

Análise de erosão em nascente e segmento de rio,
município de Toledo, Paraná



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

DOCUMENTOS 323

**Análise de erosão em nascente e segmento de rio,
município de Toledo, Paraná**

*Gustavo Ribas Curcio
Annete Bonnet*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, km 111, Guaraituba,
Caixa Postal 319
83411-000, Colombo, PR, Brasil
Fone: (41) 3675-5600
www.embrapa.br/florestas
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da
Embrapa Florestas

Presidente
Patrícia Póvoa de Mattos

Vice-Presidente
José Elidney Pinto Júnior

Secretário-Executivo
Neide Makiko Furukawa

Membros
*Álvaro Figueredo dos Santos, Gizelda Maia Rego,
Guilherme Schnell e Schühli, Ivar Wendling, Luis
Cláudio Maranhão Froufe, Maria Izabel Radomski,
Marilice Cordeiro Garrastazu, Valderés Aparecida
de Sousa*

Supervisão editorial
José Elidney Pinto Júnior

Revisão de texto
José Elidney Pinto Júnior

Normalização bibliográfica
Francisca Rasche

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Neide Makiko Furukawa

1ª edição
Versão digital (2018)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Florestas

Curcio, Gutavo Ribas.

Análise de erosão em nascentes e segmento de rio, município de
Toledo, Paraná. [recurso eletrônico] / Gustavo Ribas Curcio, Annete
Bonnet. - Dados eletrônicos. - Colombo : Embrapa Florestas, 2018.
(Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958; 323)

Disponível em:

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221>>

1. Erosão hídrica. 2. Erosão pluvial. 3. Geologia. 4. Geomorfologia.
5. Pedologia. 6. Cobertura vegetal. I. Bonnet, Annete. II. Título. III.
Série.

CDD (21. ed.) 551.3028162

Autores

Gustavo Ribas Curcio

Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Annete Bonnet

Bióloga, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Apresentação

Nas décadas de 70 a 90 do século passado, muito esforço técnico foi efetivado para promover mudanças tecnológicas nos sistemas produtivos rurais brasileiros. Estes esforços resultaram em aumentos da produtividade das culturas gerando, conseqüentemente, significativos benefícios econômicos e sociais, tanto para o setor rural quanto para outros setores.

No estado do Paraná não foi diferente, pois vários foram os programas criados neste período com o intuito de proporcionar maior fortalecimento ao meio rural, incorrendo em benefícios plurais, da assistência técnica ao produtor, do campo à agroindústria/comércio.

Embora muitas técnicas de produção tenham sido aprimoradas, verificava-se um descompasso acentuado com a questão ambiental. Assim, a temática “funcionalidade ecológica das florestas fluviais” tinha pequeno alcance, embora a questão hidrológica já fosse fortemente considerada, sobretudo dentro do contexto erosional.

Nas últimas duas décadas, praticamente, já não se admite tratar da questão produtiva sem considerar a questão ambiental, sobretudo após o importante debate desta década sobre o Código Florestal Brasileiro, discussão esta que trouxe grande maturidade para a sociedade brasileira.

Desta maneira, nos dias atuais, trabalhos científicos que discorrem sobre a interatividade do setor produtivo com o segmento ambiental ganharam importância e, indubitavelmente, permitem balizar a discussão sobre a sustentabilidade ambiental.

Documentos com informações técnicas sobre florestas fluviais, sua caracterização, tanto do ponto de vista físico quanto biológico, sobretudo, sua condição funcional, permitem uma melhor contextualização dos sistemas de produção e suas conseqüências.

Ao encontro desta lacuna apresenta-se este documento, o qual contém a caracterização física e biológica de um segmento de rio e respectiva nascente, além de recomendações que contribuem com o restabelecimento de suas funcionalidades.

Sérgio Gaiad

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Sumário

Introdução	9
Justificativa	10
Objetivos	11
Localização e caracterização da área	11
Localização da área	11
Geologia	11
Geomorfologia	12
Solos	12
Clima	12
Vegetação	13
Procedimento metodológico	13
Resultados	15
Dos solos de encosta	15
Do ambiente fluvial	16
Segmento 1	17
Transecto 1	17
Transecto 2	20
Transecto 3	21
Segmento 2	23
Transecto 4	25
Transecto 5	26
Transecto 6	28
Transecto 7	30
Segmento 3	32
Ponto 1	34
Ponto 2	34
Ponto 3	36
Ponto 4	38
Recomendações	39
Agradecimentos	40
Referências	40

Introdução

A cobertura vegetal original do estado do Paraná é predominantemente florestal, com 83% de sua superfície coberta pelas Florestas Ombrófilas e Estacional (Roderjan et al., 2002). A vegetação da região oeste do estado, onde está situado o município de Toledo, é considerada ecótono das unidades fitogeográficas – Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila Mista. Na atualidade, encontra-se reduzida aos remanescentes restritos às Áreas de Preservação Permanente (APPs) que compõem as bordas de nascentes e rios, além de Unidades de Conservação, por exemplo, o Parque Nacional de Foz do Iguaçu.

O desmatamento da citada região começou no início do século 20, quando grandes empresas estrangeiras, estabelecidas em imensos domínios rurais, exploravam a erva-mate e madeira das áreas até a exaustão e depois as abandonavam (Maccari, 1999). Após a nacionalização das fronteiras e o desencadeamento da “marcha para o oeste”, a região, que atualmente consiste nos municípios de Toledo e Marechal Cândido Rondon, foi colonizada por imigrantes alemães e italianos vindos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Priori et al., 2012). Na prática, somente na década de 1960 o Paraná perdeu cerca de 240 mil ha/ano de florestas, às custas da expansão agrícola na região oeste (Gubert Filho, 2010). A partir de 1975, teve início o “Ciclo dos Grãos” (Bragagnolo et al., 1997), dando impulso para a cultura da soja, trigo e milho. Essa modernização da agricultura, a qual trouxe grande desenvolvimento para a região, acelerou o desmatamento das florestas para o aumento das áreas de plantio e agravou demasiadamente os problemas com a erosão (Moresco, 2007).

As práticas inadequadas de manejo do solo são preocupantes devido aos seus efeitos degradantes do solo, e se caracterizam como resultado direto da falta de assistência técnica no campo, que leva informações aos agricultores. Diversos programas e projetos foram implantados no estado do Paraná com o objetivo de reduzir processos erosivos em ambientes rurais (Telles; Araújo, 2016). Como resultado destas ações, vários sistemas e técnicas foram gerados, dentre estes o sistema do plantio direto, ou plantio sobre palhada, o qual proporciona maiores taxas de infiltração de água quando comparado a solos submetidos ao preparo convencional (Alves; Cabeda, 1999; Cecílio; Pruski, 2004).

Apesar da grande representatividade do sistema de plantio sobre palhada na região, sistema muito eficiente no controle das perdas de solo (Merten; Araújo, 2016), ainda é possível identificar erosão nos solos advinda, principalmente, dos elevados índices de compactação e do insuficiente grau de cobertura. Este quadro compromete expressivamente a relação recarga/descarga hidrológica das bacias hidrográficas, incorrendo em forte pressão sobre as florestas fluviais, sejam de rios ou nascentes (APPs), o que resulta em grandes aportes de sedimentos e nutrientes. Em relação a estes, Tundisi (2005), dentre outros aspectos importantes, discute o problema referente à eutrofização dos corpos d’água e suas consequências.

Porquanto as florestas ripárias exerçam papel fundamental nas funções hidrológicas das bacias hidrográficas (Lima; Zakia, 2000; Martins, 2001), a sua integridade, no que se refere à densidade e diversidade de indivíduos arbóreos, arbustivos e herbáceos, interfere na sua capacidade de minimizar a energia do deflúvio proveniente dos solos sob sistemas agrícolas. Na região oeste, mais especificamente na Bacia Hidrográfica do Paraná III, é comum a presença de florestas ciliares circunjacentes aos rios e nascentes, apesar da insuficiência nas larguras observadas na maioria das vezes em relação ao que está preconizado no Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2012). Essa limitação incorre na execução parcial das funcionalidades ecológicas, dentre estas a contenção de sedimentos e solutos antes de atingir os corpos d’água.

Justificativa

Entre os dias 29 e 30 de outubro de 2017, ocorreram chuvas exponenciais no município de Toledo (Tabelas 1 e 2), especificamente na microbacia hidrográfica foco deste estudo, a qual sustenta pesquisas em erosão do Programa Prosolos Paraná (Paraná, 2018c).

O efeito destas chuvas, somadas ao acumulado nos dias anteriores (Tabela 2), incorreu em perdas substanciais para as propriedades rurais daquela microbacia e, especificamente, à pesquisa em erosão que ali estava ocorrendo. Além de o evento causar prejuízos ao citado experimento, também proporcionou perdas consideráveis para o ambiente e para a comunidade de agricultores da região e à jusante do rio, em função de forte processo erosivo que se instalou na microbacia.

Tabela 1. Dados de precipitação pluviométrica registrados na estação Bom Princípio (código 2453027), Toledo, PR.

Mês	Média mensal (1975 - 2018)	Prec. acumulada 2017	% da média geral	Diferença (%)
Jan.	170,6	136,2	79,8	-20,2
Fev.	174,2	155,3	89,1	-10,9
Mar.	128,4	102,7	80,0	-20,0
Abr.	153,6	230,6	150,2	50,2
Mai.	190,9	176,6	92,5	-7,5
Jun.	134,0	62,8	46,9	-53,1
Jul.	99,5	3,2	3,2	-96,8
Ago.	89,4	129,9	145,3	45,3
Set.	149,4	134,3	89,9	-10,1
Out.	218,1	565,5	259,2	159,2
Nov.	178,1	235,1	132,0	32,0
Dez.	188,4	173,1	91,9	-8,1
Anual	1874,6	2105,3	112,3	12,3

Fonte: Adaptado de Paraná (2018a).

Tabela 2. Dados das precipitações pluviométricas extremas dos meses de outubro, novembro e dezembro de 2017 registrados na estação Bom Princípio (código 2453027), Toledo, PR.

Dia/mês	Prec. diária (mm)	% da média mensal	Dia/mês	Prec. diária (mm)	% da média mensal
7 out.	26,5	12,1	3 nov.	39,5	22,2
8 out.	41,0	18,8	4 nov.	63,6	35,7
9 out.	30,2	13,8	18 nov.	42,6	23,9
19 out.	29,4	13,5	21 nov.	36,5	20,5
22 out.	78,9	36,2	25 nov.	40,5	22,7
25 out.	41,8	19,2			
26 out.	54,8	25,1	20 dez.	26,8	14,2
27 out.	48,7	22,3	21 dez.	50,9	27,0
30 out.	191,7	87,9	24 dez.	34,2	18,2
Em 8 dias (22 a 30)	417,2	191,3	27 dez.	23,1	12,3

Fonte: Adaptado de Paraná (2018a).

Consequentemente, a Itaipu Binacional solicitou uma ação diagnóstica para o Instituto Agronômico do Paraná (Iapar), no sentido de dimensionar as consequências do fenômeno na microbacia foco da pesquisa, bem como sugerir recomendações que pudessem reduzir os futuros impactos provocados por chuvas desta magnitude e apontar ações que promovessem a recuperação ambiental. O Iapar, na qualidade de instituição coordenadora, convidou várias instituições para compor uma equipe que se responsabilizasse pelo diagnóstico, dentre estas a Embrapa Florestas, a qual ficou encarregada em elaborar documento que contivesse os efeitos da enxurrada sobre o ambiente fluvial.

Assim, o referido documento resulta da análise efetuada no campo, nos dias 12 e 13 de dezembro de 2017, da mencionada enxurrada sobre o ambiente fluvial (segmento de rio e nascente), retratando considerações e recomendações para a recuperação e estabilização dessa área.

Objetivos

Caracterizar a estrutura do ambiente fluvial (nascente e segmento de rio de primeira ordem), considerando aspectos referentes à geologia, geomorfologia, pedologia e cobertura vegetal, sobretudo suas interatividades e os efeitos provocados pelas elevadas precipitações pluviométricas do mês de outubro de 2017.

Apontar soluções que possam assegurar a estabilidade do ambiente fluvial.

Localização e caracterização da área

Predominam na região paisagens com características de relevo, solo e sistemas de produção que favorecem elevados níveis de desenvolvimento rural, fortalecendo sobremaneira a economia do estado. A região se destaca pela diversidade da produção, tendo como “carro chefe” as culturas de soja e milho, além de outras, como café, mandioca, amendoim e sericicultura, de alta produtividade (Paraná, 2018b). Mas a região também se destaca como área produtora de água, rica em mananciais. Portanto, estudos que relevem características ambientais e respectivas funcionalidades como este que se apresenta podem ser úteis, inclusive para municípios vizinhos circunscritos àquela região.

Localização da área

A área de estudo está localizada no município de Toledo, região oeste do estado do Paraná, mais precisamente nas coordenadas 24°48'50”S e 53°33'38”W. A propriedade rural é denominada de Sítio São João.

Geologia

A área encontra-se sobre paisagens derivadas de rochas eruptivas do vulcanismo Mesozoico da Bacia do Paraná, pertencente à Formação Serra Geral. O processo eruptivo recobre grande parte do Sul e Sudeste do Brasil e envolve sucessivos derrames de lavas, com ênfase da atividade ocorrida em torno de 133 milhões de anos (Marques; Ernesto, 2004). Os basaltos representam

90% do volume das rochas vulcânicas, as quais perfazem a totalidade na área estudada. Segundo os citados autores, os basaltos são constituídos, predominantemente, por augita, plagioclásio e pigeonita, composição que privilegia a elevada saturação de bases nos solos com esta herança litológica, principalmente solos com pequeno grau de desenvolvimento (Neossolos, Cambissolos e Chernossolos).

Geomorfologia

As formas das paisagens do município de Toledo encontram-se delineadas essencialmente sobre rochas eruptivas (basaltos) da Formação Serra Geral. Em razão das diferentes intensidades de dissecação promovidas pelas redes de drenagem, estas condicionadas, em sua maior parte, por lineamentos geológicos, são encontradas duas grandes províncias geomorfológicas: patamarizada e convexada.

A distinção entre as citadas províncias é muito evidente e é ensejada por discrepantes feições de relevo. A primeira se caracteriza pela conformação alternada de relevos, ora constituída por feições de alta declividade (20% – 45%, forte ondulado e 45% – 70%, montanhoso), onde se configura uma distribuição de solos rasos com textura média ou argilosa, cascalhentos e pedregosos, ora por feições com menor declividade, quando se verifica a presença de solos mais profundos de textura argilosa ou muito argilosa.

A província convexada, na qual está inserida a área de estudo, pode ser caracterizada pela presença de paisagens com menor grau de dissecação e formada por topos de grandes dimensões em relevo plano a suave ondulado e encostas longas com predomínio de relevos suave ondulado e ondulado, com ampla distribuição de solos profundos de textura argilosa e muito argilosa.

Solos

A região oeste paranaense tem composição pedológica muito característica, típica das paisagens delineadas sobre rochas eruptivas da Formação Serra Geral. Nos ambientes com menor grau de entalhamento, verificam-se solos com alto grau de evolução pedogenética – Latossolos e Nitossolos, ambos vermelhos (Embrapa, 1984). Segundo a citada fonte, constituem volumes profundos a muito profundos, com textura muito argilosa e com ampla variação quanto à saturação por bases. Complementarmente, nos ambientes de maior declividade, identificam-se solos rasos e pedregosos – Neossolos Regolíticos e Cambissolos Háplicos, com menor expressão de Neossolos Litólicos e Chernossolos Háplicos), onde prevalece a alta saturação por bases em texturas que variam de média a argilosa (Embrapa, 1984; Bhering; Santos, 2008).

Clima

Com base na classificação de Köppen, a região apresenta tipo climático Cfb (Paraná, 2008), que se caracteriza por apresentar verão ameno, chuvas uniformemente distribuídas e temperatura média do mês mais quente menor que 22 °C. O município de Toledo, no entanto, encontra-se em área de transição climática com o tipo Cfa, onde os verões são quentes (média do mês mais quente acima de 22 °C), com tendência de concentração de chuvas no verão.

No ano de 2017, a precipitação pluviométrica do mês de outubro destacou-se pelos grandes volumes registrados (Tabela 1) – ocorrendo valores da ordem de 159,2% a mais do que a média

histórica. Os dados foram calculados a partir de uma série histórica (1975 a 2018) dos registros pluviométricos de precipitação coletados no município de Toledo, disponibilizada no Sistema do Instituto das Águas do Paraná, estação Bom Princípio (código 2453027), localizada a cerca de 10 km da bacia estudada.

No mês de outubro, choveu em oito dias o equivalente a 22,3% da média anual. O valor registrado, especificamente no dia 30 de outubro, foi 191,7 mm, o que representou em torno de 88% da média histórica para o mês.

Vegetação

Assim como a transição climática, existe também na região de Toledo a transição entre unidades fitogeográficas. Apesar da possibilidade do enquadramento em Floresta Ombrófila Mista (Paraná, 2009), a vegetação pode ser caracterizada como ecotonal, representada pela transição entre Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila Mista. Ao se deslocar pela região é possível vislumbrar tanto a presença de *Aspidosperma polyneuron* Müller Argoviensis, como de *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) Otto Kuntze, elementos característicos das respectivas unidades fitogeográficas. A vegetação apresenta, concomitantemente, elementos de ambas as unidades, imprimindo ao conjunto fisionomia distinta e de relevante importância.

De modo geral, as florestas são compostas por árvores de grande porte, que podem atingir 40 m de altura, árvores de menor tamanho, arbustos, fetos arborescentes, lianas, ervas e epífitos cobrindo as copas e os troncos de arbóreas.

Procedimento metodológico

As áreas foram avaliadas ao longo dos dias 12 e 13 de dezembro de 2017. A primeira incursão técnica (Figura 1), realizada no dia 12, teve início a montante da estrada que atravessa o rio que dá acesso à sede da propriedade rural (Ponto A) e finalizou na porção superior do curso d'água (Ponto B), já muito próximo à nascente (Ponto C).

A partir do ponto B (Figura 1) para montante, o reconhecimento até o ponto C ocorreu pela parte externa da floresta fluvial com incursões pontuais recorrentes em direção ao leito do rio até o final

Imagem: Google Earth



Figura 1. Trajeto realizado para prospecção da área, com destaque para os pontos de referência – A, B e C.

do percurso, ponto C, onde se localiza a nascente. O caminhamento pelo leito do rio foi suspenso no ponto B para montante, devido aos efeitos dos solapamentos laterais dos taludes fluviais, que determinaram grande contingente de árvores tombadas, com muitos troncos e galhos, além de volumes extraordinários de sedimentos no canal fluvial.

A partir deste reconhecimento inicial, concebeu-se a divisão do ambiente fluvial em três segmentos (1, 2 e 3 – partindo do local de acesso ao rio até a nascente), considerando aspectos geológicos e geomorfológicos (estruturo-esculturais), pedológicos, especialmente vinculados à hidrodinâmica de leito fluvial (Figura 2).



Figura 2. Segmentos do ambiente fluvial definidos com base em aspectos estruturo-esculturais.

Com base nesta segmentação, no dia 13 foi executada a prospecção pedológica associada com fatores geológicos, geomorfológicos e da vegetação, sobretudo suas interações.

No que se refere aos aspectos geológicos, em razão da homogeneidade de rocha (basaltos da Formação Serra Geral), foram registrados apenas os ressaltos topográficos presentes no canal, estes derivados de lineamentos geológicos, além da presença e alturas dos afloramentos rochosos em taludes, e graus de consistência da rocha.

Quanto aos atributos geomorfológicos, como elemento de segmentação do ambiente fluvial, levou-se em conta o padrão de leito fluvial segundo critérios de Riccomini et al. (2000) e Suggio (2003). Complementarmente, dada à sua importância, foram consideradas formas e alturas dos taludes para avaliar a estabilidade das margens do rio.

Para a identificação e classificação dos solos constituintes da planície e margens de rios (taludes), dada à exiguidade de tempo, foram observadas as feições morfológicas (profundidade do solo, cor e contato com rocha), assim como texturas ao tato, além da forma e intensidade de erosão sobre os taludes (entre sulcos, em sulcos e fluxo de massa). A classificação dos solos seguiu os critérios estabelecidos em Santos et al. (2013). O mapeamento dos solos que constituem as margens do rio estendeu-se a uma distância de 15 metros a partir da porção superior do talude.

A vegetação foi avaliada quanto ao grau de inclinação dos indivíduos arbóreos e arbustivos, assim como a existência de colos arbóreos infletidos, como uma indicação da estabilidade das margens.

Foi considerada também a largura da floresta fluvial, bem como a presença de espécies dos grupos funcionais arbóreos definidos quanto ao regime hídrico dos solos que constituem a planície e as suas margens (Curcio, 2007b).

Em continuidade, foram estabelecidos transectos transversais ao rio, nos segmentos 1 e 2, respectivamente 3 e 4 transectos, para realização de mapeamentos ultradetalhados de solos por meio de tradagens (Figura 3). Nos transectos também foram identificados e caracterizados os elementos geológicos, geomorfológicos e vegetacionais supracitados, além de se avaliar as alturas de enchentes no canal do rio e potencial de arraste. Este foi avaliado visualmente, considerando o tamanho dos fragmentos de rochas e árvores deslocadas durante o evento, fato citado ao longo do texto.

No segmento 3, com o auxílio de escada, foram feitas incursões pontuais para a prospecção de solos nos taludes e na planície, pois, conforme já citado, o forte aporte de sedimentos e de árvores tombadas impediu a execução de transectos transversais ao leito fluvial.



Figura 3. Localização dos transectos (T1 a T7) e dos pontos (P1 a P4) para a caracterização dos segmentos 1, 2 e 3.

Resultados

Dos solos de encosta

Embora o foco deste estudo seja caracterizar especificamente o ambiente fluvial, no sentido de contextualizar a inserção ambiental deste, faz-se também um breve relato dos solos que se encontram a montante.

A microbacia analisada encontra-se cultivada, com disposição de terraços em nível e rotação de culturas (inverno/verão) na forma de “cultivo sob palha”, onde sobressaem as lavouras de milho e soja. É constituída predominantemente por Latossolos Vermelhos, os quais ocupam as porções superiores e médias da paisagem, em condições altamente propícias a determinar elevado grau de distensibilidade a estes volumes favorecendo, portanto, as estruturas granulares. Para o terço superior identificam-se os relevos plano e suave ondulado com declividades de até 8%, enquanto no terço

médio já há o predomínio de relevo ondulado com declividades próximas de 15%. Nas porções inferiores, onde prevalece o regime de compressibilidade de massas, portanto, favorecendo a prevalência de estruturas em blocos, verifica-se com grande expressividade territorial a presença dos Nitossolos Vermelhos, mormente em relevos ondulados (Figura 4).

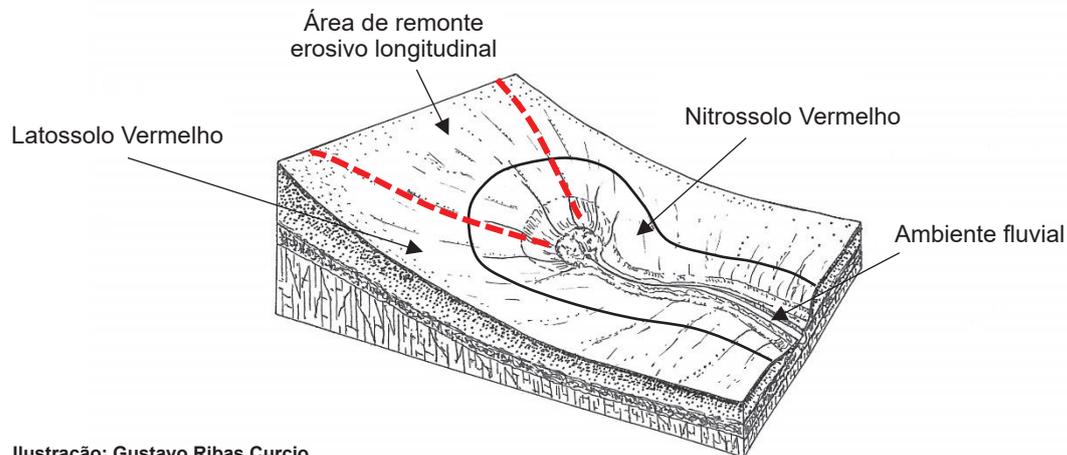


Ilustração: Gustavo Ribas Curcio

Figura 4. Distribuição de Latossolos e Nitossolos na bacia hidrográfica estudada, abrangendo os segmentos 1, 2 e 3 do ambiente fluvial.

Ambos, Latossolos e Nitossolos, possuem sulcamentos de erosão de modo generalizado, além de manifestarem profunda descaracterização no que se refere aos parâmetros estruturais, apresentando forte grau de compactação dos horizontes superficiais. Conseqüentemente, perderam a legitimidade no que se refere às suas permeabilidades hídricas devido às práticas insatisfatórias de manejo a estes atribuídos, comprometendo a recarga hidrológica de subsuperfície. Assim, principalmente em eventos de fortes precipitações pluviométricas, as descargas hidrológicas superficiais tornam-se magnificadas em detrimentos das recargas hidrológicas subsuperficiais, comprometendo a estabilidade dos ambientes fluviais.

Derpsch et al. (1991), em clássico trabalho sobre controle do processo erosivo no estado do Paraná, discutem a necessidade de adoção de práticas pluralizadas no sistema de plantio direto, a fim de garantir boa porosidade e, conseqüentemente, manter boas taxas de condutividade hidráulica do solo, proporcionando a desejável infiltração em detrimento do escoamento superficial.

Do ambiente fluvial

O ambiente fluvial sob análise é um segmento de rio de primeira ordem, compreendendo ambientes muito distintos quanto ao padrão de leito fluvial (Tabela 3).

Tabela 3. Segmentação do leito fluvial e principais características.

Segmento fluvial	Comprimento fluvial (m)	Padrão de leito fluvial
1	188	Sinuoso livre
2	423	Sinuoso encaixado/Retilíneo segmentado
3	354	Sinuoso/Anastomosado

Este ambiente fluvial possui cerca de 965 m de comprimento e foi subdividido em três segmentos (Figuras 2 e 3), conforme consta no Tabela 3.

Segmento 1

A planície deste segmento se caracteriza por apresentar elevado potencial de sedimentação, muito possivelmente devido à presença do aterramento para consolidação da estrada de acesso à propriedade rural. Neste contexto de sedimentação com baixas declividades de canal fluvial (1%), tem-se a inserção de leito fluvial sinuoso livre (Tabela 3) sobre sedimentos pelíticos/seixosos (Figura 5A), prevalecendo padrões de configuração esculturais.



Figura 5. Segmento 1 com leito fluvial sinuoso livre (A), árvores tombadas e assoreamento (B).

A vegetação da planície, neste segmento, encontra-se fortemente descaracterizada pelas torrentes fluviais provocadas pelo grande volume de chuvas registrado na região. O caudal hídrico alcançou elevada capacidade e competência de transporte, determinando alto grau de tombamento de árvores de pequeno porte (Figura 5B), além de promover o soterramento do extrato herbáceo e plântulas da regeneração florestal. Apesar deste expressivo impacto, ainda foi possível identificar espécies arbóreas do grupo funcional hidrófilo (espécies adaptadas a solos hidromórficos) que praticamente nada sofreram com as torrentes fluviais. Estas, em sua maioria, são árvores com PAP (perímetro a altura do peito) acima de 15 cm, o que traduz o maior porte dos espécimes e, conseqüentemente, maior resistência à torrente.

Transecto 1

A planície neste transecto possui 16 m de largura e se encontra inserida em vale de conformação assimétrica (Figura 6), dissecado pelo leito fluvial sinuoso livre, com 1% de declividade. O leito fluvial atual, com 3,70 m de largura, compreende cerca da quarta parte da planície, encontrando-se deslocado para a posição mais próxima da margem esquerda (1,70 m de distância). Próximo à margem direita existe um leito subordinado, herança possivelmente relacionada aos momentos finais do evento, quando ainda havia fortes solicitações de transporte dos sedimentos fluviais.

Os depósitos fluviais são predominantemente de caráter pelítico (granulação silte e argila), ensejados diretamente pelos solos das encostas onde prevalecem as texturas muito argilosa e argilosa. Em menor quantidade, principalmente relacionadas ao transporte de canal, apresentam-se as frações psamíticas (granulação areia), acompanhadas de elementos seixosos (fragmentos líticos arredondados) e placoidais (fragmento lítico laminar), estes como herança de transporte, respectivamente, por rolamento e tração.

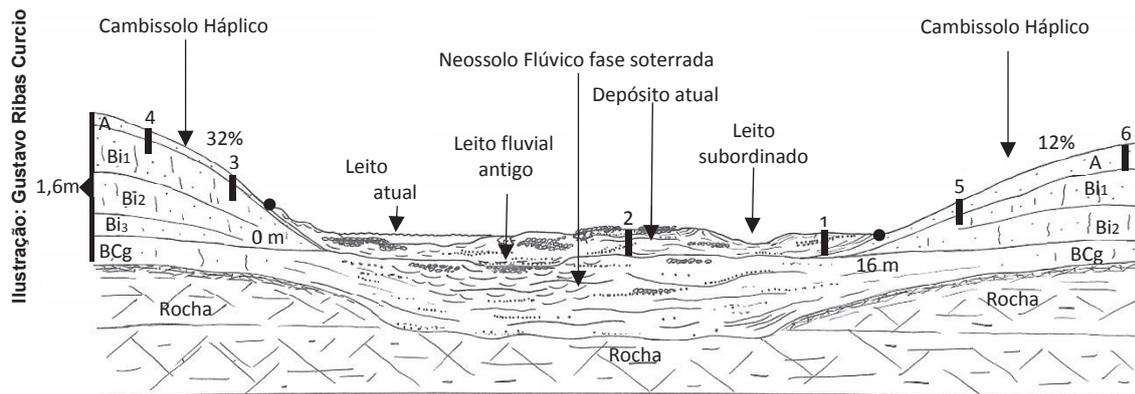


Figura 6. Seção transversal do transecto 1 (sem escala), segmento 1, e respectivos pontos de prospecção (1, 2, 3, 4, 5, e 6). Pontos pretos indicam largura da planície.

A planície é constituída por NEOSSOLO FLÚVICO Eutrófico (caráter de fertilidade suposto) gleissólico textura argilosa fase soterrada (Pontos 1 e 2). O caráter eutrófico foi atribuído tendo em conta a grande expressividade deste em solos rasos sobre rochas eruptivas no oeste paranaense (Embrapa, 1984). A constituição mineralógica do basalto, com a presença de plagioclásio cálcico e piroxênio do tipo augita (Athayde; Athayde, 2015), justificam as elevadas saturações por bases em solos derivados desta litotipia.

A fase soterrada, resultado dos depósitos fluviais do evento ocorrido nos dias 29/30 de outubro, foi detectada nos pontos de prospecção 1 e 2, respectivamente, com 15 cm e 22 cm de sedimentos (Figura 6). Com base nessas espessuras, estima-se que a fase de soterramento tenha acumulado em torno de 2,85 m³ de sedimentos, sem dúvida, um valor muito expressivo para um único evento. O valor acumulado encontra-se em área correspondente de 16 m² neste transecto (16 m de largura x 1 m de comprimento x espessuras identificadas dos depósitos).

Os taludes, embora assimétricos quanto à forma e declive, são constituídos por CAMBISSOLOS HÁPLICOS Eutróficos (caráter de fertilidade suposto) típicos, ou seja, com profundidades superiores a 1 m (Pontos 3, 4, 5 e 6 – Figura 6). Devido ao posicionamento destes taludes na bacia, afastados das porções mais convexas das nascentes e, portanto, com menor probabilidade de receber grande caudal de água nas fortes chuvas, como as suas pequenas alturas e declividades, não foi identificada erosão por solapamento de base.

Por outro lado, é provável que a erosão superficial seja responsável pela menor espessura do horizonte A do Cambissolo sob o talude esquerdo, que se encontra com 10 cm de espessura, em comparação aos 25 cm registrados no solo que constitui o horizonte superficial do talude direito. Esta condição, possivelmente, é função da interatividade de dois fatores: maior declividade desta margem (32%) com pequena largura da floresta fluvial (6 m a 8 m), a qual se antepõe de forma ineficaz aos fluxos hídricos advindos da lavoura. Ou seja, é imprescindível que a floresta seja recuperada, recompondo-se uma faixa de vegetação mais larga do que a atual. Deve-se ter presente nesta discussão que, em passado recente, idos de 1980, a floresta fluvial praticamente inexistia, conforme pode ser visualizado na Figura 7.

No que se refere à cobertura vegetal, a planície neste segmento é revestida por espécies arbóreas de alta diversidade quanto à adaptabilidade aos regimes hídricos de solos: hidrófilas (em solos hidromórficos), higrófilas (em solos semi-hidromórficos) e mesófilas (em solos não-hidromórficos). As espécies hidrófilas deste segmento, diferentemente do segmento anterior, foram profundamente afetadas pelo evento de cheia, tendo comprometimento total no que se refere à fase de regene-



Figura 7. Imagem da área de estudo da década de 1980.

ração, além de elevadas taxas de tombamento (Figuras 8A e 8B). Foram registrados troncos de árvores com 3 m a 4 m de comprimento e 130 a 150 cm de PAP, dispostos de forma transversal ao leito, produto da elevada competência de transporte do caudal fluvial por ocasião do evento. Deve-se ter em conta que os troncos arbóreos sendo transportados pelo caudal fluvial tornam-se agentes vigorosos de destruição das florestas de planície, potencializando a força arrasadora do caudal magnificado que se desloca pela planície.



Figura 8. Visão geral no transecto 1, com troncos arrastados (A) e árvores tombadas na planície (B).

Durante o evento, os sedimentos, troncos e todos os detritos vegetais foram transportados por um caudal que atingiu 85 cm de altura neste transecto. Esta altura foi registrada com base nos sinais deixados pela enchente nos indivíduos arbóreos presentes na planície, trazendo indicações sobre o potencial de transporte da enxurrada. Indubitavelmente, uma torrente com grande competência, ainda mais quando se considera que a velocidade e a viscosidade do caudal durante o evento deviam ter sido magnificadas drasticamente.

Transecto 2

Em torno de 50 m a montante do transecto 1 (Figura 3), a planície torna-se um pouco mais estreita (13,60 m) na posição do transecto 2. A conformação do vale é muito similar àquela descrita anteriormente, ou seja, assimétrico, edificado por leito fluvial sinuoso livre (Figura 9).

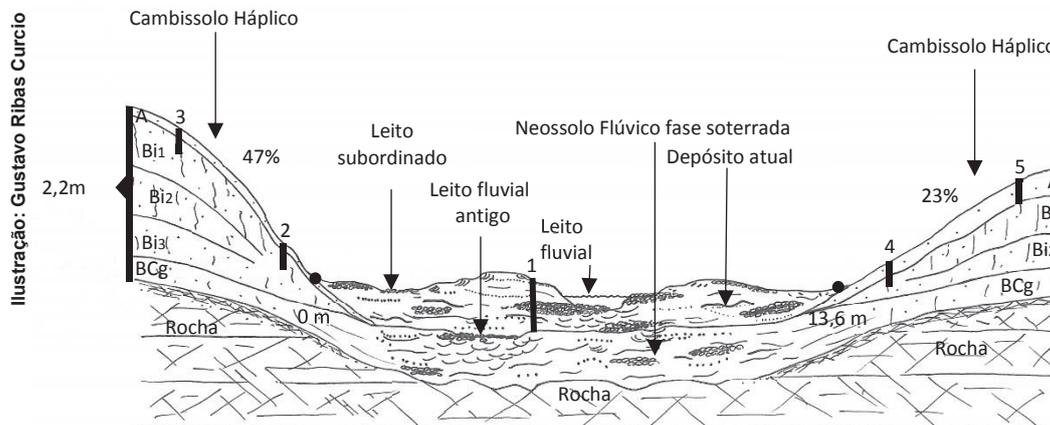


Figura 9. Seção transversal do transecto 2 (sem escala), segmento 1, e respectivos pontos de prospecção (1, 2, 3, 4 e 5). Pontos pretos indicam largura da planície.

A planície possui dois leitos, subordinado e atual. Este possui 1,60 m de largura e está posicionado mais próximo da margem direita, mais precisamente a 4,3 m do talude direito, ao contrário do transecto anterior. Christofolletti (1981) comenta a existência de leitos subordinados em planícies e sua grande efetividade nos eventos de maior solicitação hidrológica.

Os depósitos fluviais nesta posição da planície são muito similares aos encontrados no transecto antecedente, porém com clastos pouco maiores, fato já esperado devido ao processo de decantação diferencial longitudinal, o qual determina que sedimentos mais pesados sejam depositados em posição mais proximal, enquanto os mais leves sejam transportados por maiores distâncias.

A planície (Figura 9) é constituída por NEOSSOLO FLÚVICO Eutrófico (caráter de fertilidade suposto) gleissólico textura argilosa fase soterrada (Ponto 1). A espessura do soterramento corresponde a 35 cm, sendo fruto do evento ocorrido nos dias 29 e 30 de outubro. Com base nessa espessura, além da área do transecto (13,6 m²), estima-se que a fase de soterramento seja de cerca de 3,53 m³, valor pouco superior ao transecto anterior.

Os taludes, também assimétricos quanto à forma e declive, também são constituídos por CAMBISSOLOS HÁPLICOS Eutróficos (caráter de fertilidade suposto) típicos, ou seja, com profundidades superiores a 1 m (Pontos 2, 3, 4 e 5), assim como no transecto anterior. Foi detectada erosão entre sulcos e em sulcos no horizonte A do Cambissolo que compõe o talude esquerdo. A espessura do referido horizonte está em torno de 10 cm, praticamente a metade do que foi evidenciado no solo do talude direito, este com menor declividade (Figura 9). A pequena espessura é atribuída aos mesmos fatores já comentados anteriormente. Deve-se ter em conta que a enchente neste transecto atingiu a altura de 1,20 m, fator que corroborou ainda mais para o adelgaçamento do horizonte A abaixo da referida altura.

Quanto à composição florística, foi registrada grande semelhança com a vegetação existente no transecto anterior, o que certamente se deve à correspondência abiótica entre ambos (Figuras 10A e 10B). Assim, ao longo deste trecho de planície, analisados pelos transectos 1 e 2, a floresta fluvial

é formada por um fitomosaico vegetacional, o que se deve à presença de distintos regimes hídricos de solos, concordando com padrões de distribuição identificados no rio Iguaçu por Curcio (2007a). Do mesmo modo, as espécies hidrófilas foram severamente afetadas pela torrente, com comprometimento da regeneração, além de elevadas taxas de tombamento de indivíduos de maior porte. Neste transecto também foi observada a presença de troncos de árvores de grande porte em meio aos depósitos, os quais causaram estragos consideráveis à cobertura vegetal hidrófila de planície durante seu percurso (Figura 10A e 10B). A presença dos troncos, que alcançavam cerca de 3 m de comprimento e 140 cm de PAP, reflete a elevada competência do fluxo no momento do evento. A destruição de florestas fluviais pelo carreamento de troncos de árvores no rio Iguaçu foi discutido por Curcio (2006).



Figura 10. Visão geral no transecto 2, com tronco de árvore arrastado pela enxurrada (A) e árvores tombadas na planície (B).

Transecto 3

Aproximadamente 90 m acima do primeiro transecto (Figura 3) a planície tem sua largura diminuída para 9,60 m, praticamente, dois terços daquela, ou seja, o ambiente fluvial a montante torna-se gradativamente mais dissecado, contudo, em vale de maior simetria (Figura 11).

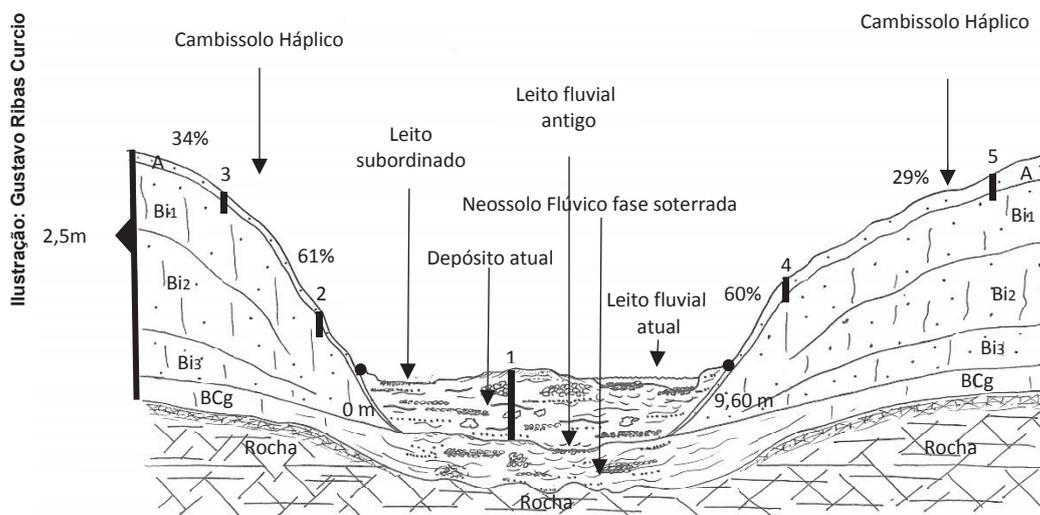


Figura 11. Seção transversal do transecto 3 (sem escala), segmento 1, e respectivos pontos de prospecção (1, 2, 3, 4 e 5). Pontos pretos indicam largura da planície.

Apesar do maior grau de incisão do talvegue, o leito do rio ainda exhibe sinuosidade livre no transecto 3, porém com 2% de declividade longitudinal. A presença de dois leitos (subordinado e atual) ainda traduz os efeitos de construção/desconstrução fluvial presente em zona de sedimentação fluvial. O leito fluvial, assim como no transecto 1, volta a ter a largura equivalente a quarta parte da planície e praticamente encosta no talude direito, de onde se distancia apenas 10 cm.

A deposição fluvial torna-se bastante grosseira, com grande expressão de clastos seixosos/placoidais em matriz psamo/pelítica (Figura 12A), em conformidade ao postulado por Christofolletti (1981). Em coerência aos transectos anteriores, foi identificada uma deposição de sedimentos com 38 cm de espessura no ponto 1, caracterizando uma fase de soterramento sobre NEOSSOLO FLÚVICO Eutrófico (caráter de fertilidade suposto) gleissólico textura argilosa (Figura 11). Este aporte, analogamente ao registrado nos demais transectos, corresponde a 3,12 m³ de sedimentos para uma área de 10 m² de planície (área do transecto).

Considerando os valores médios de sedimentos depositados nos transectos e o comprimento do primeiro segmento (188 m), conclui-se que houve uma deposição extraordinária de material no evento do dia 29/30 de outubro, na ordem de 594 m³, o que incorre em uma média de 3,16 m³ por metro linear longitudinal de planície.

Os CAMBISSOLOS HÁPLICOS Eutróficos (caráter de fertilidade suposto) típicos ainda perfazem os taludes fluviais (Pontos 2, 3, 4 e 5), assim como foi registrado nos transectos iniciais. Do mesmo modo, o horizonte A do Cambissolo do talude esquerdo continua a ser o mais adelgado nas porções superiores (Figura 11). Este processo erosional mais acentuado no solo que constitui o talude esquerdo é importante, e caracteriza a maior fragilidade da margem esquerda do ambiente fluvial, possivelmente devido à maior declividade, assim como ao processo de desmatamento em tempos passados, conforme visto na Figura 7. Sendo assim, destaca-se a necessidade premente de aumentar a efetividade da floresta que margeia o curso d'água por meio da ampliação da largura, ou mesmo incrementar a eficácia quanto à capacidade de contenção dos fluxos hídricos e sedimentos. Isto pode ser efetivado, por exemplo, mediante escolha de espécies arbóreas que promovam maior rugosidade superficial, ou seja, que tenham maior seção basal de tronco, além de ampliar a densidade de indivíduos arbóreos. Outro ponto fundamental, que não pode ser preterido, é melhorar o manejo dado às lavouras da propriedade, ampliando a adoção de práticas que promovam, fundamentalmente, a maior infiltração de água nos Latossolos e Nitossolos.

No que se refere à cobertura vegetal que constitui a floresta fluvial, apesar da presença de planície, não há espécies arbóreas hidrófilas, pois as poucas que haviam foram mortas pela torrente fluvial de alta energia, a qual transportava grande quantidade de seixos (Figura 12A). Portanto, a floresta restante é constituída apenas por espécies mesófilas, as quais se encontram sobre os Cambissolos que compõem os taludes (Figura 12B). Ao mesmo tempo, a ocorrência de grande quantidade de indivíduos arbóreos de pequeno porte nas margens, especialmente na esquerda, o que também foi registrado nos transectos 1 e 2, define a incipiente condição de regeneração florestal e reflete o alto grau de intervenção humana em tempos passados (Figura 7).

É importante citar que, embora o componente arbóreo já tenha apresentado certo grau de resiliência, estágio sucessional médio (capoeirão), em nenhum momento foi observada a presença do componente epifítico (bromélias, orquídeas, cactáceas, pteridófitas entre outras), fato que traduz a menor diversidade da floresta fluvial e, conseqüentemente, sua menor capacidade funcional. Bonnet et al. (2007) estudando as epífitas em florestas regenerantes comentam a entrada bem posterior das bromélias em relação ao componente arbóreo. Outro fator importante a ser considerado é



Figura 12. Visão geral do transecto 3, como deposição seixosa/placóide na planície (A) e erosão superficial no talude (B).

a manifestação mais insólita deste componente na Floresta Estacional Semidecidual (Maack, 1981) quando comparado às outras duas unidades fitogeográficas do estado (Florestas Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Densa), motivo a mais para ratificar a necessidade de se preservar ao máximo estas florestas.

Sem dúvida, as condições da floresta fluvial quanto aos quesitos de composição e estrutura florística devem ser analisadas por técnicos e produtores, sobretudo sua aplicação aos conceitos básicos de corredor de diversidade e fluxo gênico, assim como elemento de garantia da soberania hidrológica da bacia.

Outro aspecto de suma importância é a ausência de extrato herbáceo na planície, assim como a regeneração de arbóreas (Figura 12A), ficando muito evidente o efeito devastador da torrente fluvial, a qual neste segmento atingiu a altura de 1,60 m. Vale citar que, por meio de tradagens, foi notada a presença em subsuperfície do extrato herbáceo caracterizando, assim, o soterramento destes elementos.

É importante lembrar, ainda, que florestas fluviais em estágios iniciais de regeneração podem ser deficientes no papel de corredores de diversidade e fluxo gênico, ou seja, existem, mas não cumprem na integralidade suas funções ecológicas.

Segmento 2

O segmento 2 denota características peculiares e exclusivas, dado o aprofundamento da linha de talvegue fluvial em leito rochoso (Tabela 4). Como consequência da linearização de talude em rocha, evidencia-se o padrão de leito sinuoso encaixado/retilíneo segmentado, com variações de declividade no canal da ordem de 2% até 4%.

Ao longo do canal sobressaem os ressaltos topográficos configurando a interferência dos lineamentos geológicos na conformação do leito fluvial (Figura 13A), o que caracteriza o prevaquecimento de regime de elaboração estrutural. A presença de rochosidade tanto no leito fluvial como nos taludes, com maior ou menor grau de meteorização, determina a ausência de solapamento de base das

Tabela 4. Segmentação do leito fluvial e principais processos identificados.

Segmento fluvial	Principais processos identificados
1	Soterramento de canal e tombamento de vegetação
2	Incisão de talvegue em rocha e erosão superficial nos taludes
3	Soterramento de canal, solapamento e queda de árvores



Figura 13. Visão geral do segmento 2, como ressaltado topográfico (A) e erosão em talude por fluxo hídrico externo (B).

margens, ensejando estabilidade ao ambiente fluvial, quanto ao processo de solapamento dos taludes fluviais. No entanto, foi identificada, recorrentemente, grande quantidade de erosão superficial nos solos que constituem os taludes (Figura 13B), advinda dos fluxos de enxurradas superficiais das lavouras, caracterizando a insuficiência da floresta da margem do rio (baixa densidade de indivíduos e em estágio inicial de sucessão) na contenção de sedimentos e água.

Fato marcante neste segmento é a grande quantidade de nascentes presentes nos taludes, tanto naqueles formados por volume rochoso quanto por volume terrígeno (Figuras 14A e 14B). Uma ação importantíssima no que se refere à recarga/descarga hidrológica desta microbacia é a identificação exata da relação entre nascentes perenes e intermitentes ao longo do trecho sob análise, com respectivas médias de vazão, inclusive com a identificação de origens, se estão sobre matriz rochosa ou terrígena. Devido à exiguidade de tempo deste diagnóstico, não foi possível obter estes resultados. Contudo, associando a seção das nascentes, grau de intemperismo da rocha e a coloração mais amarelada da matriz argilosa (maior presença de goetita), pode-se supor que a quantidade de nascentes perenes é alta. As nascentes sobre matriz terrígena com coloração avermelhada, por outro lado, provavelmente são de caráter temporário. Óxidos de ferro podem contribuir na identificação e caracterização de nascentes, considerando que estes traduzem os regimes de saturação hídrica do solo (Kampf; Curi, 2000).



Figura 14. Nascentes presentes no segmento 2, em afloramento rochoso (A) e em volume terrígeno (B).

Transecto 4

Este ambiente encontra-se a aproximadamente 60 m a montante da divisa entre os segmentos 1 e 2 (Figura 3) e caracteriza-se por apresentar padrão de leito sinuoso encaixado, com ausência de planície fluvial com sedimentos terrígenos (Figura 15). Portanto, a linha de talvegue assim como os taludes encontram-se acondicionados sobre rocha, em diferentes graus de meteorização, conotando alto grau de estruturalização em sua linha de evolução fluvial. Esta condição, em poucos metros, proporciona variações consideráveis na largura da planície e do leito fluvial, assim como mudanças na declividade e altura dos taludes, o que enseja alterações na dinâmica fluvial. No local do estudo, a planície possui 2,90 m de largura, dos quais 2,20 m correspondem ao leito fluvial.

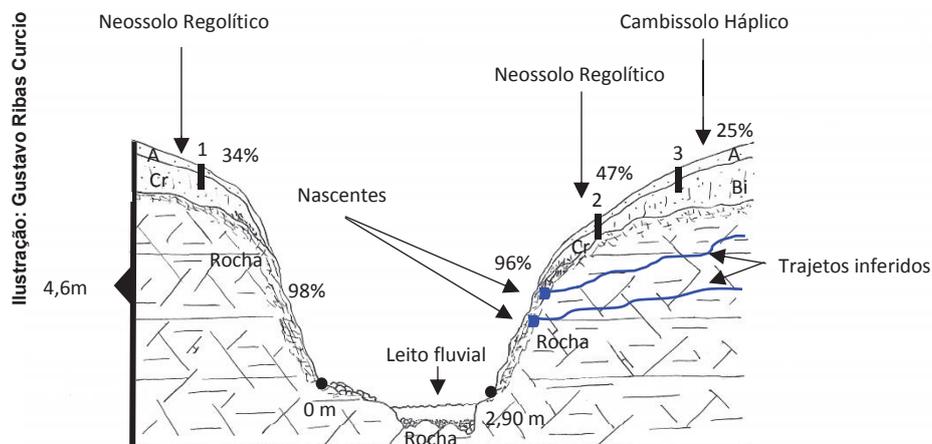


Figura 15. Seção transversal do transecto 4 (sem escala), segmento 2, e respectivos pontos de prospecção (1, 2, e 3). Pontos pretos indicam largura da planície.

A despeito da configuração simétrica do vale, com taludes constituídos por relevos escarpados, elaborados sobre rocha até uma altura próxima de 2,0 m, a composição pedológica é distinta entre margens (Figura 15). Assim, na margem direita (ponto 2) há a presença de NEOSSOLO REGULÍTICO Eutrófico (caráter de fertilidade suposto) típico, compondo ambiente de transição entre talude rochoso, mais próximo da água, e CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico (caráter de fertilidade suposto) léptico (Figuras 15 e 16B). Digna de registro é a presença de duas nascentes neste talude na intersecção rocha/solo em alturas muito próximas (1,9 m e 2,0 m) e com elevada vazão hídrica (Figura 14A).

Na margem esquerda, como constituintes físicos de talude, identifica-se apenas a presença de rocha e NEOSSOLO REGULÍTICO Eutrófico (caráter de fertilidade suposto) típico (Figuras 15 e 16A). A composição rochosa em ambos os taludes detém a ocorrência do fenômeno de erosão por solapamento de base como foi observado no segmento 3 (descrito adiante). Por outro lado, as pequenas espessuras dos solos constituintes, sobretudo seus posicionamentos no final de rampa com alta declividade, tornam este ambiente extremamente suscetível à erosão superficial (entre sulcos e em sulcos), legitimando situação de fragilidade ambiental. Esta conformação impõe severamente a necessidade da presença de florestas fluviais bem estruturadas e estabelecidas que possibilitem a contenção de energia dos fluxos hídricos superficiais das encostas. Neste sentido, é oportuno comentar a possibilidade de ampliação da consistência da legislação ambiental, mais especificamente, o Código Florestal Brasileiro, empregando estudos sobre a efetividade da floresta fluvial que circunda as nascentes e acompanha margens de rios, e discutindo aspectos da espessura e textura de solos associados a elementos de relevo (forma e declive).



Figura 16. Transecto 4, com aspecto do talude esquerdo (A) e do talude direito (B).

Dado o caráter não-hidromórfico dos solos que constituem os dois taludes neste transecto, foram registradas na floresta fluvial somente espécies arbóreas mesófilas. De modo geral, a floresta é constituída por muitos indivíduos de pequeno porte e raros de grande porte, caracterizando, mais uma vez, o alto grau de intervenção humana. Foi presença comum, em ambas as margens, indivíduos arbóreos com inflexão de colo, legitimando movimento de massa dos solos, na ordem de poucos centímetros ao longo do ano (*creep*).

Destaca-se a altura alcançada pela torrente fluvial neste transecto: 2,20 m. Este acréscimo em altura em relação aos transectos anteriores deve-se ao estreitamento do vale fluvial, incorrendo em prejuízos críticos para a vegetação que pudesse estar presente nos taludes fluviais, tanto para herbáceas, como arbustivas e arbóreas (Figuras 16A e 16B). Mais uma vez, a condição imposta pelas intensas torrentes traz prejuízos para a vegetação fluvial, contrapondo o princípio da diversidade que deveria existir nas florestas que margeiam corpos d'água (Martins, 2001). Reforça-se a necessidade de recriar condições nos ambientes agrícolas circunjacentes que minimizem as descargas hidrológicas superficiais e, conseqüentemente, reduzam a formação das citadas torrentes fluviais. O manejo da bacia deve primar para que a recarga hidrológica se dê, principalmente, por fluxos subsuperficiais, favorecendo descargas mais tênues, porém constantes.

Transecto 5

Cerca de 180 m acima do transecto 4 (Figura 3), o ambiente de planície do transecto 5 possui padrão de leito sinuoso encaixado, com linha de talvegue incidida em rocha, caracterizando controle de regime estrutural. O leito fluvial, com 2,10 m de largura, perfaz totalmente a planície fluvial (Figura 17).

O vale fluvial tem configuração assimétrica com predominância de relevos muito íngremes, nas classes de declive escarpado e montanhoso (Figura 17). A presença de rocha como elemento constituinte dos taludes, associada à ocorrência de solos rasos (CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico léptico, pontos 2 e 4; NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico típico, pontos 1 e 2), traduz a extrema fragilidade do ambiente. Este padrão é constante no segmento 2, variando apenas a altura da rocha em relação à altura total do talude, assim como o grau de meteorização e declividade. Neste transecto, a altura da rocha nos taludes é dissimétrica, sendo em torno de 3 m no talude esquerdo e 1,60 m no direito, o que determina resistência ao solapamento das margens. A relação entre altura do

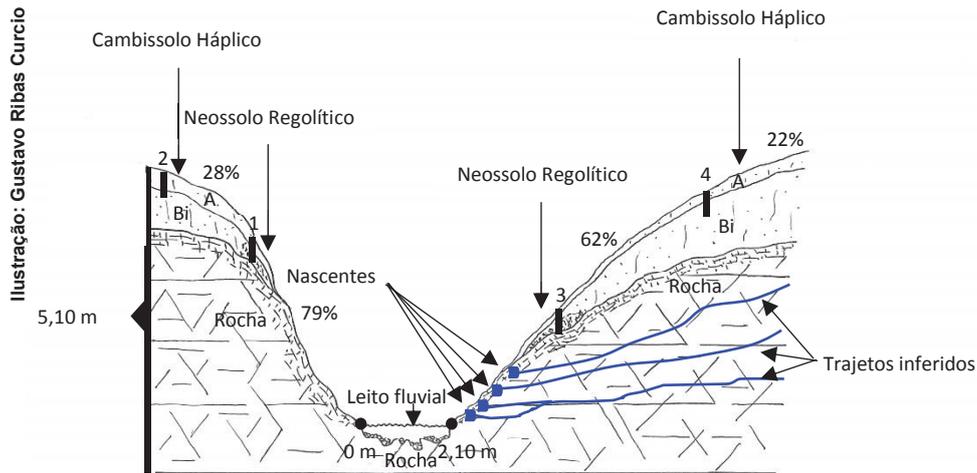


Figura 17. Seção transversal do transecto 5 (sem escala), segmento 2, e respectivos pontos de prospecção (1, 2, 3, e 4). Pontos pretos indicam largura da planície.

talude e a altura de ocorrência da rocha é muito importante e deve ser relevada em estudos desta natureza, pois é uma das variáveis a serem consideradas no processo de erosão por solapamento de base. Evidente que, concomitantemente, outras variáveis devem ser ponderadas, como altura e declividade do talude, textura e regime de umidade dos solos, além de fatores externos como tipo de vegetação e respectivo grau de cobertura das margens, além, é claro, dos níveis pluviométricos. Highland e Bobrowsky (2011) enfatizam a importância de chuvas intensas como elemento necessário ao desencadeamento dos processos de escorregamento, além da umidade do solo.

Assim como no transecto anterior, foram observadas no talude da margem direita nascentes em diferentes alturas (55 cm, 65 cm, 80 cm e 150 cm), portanto todas instaladas em matriz rochosa.

A altura da torrente fluvial neste transecto foi 1,80 m menor em relação ao transecto 4, o que deve ser atribuído às menores declividades dos taludes, proporcionando assim maior área de transpasse para os fluxos hídricos.

Relacionadas ao regime hídrico não-hidromórfico dos solos, foram identificadas nas margens espécies arbóreas do grupo funcional mesófilo, compondo uma faixa de floresta fluvial que varia de 15 m a 20 m de largura, com baixa densidade e pequena quantidade de serapilheira. Ou seja, repete-se o diagnóstico da vegetação com baixa eficiência no cumprimento das funções ecológicas. Neste sentido, foram observados com frequência, no segmento 2, sérios danos à vegetação ciliar causados pelo processo erosivo (em sulcos e entre sulcos, Figuras 18A e 18B). Ainda, em função das altas declividades, foram identificadas árvores com inflexão de colo, acusando movimentos de ordem centimétrica do solo.



Fotos: Gustavo Ribas Curcio

Figura 18. Transecto 5 com erosão em sulco e entre sulcos no talude fluvial (A) e outra erosão em sulco no talude (B).

Transecto 6

Em torno de 80 m a montante do transecto 5 (Figura 3), o ambiente do transecto 6 tem vale assimétrico, com taludes na ordem de 6 m de altura, leito fluvial bem encaixado e, devido à sua menor sinuosidade, foi classificado como retilíneo segmentado (Figura 19). Foi observado que estes trechos mais retinizados são restritos a pequenos segmentos, concordando com afirmação de Riccomini et al. (2000).

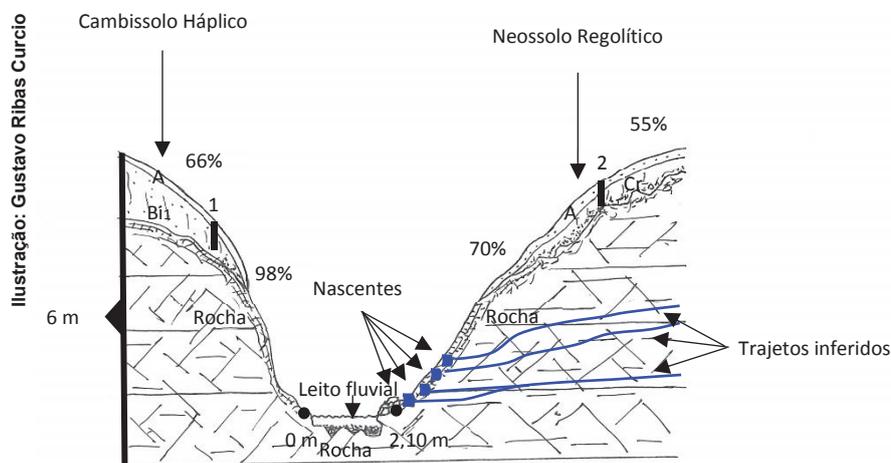


Figura 19. Seção transversal do transecto 6 (sem escala), segmento 2, e respectivos pontos de prospecção (1 e 2). Pontos pretos indicam largura da planície.

O talvegue incidido em rocha com pequenos desnivelamentos superficiais, assim como o padrão retilíneo, caracterizam o regime predominantemente estrutural, onde há favorecimento das maiores velocidades do fluxo hídrico, portanto maior grau de cisalhamento sobre o talude (Figura 20A). A declividade do leito de 3%, conciliada à retinização do leito, favorece um pouco mais o aumento da velocidade do fluxo.

A altura das rochas em ambos os taludes é muito similar, com solos rasos posicionados logo acima (NEOSSOLO REGULÍTICO Eutrófico típico – margem esquerda, ponto 1 e CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico léptico, ponto 2), denotando, assim, elevado grau de fragilidade ambiental. O

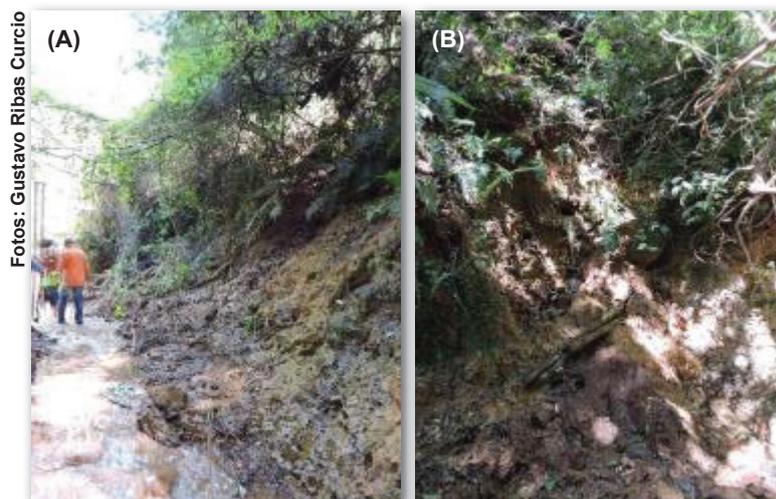


Figura 20. Transecto 6 com talude destituído de vegetação (A) e erosão acompanhada por cone de dejeção no talude fluvial direito (B).

horizonte A está presente nas duas classes de solos, com espessuras em torno de 15 cm a 20 cm, mas as maiores espessuras foram registradas na margem direita, fato praticamente contínuo ao longo dos segmentos 1 e 2.

Muito próximo a esse transecto foi observado cone de dejeção, no talude direito, devido ao descarte de sedimentos carreados da lavoura por sulco de erosão (Figura 20B).

Os taludes estavam, praticamente, destituídos de vegetação (Figuras 20A e 20B), o que sem dúvida está associado aos fluxos de alta energia da torrente fluvial, concordando com afirmação de Curcio (2006) para os taludes do rio Iguaçu. A enchente, que alcançou 1,85 m neste transecto, deixou marcas muito evidentes da altura alcançada.

Assim como nos transectos anteriores, foram observadas várias nascentes no talude direito, todas em matriz rochosa e com grande vazão (não determinada).

A floresta fluvial, assim como nos transectos 4 e 5, é constituída por árvores essencialmente mesófilas em razão do regime não-hidromórfico dos solos (Curcio, 2007b). Porém, a composição florística encontra-se bastante alterada, praticamente com a ausência das principais espécies que representam a Floresta Estacional Semidecidual original (Roderjan et al., 2002), como peroba (*Aspidosperma polyneuron*), ipê-roxo (*Tabebuia heptaphylla*), louro-pardo (*Cordia trichotoma*), alecrim (*Holocalix balansae*), maria-preta (*Diatenopterix sorbifolia*), cabreúva (*Myrocarpus frondosus*), guatambu (*Balfourodendron riedelianum*), cedro (*Cedrela fissilis*), entre tantas outras. Em função da grande variabilidade de usos existentes para as madeiras de lei pelo homem (Inoue et al., 1984), a maior parte delas não é mais encontrada nas florestas remanescentes.

Além da baixa diversidade, a largura dessa faixa de floresta fluvial, que varia de 15 m a 20 m neste segmento, não é o suficiente para conter a energia dos fluxos hídricos superficiais provenientes das encostas (Figura 21A), sobretudo quando estes são concentrados, culminando com cones de dejeção de sedimentos junto ao leito do rio (Figura 20B). Como já discutido, nestas condições os fluxos transpassam a floresta provocando tombamento de espécies arbóreas (Figura 21B) de grande porte, causando danos expressivos também à dinâmica hídrica de leito fluvial.

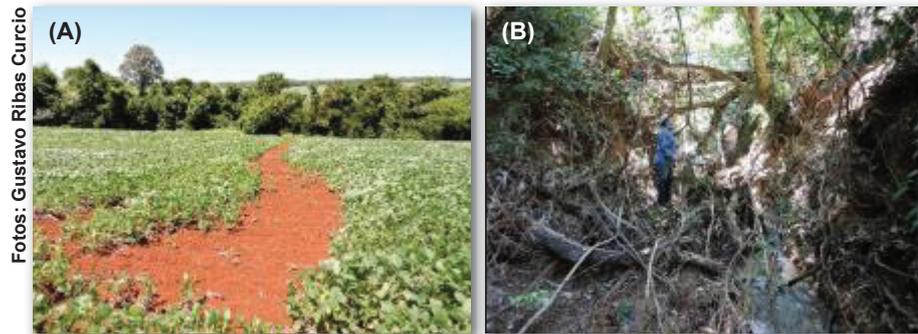


Figura 21. Transecto 6 com erosão na lavoura a montante (A) e o consequente tombamento de árvores no canal fluvial (B).

Transecto 7

Este transecto precede em aproximadamente 60 m o início do segmento 3 (Figura 3), e foi instalado em vale com características assimétricas, padrão de leito fluvial retilíneo segmentado, com linha de talvegue diretamente sobre rocha e com declividades de 3% a 4%, resultado do prevailecimento do regime estrutural. O leito fluvial, com 1,20 m de largura, praticamente perfaz a terça parte da planície (Figura 22), tendo depósitos cascalhentos edificados em suas laterais em razão dos intensos processos erosionais presentes no segmento 3 a montante.

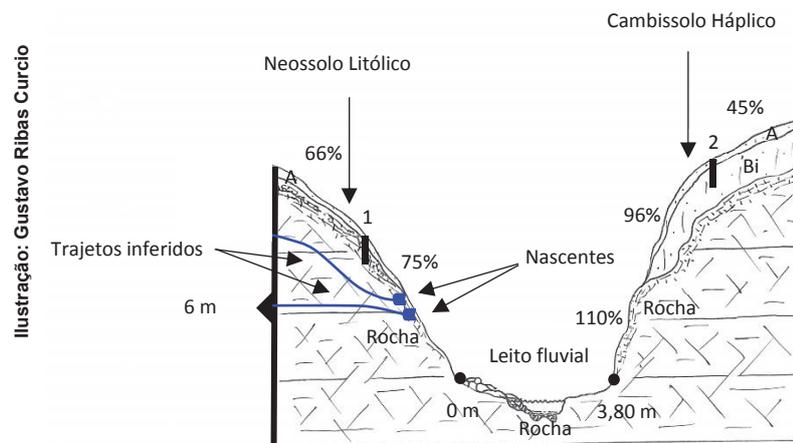


Figura 22. Seção transversal do transecto 7 (sem escala), segmento 2, e respectivos pontos de prospecção (1 e 2). Pontos pretos indicam largura da planície.

Embora os taludes, direito e esquerdo, tenham exposição de rocha em alturas similares (2 m a 3 m, respectivamente), existem distinções importantes quanto à composição do solo, por conta das diferenças nas declividades. Observou-se NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico (caráter de fertilidade suposto) regossólico no talude esquerdo (ponto 1), enquanto no direito identificou-se CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico (caráter de fertilidade suposto) léptico (Figura 22, ponto 2). Todavia, independente da pequena diferença pedológica, por conta das elevadas declividades, posicionamento em final de pedossequência e espessuras muito adelgadas, trata-se, sem dúvida, de um ambiente de alta fragilidade.

Também foram observadas duas nascentes nessa área de transecto, porém na margem esquerda (Figura 22), na zona de contato solo/rocha, ambas com grande vazão (não determinada). A grande presença de nascentes nos taludes do rio ao longo do segmento 2 caracteriza a vulnerabilidade destes ambientes, e sustenta a necessidade de estudos futuros de classificação quanto à vazão

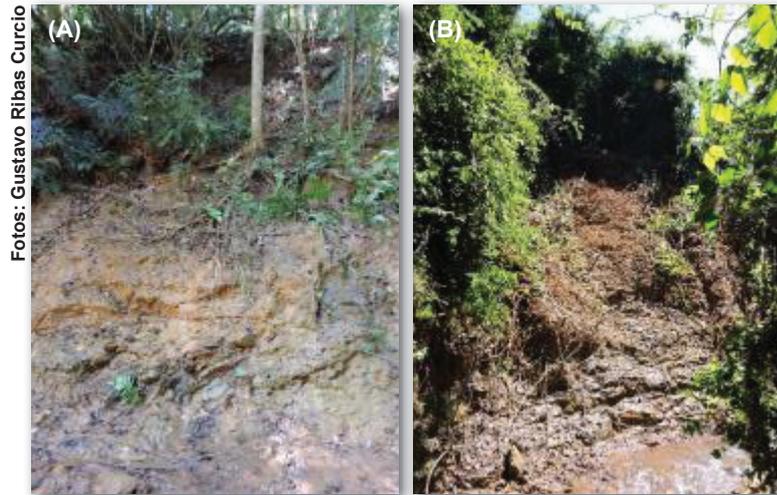


Figura 23. Transecto 7 com aspecto do cisalhamento por fluxo fluvial, no talude esquerdo (A) e movimento de fluxo de massa por solapamento de base (B).

(perene, intermitente, temporária ou efêmera), sobretudo, formas de preservá-las dada à essencialidade destas para a sustentação hidrológica fluvial (Valente; Gomes, 2005).

Próximo a este transecto, foram observados em grande intensidade, processos erosionais do tipo entre sulcos, além de um aumento da incidência de erosão em sulcos, em ambos os taludes. Entende-se que a maior proximidade do segmento 3, zona crítica de erosão, possa justificar, em parte, o aumento deste tipo erosional.

Porquanto se tenha rocha compondo os taludes, ainda assim, foram identificados pequenos processos de erosão por solapamento de base nos taludes próximos da confluência com o segmento 3 (Figura 23B). As pequenas alturas de exposição de rocha em taludes de grandes dimensões (6 m a 7 m de altura) proporcionam relações (altura de rocha/altura de talude) muito baixas, favorecendo os processos erosionais por solapamento de base.

Pode-se afirmar, então, que no final do segmento 2 a destruição por erosão se mostrou mais contundente, tanto por fluxos hídricos superficiais que transpassam a floresta fluvial, quanto pelos fluxos fluviais.

Nos taludes, em alguns locais ficou muito evidente o efeito da torrente com seu elevado potencial de arraste (Figura 23A). Highland e Bobrowsky (2011) relatam a importância da altura e da velocidade dos fluxos fluviais como desencadeadores dos processos de escorregamento de taludes. As marcas deixadas pela torrente, neste transecto, alcançaram 2,55 m de altura. Em outras palavras, o poder de destruição de um fluxo deste porte, concentrado, com alta viscosidade, repleto de troncos, galhos, folhas etc, é muito grande, justificando a ausência de vegetação dos taludes, além dos desbarrancamentos a jusante. Registrou-se também aumento considerável de troncos de árvores e galharias, além de sedimentos terrígenos em grandes volumes acondicionados no leito fluvial, certamente provenientes da grande concentração de erosão por fluxo de massa que ocorreu nos taludes fluviais do segmento 3.

Do mesmo modo, o maior grau de meteorização das rochas, ou seja, quando os solos ficam mais espessos, fica evidente a maior predisposição dos taludes aos movimentos de massa, como foi registrado no transecto em estudo (Figura 24 A e B). Esta predisposição é deflagrada também quando se observa o tombamento de árvores, ou mesmo o número de indivíduos com inflexão de colo, ambas as situações em grandes proporções (Figura 24A).



Figura 24. Transecto 7 com árvores tombadas no leito fluvial (A) e movimento de massa em talude (B).

Referente à cobertura vegetal que constitui a floresta ciliar, pode-se dizer que a composição florística, assim como sua estrutura são praticamente as mesmas que estavam presentes no transecto 6. Também vale salientar que o componente epifítico não foi observado em nenhum momento no segmento 2. Contudo, os sinais de instabilidade dos taludes aumentam demasiadamente, principalmente quando se aproxima da confluência da área 2 para a área 3.

Segmento 3

Assim como os demais segmentos, este possui propriedades exclusivas que o diferencia dos demais. Fica evidente nesse segmento a grande quantidade de fluxos de massa, provocados pelo processo erosional de solapamento de base dos taludes fluviais (Figura 25A), seja na observação a partir do leito ou da margem da floresta. Em alguns locais os escorregamentos assumem proporções enormes, a ponto de a massa terrígena dos taludes ficarem depositados sobre o leito fluvial, determinando a abertura de canais laterais em disposição similar a um processo de anastomose, motivo pelo qual houve a caracterização do padrão fluvial como sinuoso/anastomosado (Figura 25B).



Figura 25. Segmento 3 com visão do fluxo de massa por solapamento de base (A) e porção distal de um fluxo de massa que cobriu o leito fluvial (B).

Um aspecto importante que favorece a instalação dos processos erosionais por solapamento de base dos taludes é a grande profundidade dos solos (3 m a 4 m de solum, sobrepostos com 4 m a 5 m de manto de intemperismo), seu alto grau de desenvolvimento (Figura 27A), além da ausência de rocha nestes taludes e a recorrência de elevada umidade dos solos (em estações bem definidas ao longo do ano). Climas com características de estacionalidade pluviométrica predispõem a contração da massa de solo que, por sua vez, favorece a materialização de linhas de fraqueza estrutural,

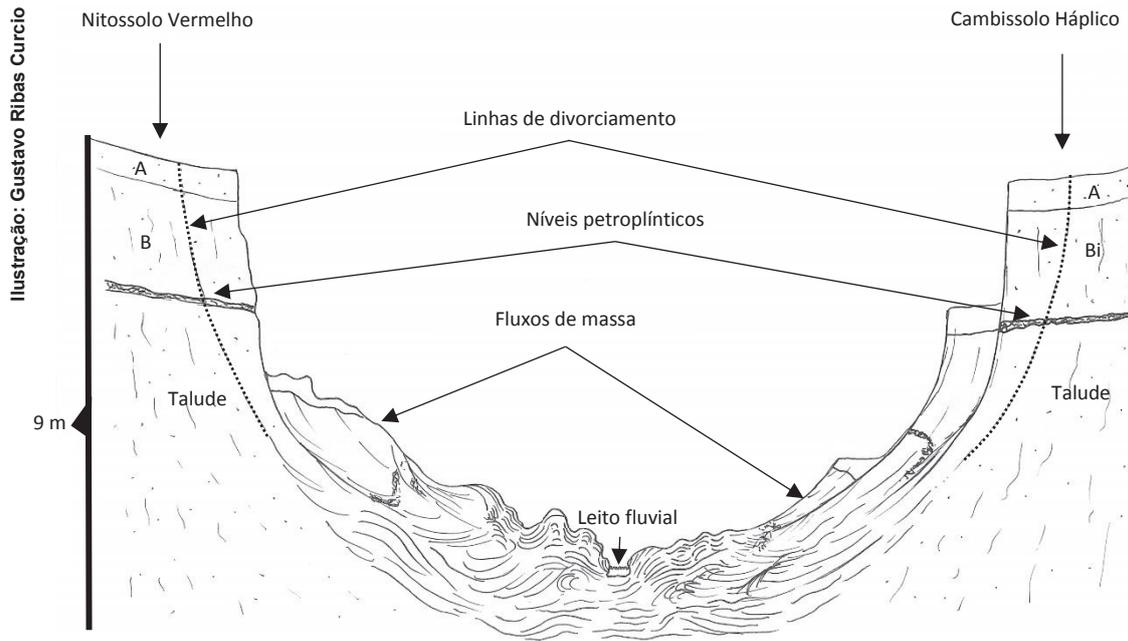


Figura 26. Ilustração de fluxo de massa pela dinâmica de solapamento de base em taludes fluviais.

incorrendo em uma dinâmica de “divorciamento de talude” (Figura 26), denominadas por Highland e Bobrowsky (2011) por linhas de fissuras. Conseqüentemente, nos períodos chuvosos subsequentes, quando normalmente os solos atingem altos níveis de umidade, há intensa propensão ao fluxo de massa (solo + manto de intemperismo), exponenciando esta manifestação sob condições de escoamento superficial intenso (descarga hidrológica superficial).

Deve-se frisar que os fluxos de massa advindos do processo de solapamento de base, com características de compressão rotacional, geram grandes massas comprimidas e convulsionadas que, por meio de suas porções distais, acabam por soterrar o leito fluvial. Posteriormente, com o decorrer do tempo, o leito fluvial vai se reorganizando por meio da avulsão destes sedimentos ali alocados. Como se pode notar, é um processo que promove grandes distúrbios ambientais, trazendo prejuízos plurais ao ambiente.

Sem dúvida, o remonte erosivo acelerado dos taludes neste segmento está expondo, atualmente, solos que outrora não se encontravam em disposição transicional para as nascentes ali existentes, caracterizando uma degradação que já vinha ocorrendo há algum tempo na área de estudo.

A floresta ciliar, principalmente na porção de remonte longitudinal (Figura 4), tem sua largura bem diminuída, não atendendo a quesitos primários para o enquadramento de “floresta fluvial exemplar”. Os recorrentes processos de remonte erosivo por solapamento de base nos taludes justificam, em parte, as larguras irrisórias que a floresta ciliar possuía antes do evento pluviométrico de 29/30 de outubro de 2017.

A grande quantidade de nascentes no talude voltado para a seção de remonte erosivo longitudinal é marcante, tanto pela grande quantidade presente como pelas respectivas vazões (Figura 27B). Este fato, indiscutivelmente, deve ser mais uma grande motivação para se estudar formas mais adequadas de manejar a lavoura dos solos circunvizinhos, além de recompor as funcionalidades ecológicas da floresta fluvial.



Figura 27. Segmento 3 com talude constituído por solo muito profundo (A) e grande quantidade de nascentes em talude de remonte erosivo longitudinal (B).

Ponto 1

Neste local não foi possível a averiguação em transecto, conforme ocorrido anteriormente, devido ao alto grau de degradação ambiental acusado pelo grande número de árvores tombadas, além do alto número de escorregamentos de margens. Assim, em torno de 80 m acima da confluência dos segmentos 2 e 3, foi instalado o ponto 1 (Figura 3). Ali foi inviável realizar a avaliação dos taludes em função da existência de muitas árvores tombadas com denso emaranhado de cipós (Figura 28A). Esta condição, aliada à exiguidade de tempo, inviabilizou uma caracterização ambiental mais detalhada, com instalação de transectos. Ainda assim, identificou-se uma série de fluxos de massa ao longo dos taludes (Figura 28B), os quais trouxeram forte impacto ao ambiente fluvial, com ênfase aos solos, à floresta fluvial e aos recursos hidrológicos. Os fluxos já foram avulsionados, ou seja, retrabalhados ao longo do tempo, em sua porção distal e, certamente, um grande percentual deste material encontra-se perfazendo a fase de soterramento identificada no segmento 1 sobre os NEOSSOLOS FLÚVICOS Eutróficos gleissólicos.

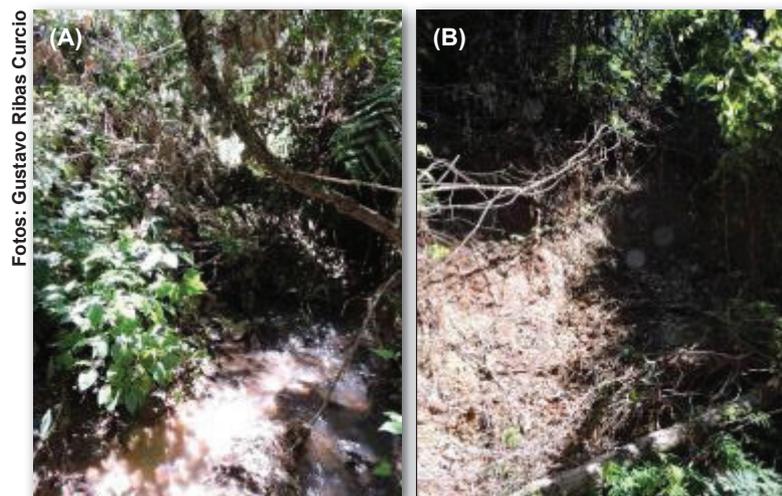


Figura 28. Ponto 1 com denso emaranhado de vegetação sobre o leito fluvial (A) e aspecto da porção distal de fluxo sobre o leito fluvial (B).

Ponto 2

Este ponto foi estabelecido em torno de 200 m acima do ponto 1 e foi acessado por meio de escada colocada em talude. Próximo a este ponto, foram registrados inúmeros processos erosionais por solapamento de base, os quais geraram grandes fluxos de massa (Figura 29A e B).



Figura 29. Ponto 2 com porção distal de fluxo soterrando a planície fluvial (A) e árvore de grande porte tombada sobre planície fluvial (B).

Estes fluxos são constituídos por sedimentos e vegetação florestal (árvores, arbustos e herbáceas) que soterram a planície em suas porções distais, promovendo a mudança de direção do leito fluvial. Em realidade, estes fluxos de massa decorrem de uma instabilidade ambiental complexa que envolve elementos e processos diversos e que, em última análise, estarão condicionando novos perfis de equilíbrio para cada novo evento de chuva. A tendência é o aumento do volume destes fluxos se nenhuma contraposição técnica for desencadeada para conter as contínuas descargas hidrológicas superficiais originadas nas encostas.

Devido à grande quantidade de troncos, galhos e raízes que se encontram em meio aos fluxos de massa transportados para a planície fluvial, os quais promovem uma “agregação mecânica temporária”, depreende-se que essa massa ficará retida por tempo indeterminado em meio à planície, comprometendo a descarga fluvial, alterando índices hidrológicos importantes, como a vazão, velocidade, carga de fundo, carga em suspensão etc. Em outras palavras, há um sério comprometimento da hidrologia fluvial em função destes “deslizamentos”.

De forma preliminar, foi calculado o volume de um fluxo de massa originado em talude constituído por CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico latossólico. Contudo, os valores ainda assumem caráter preliminar devido à falta de dados mais consistentes. Considerando inicialmente a altura de 9 m do talude e com um recuo de sua “parede” na faixa de 1 m, e mais, tendo como largura lateral 6 m, chega-se a um volume em torno de 54 m³. No entanto, foi identificado, no local, que esta massa com estrutura latossólica apresentou um comportamento diferenciado ao fluxo em profundidade: os primeiros 4 m (superficiais) de profundidade apresentaram um fluxo de 100%, ou seja, houve um carreamento total deste volume superficial. Complementarmente, os 5 m restantes exibiram fluxos com arraste parcial, na faixa de 30% – 40%. Este comportamento de resistência do manto latossólico, para aquelas condições, ao fluxo de massa, determinou um volume de 33 m³ (considerado para 30%). Este volume, por si, já é algo extraordinário para um fluxo só. Porém, o que mais suscita preocupação é que foram inúmeros fluxos identificados apenas neste córrego. Ademais, deve-se ter em conta que as dimensões dos fluxos são muito distintas em função da variação da largura e do recuo da parede do talude (há locais com mais de 5 m) e com largura efetiva de 8 m, o que resultaria em volumes muito mais expressivos.

Sob a ótica pedológica, a totalidade desse volume de solo perdido como resultado de um único movimento, é muito expressiva, principalmente se forem consideradas as classes de solos que estão envolvidas, suas texturas e respectivas fertilidades, e mais, o que isto representa dentro da ótica de desenvolvimento dos processos naturais. A mesma preocupação deve ser estendida para as temáticas de vegetação, fauna e hidrologia fluvial. Complementarmente, ainda há de se considerar que

parte destes sedimentos alcançará a represa de Itaipu, incorrendo, necessariamente, em prejuízos para o seu reservatório.

Ponto 3

Este ponto encontra-se muito próximo da área sujeita ao remonte erosivo longitudinal (Figuras 3 e 4) e, por este motivo, sofre os efeitos de descarga hidrológica superficial deste segmento de paisagem que, possivelmente, é uma das maiores da bacia (Figura 30A). Deve-se ter em mente que a umidade é um fator preponderante para desencadear o processo de fluxo (Highland; Bobrowsky, 2011).

O volume de sedimentos e água que chegou nesta porção da planície foi extraordinário durante as chuvas intensas do evento em questão. Em observações anteriores, como a visita realizada em 22 de junho de 2017, já haviam sido observados processos erosivos severos em curso, além da insuficiência da faixa de floresta fluvial para conter os fluxos de massa.

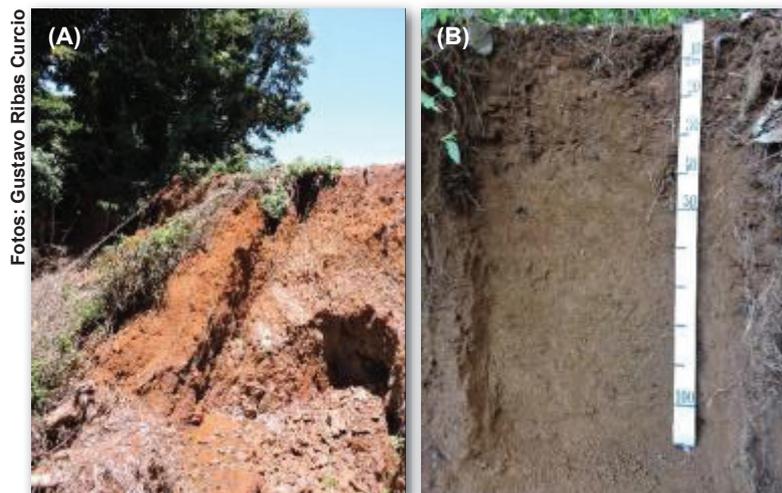
Neste mesmo ponto, em que o processo erosivo por solapamento de base retirou totalmente a floresta fluvial (Figura 30B), havia sido estimada, em junho de 2017, uma largura de 3 m a 4 m para a floresta fluvial, ou seja, houve um recuo do posicionamento de talude da ordem 3 m, no mínimo, com as chuvas de 29/30 de outubro de 2017. Também haviam sido observadas, em junho de 2017, várias zonas de fratura no solo (linhas de divorciamento/separação de talude) de 50 cm a 80 cm de distância do talude, em meio à floresta fluvial constituída por indivíduos arbóreos de pequeno desenvolvimento, com menores alturas e pequena seção basal.



Figura 30. Ponto 3. Vista do aporte de sedimentos e água na área de remonte erosivo longitudinal (A) e do fluxo de massa por solapamento de base em talude (B).

Atualmente, no ponto do desbarrancamento, os taludes são formados por CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico (caráter de fertilidade suposto) latossólico petroplíntico A moderado (25 cm de espessura), fase relevo suave ondulado (Figura 31B). Este possui um manto de intemperismo da ordem de 6 m a 7 m (Figura 31A), ou mais, o que denota a grande espessura dos taludes e, deste modo, a grande fragilidade destas áreas, pois o volume de sedimentos gerados, agora com o processo erosivo de fluxo instalado, é muito grande.

Outro aspecto importante para a discussão técnica é a presença, qualidade e a largura efetiva das florestas fluviais para contenção das enxurradas em zona de nascentes, considerando aspectos como tipos de solo, textura, relevo, formas de uso, tipo climático entre tantos outros itens essenciais na garantia de estabilidade ambiental. As exigências que constam na legislação para proteção das

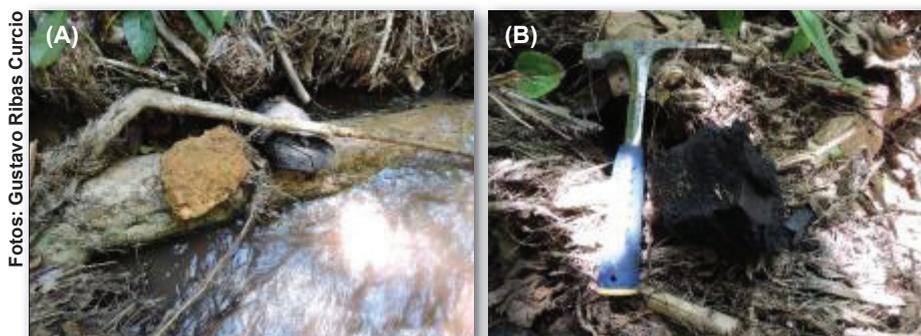


Fotos: Gustavo Ribas Curcio

Figura 31. Ponto 3 com a visão dos taludes com mantos espessos (A) e aspecto do CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico latossólico petroplíntico formando os taludes (B).

nascentes realmente atendem a diversidade observada destes ambientes? As larguras devem ser as mesmas, perante características de solos e relevo tão distintas?

O leito fluvial, no ponto 3, se encontrava totalmente assoreado em função da combinação dos fluxos de massa por solapamento, assim como pela entrada de sedimentos transportados por erosão da lavoura. Configurando-se como uma das questões mais importantes desta área, registrou-se na base da porção distal de um destes fluxos do tipo compressivo rotacional, a presença de um fragmento de horizonte H - hístico (Figura 32A e B). Trata-se de um horizonte típico de Organossolo Háplico, o que evidencia a antiga presença desta classe de solo na área e que algumas partes remanescentes se encontram soterradas por grande volume de sedimentos provenientes da erosão. Na zona de compressão entre os fluxos erosionais, houve a possibilidade deste fragmento de horizonte ascender para a superfície e tornar-se mais um testemunho do processo de degradação daquele ambiente.



Fotos: Gustavo Ribas Curcio

Figura 32. Ponto 3 com fragmentos remanescentes do antigo horizonte hístico, constituinte de Organossolo (A e B).

O “antigo Organossolo” foi destruído porque sua estabilidade, quanto às características hidrológicas, só pode ser mantida com a presença de fluxos difusos de baixa energia, o que contrasta frontalmente com os fluxos acanalados (torrentes concentradas) de alta energia ora existentes em função do intenso uso das encostas com sistemas de produção mal manejados.

Portanto, os solos que predominam atualmente e suas respectivas classes de relevos não mais legitimam as condições ambientais originais. Isto indica que também foram alteradas, de forma gra-

dativa, funções ecológicas importantes do ambiente, como imobilização de carbono e óxido nitroso, capacidade de retenção hidrológica, capacidade de retenção de íons etc, provavelmente, em um processo gradual desde o tempo da retirada da floresta primária.

Ponto 4

Este é o ponto com localização mais a montante do rio estudado. Foi instalado na porção superior de talude a 5 m da sua borda, que apresenta vegetação pouco desenvolvida e em baixa densidade (Figura 3).

Foi identificado um Latossolo Vermelho-Amarelo constituindo o talude, o qual é justificado pelo seu posicionamento na paisagem, com alta predisposição aos aportes hídricos superficiais e subsuperficiais da zona de remonte erosivo longitudinal (Figura 33B). O aporte hídrico favorece o processo de hidratação dos óxidos de ferro (Kämpf; Curi, 2000), gerando condições para a presença de goetita concomitantemente à hematita, esta presente tipicamente em Latossolos Vermelhos situados mais à montante da encosta.



Figura 33. Ponto 4 com nascentes no talude longitudinal (A) e marcas de erosão em área de remonte erosivo longitudinal (B).

As marcas das descargas hidrológicas superficiais deixadas na lavoura durante o evento (Figura 33B) denotam que os fluxos hídricos, quando se aproximaram da nascente, infletiram para a esquerda, atingindo o ponto 3 e preservando o talude do ponto 4 e sua cobertura vegetal.

Neste talude registrou-se a maior densidade de nascentes e mais, onde se identificou a nascente, sem dúvida, com a maior vazão hídrica dentre as diagnosticadas (Figura 33A). Estas características já eram esperadas tendo em vista que a área de remonte erosivo longitudinal é o segmento de paisagem que possui maior superfície de recarga hidrológica, portanto extremamente valiosa e frágil ao mesmo tempo. Trata-se de ambientes constituídos por relevos que propiciam alto grau de convergência hidrológica, o que enseja a magnificação de fluxos com alto potencial erosivo, dependendo, é lógico, dos índices pluviométricos. Para este caso específico, o comprimento de rampa a montante fica em torno de 1.000 m, muito superior às rampas laterais.

Dentro deste contexto, há de se considerar que as recargas de subsuperfície nesta área são oportunizadas bem mais do que se observa nas rampas laterais, rio abaixo, fato que justifica a alta densidade de nascentes no talude da área de remonte erosivo longitudinal.

Recomendações

Com base no que foi exposto, entende-se que, para minimizar o processo erosivo detectado, tanto nos solos de encosta como no ambiente fluvial, é fundamental recuperar a estabilidade hidrológica da bacia. Isto pode ser alcançado por meio de medidas que venham a diminuir prontamente os níveis de energia da descarga hidrológica superficial. Para tanto, é imprescindível que o planejamento deva integrar práticas a serem adotadas nas áreas de lavoura, bem como na floresta fluvial.

Esforços devem ser feitos no sentido de serem ampliadas as recargas hidrológicas subsuperficiais na área da lavoura, convergindo, assim, para uma forma de fluxos de baixa energia. Assim, é importante aplicar técnicas agronômicas de cunho mecânico e vegetativo, as quais possam aumentar a infiltração da água no solo, bem como ampliar a taxa de cobertura do solo.

No sentido de proporcionar maior infiltração de água nos Latossolos e Nitossolos, recomenda-se a prática de subsolagem em nível, cuja profundidade seja compatível à camada de compactação identificada nestes solos. Também é importante que seja efetivado um planejamento que compreenda o sistema de plantio sobre palhada, porém com adoção de terraceamento (a discutir, se em nível ou em desnível, ou misto), além de rotação de culturas agrícolas com características diferenciadas, sobretudo quanto ao tipo e profundidade dos sistemas radiculares.

Caso se opte por um sistema de terraceamento em desnível, aconselha-se acomodar o canal, ou os canais escoadouros (a discutir qual o número ideal) com sua descarga voltada para o segmento fluvial 2, o qual possui taludes de maior estabilidade (presença de rocha), além da floresta fluvial possuir maior largura, conseqüentemente, maior rugosidade superficial para recepção dos fluxos hídricos. Ainda assim, é aconselhável planejar um sistema de dissipação de energia das águas provenientes do canal escoadouro logo acima da floresta fluvial, para evitar danos a esta. Este sistema em desnível deve ser mantido, pelo menos, enquanto ocorre a reconstrução da floresta fluvial. Vale salientar que a descarga líquida do canal escoadouro não deve ser dirigida para o segmento 3, devido à extrema fragilidade daqueles taludes em razão da precariedade das condições da floresta fluvial.

É igualmente importante reconstruir a floresta fluvial em coerência aos preceitos da legislação ambiental (Código Florestal Brasileiro – Brasil, 2012), atingindo as larguras recomendadas para os ambientes, rio e nascente, pois a floresta encontra-se com larguras muito aquém do que seria necessário para dissipar a energia proveniente das lavouras. É necessário identificar com maior rigor as seções de maior convergência hídrica nas encostas, as quais, necessariamente, serão as seções potenciais críticas dos futuros eventos de alta erosividade. Em correspondência, é essencial que se apliquem algumas técnicas que assegurem maior estruturação da floresta para o “barramento de água e sedimentos”. Desse modo, é imprescindível a escolha de espécies arbóreas nativas com adaptação aos diferentes regimes hídricos de solos, bem como o uso de espécies pioneiras ou secundárias com elementos de pioneirismo, ajustando às configurações de plantio em coerência ao posicionamento da paisagem.

Porém, em função do intenso grau de instabilidade que se deflagra no segmento 3, tem-se a compreensão de que as florestas compreendidas pela zona de remonte erosivo longitudinal, por um tempo mínimo de 10 anos, não conseguirão exercer a função de abrandamento de energia dos fluxos hídricos provindos de montante. Por este motivo, é importante traçar estratégias para as áreas de lavoura que garantam a minimização dos fluxos hídricos superficiais.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao professor Ericson Hideki Hayakawa, da Universidade Estadual de Marechal Cândido Rondon, e ao pesquisador João Henrique Caviglione, do IAPAR, pelas importantes colaborações.

Referências

- ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V. Infiltração em Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo usando chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 753-761, 1999. DOI: 10.1590/S0100-06831999000400001.
- ATHAYDE, G. B.; ATHAYDE, C. de V. Hidrogeologia do sistema aquífero serra geral no Estado do Paraná. **Águas Subterrâneas**, v. 29, n. 3, p. 315-333, 2015. DOI: 10.14295/ras.v29i3.28406.
- BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. dos (Ed.). **Mapa de solos do Estado do Paraná**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 74 p.
- BRAGAGNOLO, N.; PAN, W.; THOMAS, J. C. **Solo**: uma experiência em manejo e conservação. Curitiba, 1997. 107 p.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- BONNET, A.; QUEIROZ, M. H.; LAVORANTI, O. J. Relações de bromélias epifíticas com características dos forófitos em diferentes estádios sucessionais da Floresta Ombrófila Densa. **Floresta**, v. 37, p. 83-94, 2007.
- CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F. Reforço contra a erosão. **Cultivar Máquinas**, v. 35, p. 10-13, 2004.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**: o canal fluvial. São Paulo: Edgar Blücher, 1981. 313 p.
- CURCIO, G. R.; GALVÃO, F.; BONNET, A.; BARDDAL, M. L.; DEDECEK, R. A. A floresta fluvial em dois compartimentos do Rio Iguaçu, Paraná, Brasil. **Floresta**, v. 37, n. 2, p. 125-147, 2007a.
- CURCIO, G. R. **Relações entre geomorfologia, pedologia e fitossociologia, nas planícies fluviais do Rio Iguaçu, PR, BR**. 2006. 500 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- CURCIO, G. R.; SOUSA, L. P. de; BONNET, A.; BARDDAL, M. Recomendação de espécies arbóreas nativas, por tipo de solo, para recuperação ambiental das margens da represa do rio Iraí, Pinhais, Paraná. **Floresta**, v. 37, n.1, p. 113-122, 2007b.
- DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: GTZ, 1991. 268 p. (Sonderpublikation der GTZ, 245).
- EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Paraná**. Londrina: Embrapa SNLCS, 1984. 2 tomos (EMBRAPA/SNLCS. Boletim de Pesquisa, 27. IAPAR. Boletim técnico, 16).
- GUBERT FILHO, F. A. O desflorestamento do Paraná em um século. In: SONDA, C.; TRAUZYNSKI, S. C. (Org.). **Reforma agrária e meio ambiente**: teoria e prática no Estado do Paraná. Curitiba: ITCG, 2010. p. 15-25.
- HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **O manual de deslizamento**: um guia para a compreensão de deslizamentos. Blumenau: Edifurb, 2011. 165 p.
- INOUE, M. T.; RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, Y. S. **Projeto madeira do Paraná**. Curitiba: FUPEF, 1984. 260 p.
- KÄMPF, N.; CURTI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 1, p. 107-138, 2000.
- LIMA, W. de P.; ZAKIA, M. J. Hidrologia de matas ciliares. In: RORIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. **Matas Ciliares**: conservação e recuperação. São Paulo: Edusp, 2000. p. 33-43.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1981. 450 p.

- MACCARI, N. S. K. **Migração e memórias**: a colonização do oeste paranaense. 1999. 217 f. Dissertação (Mestrado em História) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2001. 143 p.
- MARQUES, L. S.; ERNESTO, M. O. Magmatismo toleítico da Bacia Hidrográfica do Paraná. In: BARTORELLI, A.; DAL RÉ CARNEIRO, C.; BRITO-NEVES, B. B. (Org.). **Geologia do continente Sul-Americano**: evolução da obra de Fernando Flávio de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p. 245-263.
- MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G. de. Fundamentos teóricos do processo erosivo. In: MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G. de; BARBOSA, G. M. de CESARE. (Ed.). **Erosão no Estado do Paraná**: fundamentos, estudos experimentais e desafios. Londrina: IAPAR, 2016. p. 27-34.
- MORESCO, M. D. **Estudo de paisagem no município de Marechal Cândido Rondon-PR**. 2007. 141 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- PARANÁ. Instituto das Águas do Paraná. **Previsão hidrológica**. 2018a. Disponível em: <<http://www.simepar.br/aguasparana/monitoramento/monitoramento.shtml>>. Acesso em: 7 mar. 2018.
- PARANÁ. Instituto de Terras, Cartografia e Geociência. **Clima**: Estado do Paraná. 2008. Disponível em: <www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas.../Mapa_Climas_A3.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2018.
- PARANÁ. Instituto de Terras, Cartografia e Geociência. **Formações fitogeográficas**: Estado do Paraná. 2009. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_FitogeograficoA3.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2018.
- PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Divisão de Estatísticas Básicas**. 2018b. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=75>>. Acesso em: 26 fev. 2018.
- PARANÁ. Secretaria da Agricultura e Abastecimento. **Prosolo Paraná**: Programa Integrado de Conservação de Solo e Água do Paraná. Curitiba, [2018c]. Disponível em: <<http://www.prosolo.pr.gov.br/>>. Acesso em: 19 fev. 2018.
- PRIORI, A.; POMARI L. R.; AMÂNCIO, S. M.; IPÓLITO, V. K. A história do Oeste Paranaense. In: PRIORI, A.; POMARI L. R.; AMÂNCIO, S. M.; IPÓLITO, V. K. **História do Paraná**: séculos XIX e XX. Maringá: Eduem, 2012. p. 75-89.
- RICCOMINI, C.; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F. Rios e processos aluviais. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Org.). **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 191-214.
- RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; YOSHIKO, S. K.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. **Ciência & Ambiente**, v. 13, n. 24, p. 75-92, 2002.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- SUGGIO, K. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. 400 p.
- TELLES, T. S.; ARAÚJO, A. G. de. Evolução do manejo do solo convencional ao conservacionista: panorama da erosão no Paraná. In: MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G. de; BARBOSA, G. M. de C. (Ed.). **Erosão no Estado do Paraná**: Fundamentos, estudos experimentais e desafios. Londrina: IAPAR, 2016. p. 17-26.
- TUNDISI, J. G. **Água no século XXI**: enfrentando a escassez. São Carlos: RiMa, 2005. 248 p.
- VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de nascentes**: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2005. 210 p.

Embrapa

Florestas