVAUX, JOSÉ CÂNDIDO. **Relatório PELD 2004**.

SOUZA FILHO, E. E. ; STEVAUX, JOSÉ CÂNDIDO. **Relatório PELD 2005**.

SOUZA FILHO, E. E. ; STEVAUX, JOSÉ CÂNDIDO. **Relatório PELD MEIO FÍSICO Geologia e Geomorfologia**. 2008.

STEVAUX, JOSÉ C., MARTINS, DEBORA P., MEURER, M., **Changes in a large regulated tropical river: The Parana River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil**, *Geomorphology* (2009), doi: 10.1016/j.geomorph.2009.03.015.

TEIXEIRA, A. E. ; SOUZA FILHO, E. E. . **Avaliação dos processos erosivos no canal do rio Paraná à jusante da barragem de Porto Primavera**. In: XI Encontro anual de Iniciação Científica, 2002, Maringá. XI EIAC. Maringá : UEM, 2002. v. 1. p. 1-1

THORNE, C. R.; TOVEY, N. K. (1981). **Stability of composite rivers banks**. *Eath surface Processes an Land Forms*, 6. P. 469 – 484.