

Análise da dinâmica fluvial do rio Cachoeira (Antonina-PR), entre os anos de 1954 e 2005

Analysis of fluvial dynamics of Cachoeira River (Antonina-PR), between the years 1954 and 2005

Andréia Quintão Soares de Assis¹

RESUMO

A área de abrangência deste trabalho está inserida na bacia hidrográfica do rio Cachoeira, localizada no município de Antonina (PR). Esta, segundo estudos já realizados, denota maior contribuição ao processo de assoreamento da baía de Antonina. O objetivo da pesquisa foi analisar a dinâmica fluvial do rio Cachoeira, a partir de dados morfométricos e morfológicos, considerando os anos de 1954, 1980, 1996 e 2005. Utilizou-se materiais cartográficos como cartas topográficas, fotografias aéreas dos anos de 1954, 1980 e 1996 e imagens de satélite SPOT 5 do ano de 2005. Também foi utilizado o banco de dados do Programa CAD (Contaminantes, Assoreamento e Dragagens no estuário de Paranaguá/PR). Foi realizada a elaboração de mosaicos a partir das fotografias aéreas e imagens de satélite dos quatro anos trabalhados. O rio Cachoeira foi segmentado em duas partes, para que as informações obtidas pudessem ser comparadas. Três feições fluviais (meandro abandonado, barra de pontal e ilha fluvial) foram escolhidas para serem analisadas nos dois segmentos. Posteriormente foram definidas 10 variáveis morfométricas e morfológicas para obtenção de valores quantitativos, lineares e de área. O resultado da análise morfométrica e morfológica dos segmentos do rio Cachoeira mostrou que o segmento planície teve alterações mais significativas ao longo dos anos estudados do que o segmento serra. Constatou-se que o intervalo que vai de 1996 a 2005 foi o que mais sofreu alterações, considerando os dois segmentos do rio Cachoeira. As especificidades morfométricas, a dinâmica da cobertura e uso da terra e a presença da Usina Hidrelétrica Parigot de Souza são exemplos de fatores que explicam as mudanças ocorridas nos dois segmentos.

Palavras-chave: Rio Cachoeira; dinâmica fluvial; feições fluviais; análise morfométrica e morfológica.

ABSTRACT

The area covered by this study is part of the Cachoeira River basin, located in the city of Antonina (PR). This, according to studies already done, denotes greater contribution to the process of silting of Antonina Bay. The research objective was to analyze the dynamics of fluvial Cachoeira river, from morphological and morphometric data, considering the years 1954, 1980, 1996 and 2005. It was used materials such as topographic mapping, aerial photographs of the years 1954, 1980 and 1996 and SPOT 5 satellite imagery of 2005. It was used the database program CAD (Contaminants, Siltation and dredging in the estuary of Paranaguá / PR). It was performed the preparation of mosaics from aerial photographs and satellite images of the four years worked. The Cachoeira river was divided into two parts so that the information obtained

¹ Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

could be compared. Three fluvial features (abandoned meander, spit bar and river island) were chosen to be analyzed in two segments. Later, they were defined 10 morphological and morphometric variables for obtaining values of quantitative, linear and area. The result of the morphological and morphometric analysis of the segments of the Cachoeira river showed that the plain segment had more significant changes over the years studied than the segment saw. It was found that the period from 1996 up to 2005 has suffered the most changes, considering the two segments of Cachoeira river. The morphometric characteristics, the dynamics of land cover and land use and the presence of Hydroelectric Parigot de Souza are examples of factors that explain the changes in the two segments.

Keywords: *Cachoeira river. fluvial dynamics. fluvial features. morphological and morphometric analysis.*

INTRODUÇÃO

Os canais fluviais são, freqüentemente, objetos de estudo em pesquisas na área das geociências sob diferentes perspectivas ou enfoques, pois de acordo com Christofolletti (1969), os estudos que envolvem a análise da rede hidrográfica podem levar à compreensão e à elucidação de numerosas questões geomorfológicas, já que os cursos d'água constituem processos morfogenéticos dos mais ativos na esculturação do relevo, podendo refletir o clima e a geologia local, servindo, portanto, como parâmetros para o diagnóstico do meio físico.

Segundo Church (1992), vários fatores conduzem os processos físicos em canais fluviais e, conseqüentemente, em sua morfologia. Este autor destaca como fatores principais: o volume e o tempo de escoamento do fluxo; as características do sedimento transportado; e a história geológica da paisagem fluvial. E como fatores secundários: o clima local; o tipo de vegetação ripária; e o uso do solo da bacia de drenagem. Também considera um fator adicional, não menos importante: a modificação direta da morfologia do canal por causas antrópicas, que podem impactar e gerar desequilíbrios ao sistema natural.

De acordo com Cunha (2007), na natureza, os rios estão em equilíbrio com seus fluxos, havendo um balanço entre a descarga líquida, o transporte de sedimentos, a erosão e deposição, de tal modo que o rio mantém a proporcionalidade do tamanho de sua calha, da nascente à foz. Mas este equilíbrio longitudinal pode sofrer alteração, por um processo natural ou como resultado da atividade humana.

Os processos responsáveis por assoreamentos são muito complexos, abrangendo principalmente erosão e movimentos de massa, transporte dos sedimentos nos cursos d'água e sua deposição na calha dos rios, lagos, reservatórios

e estuários. Todos esses processos que envolvem o sedimento são naturais que sempre ocorreram através dos tempos geológicos, sendo responsáveis pela forma atual da superfície da Terra (CARVALHO, 2008).

Mas além dos eventos naturais, as atividades antrópicas podem alterar o estado de relativa estabilidade da paisagem em diferentes escalas, mudando a vazão de cursos d'água e/ou ampliando a quantidade de sedimentos a serem transportados, por exemplo. Nestas condições o processo de assoreamento pode ser consideravelmente acelerado, tal como vem ocorrendo na baía de Antonina (PAULA, 2010).

Dada a relevância dos problemas decorrentes do assoreamento das baías de Antonina e de Paranaguá, litoral paranaense, teve início em 2005 o Programa CAD (Contaminantes, Assoreamento e Dragagens no estuário de Paranaguá/PR), cuja descrição detalhada pode ser encontrada em Boldrini & Paula (2008).

É importante ressaltar que a presente pesquisa tem o Programa CAD como propulsor ao seu desenvolvimento. Este programa em suas distintas fases vem possibilitando uma excelente caracterização da área de drenagem das baías de Antonina e de Paranaguá, a partir de pesquisas bibliográficas de trabalhos anteriormente desenvolvidos nesta área e, sobretudo, a partir da organização de um Banco de Dados Geográfico disponível, em nível de detalhe, como para poucas regiões no território nacional. O mencionado banco de dados encontra-se descrito em Paula & Cunico (2007).

Segundo Paula (2010), acredita-se que o processo de assoreamento da baía de Antonina deva ser estudado a partir da identificação dos processos naturais e intervenções antrópicas, que tem potencial ou que de fato contribuam para a disponibilização de sedimentos à expressiva rede de drenagem, a qual carrega água e sedimentos à mencionada baía. Para tanto, o diagnóstico das diversas bacias hidrográficas formadoras da área de drenagem da referida baía, dentre elas a do rio Cachoeira, demonstra-se como sendo primordial.

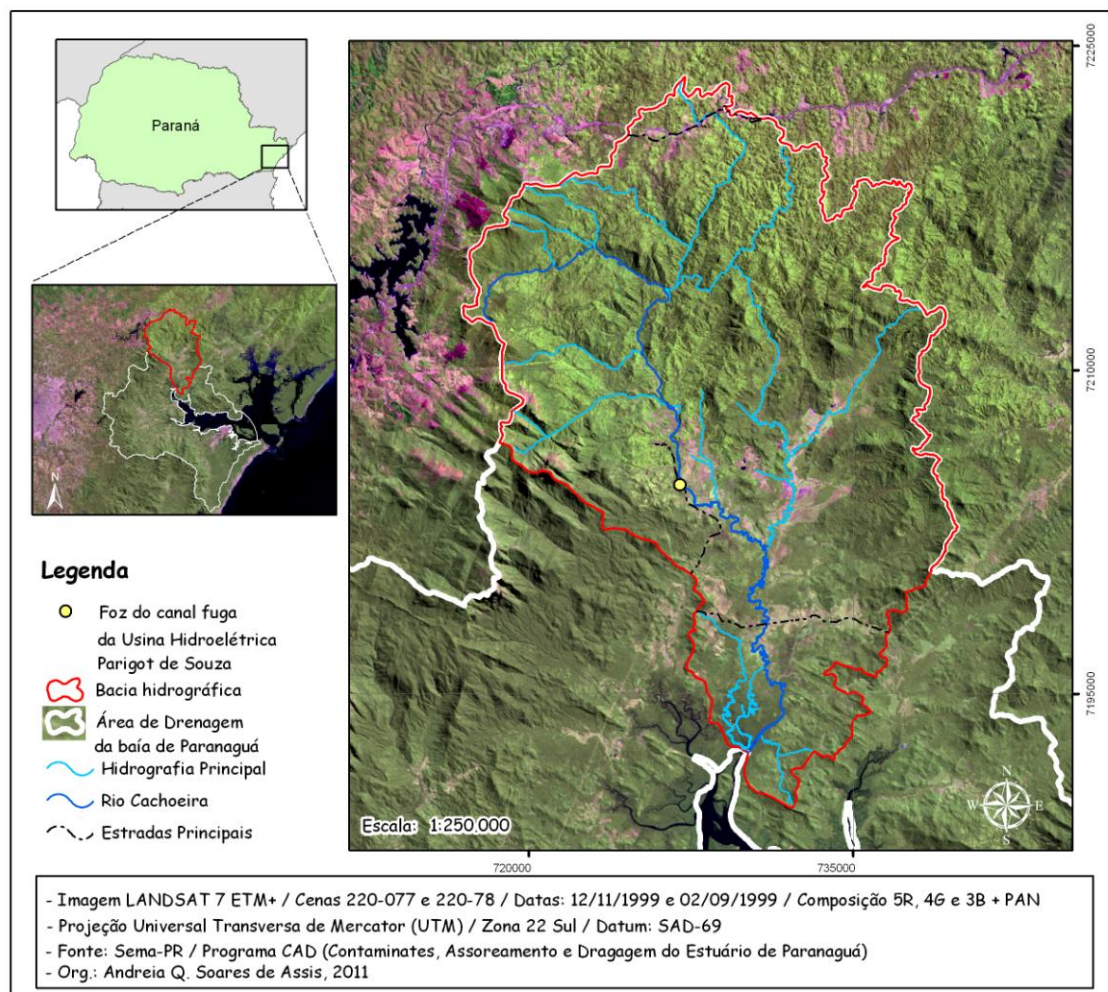
Um aspecto a ser considerado refere-se a presença do canal fuga da Usina Hidrelétrica Governador Pedro V. Parigot de Souza (inaugurada em 1971), operada pela COPEL (Companhia Paranaense de Energia Elétrica) na bacia hidrográfica do rio Cachoeira. O aproveitamento hidroelétrico consistiu no represamento das águas do Rio Capivari, pertencente à bacia hidrográfica do rio Capivari no Primeiro Planalto Paranaense (MAACK, 1960), a 830 metros acima do nível do mar, e seu desvio para o rio Cachoeira, no litoral paranaense, através de um

canal de adução (com mais de 15 km de comprimento), atravessando o maciço rochoso da Serra do Mar, obtendo-se um desnível de 740 metros (MANTOVANELLI, 1999).

Segundo Paula (2010), quando se analisa a produção de sedimentos anual total por unidade hidrográfica da área de drenagem do Complexo Estuarino de Paranaguá, verifica-se que a bacia hidrográfica do rio Cachoeira denota maior contribuição ao processo de assoreamento da baía de Antonina, por disponibilizar cerca de 6.092 toneladas de sedimento por ano.

Portanto, o presente trabalho servirá de subsídio para compreensão da dinâmica fluvial do rio Cachoeira e como essa dinâmica pode interferir no processo de assoreamento da baía de Antonina, já que o rio Cachoeira é um dos maiores contribuintes de sedimentos na referente baía (Figura 1).

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Cachoeira



MÉTODOS E TÉCNICAS

Aquisição de Material Bibliográfico e Cartográfico

Para criar uma base conceitual objetiva foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema trabalhado, e ao mesmo tempo adquiriu-se o material cartográfico necessário para o desenvolvimento da pesquisa (Tabela 1).

Tabela 1 – Material cartográfico utilizado na pesquisa

Plano de Informação	Escala	Fonte	Ano
Cartas Topográficas (curvas de nível, pontos cotados, hidrografia e malha viária)	1: 25:000	DSG (ITCG)	2002
Geologia	1: 50.000	Pró-Atlântica/ MINEROPAR	2005
Geomorfologia (Macrozoneamento do Litoral)	1: 50.000	IPARDES	1989
Pedologia	1: 50.000	Carta Pedológica da área de drenagem da Baía de Antonina	2009
Cobertura e Uso da Terra	1: 50.000	Pró-Atlântica (ITCG)	1999
Clima	1:50.000	ITCG	2008

Como etapa preliminar à análise da dinâmica fluvial do rio Cachoeira, se fez necessário a aquisição de fotografias aéreas de diversos anos da área de estudo para assim efetuar a elaboração de mosaicos digitais. Estas fotografias foram adquiridas na Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA/PR) em formato analógico, na escala de 1:25.000 e na cor pancromática. Além destes levantamentos fez-se uso de imagens geradas pelo satélite SPOT 5 no ano de 2005 (31/12/2005), cuja resolução espacial é de 5 metros, adquiridas pelo Governo do Estado do Paraná.

Uma vez selecionadas as fotografias que recobrem a área de interesse, realizou-se a digitalização das mesmas. A etapa seguinte consistiu no processo de retificação de cada fotografia digitalizada. Segundo Andrade (1998), a retificação é uma projeção segundo seu próprio feixe perspectivo para um plano horizontal. Deste modo é possível modificar e até eliminar totalmente os ângulos de altitude da câmera em relação a um dado referencial, bem como a distância focal da imagem resultante.

Devido grande parte da área da bacia hidrográfica do rio Cachoeira estar localizada em área de relevo íngreme, optou-se por retificar apenas parte das fotografias aéreas, abrangendo assim somente o trecho do curso do rio Cachoeira e

uma área em seu entorno de aproximadamente 1.500 a 2.000 metros, sendo essa área suficiente para atender ao objetivo da pesquisa.

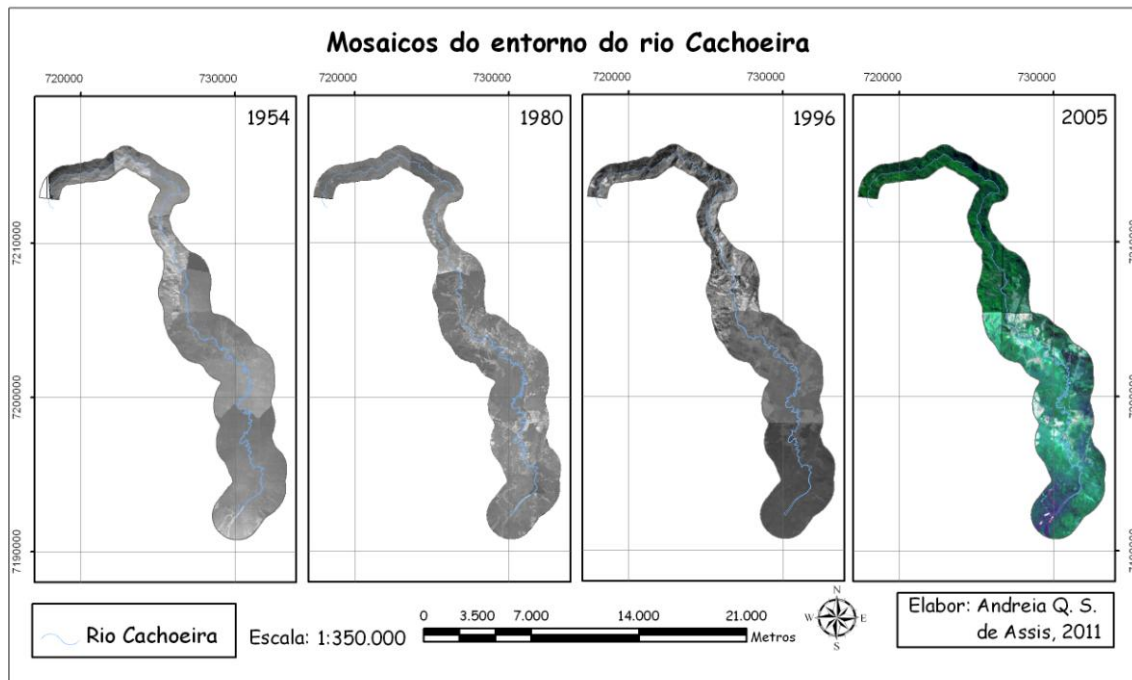
Para a execução do processo de retificação das fotografias do rio Cachoeira foi utilizado o software Global Mapper 8.0.

Visando minimizar as distorções inerentes ao processo de retificação, fez-se necessária a determinação de uma média de 60 pontos de controle para cada fotografia aérea. Sobre a escolha do número de pontos de controle, Jones et al., (1993) apud Ribeiro (2002) relatam que essa decisão está relacionada ao valor do RMS error (erro médio quadrático) do software utilizado, ou seja, é recomendado se utilizar de uma grande quantidade de pontos de controle para minimizar possíveis distorções e garantir precisão.

Para o ano de 2005 foi utilizada imagens de satélite SPOT-5, sendo que o processo de retificação foi similar ao processo das fotografias aéreas.

A etapa seguinte referiu-se à confecção dos mosaicos de fotografias aéreas e da imagem de satélite do rio Cachoeira, permitindo assim a obtenção de uma imagem única referente a cada ano estudado. Para a realização deste processo, que corresponde à montagem das linhas de vôo das fotografias aéreas, foi utilizado o software ERDAS Imagine 9.0. Os mosaicos em questão estão ilustrados na Figura 2.

Figura 2 – Mosaicos do entorno do rio Cachoeira, dos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005



Segmentação do rio Cachoeira

O rio Cachoeira possui uma extensão de 50,44 km. Optou-se em dividir o rio em dois segmentos para que as informações obtidas possam ser comparadas entre si e analisadas para cada ano a ser trabalhado.

O rio foi dividido em dois segmentos utilizando a declividade como fator de divisão, ou seja, o segmento planície do rio Cachoeira abrange uma área mais plana da bacia hidrográfica, ou seja, áreas de planície, e o segmento serra abrange uma área de alta declividade, ou seja, áreas de serra.

Feições Fluviais do rio Cachoeira

As feições fluviais do rio Cachoeira foram definidas em três classes, conforme adaptação da classificação de Riccomini et al. (2000) para os depósitos sedimentares em sistemas fluviais meandranes, também utilizada por SILVA (2010), no trabalho intitulado “Caracterização e Mapeamento das Unidades Geomorfológicas da bacia do rio Pequeno, Antonina-PR”, sendo que a bacia hidrográfica do rio Pequeno é uma sub-bacia do rio Cachoeira.

As três classes fluviais são:

1 – Ilhas Fluviais: são formadas por sedimentos depositados por acreção lateral e configuram-se como feições longitudinais, recobertas ou não por vegetação, que funcionam com uma barreira natural que divide o curso fluvial em duas direções principais.

2 – Barras de Pontal: são de composição predominantemente arenosa e resultam da acreção lateral de materiais oriundos das margens côncavas depositados nas margens convexas do canal hídrico.

3 – Meandros Abandonados: são representados por trechos abandonados por curvas meândricas, em virtudes dos processos de recortamento dos pendúculos;

Mapeamento do rio Cachoeira e suas feições fluviais

A partir dos mosaicos referentes a cada ano a ser trabalhado, realizou-se o mapeamento do rio Cachoeira e de suas feições fluviais.

O mapeamento do rio foi realizado em uma escala de visualização de 1:5000, e as feições fluviais em uma escala de visualização de 1:3000, através do software ArcGis 9.2. O rio Cachoeira foi vetorizado no formato de linha, para cada lado de sua margem, e no formato de polígono, para cálculo de área. As feições fluviais foram vetorizadas no formato de polígono.

Após o mapeamento pronto foram elaborados os mapas dos dois segmentos para cada ano a ser analisado, com suas feições fluviais, e assim quantificados e comparados.

Variáveis Morfométricas e Morfológicas do rio Cachoeira

Foram definidas 10 variáveis morfométricas e morfológicas (RICCOMINI et al., 2000) para obtenção de valores quantitativos, lineares e de área, para servirem de parâmetro de comparação ao longo do tempo dos dois segmentos do rio Cachoeira. São elas:

- 1 – Extensão do Canal: Refere-se ao comprimento do canal em km;
- 2 – Índice de Sinuosidade: Esta variável representa a relação entre o comprimento verdadeiro do canal com a distância vetorial (em linha reta), considerando dois pontos extremos do rio principal;
- 3 – Área do Canal: Corresponde ao valor da área ocupada pelo canal;
- 4 – Número de Meandros Abandonados: Expressa a quantidade de meandros abandonados encontrados no canal;
- 5 – Área em Meandros Abandonados: Refere-se a área ocupada pelas meandros abandonados;
- 6 – Número de Barras de Pontal: Expressa a quantidade de barras de pontal encontradas no canal;
- 7 – Área em Barras de Pontal: Refere-se a área ocupada pelas barras de pontal;
- 8 – Número de ilhas: Expressa a quantidade de ilhas identificadas no canal;
- 9 – Área em Ilhas: Refere-se a área ocupada pelas ilhas;

10 – Largura do Canal: Foram feitas medidas das larguras máximas, que é a medida de maior largura do canal; larguras mínimas, que é a menor largura do canal; e larguras médias, dada pela relação da área com o comprimento do canal (FONTES, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira – Antonina/PR

De acordo com Botelho (2007), para um conhecimento das reais possibilidades e limitações de uso e ocupação de uma determinada área é preciso levantar dados referentes a seus atributos físicos, como clima, geologia, geomorfologia, solos, rede de drenagem e vegetação, tomando-se a devida atenção para a necessidade de garantir um nível de investigação ou detalhamento equilibrado entre as variáveis adotadas. Assis (2011) realizou um levantamento e mapeamento destes atributos físicos da bacia hidrográfica do rio Cachoeira, aqui utilizados, para uma melhor compreensão da dinâmica do seu rio principal.

A bacia hidrográfica do rio Cachoeira encontra-se localizada integralmente no município de Antonina, possuindo uma área total de 429,62 km², equivalente a 49% da área do município.

Dentro da bacia hidrográfica do rio Cachoeira está localizada a Usina Hidrelétrica Governador Pedro V. Parigot de Souza, operada pela COPEL, e seu canal fuga. Para a operação de suas turbinas, as águas do rio Capivari (localizado no Primeiro Planalto Paranaense) que recobrem área de 950 km², são escoadas para o rio Cachoeira, aumentando a vazão deste último e por conseqüência sua capacidade de transporte de sedimentos.

Análise Morfométrica e Morfológica do Rio Cachoeira

Para fins de identificação de possíveis alterações em sua morfologia, o rio Cachoeira foi dividido em dois segmentos, o segmento planície e o segmento serra.

A partir do estudo do canal principal do rio Cachoeira e dos mosaicos gerados através de fotografias aéreas e imagens de satélite, elaborou-se uma tabela, destacando as características morfométricas e morfológicas mais relevantes dos dois

segmentos do canal, sendo elas: índice de sinuosidade, extensão do segmento, área do corpo d'água, número e área de meandros abandonados, de barras de pontal e de ilhas fluviais, e largura média, mínima e máxima do segmento.

Segue abaixo a análise das variáveis morfométricas e morfológicas dos dois segmentos a partir dos mosaicos dos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005, e as alterações produzidas neste período de 51 anos.

Segmento Planície

O segmento planície do rio Cachoeira está situado em área de planície aluvial, possuindo declividade menor que 5 % e altitude entre 0 e 30 metros. O tipo de solo predominante é o Gleissolo, ou seja, solo hidromórfico, este associado a Cambissolo Flúvico e a Neossolo Flúvico. A principal forma de vegetação é a agricultura, muitas vezes infringindo leis ambientais de áreas de preservação permanente. A pecuária também está presente neste segmento (ASSIS, 2011).

É neste segmento que está localizada a Usina Hidroelétrica Parigot de Souza, onde o rio Cachoeira recebe uma vazão adicional após a confluência com a descarga das comportas da hidroelétrica, através de um canal artificial criado pela COPEL. Segundo Branco (2004), a média anual da vazão do rio Cachoeira antes do início da operação da usina era de 21,13 m³/s, e atualmente esta vazão é de 31,45 m³/s, caracterizando um acréscimo de aproximadamente 33% na vazão original.

Tabela 2 - Valores quantitativos morfométricos e morfológicos do segmento planície do rio Cachoeira

Variáveis do Canal	Segmento Planície				Variação 1954- 2005
	1954	1980	1996	2005	
Índice de Sinuosidade	1,88	1,89	1,98	2,01	+ 6,9 %
Extensão do segmento (km)	26,08	26,16	27,36	27,87	+6,8 %
Área do corpo d'água (km ²)	0,67	0,77	0,88	0,9	+34,3 %
Número de meandros abandonados	40	44	44	45	+12,5 %
Área em meandros abandonados (km ²)	0,27	0,32	0,31	0,33	+22,2 %
Número de barras de pontal	34	32	39	56	+65,7 %
Área em barras de pontal (km ²)	0,03	0,08	0,15	0,3	+900 %
Número de ilhas	4	7	1	4	-
Área em ilhas (km ²)	0,01	0,02	0,01	0,01	-

Largura do segmento (m)	Mín.	10,75	12,55	12,8	10,58	-1,6 %
	Máx.	123,13	128,13	130,79	129,73	+5,4 %
	Média	25,69	29,43	32,16	32,29	+25,7 %

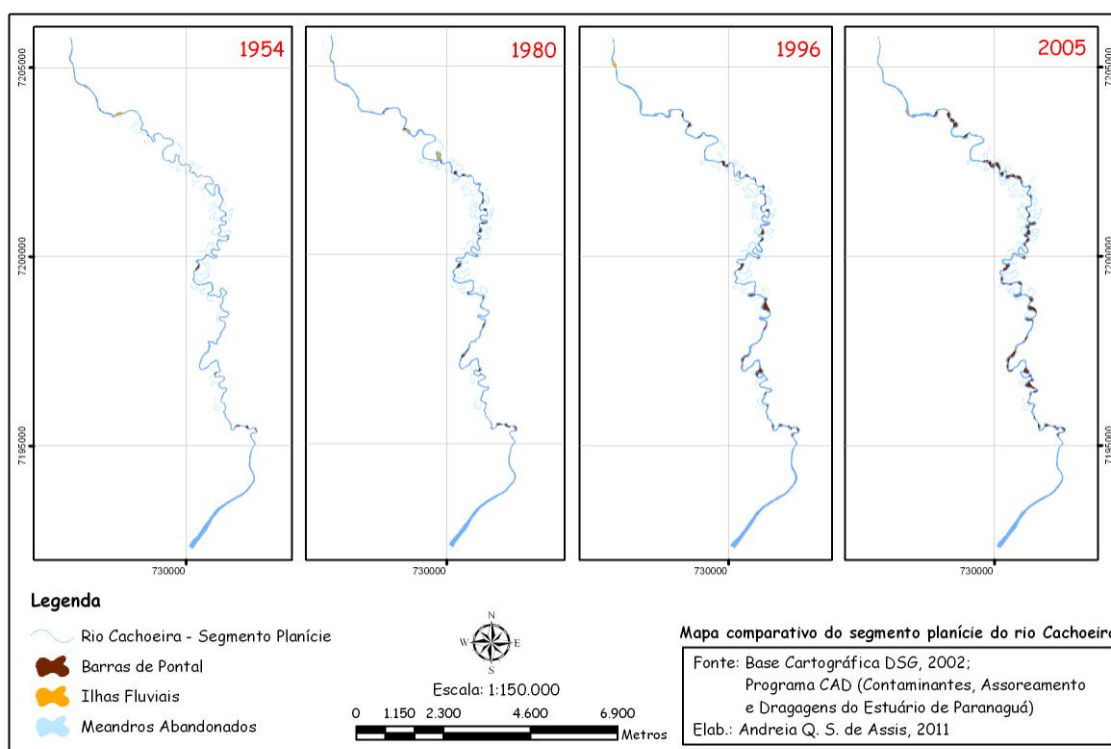
Org. Andréia Q. Soares de Assis

As variáveis morfométricas e morfológicas referentes ao segmento planície do rio Cachoeira foram quantificadas de acordo com os anos estudados (Tabela 2) e a seguir analisadas separadamente. Estas variáveis também podem ser observadas no mapa comparativo do segmento planície (Figura 3).

- Índice de Sinuosidade e Extensão do Segmento

O índice de sinuosidade do segmento planície no ano de 1954 passou de 1,88 para 2,01 em 2005, o que também resultou em um aumento na extensão do segmento, que passou de 26,08 km em 1954 para 27,87 km em 2005. Porém observa-se que o período em que ocorreu um aumento mais significativo foi de 1980 a 1996, quando o índice de sinuosidade passou de 1,89 para 1,98, e sua extensão de 26,16 km para 27,36 km, ou seja, o segmento aumentou em 75 metros por ano neste período (Figura 3).

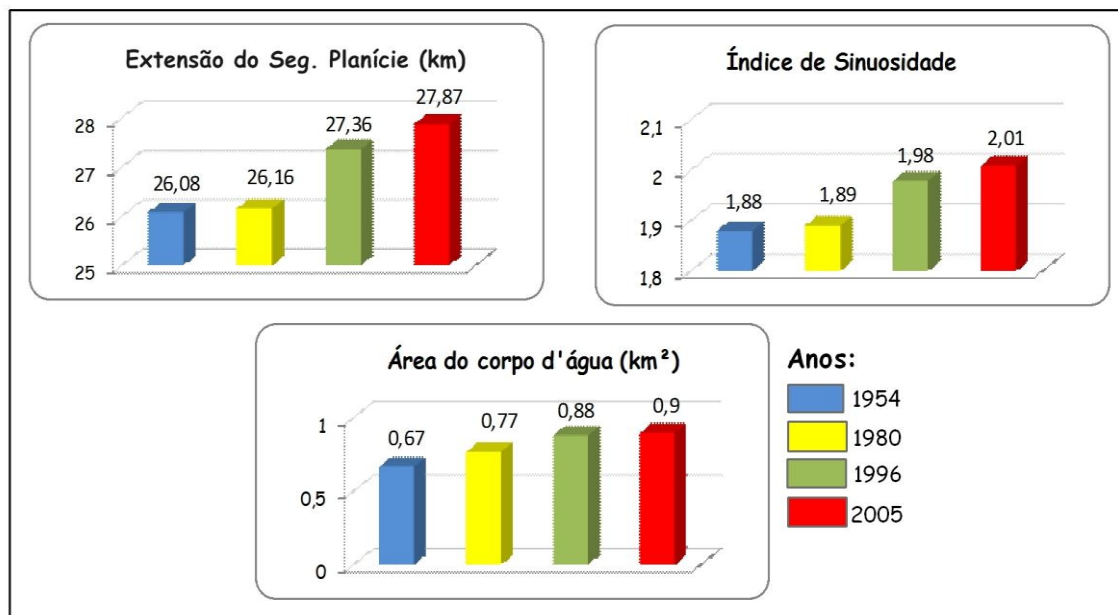
Figura 3 – Mapa comparativo do segmento planície do rio Cachoeira



- Área do corpo d'água

A área ocupada pelo corpo d'água do segmento planície era de 0,67 km² no ano de 1954 e passou para 0,9 km² em 2005, ou seja, um aumento de 0,23 km² em 51 anos. Porém, foi no período de 1980 a 1996 que ocorreu um maior aumento de área, observando-se um acréscimo de 0,007 km² por ano (Figura 4).

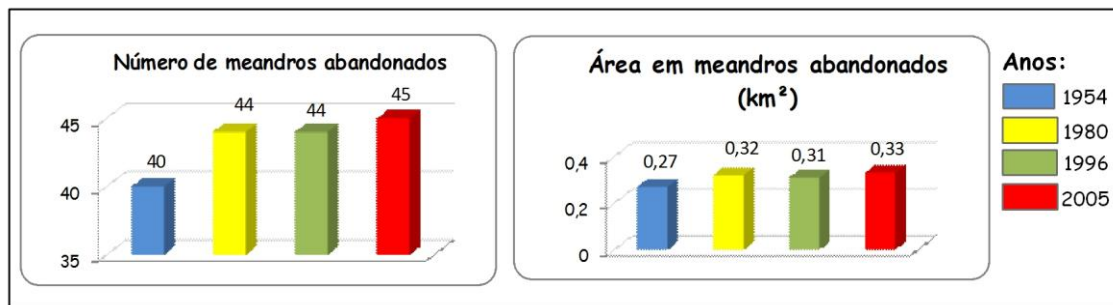
Figura 4 – Gráficos de valores de extensão, índice de sinuosidade e área do corpo d'água do segmento planície



- Número e Área de Meandros Abandonados

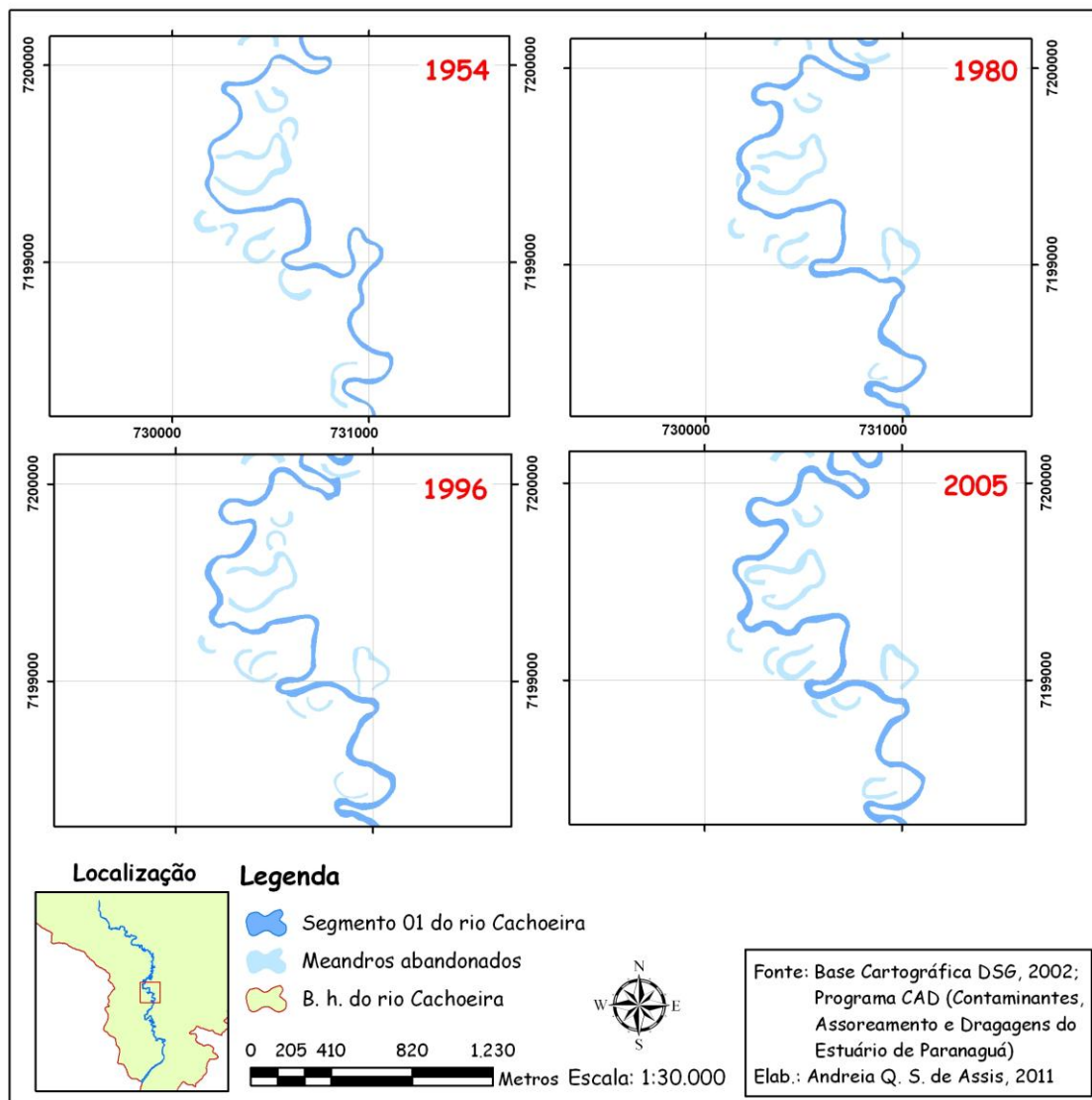
O número de meandros abandonados encontrados no segmento planície era de 40 em 1954, passando para 45 em 2005. A área ocupada era de 0,27 km² em 1954 e de 0,33 km² em 2005. Porém, foi no período de 1954 a 1980 que ocorreu um aumento mais significativo, passando de 40 para 44 meandros abandonados, e recebendo um aumento da sua área de 0,27 km² para 0,32 km², ou seja, 0,002 km² por ano. De 1980 a 1996 o número de meandros abandonados permaneceu igual, porém sua área diminuiu de 0,32 km² para 0,31 km². De 1996 a 2005 ocorreu um pequeno aumento no número dos meandros abandonados, passando de 44 para 45, porém sua área teve um aumento tão significativo quanto do período de 1954 a 1980, passando de 0,31 km² para 0,33 km², ou seja, 0,002 km² por ano (Figura 5).

Figura 5 – Gráficos de valores de número e área de meandros abandonados do segmento planície



Podemos observar na Figura 6 a distribuição dos meandros abandonados em uma área do segmento planície, onde verifica-se o surgimento de um novo meandro abandonado entre o período de 1954 e 1980, e a modificação de seu formato ao longo dos anos.

Figura 6 – Mapas comparativos de meandros abandonados do segmento planície, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005.



- Número e Área de Barras de Pontal

O número de barras de pontal teve um grande aumento entre 1954 e 2005, passando de 34 para 56. Sua área também aumentou, passando de 0,03 km² em 1954 para 0,3 km² em 2005. Porém, ao contrário dos itens anteriores, no período de 1954 a 1980 ocorreu uma redução no número de barras de pontal, que passou de 34 para 32, no entanto, sua área teve um aumento de 0,03 km² para 0,08 km². De 1996 a 2005 o número de barras de pontal cresceu, passando de 39 para 56, e sua área, de 0,15 km² para 0,3 km², ou seja, um aumento de 1,89 barras de pontal por ano e de 0,02 km² de área por ano (Figuras 7 e 8).

Figura 7 – Gráficos de valores de número e área de barras de pontal do segmento planície

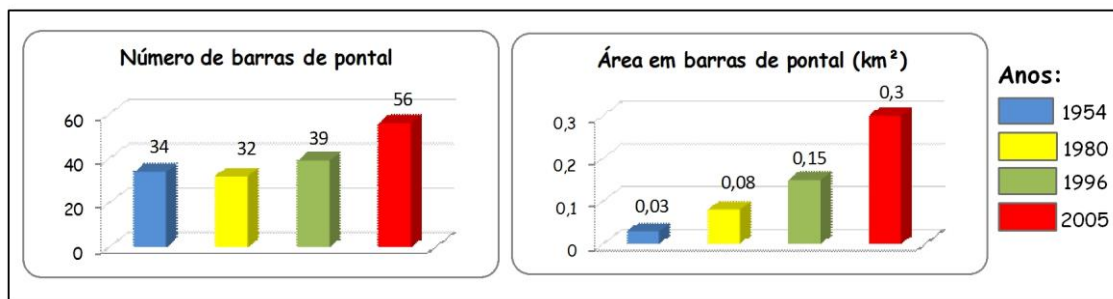
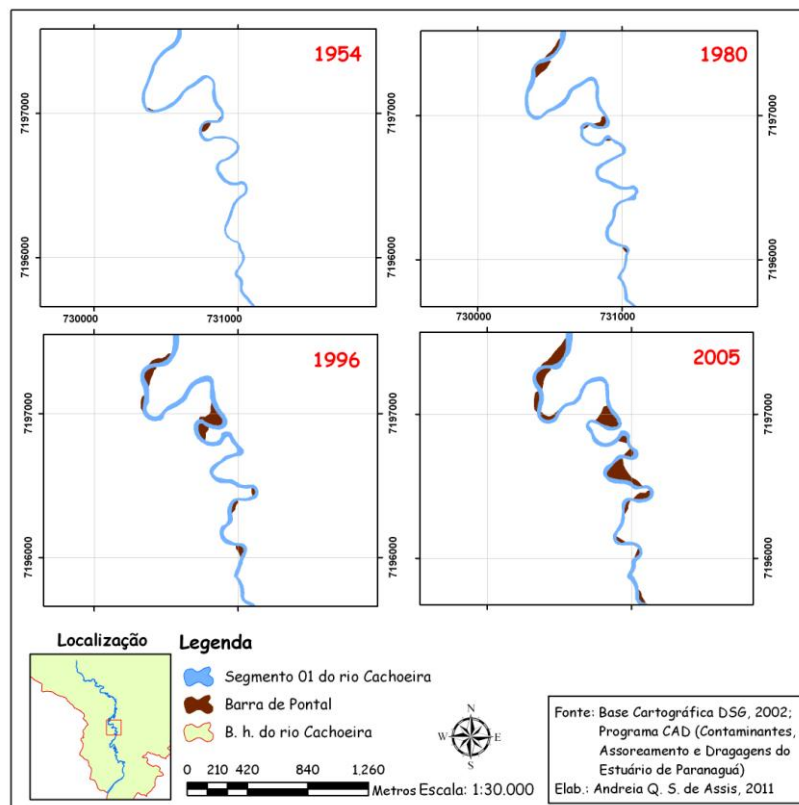


Figura 8 – Mapas comparativos de barras de pontal do segmento planície, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005.



- Número e área de ilhas fluviais

O número de ilhas fluviais e sua área correspondente sofreu oscilações durante o período de 1954 a 2005. Em 1954 existiam 4 ilhas, passando para 7 em 1980, e sua área de 0,01 km² para 0,02 km². Já em 1996 o número de ilhas diminuiu consideravelmente, passando para apenas 1 ilha, e sua área reduziu a 0,01 km². No ano de 2005 o número de ilhas subiu para 4, voltando ao mesmo número de 1954, porém, sua área permaneceu a mesma de 1996, com 0,01 km² (Figuras 9 e 10).

Figura 9 – Mapas comparativos de ilhas fluviais do segmento planície, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005.

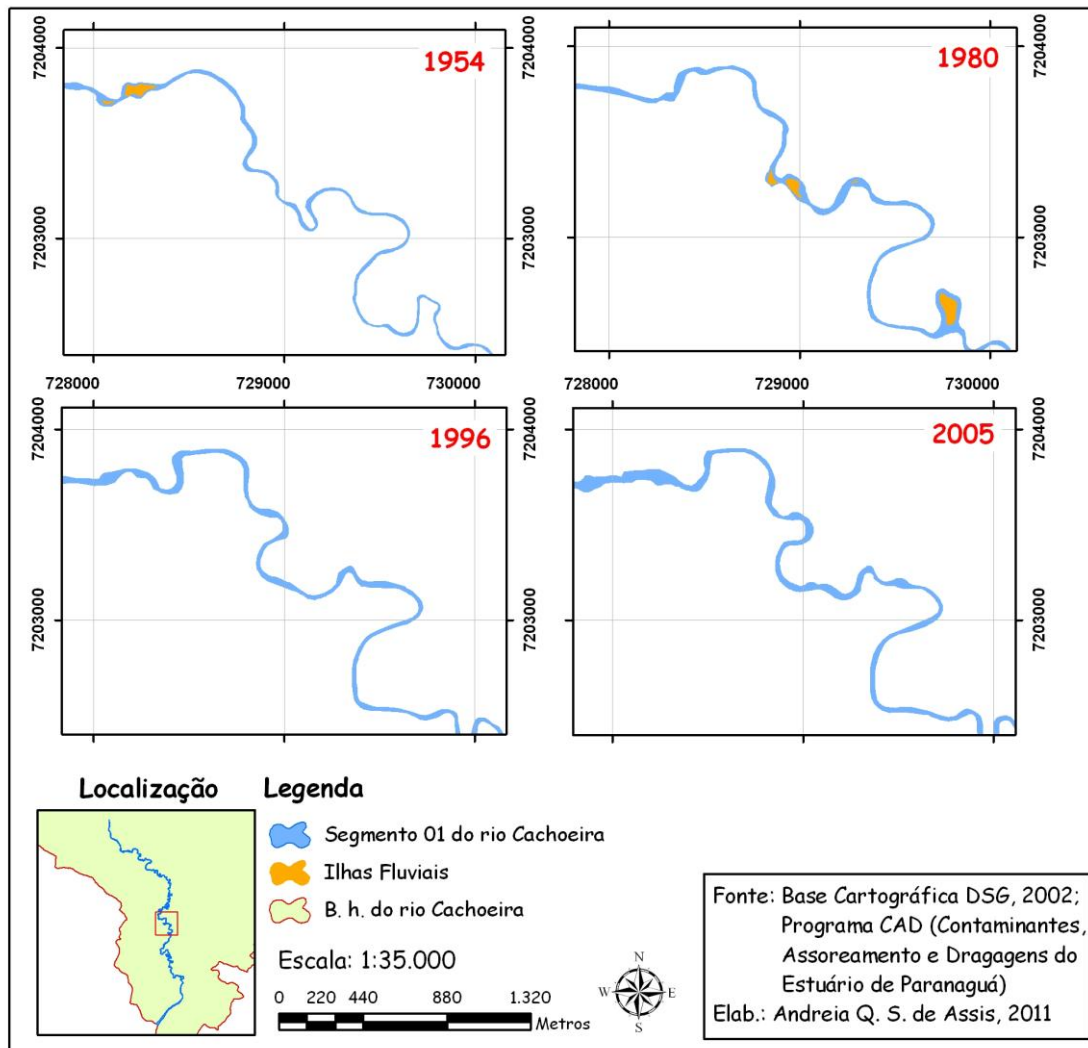
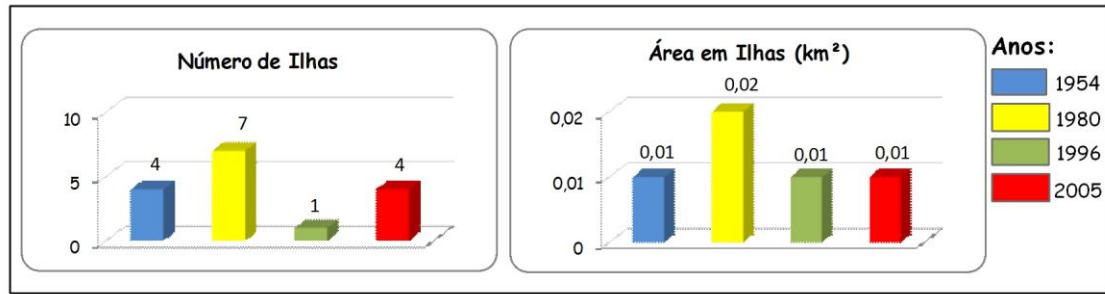


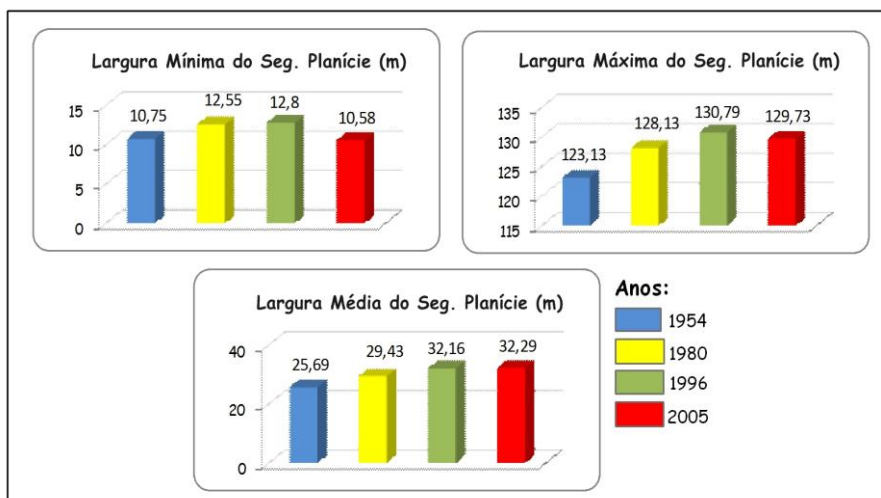
Figura 10 – Gráficos de valores de número e área de ilhas fluviais do segmento planície

- Largura Mínima, Máxima e Média do Segmento Planície

A largura mínima do segmento planície pouco se alterou no período de 1954 a 2005, passando de 10,75 metros para 10,58 metros. Porém durante os intervalos deste período ocorreu um pequeno aumento da largura mínima, como de 1954 a 1980, quando passou de 10,75 metros para 12,55 metros de largura mínima (Figura 11).

A largura máxima do segmento planície teve um aumento de 6,6 metros entre 1954 e 2005, porém no ultimo período estudado (1996 a 2005) teve uma pequena redução, de 130,79 metros para 129,73 metros (Figura 11).

A largura média do segmento planície em 1954 era de 25,69 metros, passando para 32,29 metros em 2005, ou seja, um aumento de 6,6 metros. Porém, é no período de 1980 a 1996 que ocorreu um maior aumento da largura média, passando de 29,43 metros para 32,16 metros, ou seja, um aumento de 0,17 metros na largura média por ano (Figura 11).

Figura 11 – Gráficos de valores de largura mínima, máxima e média do segmento planície

Segmento Serra

O segmento serra está situado em área de serra da bacia hidrográfica do rio Cachoeira, em altitude de 30 a 1870 metros. Seu trecho possui declividade predominantemente entre 5 e 30 % e com pequenos trechos de declividade maior que 30 %. O principal tipo de solo é o cambissolo flúvico, ou seja, solo pouco desenvolvido e de escassa profundidade, com a presença de grandes áreas com afloramentos rochosos. O tipo de vegetação presente é a Floresta Ombrófila Densa Montana e Submontana, também conhecida como Floresta Atlântica, encontrando-se bastante preservada. A Floresta Atlântica ocorre associada a Serra do Mar Paranaense e a fatores climáticos tropicais de elevada temperatura e alta precipitação (ASSIS, 2011).

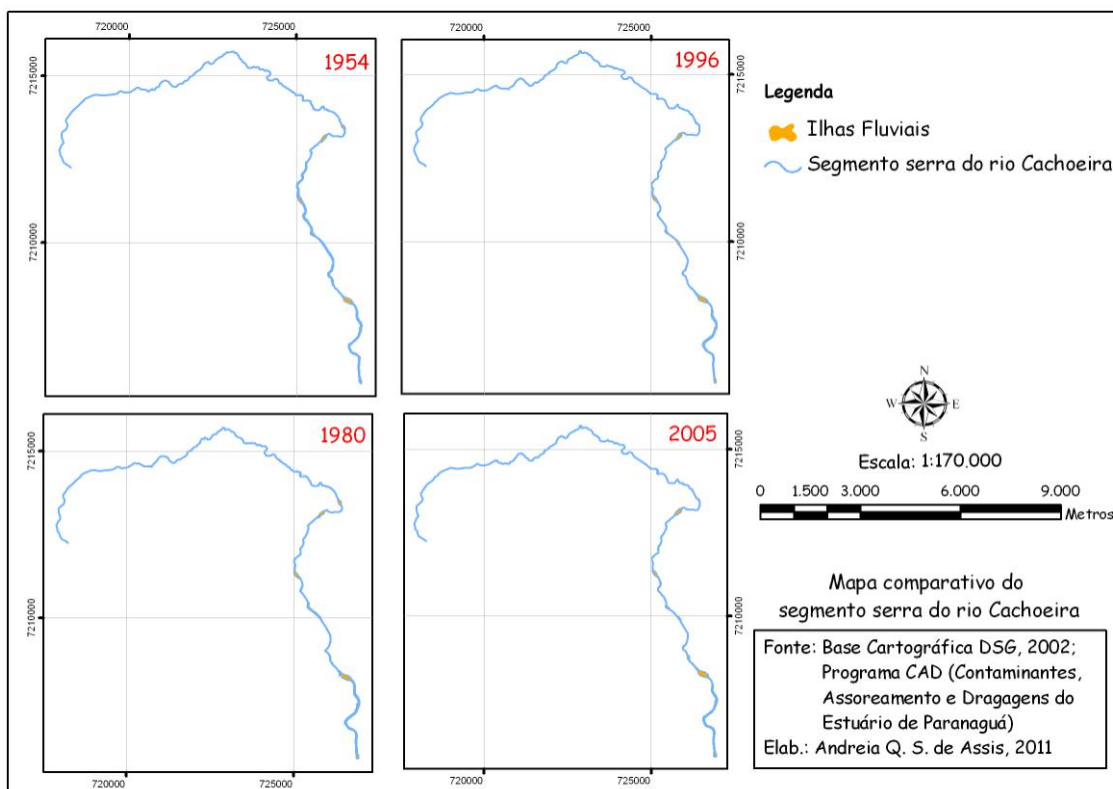
As variáveis morfométricas e morfológicas referentes ao segmento serra do rio Cachoeira foram quantificadas de acordo com os anos estudados (Tabela 3) e a seguir analisadas separadamente. Estas variáveis também podem ser observadas no mapa comparativo do segmento serra (Figura 12).

Tabela 3 – Valores quantitativos morfométricos e morfológicos do segmento serra do rio Cachoeira

Variáveis do Canal	Segmento Serra				Variação 1954- 2005	
	1954	1980	1996	2005		
Índice de Sinuosidade	2,09	2,08	2,07	2,08	-0,5 %	
Extensão do segmento (km)	22,59	22,52	22,47	22,5	-0,4 %	
Área do corpo d'água (km ²)	0,28	0,27	0,23	0,25	-10,7%	
Número de meandros abandonados	0	0	0	0	-	
Área de meandros abandonados (km ²)	0	0	0	0	-	
Número de barras de pontal	0	0	0	0	-	
Área de barras de pontal (km ²)	0	0	0	0	-	
Número de ilhas	7	7	7	8	+14,3 %	
Área de ilhas (km ²)	0,05	0,06	0,06	0,06	+20 %	
Largura do canal (metros)	Mín.	5,2	5,4	6	6,33	+21,7 %
	Máx.	34,56	46,11	41,44	44,49	+28,7 %
	Média	12,39	11,99	10,24	11,55	-6,8 %

Org. Andréia Q. Soares de Assis

Figura 12 – Mapa comparativo do segmento serra do rio Cachoeira



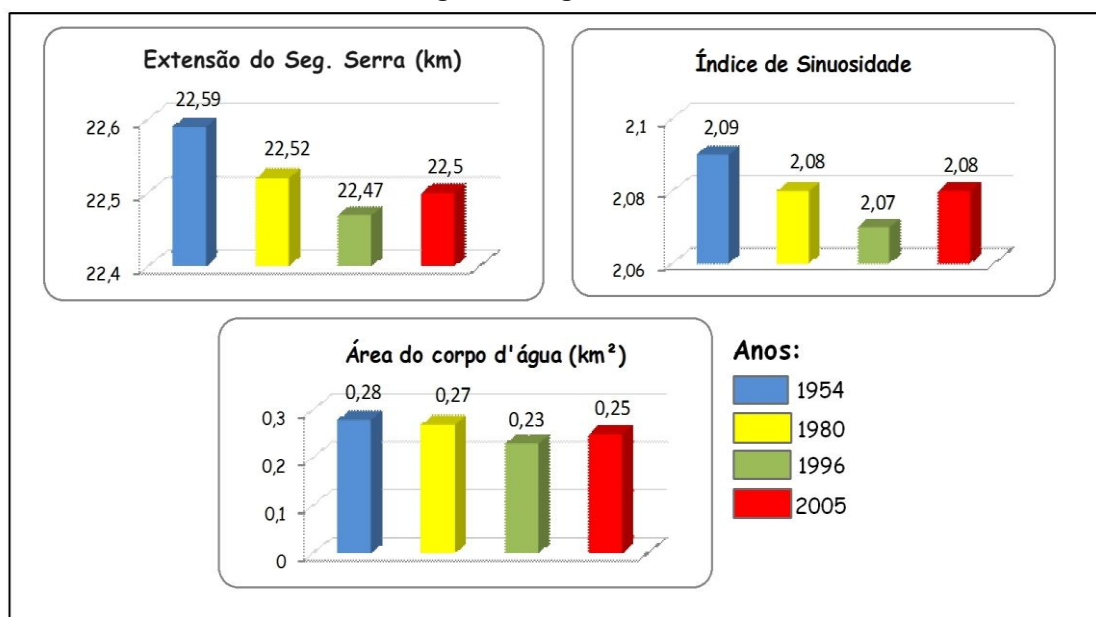
- Índice de Sinuosidade e Extensão do Segmento

O índice de sinuosidade do segmento serra passou de 2,09 em 1954 para 2,08 em 1980 e 2,07 em 1996. Em 2005 o índice voltou ao valor de 2,08. Conseqüentemente, a extensão do segmento também reduziu no período de 1954 a 1980, de 22,59 km para 22,52 km, e de 1980 a 1996 passou de 22,52 km para 22,47 km. Já em 2005, assim como no índice de sinuosidade, a extensão do segmento voltou a aumentar, passando para 22,5 km (Figura 13).

- Área do corpo d'água

A área ocupada pelo corpo d'água do segmento serra segue a mesma lógica da extensão, ou seja, diminuiu de 1954 a 1980 (0,28 km² para 0,27 km²) e de 1980 a 1996 (0,27 km² para 0,23 km²) e aumentou de 1996 a 2005 (0,23 km² para 0,25 km²) (Figura 13).

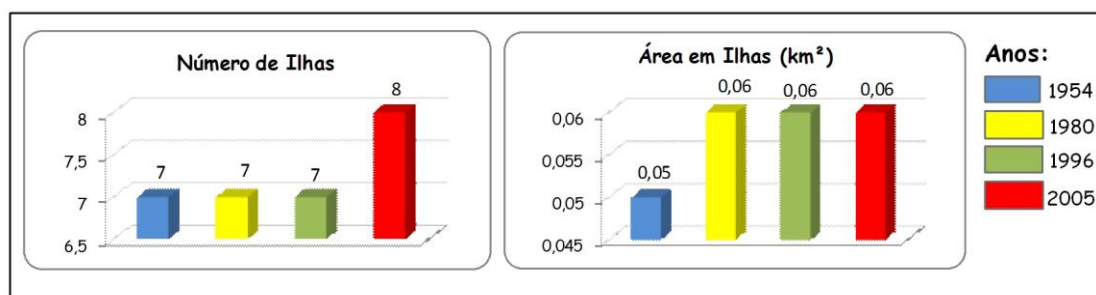
Figura 13 – Gráficos de valores de extensão, índice de sinuosidade e área do corpo d'água do segmento serra



- Número e área de ilhas fluviais

O número de ilhas fluviais do segmento serra permaneceu a mesma nos anos de 1954, 1980 e 1996, com a presença de 7 ilhas, sendo que em 2005 teve o surgimento de 1 nova ilha. Porém, a área correspondente a essas ilhas teve uma pequena alteração nos períodos estudados, como observa-se nas Figura 14.

Figura 14 – Gráficos de valores de número e área em ilhas do segmento serra



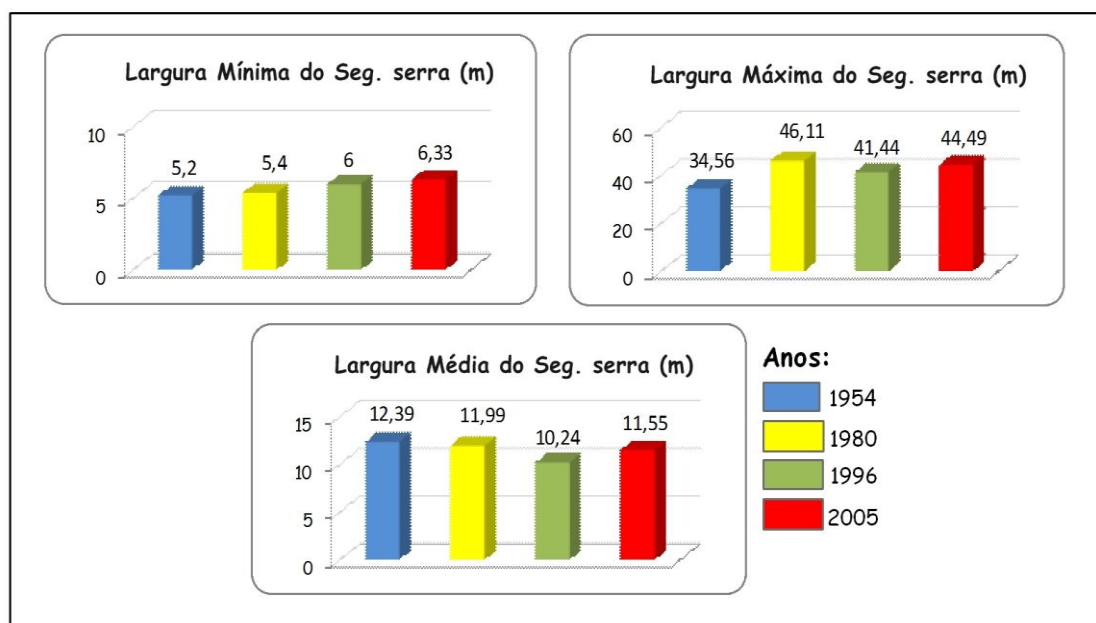
- Largura Mínima, Máxima e Média do Segmento Serra

A largura média do segmento serra diminuiu nos períodos de 1954 a 1980 (de 12,39 metros para 11,99 metros) e de 1980 a 1996 (de 11,99 metros para 10,24 metros), e aumentou de 1996 a 2005, ou seja, passou de 10,24 metros para 11,55 metros (Figura 15).

A largura mínima do segmento serra passou de 5,2 metros para 6,33 metros no período de 1954 a 2005, ou seja, teve um aumento de 1,13 metros. Porém, foi no período de 1980 a 1996 que ocorreu maior aumento, quando passou 5,4 metros para 6 metros, o equivalente a um aumento 0,04 metros por ano (Figura 15).

A largura máxima do segmento serra teve um aumento mais expressivo que a largura mínima, passando de 34,56 metros em 1954 para 44,49 em 2005. Porém este aumento não ocorreu durante todo o período estudado. De 1954 a 1980 foi o período em que mais teve aumento na largura máxima, passando de 34,56 metros para 46,11 metros, o equivalente a 0,44 metros por ano de aumento na largura máxima. Já no período de 1980 a 1996 a largura máxima diminuiu de 46,11 metros para 41,44 metros, e voltou a subir no intervalo de 1996 a 2005, chegando a 44,49 metros (Figura 15).

Figura 15 – Gráficos de valores de largura mínima, máxima e média do segmento serra



Segmento Planície X Segmento Serra

As características do segmento planície diferem com as do segmento serra em algumas variáveis analisadas do ano de 1954 a 2005. Na Tabela 4 observa-se o aumento ou a redução ocorrida em cada variável estudada entre 1954 e 2005.

Tabela 4 - Variações (aumento ou redução) nos segmentos do rio Cachoeira entre 1954 e 2005

Variáveis do Canal		Segmento Planície	Segmento Serra
Índice de Sinuosidade		+ 6,9 %	-0,5 %
Extensão do segmento (km)		+6,8 %	-0,4 %
Área do corpo d'água (km ²)		+34,3 %	-10,7%
Número de meandros abandonados		+12,5 %	-
Área em meandros abandonados (km ²)		+22,2 %	-
Número de barras de pontal		+65,7 %	-
Área em barras de pontal (km ²)		+900 %	-
Número de ilhas		-	+14,3 %
Área em ilhas (km ²)		-	+20 %
Largura do segmento (m)	Mín.	-1,6 %	+21,7 %
	Máx.	+5,4 %	+28,7 %
	Média	+25,7 %	-6,8 %

Org. Andréia Q. Soares de Assis

O índice de sinuosidade do segmento planície teve um aumento de 6,9% de 1954 a 2005. Já o segmento serra diminuiu o índice de sinuosidade neste período, porém essa redução foi bem menos significativa que o aumento do segmento planície, sendo de apenas 0,5%.

A variável índice de sinuosidade representa a relação entre o comprimento verdadeiro do canal com a distância vetorial (em linha reta), considerando dois pontos extremos do rio principal. Valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo. Já os valores superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares. O índice de sinuosidade obtido no segmento planície em 2005 foi de 2,02, o que indica que este trecho tende a ser sinuoso. Já o valor do segmento serra em 2005 foi de 2,08, demonstrando ser mais sinuoso que o segmento planície. Porém observa-se claramente no mapa do segmento serra que o seu trecho é menos sinuoso que o segmento planície. Isto ocorre devido o formato do rio Cachoeira em seu trecho mais a montante ser diferente, ou seja, sua nascente, em distância vetorial fica próxima ao início do segmento serra.

A extensão do segmento planície aumentou em 6,8% de 1954 a 2005, já a extensão do segmento serra diminuiu, mas apenas 0,4% neste mesmo intervalo de tempo. Isto se deve ao fato que o segmento planície está localizado em área de planície aluvial, facilitando assim a ocorrência de meandros, e conseqüentemente aumentando a extensão do trecho. No segmento planície o período que ocorreu maior modificação no valor da extensão foi de 1980 a 1996, sendo que no segmento serra foi o período de 1996 a 2005.

A área do corpo d'água dos dois segmentos se comporta como a extensão, ou seja, aumentou no segmento planície e diminuiu no segmento serra.

A feição meandro abandonado só está presente no segmento planície. Isto ocorre porquê este segmento está localizado em área de planície aluvial, área propícia a formação deste tipo de feição. Já o segmento serra está localizado em um trecho de serra, com alta declividade, impedindo assim a formação de meandros abandonados. O período de 1954 a 1980 foi o que teve maior alteração no número de meandros abandonados e em sua área.

A feição barra de pontal também só ocorreu no segmento planície pelo mesmo motivo da feição meandro abandonado, ou seja, é uma feição própria de trechos de planície, e não de serra. A maior alteração se deu no período de 1996 a 2005, tanto no número de barras de pontal, como de área das mesmas.

A feição ilha fluvial está presente nos dois segmentos do rio Cachoeira. No segmento planície ocorreu maior variação da presença de ilhas durante o período de 1954 a 2005, ora aumentando de número e área, ora diminuindo. Já no segmento serra o número de ilhas permaneceu o mesmo em grande parte do tempo, somente vindo a aumentar em uma unidade no período de 1996 a 2005. Isto se deve ao fato de que o segmento planície está localizado na planície aluvial do rio Cachoeira, onde os processos de transporte e deposição de sedimentos são muito maiores que no segmento serra, facilitando assim uma maior variação da ocorrência da feição. O período de 1996 a 2005 foi o que teve maior alteração no número e na área das ilhas fluvias, tanto no segmento planície como no segmento serra.

A largura mínima do segmento planície diminuiu no período de 1954 a 2005 e aumentou no segmento serra. Porém, foi no intervalo de 1996 a 2005 que ocorreu maior alteração no valor da largura mínima, em ambos os segmentos.

A largura máxima dos segmentos planície e serra aumentou de 1954 a 2005. Porém, foi no intervalo de 1954 a 1980 que ocorreu maior modificação no valor da largura máxima, tanto no segmento planície como no segmento serra.

A largura média aumentou no segmento planície no período de 1954 a 2005, e diminuiu no segmento serra. De 1980 a 1996 foi o período que teve maior alteração no valor da largura média do segmento planície, e de 1996 a 2005 no segmento serra.

Após analisar cada uma das variáveis e as modificações ocorridas nas mesmas, observou-se que o período temporal que ocorreu grande parte das modificações no segmento planície foi o de 1980 a 1996 para as variáveis morfométricas e de 1996 a 2005 para as variáveis morfológicas. No segmento serra o período de 1996 a 2005 é o que teve maior alteração, tanto nas variáveis morfométricas como nas variáveis morfológicas. Vale ressaltar que o segmento planície teve alterações bem mais significativas que o segmento serra, como se pôde observar no capítulo anterior.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças que ocorrem nos canais fluviais têm sua origem no desenvolvimento de dois tipos de processos que são a erosão e a sedimentação. Deve-se, contudo inserir neste contexto uma variável de grande importância para que se possa avaliar a intensidade da ação destes dois processos, o tempo.

Erosão e sedimentação são processos naturais que transformam a superfície terrestre na perspectiva do tempo geológico. Mas para as alterações morfológicas ocorridas em um canal fluvial dentro de curtos intervalos de tempo, deve-se considerar também outro elemento de transformação, o efeito antrópico.

Deve-se destacar que o uso de métodos convencionais de análise aliado aos recursos de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento permitiu o estudo avançar satisfatoriamente nos resultados com ampla aplicabilidade prática, que serviram como base para interpretar a dinâmica do canal.

O período temporal desta pesquisa pode ser dividido em três fases: a primeira vai de 1954 a 1980, a segunda entre 1980 e 1996, e a terceira vai de 1996 a 2005. As alterações morfométricas identificadas nessas três fases são acompanhadas

pela dinâmica na variação numérica e areal das feições fluviais estudadas (meandros abandonados, barras de pontal e ilhas fluviais).

A análise morfométrica e morfológica realizada para os dois segmentos do rio Cachoeira foram o ponto inicial de constatação dos tipos de alterações que estavam ocorrendo no canal principal. A quantificação apontou números totais de quantos destes elementos morfológicos foram erodidos, quantos surgiram, qual o saldo quantitativo dentro do período analisado e como se caracteriza a distribuição espacial dos mesmos.

Outros indicativos de alteração identificados pela análise morfométrica foram as medidas obtidas de sinuosidade, extensão do canal, área do canal, larguras média, mínima e máxima, que forneceram valores distintos nos dois segmentos para cada período analisado.

Com relação a cada intervalo dos períodos analisados, constatou-se que o intervalo que vai de 1996 a 2005 foi o que mais sofreu alterações, considerando os dois segmentos do rio Cachoeira, lembrando que o segmento planície teve mais alterações que o segmento serra.

O fato do segmento planície sofrer maiores alterações ao longo do tempo pode ser explicado por alguns fatores, entre eles as características geomorfológicas, a dinâmica da cobertura e do uso da terra e a presença da Usina Hidrelétrica Governador Parigot de Souza.

A divisão geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Cachoeira (Assis, 2011) ajudou a entender algumas das alterações presentes nos segmentos do rio Cachoeira. O segmento planície está totalmente inserido na planície aluvial, e tem seu canal com uma morfologia do tipo meandrante, promovendo um trabalho contínuo de escavação da margem côncava e de deposição na margem convexa, causando assim o deslocamento das curvas meândricas. Isto explica a grande ocorrência de meandros abandonados e barras de pontal. Esta também é uma área onde os processos de transporte e sedimentação são intensos, o que facilita a formação de pequenas ilhas fluviais e sua breve extinção. Já o segmento serra está localizado totalmente em área de serra, com altas declividades e com forte atuação do processo de erosão.

O segmento planície, por ter baixa declividade, tem grande parte do seu trecho ocupado por agricultura em seu entorno, o que pode causar alterações na morfologia do rio, principalmente quando as plantações estão localizadas em áreas de preservação permanente. O segmento serra, localizado em um trecho de alta

declividade, dificulta a presença de agricultura, facilita a preservação da floresta nativa (Floresta Atlântica), e conseqüentemente diminui as alterações ao longo do canal.

Outro fator que deve ser considerado é a presença do canal fuga da Usina Hidroelétrica Parigot de Souza no segmento planície. Ele está localizado no trecho a montante do segmento, fazendo com que grande parte do mesmo esteja sob influência do canal fuga. As águas provenientes deste canal são escoadas para o rio Cachoeira, aumentando assim sua vazão e por conseqüência sua capacidade de transporte de sedimentos. Vale lembrar que o período que ocorreu menos alterações em ambos os segmentos estudados foi entre 1954 e 1980, e que a usina Parigot de Souza só entrou em operação em 1971.

O segmento planície pertence ao trecho do rio Cachoeira que deságua na baía de Antonina. Se este segmento foi o que mais sofreu alterações em sua morfologia, conclui-se que o processo de assoreamento da baía está estritamente ligado aos aspectos citados acima.

Em síntese pode-se dizer que atualmente o rio Cachoeira passa por um processo de alteração morfológica que pode ser interpretado como uma mudança do comportamento do canal para um padrão ainda mais meandrante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Dinarte F. P. Nunes. **Fotogrametria básica**. Rio de Janeiro: IME. Curitiba: SBEE, 1998.

ASSIS, Andreia Quintão Soares de. **Análise da Dinâmica Fluvial do Rio Cachoeira (Antonina/PR), entre os anos de 1954 e 2005**. 2011. 83 páginas. Dissertação de Mestrado (Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geografia). Curitiba, 2011.

BOLDRINI, Eliane Beê.; PAULA, Eduardo Vedor de. Programa CAD (Contaminantes, Assoreamento e Dragagem no estuário de Paranaguá/PR) e a recuperação de bacias hidrográficas para mitigar o processo de assoreamento. *In*: BOLDRINI, Eliane Beê;

SOARES, Carlos Roberto; PAULA, Eduardo Vedor. (Orgs.). **Dragagens Portuárias no Brasil: Engenharia, Tecnologias e Meio Ambiente**. Antonina: ADEMADAN; UNIBEM; Secretaria de Ciência e Tecnologia para Inclusão Social (MCT). 2008. 296p.

BOTELHO, Rosangela G. M. Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica. *In*: GUERRA, Antônio José Teixeira; SILVA, A. S.; BOTELHO, Rosangela G. M.. (orgs.) **Erosão e Conservação dos solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 269-300.

BRANCO, José Carlos. **Alterações Morfológicas na foz do Rio Cachoeira, estado do Paraná, com base na análise da evolução das unidades de planície de maré**. 2004. 70 páginas. Dissertação de Mestrado (Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geologia). Curitiba, 2004.

- CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia Prática**. 2ª Ed., rev., atual. e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Análise Morfométrica das Bacias Hidrográficas**. Notícia Geomorfológica, Campinas, 9(18). 1969. p. 35-64.
- CHURCH, Michael. In: CALOW, Peter; PETTS, Geoffrey E. (Ed). **The Rivers Handbook: Hydrological and Ecological Principles**. Volume 1. Oxford, 1992.
- CUNHA, Sandra Batista. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, Antônio José; CUNHA, Sandra Batista. (orgs.) **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 211-252.
- FONTES, Aracy Losano. **Caracterização Geoambiental da Bacia do Rio Japarutuba – SE**. 1997. 283 páginas. Tese de Doutorado. Rio Claro. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. 1997.
- ITCG (Instituto de Terras, Cartografia e Geociências). **Carta Climática do Estado do Paraná**. 2008. Disponível em: < www.itcg.pr.br > Acesso em 10 de junho de 2010.
- IPARDES (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social). **Zoneamento do Litoral Paranaense**. Curitiba, 1989, 175p.
- MAACK, Reinhard. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: Banco BADEP, UFPR, IBPT, 1960. 350p.
- MANTOVANELLI, Alessandra. **Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem**. 1999. 152 páginas. Dissertação de Mestrado. Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.
- MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A. **Folha Geológica de Curitiba (1:250.000)**. Paraná, 2005.
- PAULA, Eduardo Vedor . V.; CUNICO, Camila. O assoreamento das baías de Antonina e Paranaguá e a gestão de suas bacias hidrográficas. In: BOLDRINI, Eliane Beê; SORAES, Carlos Roberto; PAULA, Eduardo Vedor. (Orgs.). **Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e Monitoramento Ambiental**. Antonina: Governo do Estado do Paraná; SEMA/PR; ADEMADAN; UNIBEM. 2007.
- PAULA, Eduardo Vedor. **Análise da Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina/PR: Uma abordagem Geopedológica**. 2010. 158 páginas. Tese de Doutorado (Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geografia). Curitiba, 2010.
- PROGRAMA PROTEÇÃO DA FLORESTA ATLÂNTICA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná. **Mapeamento da Floresta Atlântica do Estado do Paraná**. Curitiba, 2001.
- PROGRAMA PROTEÇÃO DA FLORESTA ATLÂNTICA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná. **Mapeamento da Floresta Atlântica do Estado do Paraná. Cartilha de Apoio à Interpretação das Cartas de Vegetação**. Curitiba, 2002.
- RIBEIRO, Rogério Pinto. **Avaliação das Alterações na Rede de Drenagem de Sub-bacias Hidrográficas da Porção Média da Bacia do Rio Capivari (SP): Escala 1:25.000 – Subsídio para o Planejamento Integrado**. 2002. 206 páginas. Dissertação de Mestrado (Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia), São Carlos, 2002.

RICCOMINI, Cláudio; GIANNINI, Paulo César F.; MANCINI, Fernando. Rios e Processos Aluviais. *In*: Teixeira, W., Toledo, M. C. M.; Fairchild, T. R.; Taioli, F. (Orgs). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Texto. 2000. p. 191 – 214.

SILVA, Júlio Manoel França. **Caracterização e Mapeamento das Unidades Geomorfológicas da Bacia do Rio Pequeno, Antonina – PR**. 2010. 94 páginas. Dissertação de Mestrado (Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geografia). Curitiba, 2010.

Recebido em 05/12/2011

Aceito em 12/10/2013