

RIO ACRE, O RIO DAS FERRADURAS, UM RIO BANDIDO QUE SERPENTEIA NO LIMITE ENTRE DUAS NAÇÕES

Pedro José da Silva⁽¹⁾

Professor Associado da Escola de Engenharia do Instituto Mauá de Tecnologia /**IMT**
Engenheiro Civil – Universidade Santa Cecília dos Bandeirantes/**UNISANTA**
Mestre em Saneamento Ambiental – Universidade Presbiteriana Mackenzie/**UPM**
Doutor em Engenharia Civil – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/**EPUSP**
Pós-doutorado – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/**IPEN**

Endereço⁽¹⁾: Rua Conde de Assumar, 191 – Bairro Vila Nivi/Tucuruvi – Cidade São Paulo
Estado São Paulo - CEP: 02255-020 – País Brasil - Tel: +55 (11) 2931-9276 - Fax: +55 (11) 2931-9276
e-mail: p-jose-silva@uol.com.br

RESUMO

*À medida que as cidades cresceram, desordenadamente, os leitos dos rios foram ocupados. Esta ocupação é responsável por intervenções de engenharia, identificadas como obras hidráulicas fluviais. O vale do Rio Acre é exemplo deste crescimento desordenado, sendo razoavelmente povoado para os padrões amazônicos. No município acreano de Assis Brasil, o rio marca a fronteira desta cidade com Iñapari (Peru) e Bolpebra (Bolívia). Ao atravessar a cidade de Rio Branco, o rio divide-a em dois distritos. O acelerado processo erosivo em uma das margens está perto de fazer com que parte de Brasileia perca a ligação terrestre com o resto do município, tornando-se uma ilha cercada pela Bolívia. O presente trabalho tem por **objetivo** levantar as principais leis da hidráulica fluvial que regem a evolução dos rios, e a ação destas leis nos processos responsáveis pela formação de meandros. A **metodologia** fundamenta-se em um estudo descritivo ou de levantamento, pois observa e registra eventos que ocorrem em um determinado espaço do mundo real, identificado como Rio Acre. Destacam-se como **resultados** a apresentação de um estudo da morfologia fluvial, em especial do Rio Acre, e a identificação dos principais fatores responsáveis não só pela formação de meandros, mas também pelo processo erosivo.*

PALAVRAS-CHAVE: Rio Acre, Erosão, Meandros, Leis da Hidráulica Fluvial.

INTRODUÇÃO

Rios são elementos vivos, e para entender as suas vidas é bastante identificar e decifrar os seus graus de liberdade. A intensidade das suas vidas pode ser expressa pelo número de graus de liberdade que apresentam.

O rio Acre tem uma vida intensa, pois apresenta o quarto grau de liberdade. Segundo pesquisadores o quarto grau de liberdade surge quando um curso de água apresenta uma corrente que possibilita o desenvolvimento de meandros.

Decifrar um traçado meandrante é entender que o desenvolvimento de um meandro é, em parte, consequência da necessidade que tem o rio de aumentar o seu comprimento, quando a declividade que requer para transportar o líquido e os sedimentos é menor que a declividade geral do leito, no sentido do escoamento.

JUSTIFICATIVA

O rio **Acre** nasce numa cota da ordem de 300m. O seu alto curso, até a localidade de Seringal Paraguaçu, atua como divisa entre Brasil e Peru, deste ponto até Brasileia, marca fronteira entre Brasil e Bolívia, e a partir deste ponto adentra o território brasileiro. Logo abaixo da cidade de Porto Acre, já serpenteia no território do Estado do Amazonas, e deságua na margem direita do Rio Purus, no Brasil, junto à cidade amazonense de Boca do Acre, ver figura 1.



Figura 1 – Localização do rio Acre em território nacional.
 Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Acre

No total, o Rio Acre percorre mais de 1.190 km desde suas nascentes até a desembocadura. É atravessado por duas pontes internacionais: uma liga Assis Brasil a Iñapari (Peru) e outra liga **Brasileia** a Cobija (Bolívia). É um dos rios mais famosos da Região Norte do Brasil, pois atravessa e deu o nome ao Estado do Acre, e foi ainda o palco principal de um episódio marcante da história brasileira: a Revolução Acriana, e durante o mês de outubro mereceu destaque, algumas vezes, na imprensa televisiva.

O vale do Rio Acre é razoavelmente povoado para os padrões amazônicos. No município acreano de Assis Brasil, o rio marca a fronteira dessa cidade com Iñapari (Peru) e Bolpebra (Bolívia). Além destas cidades, outras localidades situadas à beira do rio são: **Brasileia**, Cobija (Bolívia), Epitaciolândia, Xapuri, Rio Branco, Porto Acre, Floriano Peixoto e Boca do Acre. Ao atravessar a cidade de Rio Branco, o rio divide-a em dois distritos. Suas águas são barrentas e piscosas. O acelerado processo erosivo em uma das margens está perto de fazer com que parte de Brasileia perca a ligação terrestre com o resto do município, tornando-se uma ilha cercada pela Bolívia, ver figura 2.



Figura 2 – Margem erodida do rio Acre, favorecendo a separação de partes de Brasileia.
 Fonte: <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2014/10/tres-mil-moradores-do-acre-podem-virar-bolivianos.html>

Os bairros habitados por cerca de 500 famílias foram implantados num trecho vulnerável, na alça de um meandro, que apresenta uma das margens sujeita a erosão, e cada vez mais a faixa de terra, que liga os dois bairros, Samaúma e Leonardo Barbosa, as demais partes de Brasileia, fica mais estreita. Meandros são bastante sujeitos a mudanças de curso, por causa de chuvas ou de ações humanas, principalmente na bacia hidrográfica.

De acordo com o estudo do engenheiro Oscar Martins, da Universidade de Santa Maria (RS), o trecho que liga os bairros ao resto do município perdeu 15m de largura, entre 1997 e 2008. O processo erosivo continua em uma das margens, fazendo com que a faixa que, em 2013, media 20 m de largura, após uma forte chuva viesse então a se apresentar com 18 m, ver figura 3. A referida faixa já chegou a medir 75 m.

A ação antropogênica nas bacias hidrográficas onde se encontram os rios amazônicos é responsável por crimes ambientais, tais como a devastação das florestas, e conseqüentemente da mata ciliar, dando lugar ao plantio de capim.

O leito desprotegido de qualquer tipo de vegetação ciliar nativa apresenta erosão na margem externa do rio, com fossas cada vez mais profundas, enquanto a margem interna sofre assoreamento, dando origem a bancos de areia, que se formam também ao longo dos estirões.



Figura 3 – Processo erosivo da “faixa de terra” que liga os bairros Samaúma e Leonardo Barbosa às demais partes de Brasileia.

Fonte: http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2014/04/140402_bairro_acre_jf

Durante as cheias, o rio Acre é navegável até as cidades de Brasileia e Cobija. O período de águas altas prolonga-se de janeiro a maio, aproximadamente, e o de águas baixas é mais acentuado em dezembro.

De Boca do Acre (foz) até Rio Branco, apresenta um estirão navegável de 311 km, com 0,80 m de profundidade mínima em 90% do percurso. Entre Rio Branco e Brasileia, as profundidades são mais reduzidas, possibilitando a navegação apenas durante a época das cheias. São 635 km de percurso, com acentuada sinuosidade e larguras inferiores a 100 m. O trecho a jusante de Rio Branco até a foz é considerado a continuação da hidrovia do rio Purus, favorecendo o acesso à capital do estado do Acre. A navegação é franca para embarcações de grande porte nos períodos de chuvas, e reduzida para aquelas de médio e pequeno porte nas estiagens.

O assoreamento reduz o tirante dificultando à navegação. A dragagem em alguns trechos do rio Acre, bem com dos seus afluentes, Riozinho do Rola e do Igarapé São Francisco é uma intervenção de engenharia que se faz necessária, de modo a permitir a navegação.

CICLO VITAL DOS RIOS

Uma parte das águas precipitadas, rolando desordenadamente, em princípio, sobre a superfície da terra (águas livres), reúnem-se aos poucos para formar as torrentes, que se concentrando por sua vez, ao longo dos talvegues, formam os rios, que trabalhando continuamente o modelado da litosfera, no sentido do aplainamento geral da superfície, pelo desgaste das elevações e aterro das depressões, até um certo limite final, em que a força erosiva da corrente em cada ponto tornando-se igual à resistência do terreno, haja atingido um estado de equilíbrio no perfil do rio.

Segundo Silva (2004), os rios são formados por leitos tortuosos com seções irregulares; através do tempo, mudam sua forma e percurso, devido ao fenômeno da erosão e assoreamento, que são funções diretas da altura da lâmina, da velocidade das águas e dos sedimentos transportados.

Até William Morris Davis, admitiam-se os rios como elementos estáveis da crosta terrestre. Esse ilustre geógrafo americano, demonstrou o contrário, isto é, os rios sofrem uma evolução natural, que ele comparou com muita propriedade, à evolução dos seres vivos, chamando de Ciclo Vital dos Rios, a sucessão de fases pelas quais um rio, como um indivíduo, passa da sua mocidade à velhice e decrepitude, atravessa a fase áurea e construtiva da maturidade (SILVA, 2004).

Morris comparou a mocidade, a primeira fase, tumultuária, em que as águas antes de fixar definitivamente o talvegue em que devem correr, escavam desordenadamente o terreno, formando depósitos que serão carreados nas cheias posteriores, até que, fixado definitivamente o leito. Os regimes calmos permanentes substituem os

regimes torrenciais. O rio trabalha então o seu perfil, procurando atingir a curva de equilíbrio; não se notam mais desmoronamentos e nem as modificações bruscas.

É o trabalho construtivo da maturidade que dura até ser alcançado o perfil de equilíbrio. Continuando o processo, a matéria sólida transportada principalmente pelos afluentes, que não atingiram ainda o seu perfil definitivo, vai-se depositando na parte baixa dos cursos, formando as grandes várzeas de sedimentação, ao longo das quais o rio, sem declividade, perde suas energias, e incapaz de manter um traçado próprio, *divaga* ao sabor dos menores obstáculos.

É a fase da velhice da decrepitude que, como as demais, avança de jusante para montante até a morte dos rios, quando pela migração indefinida das linhas de partilha, se confundem as bacias, e os sistemas orográficos se transformando numa rede de canais. A concretização desta fase necessita de tempo, isto é, vários séculos.

Entenderemos neste trabalho, que a evolução de um rio, apresenta três fases distintas, quais sejam: *formação; modelação e estabilidade (equilíbrio)*.

Formação

É o início do curso d'água, e a definição de sua bacia hidrográfica. A formação compreende: o escoamento das águas pluviais para as linhas de maior declive (talvegues); a predominância da erosão e abrasão, com aprofundamento do leito e assoreamento.

Modelação

É a tendência ao equilíbrio. É a fase propriamente dita da formação do curso de água. Nesta fase surgem os “pontos fixos” que são denominados “níveis de base”. A alteração dos “níveis de base” pode provocar o reinício da modelação. Na modelação, temos o encontro dos seguintes efeitos: ação – do escoamento; reação – do material do leito.

Estabilidade

É o equilíbrio entre os efeitos: ação do escoamento e reação do material do leito. A tendência ao equilíbrio pode ocorrer por erosão ou assoreamento, sendo que a primeira é mais estável.

DIRECIONAMENTO DO FLUXO NOS RIOS

A hidráulica fluvial, área específica da morfologia fluvial que estuda a conformação dos leitos dos cursos de água que evoluem livremente, no solo escavado ou sobre depósitos sedimentares, oriundos da deposição de sedimentos por eles transportados, nos permite entender o que ocorre nos diferentes cursos de água, e em particular no rio Acre.

O melhor direcionamento do fluxo tem por objetivo a obtenção de um traçado adequado e estável do curso de água, e é obtido com a aplicação de método mais racional, dito de Girardon.

O direcionamento do fluxo é obtido a partir da formação do movimento helicoidal da corrente, devido à forma curvilínea do álveo (escoamento não retilíneo), e resultante da composição de um movimento de translação na direção do escoamento, e de um movimento de rotação no plano de secção transversal, dirigido nas camadas superficiais para a margem côncava, e em seguida acompanha o perímetro da mesma, e sobe ao longo da margem convexa para a superfície livre. Haverá, portanto na margem côncava “socavação” e “arrastamento” do material, e depósito de sedimentos na convexa. Este fenômeno justifica “*a forma*” das secções transversais, ver figura 4.

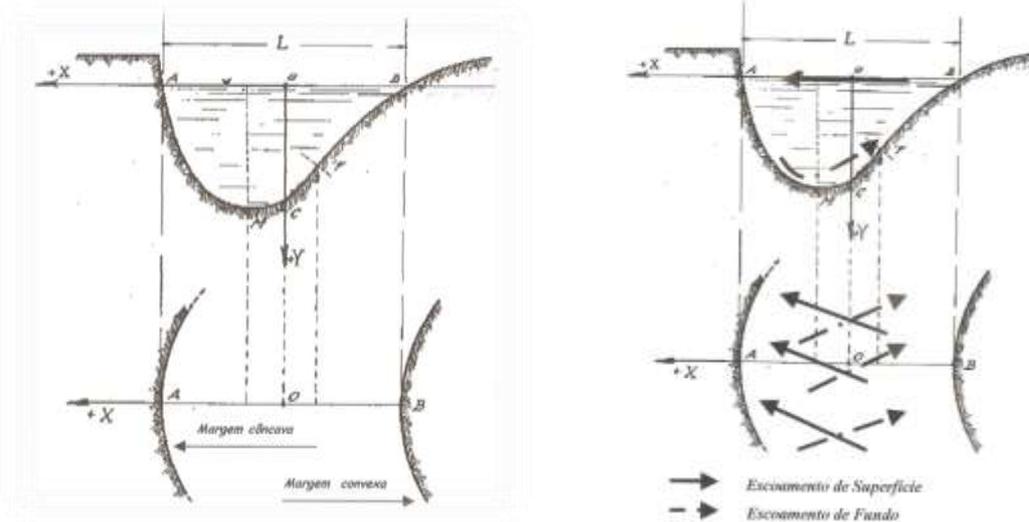


Figura 4 - Direcionamento do fluxo – Margem côncava: socavação e arrastamento; Margem convexa: deposição de sedimentos.
 Fonte: BANDINI, (1958).

O direcionamento do movimento rotatório pode ser explicado em todo escoamento não retilíneo pelo surgimento de uma força centrífuga, inversamente proporcional ao raio da curvatura do filete líquido, e diretamente proporcional ao quadrado da velocidade.

Nas curvas do leito, as linhas de corrente são forçosamente desviadas de suas trajetórias, se encurvando em plano e dando origem, portanto, a força centrífuga induzida que em particular produz inclinação transversal do plano d'água, que pode ser facilmente calculado.

Como já é sabida a velocidade não é constante ao longo da vertical, mas varia com a profundidade, segundo um diagrama do tipo representado na figura 5. Então pode ocorrer para todos os elementos animados de velocidade o prevalescimento da ação centrífuga, e o elemento desloca-se para a margem côncava, ou o prevalescimento da componente de gravidade, responsável então por esse deslocamento para a margem convexa. Considerando-se que as velocidades das camadas superiores superam as velocidades nas proximidades do fundo, fica assim esclarecido o movimento rotatório.

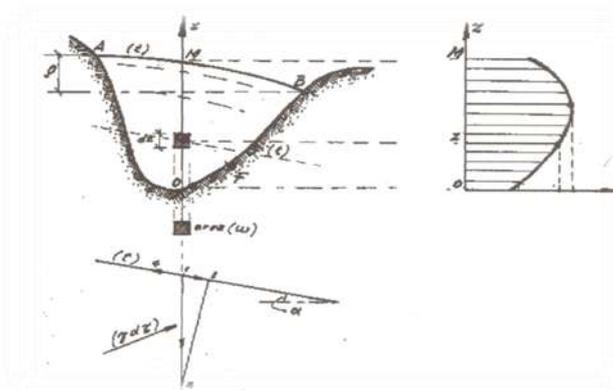


Figura 5 – Direcionamento do fluxo, distribuição da velocidade ao longo da profundidade do rio.
 Fonte: BANDINI, (1958).

Compreende-se, então, como este movimento de rotação na secção transversal, compondo-se com o movimento longitudinal, dá lugar às trajetórias helicoidais.

Em canais perfeitamente regulares e retilíneos verifica-se a existência de circulações transversais, que produzem correntes helicoidais, e que dependem da forma do perímetro. No caso de haver transporte sólido, o

fenômeno é mais sensível, e pelos próprios efeitos causados sobre o leito, o que resulta no aparecimento de bancos de fossas longitudinais contínuas, ver figura 6.

Alguns pesquisadores explicam estas circulações transversais pelo aumento do peso de certos filetes, devido ao transporte em suspensão, e prováveis tendências destes filetes imergirem, o que criaria componentes verticais descendentes. Outros autores entendem que mesmo com águas límpidas, e fundo fixo haveria circulações transversais, provocadas pelos pontos particulares do perímetro, por exemplo, os ângulos entre o fundo e as paredes.

Nos cursos de águas naturais, mesmo em trechos pouco curvados, em consequência da ação de diversos fatores formam-se numerosas correntes helicoidais, que se constituem em causa e efeito das irregularidades do fundo.

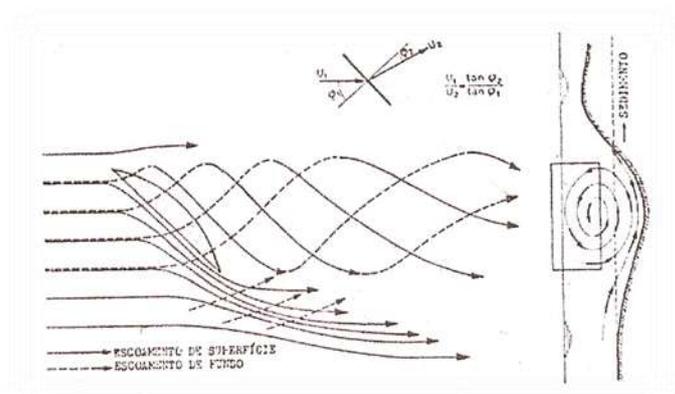


Figura 6 – Direcionamento do fluxo – Trajetórias helicoidais.
Fonte: BRIGHETTI, (2000).

MECANISMO DE FORMAÇÃO DE MEANDROS

O mecanismo de mudança do curso do canal de um curso de água está contido na capacidade da água em erodir, transportar e depositar o material do meio fluvial. Especialmente em uma curva, o gradiente de velocidade contra a margem do canal causa turbilhões locais, que concentram o dispêndio de energia contra a margem do canal.

Um modelo de escoamento imaginado em um meandro típico é mostrado na figura 7. O lado esquerdo da figura indica os vetores velocidade em vários pontos para cinco secções transversais ao longo da curva.

Na curva, a força centrífuga é maior na água que se move mais rapidamente, próximo à superfície, do que na água que se move mais lentamente próximo ao leito, então, haverá um sistema circulatório que se estabelece na secção transversal, com a superfície líquida mergulhando em direção ao leito próximo à margem côncava, e o leito do rio fugindo em direção à superfície próxima da margem convexa. Esta circulação junto com o movimento, em geral, para jusante, gera um movimento helicoidal da água que transporta o material erodido da margem côncava para a direção da margem convexa, onde é depositado, formando um banco (pointbar).

A erosão das margens côncavas e deposição nas margens convexas tende a fazer com que as curvas de meandro se movimentem lateralmente, atravessando o vale.

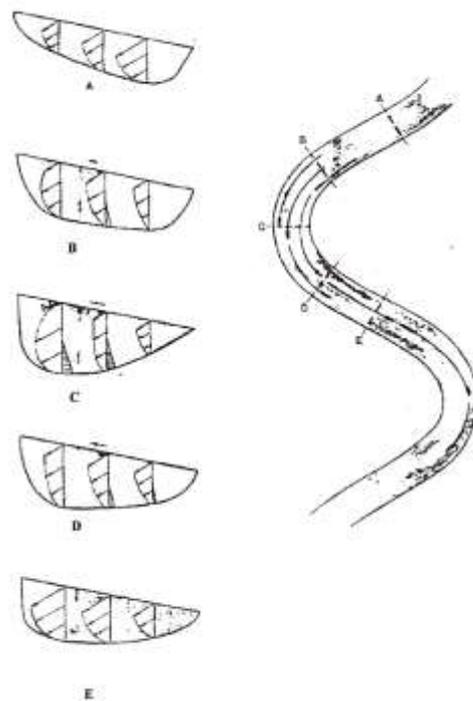


Figura 7 – Modelo idealizado, para permitir a visualização do escoamento em um meandro típico. As figuras à esquerda, no modelo, indicam os vetores velocidade na direção do rio, a jusante, em cinco secções transversais na curva; a componente lateral da velocidade é indicada pela área triangular com hachuras. A figura à direita, no modelo, mostra as linhas de corrente na superfície do meandro.

Fonte: MENDES, (1999).

LOCALIZAÇÃO DE MEANDROS

Os meandros aparecem usualmente nos locais onde o rio apresenta declividade suave, ou seja, antes desse trecho deve haver um trecho de maior declividade, e que acaba através da erosão e transporte de sedimentos auxiliando na constituição do solo que forma este local, de declive mais suave, onde após algum tempo há uma diminuição do processo erosivo, e a energia excedente deste trecho, a montante, acaba sendo utilizada para a criação dos meandros na região mais plana ou com menor declividade.

No sistema fluvial, um meandro poderá ocorrer onde o material constituinte das margens seja comparativamente uniforme, e isto ocorre, mais provavelmente, à jusante, numa área de enchentes, do que a montante em uma área de cabeceiras.

Enquanto o modelo meandrante tende a alargar as secções de jusante, mais do que as de montante, ele produz concavidade no perfil longitudinal do sistema, portanto produzindo uniformidade na taxa de energia despendida, por unidade de comprimento do canal.

CARACTERIZAÇÃO DE UM MEANDRO

A caracterização de um meandro é função de dois parâmetros; a saber:

Abertura do Meandro – é determinada a partir da razão entre o comprimento de onda da curva (λ), e o raio de curvatura (r_c), ver figura 8, que permite classificar a abertura do meandro em:

$$\text{Aberto(top)} = \frac{\lambda}{r_c} = \frac{5}{1}$$

$$\text{Fechado(botton)} = \frac{\lambda}{r_c} = \frac{3}{1}$$

A análise de uma série de meandros típicos permite determinar um valor médio, em torno de $\frac{\lambda}{r_c} = 4,7/1$.

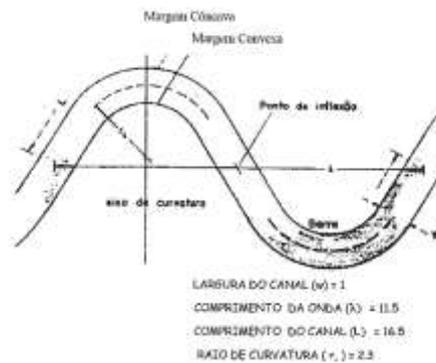


Figura 8 – Caracterização do meandro: Abertura
Fonte: MENDES, (1999).

Sinuosidade ou Abertura da Curva – é determinada pela razão entre o comprimento do canal em uma dada curva (L) e o comprimento de onda da curva (λ). Para a maioria dos meandros a variação desta razão se encontra no intervalo entre 1,3:1 e 4:1, ver figura 9.

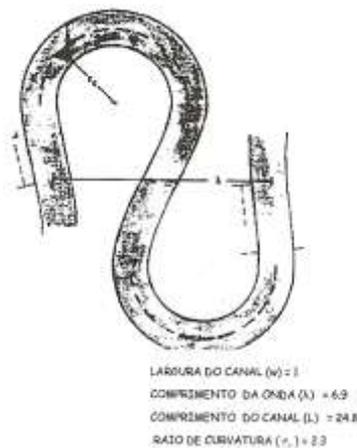


Figura 9 – Caracterização do meandro: Sinuosidade
Fonte: MENDES, (1999).

TRAÇADO MEANDRANTE DO RIO ACRE

O Rio Acre, segundo as suas principais características, é classificado como rio meandrante, isto é, é um rio que devido à presença de “irregularidades” apresenta inflexão dos filetes do meio líquido, com erosão na parte interna da margem externa (margem côncava), e assoreamento na parte externa da margem interna (margem convexa), terminando, por fim, com o encurvamento do rio, ver figura 10, e havendo redução da declividade e da força erosiva, e então o rio busca uma posição de equilíbrio.

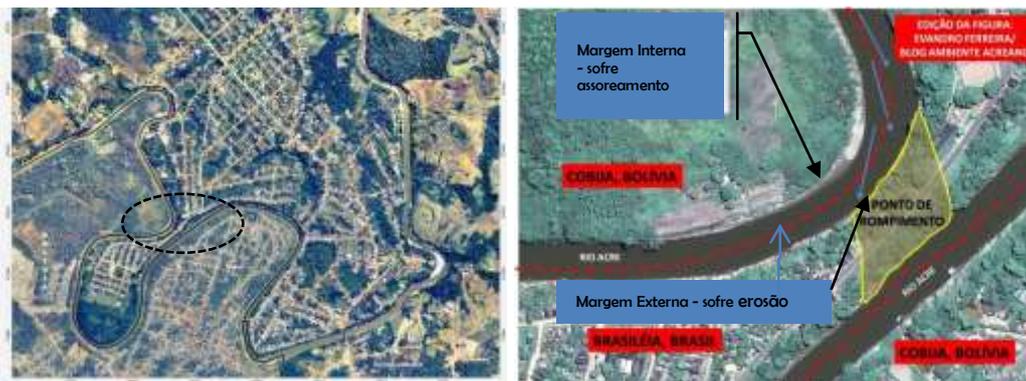


Figura 10 – Identificação do trecho do rio Acre onde se desenvolve o processo erosivo, com tendência a provocar rompimento da faixa de terra.

Fonte: <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2014/10/tres-mil-moradores-do-acre-podem-virar-bolivianos.html>

Em síntese, a definição de meandro faz referência a “qualquer” irregularidade no rio retilíneo, que produz inflexão, isto é, uma mudança de direção, rumo, pois o rio, agora, irá “virar” ou “dobrar” e as curvas que pareciam não avançar, no seu caminho, são chamadas de meandros, sofrem migração para jusante, com o tempo.

Nas cheias as alças/ferraduras podem cortar o meandro trazendo como consequências o aumento da declividade e da força erosiva, com a formação de novos meandros, sem atingir o equilíbrio. No corte formam-se “lagoas em crescente”.

As causas desta inflexão deram origem às seguintes hipóteses, a saber: hipótese da influência da natureza, e hipótese do processo contínuo da erosão.

INTERVENÇÕES DE ENGENHARIA NO CURSO DO RIO ACRE

A correta classificação do rio em retilíneo, meandrante, ou indefinido permite definir o tipo de intervenção (direta ou indireta) de engenharia mais adequada ao curso de água, pois além de evitar a erosão das margens, a partir de uma obra hidráulica fluvial de reforço e proteção das margens, que apresenta como principais objetivos, a saber: melhorar o alinhamento do fluxo; manter a forma da seção transversal do canal; contribuir para a estabilidade geotécnica e manutenção, ou simplesmente assegurar os aspectos visuais.

Em qualquer caso, escolher o tipo de obra hidráulica fluvial a ser feita é uma missão difícil para o engenheiro, pois é necessário se verificar contra o que se está protegendo a margem. O profissional também necessita garantir que a intervenção venha a atender a sustentabilidade econômica; financeira; social; política; jurídica e ambiental.

No caso do Rio Acre, em específico o trecho que compreende as proximidades com a cidade de Brasileia sofre um processo erosivo que sugere uma obra de proteção das margens, que pode ser feita de forma contínua (direta) – executada no talude das margens, com o revestimento das mesmas, ver figura 11, – ou descontínua (indireta).

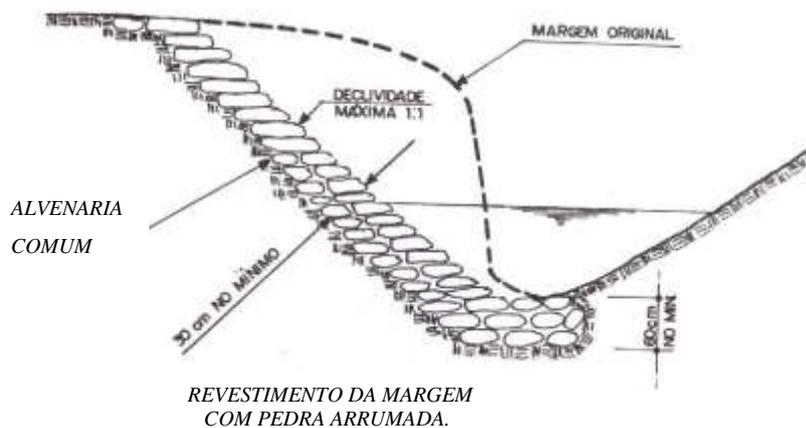


Figura 11 – Proteção Direta – Revestimento da margem.
Fonte: SILVA. (2004).

A proteção descontínua corresponde à construção de obras a certa distância da margem, favorecendo o desvio das correntes e privando a sedimentação do material sólido transportado pela água. São exemplos deste tipo de proteção os espigões e os diques, ver figuras 12 e 13. Escolher entre proteção contínua ou descontínua exige um estudo mais detalhado dos parâmetros locais envolvidos na questão.



Figura 12 – Proteção Indireta – localização e funcionamento de espigões.
Fonte: SILVA. (2004).

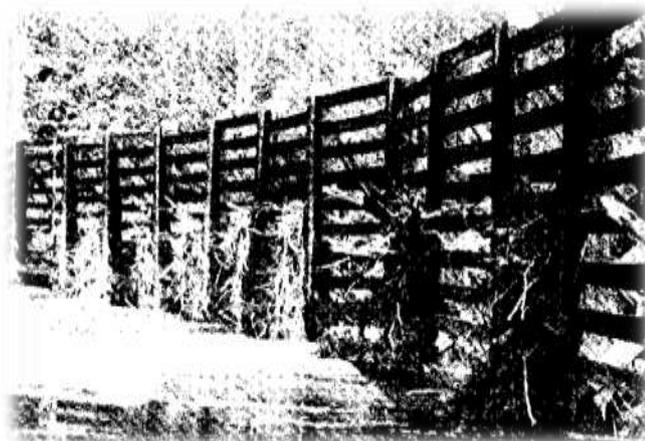


Figura 13 – Proteção Indireta – Construção de diques com troncos e tábuas.
Fonte: SILVA. (2004).

É fundamental destacar que o fato do Rio Acre apresentar um traçado meandrante não significa que o rio não está em equilíbrio, ou seja, o equilíbrio do rio se dá justamente pela presença dos meandros. A ação antropogênica, principalmente, na bacia hidrográfica do Rio Acre, é responsável pela quebra do equilíbrio o que resulta na perda das alças/ferraduras, que até então se faziam presentes no traçado do rio.

O processo de urbanização imposto ao rio Acre é responsável por seríssimos impactos adversos que surgem em seu leito, e só poderá ser barrado com intervenções de engenharia, que se resumem na execução de obras hidráulicas fluviais. Entretanto para que estas obras não sejam contraproducentes é necessário que elas atendam as teorias que regem os cursos de água, e consequentemente as leis oriundas destas teorias.

Tem-se verificado que a quase totalidade das obras hidráulicas fluviais executadas no leito dos cursos de água não contemplam o atendimento das leis da hidráulica fluvial, ora por desconhecimento dos projetistas, ora por desconhecimento dos órgãos responsáveis pela sua contratação e execução.

O rio Acre gradativamente tem se tornado um rio bandido, pois tem deixado de atender as leis da hidráulica fluvial. De modo a permitir um melhor entendimento hidráulico do que acontece com o rio, apresentamos as principais teorias, e suas respectivas leis, que regem os cursos de água.

LEIS DA HIDRÁULICA FLUVIAL

De acordo com Silva (2004), as leis definidas e equacionadas para um determinado curso de água, de maneira geral não podem ser extrapoladas para outros cursos de água, porque seus parâmetros característicos são diferentes e podem variar no tempo e no espaço, são eles:

1. Bacia Hidrográfica: forma; topografia; geologia; recobrimento vegetal; regime hidrológico, etc.;
2. Leito: traçado; largura; profundidade; rugosidade, etc.;
3. Transporte de Sedimentos: por arraste de fundo (carreamento); por suspensão; por saltitação; características dos sedimentos.

Neste trabalho serão apresentadas as principais teorias que regem os cursos de água, bem como as leis oriundas de cada uma das respectivas teorias. Entre as teorias apresentadas, merece destaque àquela que deu origem as Leis de Fargue, pois deveriam ser estudadas, ainda, nos cursos de graduação em engenharia, entretanto o que se verifica que na maioria dos cursos de engenharia, modalidade civil, que tal assunto não é mais abordado, e o cenário torna-se ainda mais grave quando se acresce o desconhecimento das demais teorias.

TEORIA DA CONFORMAÇÃO DOS RIOS

Nasceu na Europa, no ano de 1850, em função da necessidade da melhoria dos rios para a navegação interior. A Teoria da Conformação dos Rios relaciona seções longitudinais e transversais com o desenvolvimento em planta do rio.

O princípio do século passado caracterizou-se na Europa e principalmente na França, por um desenvolvimento acentuado na navegação interior. Raros os cursos de água que não guardam, ainda hoje, vestígios de importantes obras datando desse período, e canais mais importantes em tráfego. São geralmente obras antigas, ampliadas e melhoradas para atender as necessidades atuais.

Nem sempre as obras executadas, visando melhorar as condições de navegabilidade de um rio, alcançaram o fim colimado, mas ao contrário, se mostraram muitas vezes contraproducentes. O rio que se pretendia melhorar oferecia ao fim de pouco tempo, condições ainda mais precárias à navegação e, o que em muitos casos foi ainda mais grave. As perturbações involuntariamente introduzidas no regime provocaram modificações na forma de propagação da onda de enchente, cujo nível atingia em pontos, alturas muito superiores às habituais, originando verdadeiras catástrofes, destruindo cidades inteiras e inundando várzeas cultivadas ou ao contrário provocando escavações no leito, pondo a descoberta fundações de obras de arte, chegando até mesmo a inutilizar portos fluviais.

O exposto no parágrafo acima, se deve à falta de conhecimentos dos princípios gerais que regem a evolução dos cursos de águas naturais. Como exemplo de obras de melhoramentos que se mostraram contraproducentes, destaca-se o Rio Garonne, na França.

No século XIX, o governo francês destinou verbas para a melhoria do transporte fluvial. Em 1830 foram feitos estudos no Rio Garonne, pelo Eng. Baugarten, incontestavelmente uma das maiores autoridades no assunto, que não concluiu nada. Fargue, em 1863, tomou conta do projeto desenvolvido pelo Eng. Baugarten, estudando um trecho de 21.700 m, durante cinco anos.

Estudando a planta do rio, constituído naturalmente por uma sucessão de curvas em sentido contrário ou no mesmo sentido, separadas por trechos mais ou menos retos. Fargue dividiu o trecho de 21.700 m em dezessete subtrechos, a estes subtrechos ou seções ele deu o nome de “curvas”, que estavam entre pontos de inflexão.

A existência de uma correlação entre os acidentes da planta e do perfil dos rios, já era conhecida, inclusive do próprio Eng. Baugarten, em cujas memórias, Fargue afirma ter ouvido grande parte de suas conclusões.

Coube, entretanto, a Fargue a descoberta das leis da correlação entre os acidentes da planta e do perfil dos rios. Além do grande número de seções e perfis de que dispunha, Fargue procedeu a novos levantamentos e, concluiu que: *as profundidades ao longo do curso variam segundo uma lei periódica geral, crescendo a partir de um ponto de menor profundidade a que denominou de banco, baixo ou raso (o trecho compreendido entre dois bancos consecutivos, denominou de estirão), até os pontos mais profundos, a que chamou de poço, perau, caldeirão, sorvedouro ou fossa, para baixar novamente até o banco seguinte (Silva, 2004).*

Para o estudo da correlação entre essa variação e os acidentes da planta, Fargue idealizou, e aí reside o valor principal de sua obra – o desenho de um gráfico em que, para cada ponto do rio, determinado pela sua distância a uma origem, contada segundo o seu eixo, figurassem simultaneamente, as cotas de fundo e as curvaturas quilométricas, isto é, o inverso do raio de curvatura em quilômetros, no ponto considerado. Desse gráfico, representando, portanto, o perfil longitudinal do rio e a curva das curvaturas de seu eixo, ressaltam as relações procuradas. Ver Figura 14.

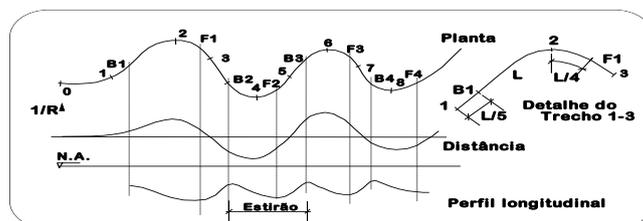


Figura 14 – Características gerais de um rio, segundo estudo realizado por Fargue.
Fonte: Disponível em <http://www.stt.eesc.usp.br/anelson/stt403/2006> em 29/08/2006.

Assim é que a simples vista ressalta que os bancos e as fossas se formam um pouco a jusante, respectivamente, dos pontos de inflexão e superflexão, dos vértices das curvas, isto é, dos pontos de maior curvatura. Medindo esses deslocamentos sistemáticos, encontrou-se mais precisamente, que os PERAUS achavam-se deslocados para jusante do vértice da curva, de uma distância correspondente a 1/4 do comprimento dessa curva e que os bancos estavam abaixo dos pontos de inflexão ou superflexão, de 1/5 do mesmo comprimento. Medindo as profundidades das fossas e comparando-as com as curvaturas correspondentes, pode Fargue, com os dezessete valores obtidos, estabelecer uma relação numérica entre essas grandezas.

MORFOLOGIA FLUVIAL – Leis de Louis Jérôme FARGUE

As conclusões apresentadas acima constituem as duas primeiras Leis de Fargue, que se enunciam da seguinte forma:

- 1ª. Lei dos Afastamentos – As profundidades máximas das fossas (sorvedouros) na margem côncava e mínimas (soleiras), correspondentes aos vértices das curvas, e os pontos de inflexão acham-se afastados desses pontos para jusante, de aproximadamente 0,25 B, sendo B a largura da seção, por efeito da inércia. Verifica-se que as profundidades variam com a curvatura (diretamente): daí:
- 2ª. Lei das fossas (Sorvedouro) ou da maior profundidade – A profundidade de uma fossa, ver figura 15, é tanto maior quanto maior a curvatura no vértice da curva [talvegue (1/R)] correspondente (maior efeito erosivo). Verificou-se que os comprimentos das curvas variam, e assim, também, variam as profundidades médias, concluiu-se então:

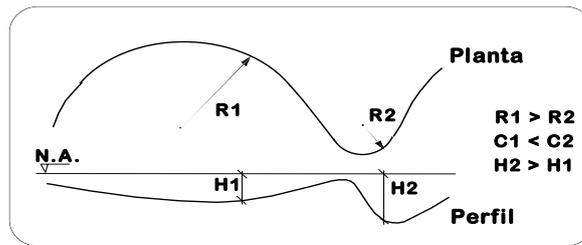


Figura 15 – 2ª. Lei das fossas (sorvedouro) ou da maior profundidade.

Fonte: Disponível em <http://www.stt.eesc.usp.br/anelson/stt403/2006> em 29/08/2006.

- 3ª. Lei dos desenvolvimentos – Visando a maior profundidade, máxima, da fossa, e média do estirão, o desenvolvimento da curva não deve ser muito grande e nem muito pequeno. As leis têm validade para as curvas de desenvolvimento médio do curso d’água, isto é, nem muito longas, nem muito curtas com relação à largura do canal ($3B < R < 6B$ e $5B < L < 11B$).
- 4ª. Lei do ângulo, ou da curvatura média – Para desenvolvimentos iguais, isto é, em curvas com igual desenvolvimento de comprimento de talvegue, a profundidade média de um estirão é tanto maior quanto maior o ângulo externo formado pelas tangentes externas à curva correspondente (maior efeito erosivo). Ver figura 16.

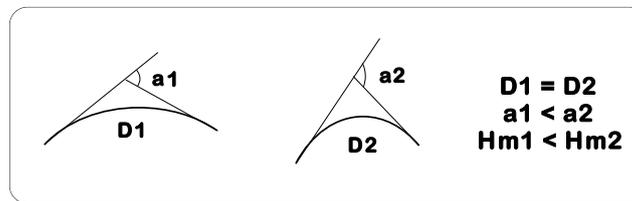


Figura 16 – 4ª. Lei do Ângulo, ou da Curvatura Média.

Fonte: Disponível em <http://www.stt.eesc.usp.br/anelson/stt403/2006> em 29/08/2006.

5ª. Lei da continuidade – Esta lei decorre da simples inspeção do gráfico em que figuram simultaneamente, a curva do fundo e a curva das curvaturas do eixo do rio, que se enuncia dizendo: “O perfil de fundo de um curso é regular quando há uma variação contínua da curvatura, e por consequência, toda mudança brusca de curvatura produz uma redução brusca de profundidade”. Ver figura 17.

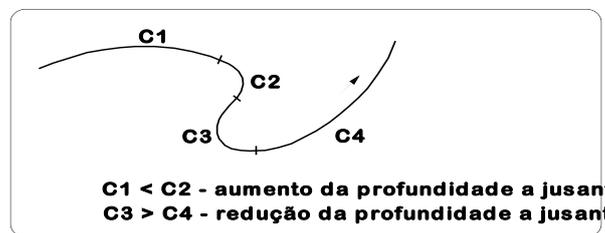


Figura 17 – 5ª. Lei da continuidade.

Fonte: Disponível em <http://www.stt.eesc.usp.br/anelon/stt403/2006> em 29/08/2006.

- 6ª. Lei da declividade (inclinação) de fundo – Se a curvatura varia de uma maneira contínua, a inclinação da tangente a curva das curvaturas determina, em qualquer ponto, a declividade do fundo, isto é, a variação da curvatura é proporcional à variação da declividade de fundo. Ver figura 18.

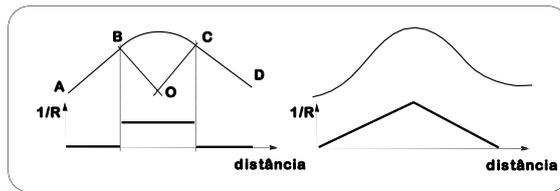


Figura 18 – 6ª. Lei da declividade (Inclinação) de Fundo.

Fonte: Disponível em <http://www.stt.eesc.usp.br/anelson/stt403/2006> em 29/08/2006.

- 7ª. Lei do Talvegue – a linha de máxima profundidade (talvegue) ao longo do curso d'água tende a se aproximar da margem côncava e o material ali escavado se deposita na margem convexa.

REGRAS COMPLEMENTARES

1. Entre pontos de inflexão consecutivos, a largura deve crescer junto com a curvatura, com o valor máximo no vértice da curva. Ver figura 19.

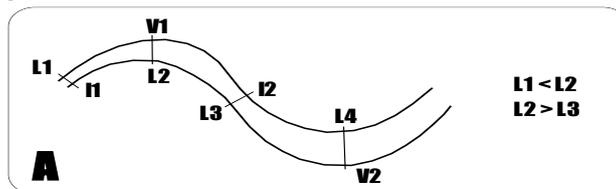


Figura 19 – Complemento das Leis de Fargue

Fonte: Disponível em <http://www.stt.eesc.usp.br/anelson/stt403/2006> em 29/08/2006.

2. As larguras dos pontos de inflexão sucessivos crescem de montante para jusante. Ver figura 20.

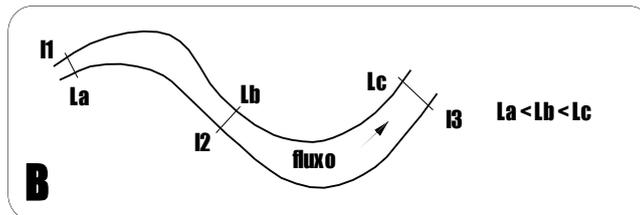


Figura 20 – Complemento das Leis de Fargue

Fonte: Disponível em <http://www.stt.eesc.usp.br/anelson/stt403/2006> em 29/08/2006.

3. As margens côncavas devem ter um desenvolvimento notavelmente superior ao das margens convexas. Ver figura 21.

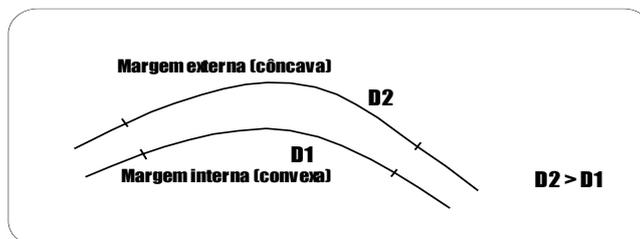


Figura 21 – Complemento das Leis de Fargue

Fonte: Disponível em <http://www.stt.eesc.usp.br/anelson/stt403/2006> em 29/08/2006.

Em todas as suas memórias, Fargue insiste em ressaltar que as suas leis e principalmente as suas equações, não deveriam ser estendidas a outros rios além do trecho particular estudado, embora afirmando que as relações da mesma natureza deveriam existir para todos os cursos de água. Mal poderia, entretanto, o célebre engenheiro francês supor, que ao enunciar as leis, estava firmando as bases universalmente aceitas, em que se fundou a

técnica do melhoramento dos rios e que essas leis deveriam ser confirmadas não só através de suas aplicações, senão pelas experiências em modelos reduzidos.

O atendimento às leis DE FARGUE é essencial para o desenvolvimento de projetos e execução obras de melhoramentos em rios, de modo que as viabilidades técnica, econômica, financeira, jurídica, social, política e ambiental sejam atendidas. Louis Jérôme Fargue (1827 – 1910) é considerado “Pai da Engenharia Fluvial”.

MORFOLOGIA FLUVIAL – Leis de GIRARDON

H. Girardon, engenheiro francês, a quem a hidráulica fluvial deve valiosos trabalhos, estudando desde 1883 o rio Ródano, estabeleceu os princípios gerais que regem a formação dos cursos de água, e que devem ser obedecidos ao se planejar trabalhos de melhoramentos, sob pena de fracassos de melhoramentos e desastres completos.

Esses princípios se baseiam na observação paciente e minuciosa das leis naturais, fazendo com que elas concorram para o fim que se tem em vista, porque mais do que em qualquer domínio, *na hidráulica fluvial ou marítima o grande segredo de dominar a natureza consiste em lhes descobrir as leis e obedecê-las.*

As conclusões a que chegou Girardon, foram resumidas em memorial apresentado ao Congresso Internacional Permanente de Navegação, reunido em Haya no ano de 1894, e constituem em última análise, um resumo do que vem sendo dito, a respeito da forma em planta e em perfil dos rios, a saber:

1ª. A forma de todos os cursos de água é sinuosa em planta, sendo constituída por uma série de curvas e contracurvas que se sucedem em sentido inverso, reunidas por concordância mais ou menos bruscas;

2ª. A profundidade acha-se desigualmente distribuída no perfil transversal, sendo maior nas partes do leito que apresenta menor resistência ao arrastamento. Os obstáculos resistentes, salientes, bancos e as curvas côncavas, provocam e mantêm as profundidades;

3ª. O perfil longitudinal do talvegue não apresenta nem declínio uniforme, e nem declínio contínuo, mas certo número de declives principais, cujos extremos e a inclinação, são determinados pelos bancos de rocha fixa e pelos grandes afluentes. No intervalo desses pontos de passagem, ele compõem-se de uma série de declives e aclives, formando uma linha sinuosa que oscila, aproximando-se ou se afastando, em torno do declive médio da região. Os altos e baixos dessa linha sinuosa são determinados pelos afluentes secundários, e pela distribuição da resistência ao longo do leito;

4ª. O leito é constituído por uma série de fossas separadas por bancos, e o perfil longitudinal da superfície das águas toma a forma de uma escada, cujos patamares correspondem às fossas e os degraus aos bancos. Semelhante forma é tanto mais acentuada quanto mais forte é o declive geral dos cursos d'água; torna-se sobretudo sensível quando as águas estão muito baixas, e se atenua, tendendo o declive superficial para a regularidade à medida que a descarga aumenta;

5ª. Cada cheia renova os materiais que revestem o leito, modificando lhe a forma. A nova forma aproxima-se da antiga, por suas disposições gerais, sinuosidade das margens e do perfil do talvegue, porém, ela difere mais ou menos, conforme as circunstâncias, pelo traçado das sinuosidades, posição das profundidades, situação, orientação e relevo dos bancos. Quando, porém, em um curso de água as margens estão solidamente fixadas, as cheias comuns apenas modificam em proporções muito restritas a forma em planta, e depois de sua passagem as profundidades reproduzem-se nos mesmos pontos, e os bancos tornam a formar-se nos mesmos lugares, diferindo apenas pelo relevo e orientação.

MORFOLOGIA FLUVIAL – Leis de GUIGLIELMINI

O engenheiro italiano Guiglielmini, em uma obra de 1697, intitulada “De la bella natura dei filme”, enunciou algumas leis que podem ser traduzidas da seguinte maneira, a saber:

1ª. Nos rios, quanto maior for à velocidade da água, tanto menor será a declividade de fundo;

2ª. Nos rios, quanto maior for à resistência de fundo, tanto menor será a declividade, para velocidades iguais;

3ª. Nos rios, quanto maior for à descarga ordinária, menor será a declividade.

MORFOLOGIA FLUVIAL – Leis de William FERREL e BASE

Desde 1852, o meteorologista americano Ferrel enunciou uma lei, já antevista pelo astrônomo inglês Hidley em 1753, e pelo meteorologista holandês Buis-Bellot em 1850, dizendo:

“Todo corpo que se desloca livremente na superfície da terra, qualquer que seja a direção originária de seu movimento, é desviado pela rotação da terra, em torno de eixo (movimento diurno), para a direita no hemisfério norte, e para a esquerda, no hemisfério sul”.

Essa lei é confirmada por alguns rios da Rússia, e pelo rio da Prata. O rio da Prata no curso inferior do Uruguai apresenta as margens argentinas erodidas, enquanto as margens uruguaias, constituídas de praias de pequenas inclinações, crescem continuamente. O mesmo fenômeno observa-se no Baixo Paraná, principalmente entre Corrientes e a foz do Paraguai. É evidente que esse fenômeno só pode ser apreciado nos trechos mais ou menos retos dos cursos, pois em uma curva do curso de água, a influência dessa curvatura seria sempre bastante, para mascará-lo.

MORFOLOGIA FLUVIAL – Leis de SUREL

Surel, estudando em 1838 as torrentes dos Alpes, descobriu e enunciou as leis que presidem a evolução dos cursos de água, quais sejam:

- 1^a. A erosão natural nos cursos de água é retrograda, isto é, dá-se de jusante para montante;
- 2^a. Os rios escavam o leito de forma que o perfil longitudinal tende para uma curva contínua, de concavidade voltada para o zênite, tangente na parte inferior a uma horizontal e no extremo superior a uma vertical.

MORFOLOGIA FLUVIAL – Leis das DECLIVIDADES

- 1^a. De um ponto qualquer da Terra (nível H) pode-se chegar ao mar (nível 0), sem nunca subir;
- 2^a. Os cursos de água têm perfil longitudinal em curva, com concavidade para o zênite, tendendo assintoticamente à horizontal (nível 0);
- 3^a. Nivelando-se dois cursos de água, da sua confluência para montante, o afluente será aquele que a mesma distância apresentar a conta maior.

MORFOLOGIA FLUVIAL – Teoria dos Cursos de Água ou TEORIA DO REGIME

De acordo com Silva (2004), antes de se dar início ao estudo da Teoria dos Cursos de Água, faz-se necessário, a um bom entendimento, revisar os tipos de rios envolvidos nesse trabalho, pois segundo a morfologia fluvial é possível distinguir três tipos de cursos de água, a saber:

1^a. Rios de Alto Curso ou de Montanha – o trecho montanhoso de um rio dá-se junto a sua nascente, percorrem regiões altas e/ou acidentadas. Nestes rios são comuns as quedas rápidas e corredeiras; o gradiente de nível é, em geral, elevado e, conseqüentemente, é grande a velocidade de escoamento, apresentando regime torrencial. As margens altas predominam e, os rios raramente são largos e profundos, a erosão é intensa e é retrograda para montante; seção bem definida, material do leito grosseiro (blocos).

2^a. Rios de Médio Curso (Rios de Planalto) ou Aluvionares – o trecho aluvionar de um rio dá-se na sua parte média, onde há maturidade do rio; o vale é ocupado pelo material sólido vindo do trecho montanhoso com granulometria menor para jusante, o rio se desenvolve sobre sedimentos por ele depositado em outras épocas. Estes rios também apresentam obstáculos, tais como rápidos, corredeiras e trechos com pedras e/ou pouca profundidade; mas os obstáculos não são muito frequentes. Assim, os rios de planalto apresentam, normalmente, uma sucessão de estirões mais ou menos extensos, com pouca declividade relativamente estáveis. No Brasil, são exemplos de rios de planalto o Paraná e seus afluentes; o São Francisco; o Tocantins, a montante de Tucuruí; o Negro, acima de Santa Isabel do Rio Negro; e o Branco, acima de Caracaraí.

3^a. Rios de Baixo Curso (Rios de Planície) ou Intermediário – o trecho de planície de um rio é a conformação mais antiga (estável), o rio se desenvolve sobre um leito por ele erodido (margem estável e leito estável); caracterizados por uma declividade suave e regular. Os rios de planície são, em geral, razoavelmente largos, e

apresentam pequeno gradiente de nível. Os bancos costumam formar-se nas bocas dos tributários e nas partes convexas das curvas. É comum haver bifurcações (paraná, igarapés), que formam ilhas fluviais. As margens baixas, facilmente alagáveis, são a regra geral. O rio pode modelar o leito maior nas enchentes, somente o material do leito maior é aluvionar, não há assoreamento, mas apenas pequenas erosões. Os baixos cursos abrangem os deltas e os estuários.

Alguns pesquisadores classificam os rios da seguinte maneira:

1. RIO RETILÍNEO - $J = i \cong 0,5$ a $0,6$ m/km.

É um rio com material mais resistente; maior granulometria; maior compactidade e coesão e, menor índice de vazios.

2. RIO MEANDRANTE - $J = i \cong 0,1$ m/km.

Qualquer irregularidade no rio retilíneo produz inflexão dos filetes do meio líquido com erosão nas margens do leito, o que produz nova inflexão com erosão na outra margem e então, o encurvamento do leito; há diminuição da declividade e da força erosiva; o rio busca uma posição de equilíbrio. As curvas que parecem não avançar no seu caminho são chamadas de "meandros"; elas sofrem migração para jusante com o tempo e provocam problemas na navegação fluvial; nas cheias, as alças podem cortar o meandro trazendo como consequências: aumento de "J" e de " τ ", com a formação de novos meandros, sem atingir o equilíbrio; no corte formam-se "lagoas em crescente". Apresentam quatro graus de liberdade.

3. RIO INDEFINIDO - $J = i$ variável $\cong 0,1$ m/km.

É o que existe normalmente na foz, com grande transporte de sólidos e variação consequente da declividade.

MORFOLOGIA FLUVIAL – Outras categorias

A morfologia permite, ainda, distinguir:

1^a. Rios costeiros - no caso do Brasil, descem diretamente do planalto central brasileiro para o Oceano Atlântico e estão distribuídos ao longo da costa oriental do país, desde o Nordeste até o Rio Grande do Sul. A principal característica desses rios é possuírem bacias vertentes reduzidas e leitos escavados em terrenos geralmente cristalinos. Os seus perfis longitudinais não são regulares e apresentam uma sucessão de estirões e travessões.

No caso do Brasil, as condições climáticas gerais resultam em:

1^a. Rios da zona equatorial - sejam, em geral, mais regulares, graças à distribuição mais homogênea das chuvas, ao longo de todo o ano.

2^a. Rios da zona tropical - são, normalmente, mais irregulares, face ao contraste das cheias de verão e as estiagens de inverno. Dentro dessa mesma zona, encontram-se os cursos d'água do Nordeste semi-árido, verdadeiros "wadi" (rios torrenciais), que podem se tornar bastante perigosos após os temporais.

3^a. Rios da zona subtropical, por sua vez, também são relativamente irregulares, apesar da possibilidade de chuvas em todas as estações, que podem produzir grandes cheias, em qualquer época do ano; estes rios estão, ainda, sujeitos a estiagens rigorosas.

MORFOLOGIA FLUVIAL – Teoria do Regime – Estabilidade dos rios de planície

Nos rios e canais que transportam sedimentos existe uma relação entre as características geométricas da seção transversal, da declividade, das propriedades físicas do material de fundo e das margens, da vazão líquida e do transporte de sedimentos, de tal forma que ao se variar alguns desses parâmetros, os demais se modificam e se ajustam.

Segundo Silva (2004), em 1895, na Índia, Kennedy (cientista inglês na Índia) levantou o problema de proteger canais de irrigação não revestidos. Sabia-se na época que nos canais construídos com as Fórmulas de Chézy ocorriam erosões e modificações na sua seção. Kennedy decidiu observar e comparar as características hidráulicas em trinta seções do canal Alto Bari Doab, cujas características geométricas não variavam e portanto se consideravam constantes.

Assim nasceu a “Teoria do Regime”, que tem contribuições de outros autores, baseadas em observações particulares de canais estáveis não revestidos. Depois de Kennedy, outros autores propuseram relações empíricas relacionando a geometria da seção transversal e a declividade do canal com a vazão líquida e as propriedades físicas do material de fundo e das margens. Exemplo, Lane; Lindley; Lacey, etc., obtiveram dados em canais de irrigação na Índia; Paquistão; Egito e, posteriormente em arroios e rios.

Como Índia; Paquistão e Egito eram colônias inglesas, e a escola para estes projetos foi à escola inglesa, a denominada “Teoria do Regime” foi batizada por Lindley em 1919, embora nela se enquadrem estudos desenvolvidos anteriormente por Kennedy, e outros. Nestes estudos foram propostas expressões empíricas para relacionar a geometria da seção transversal; declividade dos canais; vazão e propriedades físicas do material de fundo das margens. Lindley criou a seguinte definição para caracterizar a “Teoria de Regime”, a saber:

“Considera-se que um canal está em regime quando sua seção transversal e sua declividade estão em equilíbrio com a vazão, de tal maneira que aumentos ou reduções na mesma provocam aumentos ou reduções na largura e lâmina de água. Com isto, após os períodos anuais, a seção e a declividade permanecem praticamente constantes.” Verifica-se que esta é a característica dos canais com estabilidade dinâmica.

Todas as expressões utilizadas na “Teoria do Regime” são expressões obtidas experimentalmente, porém não levam em conta as quantidades de sólidos transportados. Por outro lado, foram determinadas para canais de irrigação, onde as vazões variam muito pouco em torno da vazão formativa ou vazão de projeto, é a vazão mais frequente, e ainda foram estabelecidas para as margens constituídas de argila e areia.

J. A. Maza Alvares e C. Cruickshank, propuseram um método para a obtenção das características estáveis de um canal, utilizando as seguintes equações fundamentais: equação de forma que relaciona as características geométricas; equação de escoamento que relaciona as características hidráulicas e equação de transporte de sedimentos.

O método baseia-se no estudo dos três graus de liberdade, isto é, um curso d’água pode apresentar três incógnitas, a saber: variação da largura (largura); variação da lâmina d’água (profundidade); variação de declividade (declividade longitudinal).

MORFOLOGIA FLUVIAL – Teoria do Regime – Tipos de estabilidade de um rio

1. Estabilidade estática

A estabilidade estática em um curso d’água ocorre quando um fluxo não afeta nem o fundo e nem as margens, deste curso. Portanto, não há erosões e a forma do leito não varia com o tempo, ou só de forma inapreciável.

2. Estabilidade dinâmica

A estabilidade dinâmica pressupõe que todo o fluxo escoe por uma única seção que, portanto, coincide com a definição de “canal de regime”, proposto pela “Teoria de Regime”.

3. Estabilidade morfológica

A estabilidade morfológica apresenta-se nos rios que não foram modificados por fatores humanos, qualquer que seja a forma em que a vazão líquida e sólida passa por ele. Dentro dessa classificação incluem-se os rios naturais que tem estabilidade estática ou dinâmica, incluindo aqueles com ilhas, bifurcações, etc.

MORFOLOGIA FLUVIAL – Teoria do Regime – Estudo das estabilidades – Graus de liberdade

Um escoamento pode ter um ou vários graus de liberdade dependendo das características de seus contornos.

1. Um grau de liberdade

Ocorre quando o fundo e as paredes são rígidas, não havendo interação entre o fluxo e a fronteira, exceção de sua rugosidade. Quando uma corrente tem um grau de liberdade, o tirante é a única incógnita, e só requer uma equação de resistência (equação do escoamento) para obtê-la (SILVA, 2004). São exemplos de um grau de liberdade, canais de concreto e rios onde o escoamento não é capaz de mover nenhuma partícula do fundo ou das margens. Está associado a uma estabilidade estática. Os rios de montanha se constituem em exemplo desse

cenário, pois apresentam um grau de liberdade, e o talvegue tende a avançar (migração e sinuosidade), podendo ocorrer fenômenos de captura, isto é, um rio de nível mais baixo pode capturar um rio de bacia mais elevada. As terras que os circundam são, geralmente, pouco sujeitas a alagamentos extensos.

2. Dois graus de liberdade

Ocorre quando a margem fixa (estável) e leito móvel com a utilização das equações de escoamento e transporte de sedimentos. Alguns pesquisadores tratam o assunto considerando o fato que o fundo e as paredes são rígidas, porém transporta água e sedimentos. Assim, para uma combinação da vazão líquida e da vazão sólida ajustar-se-á sempre a mesma declividade e a mesma profundidade, para o qual se requer duas equações, de modo a obterem-se essas variáveis, a saber: uma de resistência para o fundo móvel e uma de transporte de sedimentos (SILVA, 2004). Os rios de planície se constituem em exemplo desse cenário, pois apresentam dois ou três graus de liberdade; o rio pode modelar o leito maior nas enchentes; somente o material do leito maior é aluvionar; não há assoreamento, mas apenas pequenas erosões. Os rios que se encontram na natureza com margens muito resistentes (rios encaixados), ou ambas as margens são protegidas, também são exemplo desse cenário. Estando em equilíbrio, pode ser associado à estabilidade dinâmica. A maior parte dos rios da Amazônia brasileira é constituída por rios de baixo curso (rios de planície). A calha principal do Solimões–Amazonas acha-se incluída nesta classificação. Muitos de seus tributários também, alguns deles ao longo de grandes extensões, principalmente na Amazônia Ocidental (Juruá, Purus, Madeira, Içá e Japurá), outros, ao menos nas proximidades do rio principal (como ocorre na Amazônia Oriental). O rio Paraguai também se enquadra nesta classificação. Nem sempre os baixos e médios cursos são separados por obstáculos naturais relevantes, como o trecho de corredeiras e cachoeiras do Tocantins, entre Tucuruí e Jatobal.

3. Três graus de liberdade

Ocorre quando um escoamento forma um leito sobre o material que pode ser transportado pelo fluxo. De modo que ao se escoar uma mesma vazão líquida/sólida, ajustar-se-á a largura, a profundidade e a declividade do leito, necessitando-se de três equações para obter essas variáveis (SILVA, 2004). Os rios aluvionares se constituem em exemplo desse cenário, pois apresentam três graus de liberdade; geralmente há dois álveos (seção de enchente e de estiagem); o equilíbrio ocorre quando τ (tensão tangencial que tende a arrancar as partículas sólidas do leito móvel) $< \tau_c$ (tensão tangencial crítica); há tendência da discriminação da declividade com o aumento do traçado; pode haver o aparecimento de meandros. O rio apresenta suas margens erodíveis, e estando em equilíbrio pode ser associado à estabilidade dinâmica. Os trechos inferiores do Acre, do Xapuri e do Yaco podem ser considerados como **rios de médio curso**, mas a transição das características de **baixo curso** do Purus para as de **médio curso** desses rios é lenta. Aliás, quando não existem obstáculos marcantes separando os cursos, os limites oscilam ao longo do ano, subindo os rios na época da enchente e descendo na época das águas baixas. Rios como o Mamoré–Guaporé e o Araguaia, cujas características gerais, como a declividade, a vazão, a largura, etc., os aproximam da classificação de **baixo curso**, embora sejam rios localizados a montante de obstáculos naturais relevantes. É preferível, no entanto, mantê-los classificados como de **médio curso**, já que não estão francamente integrados no sistema de navegação de **baixo curso**. Rios de leito pedregoso normalmente têm um canal estreito, embora estável. Por outro lado, rios de fundo de lama, barro ou argila são, em geral, apesar de formação mais recente, sendo caracterizados por instabilidade do leito e por apresentarem um canal sinuoso, de razoavelmente profundo. Rios de fundo de areia apresentam, quase sempre, um canal altamente variável entre o inverno (estação chuvosa) e o verão (estio); à medida que as águas baixam com o conseqüente aumento da corrente, o rio vai escavando no leito arenoso um canal, conhecido na Amazônia como canal de verão. No começo do inverno, este canal continua sendo o canal principal, pois será o de maior profundidade do leito. Conforme a cheia avança, o rio tende a nivelar-se, ficando profundo quase que de margem a margem, até que um novo ciclo recomeça e surja outro canal, de configuração diferente do anterior.

4. Quatro graus de liberdade

Definido por alguns autores, o quarto grau se apresenta quando uma corrente tem a possibilidade de desenvolver meandros. A observar que o desenvolvimento de meandros é em parte conseqüência da necessidade que tem o rio de aumentar seu comprimento quando a declividade que requer para transportar o líquido e os sedimentos é menor que a declividade geral do leito, no sentido do escoamento. Além das equações de escoamento e transporte de sedimentos, para a determinação das variáveis, há a necessidade de alguma relação da geometria do meandro. Estando em equilíbrio equivale a estabilidade morfológica (SILVA, 2004).

CONCLUSÃO

O crescimento desordenado e acelerado dos aglomerados humanos, bem como a ausência de um planejamento adequado, apresenta como consequência direta, o surgimento de impactos ambientais adversos nas diferentes porções do meio ambiente, cuja leitura permite identificar a ocorrência de profundas modificações no uso e ocupação do solo.

Os impactos ambientais decorrentes dessa intervenção humana podem ser identificados quando da ocupação de áreas ambientais críticas, abordando em específico à ocupação das áreas marginais aos cursos de água, em específico do leito maior dos rios, aquele onde ocorrem as inundações nos períodos de cheia. A implantação de vias públicas e de bairros inteiros, neste leito, com o consentimento do poder público, bem como a execução de algumas obras hidráulicas fluviais que alteram significativamente o regime de escoamento do rio, permite identificar o mais completo desconhecimento das leis da hidráulica fluvial.

O melhor projeto de subdivisão de áreas não urbanizadas é aquele cuja distribuição das vias públicas e dos lotes considera: a topografia do terreno e os caminhos naturais de escoamento das águas, a preservação das áreas marginais aos recursos hídricos, à proteção das áreas de valor ecológico, e prevê lotes maiores e com menor ocupação para as áreas ambientais “críticas”, desta forma as leis da hidráulica fluvial serão mantidas, e caso se faça necessário alguma intervenção de engenharia, tais como a execução de obras hidráulicas fluviais, a manutenção das referidas leis se dará de forma mais fácil, pois ter-se-á uma única uma única variável controlada.

RECOMENDAÇÕES

Antes de se executar qualquer intervenção de engenharia, em um curso de água, é necessário que o Engenheiro tenha intimidade com as diferentes teorias que regem os cursos de água, e consequentemente com as leis oriundas destas teorias. O desconhecimento ou até mesmo o desprezo destas leis, se traduzem em obras hidráulicas fluviais contraproducentes, responsáveis por diversos impactos ambientais adversos ou negativos não só leito do curso de água, mas também na sua bacia hidrográfica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bairro ilhado no Acre teme virar parte da Bolívia. Disponível em:

<http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2014/04/140402_bairro_acre_jf>. Acesso em: 09 de novembro de 2014.

BANDINI, A. Apostila: *Hidráulica fluvial*. São Carlos/SP: Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, 1958. 142p.

BRIGHETTI, G. Notas de aula: Curso de Pós-graduação na área de concentração – Engenharia Hidráulica. *Obras Fluviais*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

MENDES, J. B. Curso de Pós-graduação na área de concentração – Engenharia Hidráulica. *Meandros fluviais*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade São Paulo, 2001. 15p.

SILVA, P.J. *Estrutura para identificação e avaliação de impactos ambientais em obras hidroviárias*. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2004, 511p.

Três mil moradores do Acre podem virar bolivianos. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2014/10/tres-mil-moradores-do-acre-podem-virar-bolivianos.html>>. Acesso em: 09 de Novembro de 2014.