

Dinâmica hidrossedimentológica em ambiente fluvial lântico no sudoeste da Amazônia – Rio Branco – Acre: investigação inicial do processo de assoreamento em canal fluvial

Hydrosedimentological dynamics in lentic fluvial environment in southwestern Amazonia - Rio Branco - Acre: initial investigation of the silting process in a river channel

Waldemir Lima dos Santos
Universidade Federal do Acre - UFAC
waldemir_geo@yahoo.com.br

Pâmela Moura da Silva
Universidade Federal do Acre - UFAC
pammoura@hotmail.com.br

José Genivaldo do Vale Moreira
Universidade Federal do Acre - UFAC
genivaldofac@gmail.com

Resumo

A dinâmica hidrossedimentológica em ambientes fluviais da Amazônia ainda carece de estudos mais dinâmicos que permitam o seu entendimento. Por se tratar de ambiente tropical, com a incidência de altas temperaturas e precipitações aliadas à formação geológica com predomínio de rocha sedimentar, há rápida mudança nos padrões de evolução da rede de drenagem, desencadeando processos erosivos severos, em particular, a erosão fluvial. Analisou-se a carga de sedimentos transportada e sedimentada em ambiente lântico – paleomeandro Lago do Amapá - resultado da dinâmica de alteração do rio Acre pelo processo erosivo de suas margens. Concluiu-se, em sede preliminar, de que há altos valores de Concentração de Sedimentos em Suspensão (Css), constituídos basicamente de silte e argila e valores expressivos de carga de fundo, constituída de material tamanho areia que podem estar provocando intenso assoreamento ou colmatação do Lago do Amapá, interferindo nos valores de profundidade média e largura do canal.

Palavras-chaves: geomorfologia fluvial, monitoramento ambiental, assoreamento, Acre.

Abstract

The hydrosedimentological dynamics in fluvial environments in the Amazon still needs more dynamic studies that allow its understanding. Because it is a tropical environment, with the incidence of high temperatures and precipitation combined with geological formation with a predominance of sedimentary rock, there is a rapid change in the evolution patterns of the drainage network, triggering severe erosive processes, in particular, river erosion. The sediment load transported and sedimented in a lentic environment was analyzed - paleomeander Lago do Amapá - as a result of the dynamics of alteration of the river Acre by the erosive process of its banks. It was concluded, in preliminary view, that there are high values of Concentration of Sediments in Suspension (Css), consisting basically of silt and clay and expressive values of bottom load, constituted of sand-sized material that may be causing intense silting or clogging Lago do Amapá, interfering with the values of average depth and width of the channel.

Keywords: fluvial geomorphology, environmental monitoring, aggradation, Acre.

Introdução

O complexo processo erosivo-sedimentológico envolve fatores de ordem física, meteorológica e antrópica e necessita ser estudado em seus efeitos (CHRISTOFOLETTI, 1981; PRUSKI, 2006). O escoamento superficial concentrado da água (*runoff*) é responsável pelo carreamento de partículas de sedimentos que se acumulam nos fundos de vale, originando o assoreamento, na maioria das vezes, proporcionado pelo desmatamento (HIGGITT, 1991; SILVA et al., 2003).

Em ambiente amazônico, Leprun (1993) menciona que, após o desmatamento, as taxas de escoamento superficial são multiplicadas de 1,5 a 3,3 vezes. Este fato justifica a execução desta pesquisa, determinando os efeitos da concentração de sedimentos no rio Acre, em uma faixa do antigo curso (paleomeandro do Amapá), corroborando, ou não, estudos de uso do solo na bacia do rio Acre (ACORSSI, 2014; BRILHANTE et al., 2020; BONFANTI et al., 2020). Possibilita, ainda, identificar sazonalmente os indicadores do processo de erosão e sedimentação, responsáveis pela alteração ou não naquele ambiente fluvial.

Algumas variáveis ambientais constituem-se como fundamentais para a compreensão dessas mudanças. Dentre estas, a Concentração de Sedimentos em Suspensão (C_{ss}) e as medidas de profundidade e largura do canal são imprescindíveis para o entendimento da dinâmica erosivo-deposicional em ambientes fluviais, sendo possível identificar o processo de assoreamento, ou não, que se apresenta em determinado ambiente (SANTOS, 2013).

Aliado a isso, valores de carga de sedimentos em suspensão são tidos como indicadores para o reconhecimento das condições ambientais em um sistema hídrico (CARVALHO, 2008). No entanto, este tipo de investigação tende a ser oneroso e demorado por diversas razões, entre elas a demanda por monitoramento e coleta constantes em diversas seções do canal fluvial, no intuito de identificar as alterações dessa variável.

No entanto, esse tipo de abordagem é parte indispensável dos estudos de bacias de drenagem, notadamente quando se pretende avaliar o grau de interferência da ação antrópica sobre esse sistema. O objetivo central desta pesquisa, portanto, foi determinar e analisar a dinâmica de concentração e deposição de sedimentos em ambiente fluvial lântico (Lago do Amapá) como forma de subsidiar cientificamente a compreensão do possível processo de assoreamento.

Algumas metodologias têm facilitado a inferência da Concentração de Sedimentos em Suspensão (Css). Entre elas, a utilização dos valores de variáveis físicas como Turbidez e Sólidos Totais aparecem como sendo uma alternativa viável. Na pesquisa desenvolvida por Piccolo et al. (1999), avaliou-se a correlação existente entre a sólidos totais em suspensão, cor e turbidez para o Rio Jucu – ES, na qual os autores concluem que as melhores correlações foram entre a concentração de Sólidos Totais e a Turbidez, evidenciando que o parâmetro Turbidez é o mais indicado para indicação indireta da Css.

Também Vestena (2008), estudando a bacia do rio Caeté, no município de Alfredo Wagner (SC), identificou a Css pelo mesmo procedimento e encontrou valores estatisticamente significativos para aquela bacia. Para Santos et al. (2001), a turbidez pode apresentar uma forte correlação linear com a Css, principalmente se tratando da concentração de materiais finos. Esses autores também destacam que a turbidez é um indicador melhor do que a descarga líquida para estimar a Css.

A partir disso, supõem-se a existência de índices de Turbidez consideráveis, causados pela presença predominante de materiais finos, decorrentes das características físicas dos solos existentes na região cujo material de origem é predominantemente constituído de siltitos, argilitos e arenitos (AMARAL, 2003; ARAÚJO et al., 2005; SANTOS, 2013). Estudos com essa abordagem no estado do Acre são quase inexistentes e, considerando-se a grande carga de sedimentos em suspensão nos rios da região, têm-se como necessárias investigações científicas dessa natureza no sentido de identificar as fontes da Css.

Revisão da Literatura

Constituição geomorfológica da bacia do Acre e sua relação com o aporte de sedimentos

Os primeiros estudos relacionados a sedimento têm origem há um pouco mais que 2000 a.C. na China, Egito e Mesopotâmia. Os conhecimentos do Centro de Atividades Científicas da Mesopotâmia e do Egito, só foram transmitidos para os países europeus cerca de 1000 anos da era Cristã na época da ocupação do Império Otomano (um importante Estado que compreendia vários territórios no norte da África, sudeste da Europa e Oriente Médio). Os otomanos adquiriram conhecimentos sobre obras fluviais, construção de pontes

e como determinar a ação erosiva ao redor dos pilares provocados pelas enchentes (CARVALHO, 2008).

No Brasil, os primeiros estudos relacionados à sedimentometria ocorreram a partir de 1950, devido à falta de informações, muitas soluções empíricas ou práticas foram aplicadas nos diversos problemas de morfologia fluvial e casos de assoreamento de reservatórios (CARVALHO, 2008).

Atualmente, os estudos de sedimentologia têm aumentado devido aos problemas que têm sido observados de origem antrópica, com o mau uso do solo, causando diversos problemas de erosão, transporte de sedimentos nos rios, depósitos em locais indesejáveis e assoreamento dos rios, lagos e reservatórios (CARVALHO, 2008).

A área de estudo é delimitada por um meandro em processo de abandono, notadamente formado pelo fenômeno conhecido como *neck cut of* (corte de pescoço), conforme assinalou Bloom (1976), ocasionado pela alta sinuosidade de um trecho do rio Acre. Essa dinâmica determina a formação de lagos e pântanos e, no caso em tela, formou o conhecido Lago do Amapá, em Rio Branco.

Para Maia (2003) no Acre o ciclo deposicional que se inicia no Terciário, predominantemente continental, acumulou sedimentos argilo-silticos, calcários e arenitos originados a partir de rochas preexistentes - área subsidente a leste-que constituem a Formação Ramon, na chamada bacia do Acre.

No Plioceno ocorre o soergimento da cordilheira andina e na Bacia do Acre, o Grupo Acre foi então soergido originando o complexo fisiográfico da Serra do Divisor. A Bacia do Acre, que até então tinha sido marginal e pericratônica, transforma-se numa bacia intracontinental, processando-se uma inversão na rede de drenagem, que passa a se direcionar para Leste, criando assim um ambiente fluvial proporcionando a deposição de espessos pacotes de sedimentos (argilo-arenosos) que assoreiam a Bacia do Acre, dando origem à unidade litoestratigráfica da Formação Solimões (ACRE, 2000).

De acordo com Maia (2003) e Santos (2013) o estado do Acre compreende três compartimentos geomorfológicos: o Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental, a Depressão Amazônica e a Planície Amazônica. A Planície Amazônica, onde se situa o rio Acre, constitui-se nas faixas que margeiam os principais rios do Estado, comportando extensas áreas alagadas e de inundação as planícies fluviais, bem como formas de acumulações do tipo terraços fluviais hierarquizados em três níveis: terraços altos, terraços intermediários e terraços baixos.

Estes terraços representam fases de incisão e sedimentação, os quais estão associados à ausência de cobertura florestal, que foi responsável também pela intensa dissecação nas áreas de interflúvios tabulares, que ocorreu possivelmente na passagem do Pleistoceno para o Holoceno (BRASIL, 1976).

Segundo Acre (2012, p.125-126) a bacia do rio Acre ocupa:

parte das regionais de Desenvolvimento do Alto Acre e Baixo Acre. A parte alta da bacia localiza-se na Amazônia Sul – ocidental, na fronteira entre Bolívia, Brasil e Peru. O rio Acre nasce em território peruano nas terras acidentadas da área de influência do rio Iaco e rio das Pedras. De modo geral a topografia da Bacia do Rio Acre caracteriza-se por apresentar valores de elevação entre 300 m a 430 m próximos as cabeceiras, e entre 150 m a 300 m a partir daí para a jusante.

Ainda, de acordo, com Acre (2012) a rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do rio Acre é caracterizada por rios notadamente sinuosos e volumosos, escoando suas águas no sentido de Sudeste para Noroeste, e por estreitas planícies fluviais de deposição de sedimentos retirados das margens, em sua maioria.

O rio Acre, portanto, vem continuamente transformando o relevo regional e, em especial, o relevo local. Dentre as causas principais deste processo podem ser mencionadas o regime contrastado de seu curso d'água, fortes variações de descarga (desnível de até 11 metros), o litologia sedimentar da Formação Solimões e o encaixamento do rio Acre (MAIA, 2003).

Ao transformar a paisagem, o rio Acre apresenta predomínio de carga em suspensão que, para Rhoads e Thorn (1996), constitui uma significativa quantidade de partículas minerais que são transportadas ou depositadas pela ação das águas.

Segundo Carvalho (2008) e Wetzel (1993), o material do leito de um curso d'água, com carga em suspensão de areia, silte e argila, tende a ter predominância de areia com pouca quantidade de partículas finas. Foi verificado que a temperatura exerce variações na concentração de sedimentos finos em suspensão; em águas de temperaturas mais frias, a concentração de finos aumenta devido à viscosidade que diminui, caso típico do rio Acre com suas águas brancas (SIOLI, 1956).

Bloom (1976) e Stevaux e Latrubesse (2017) afirmam que a carga em suspensão não se distribui homoganeamente no canal como a carga dissolvida, mas apresenta uma variação vertical na distribuição das partículas de acordo com seu diâmetro, velocidade e a profundidade do fluxo.

Conforme cita Silva et al. (2003, p. 109), em relação ao transporte de sedimentos do rio principal, “a carga em suspensão é predominantemente maior que a do fundo (90% a 95%) no alto curso, e a carga de fundo vai crescendo à medida que a erosão da bacia vai diminuindo e a declividade também (65% a 90% de sedimento em suspensão)”. Logo, a porcentagem de sedimento em suspensão e do leito é muito dependente da granulometria do sedimento transportado. Assim, quando há grande quantidade de areia, a porcentagem de sedimento transportado no leito pode ser maior que o sedimento em suspensão (CARVALHO, 2008).

Canais fluviais e Meandros

Para Guerra e Cunha (2001), várias são as condições essenciais para o desenvolvimento dos meandros: camadas sedimentares de granulação móvel, coerentes, firmes e não soltas; gradientes moderadamente baixos; fluxos contínuos e regulares; cargas em suspensão e de fundo em quantidades mais ou menos equivalentes.

Christofolletti (1981, p. 163), cita que:

...o termo meandro tem sua origem no caso do rio Maiandros (atualmente Menderes), na Turquia. É utilizado para designar o tipo de canal fluvial em que os rios descrevem curvas sinuosas, largas, harmoniosas e semelhantes entre si, através de um trabalho contínuo de escavação na margem côncava (local de maior velocidade da corrente) e de deposição na margem convexa (local de menor velocidade). Deve-se notar que a deposição na margem dos detritos da carga do leito do rio se faz no mesmo lado da margem em que eles foram arrancados.

Um caso clássico, relatado por Schumm (1968) apud Christofolletti (1981) é o do rio Murrumbidge, localizado na Austrália Oriental, onde acredita-se que houve mudanças na quantidade e no tipo de carga sedimentar em virtude das oscilações climáticas durante o passado geológico recente. Na planície aluvial do rio Murrumbidge, a passagem do domínio da carga do leito para a carga em suspensão aparentemente causou a transição de um curso reto para o de canais altamente sinuosos.

Florenzano (2008) corrobora afirmando que ao erodir e transportar sedimentos os rios produzem canais de diferentes padrões de formas. Os padrões dos canais fluviais refletem o ajustamento do rio ao tipo, tamanho e volume da carga sedimentar por ele transportada para uma dada vazão. Os canais meandantes transportam, em dominância,

sedimentos finos e mais selecionados, e sua capacidade de transporte é mais baixa e uniforme, quando comparada com os canais anastomosados (GUERRA; CUNHA, 2001).

Analisando a nomenclatura aplicada sobre meandramentos, Christofolletti (1981) menciona que meandros abandonados são os que não mais possuem ligação direta com o curso de água atual resultantes da evolução dos meandros que cortam o pedúnculo através do solapamento basal na margem côncava. Quando isolados, formam lagos ou pântanos e são numerosos nas planícies aluviais.

Para Maia (2003) a alternância nos regimes climáticos úmidos e secos, com respectivos avanços e recuos da floresta durante o Quaternário, é responsável pela grande dissecação do relevo e alternados processos de erosão e sedimentação dos canais fluviais da região do Acre.

São comuns ao longo da planície do rio Acre feições típicas como os meandros e os paleocanais. Os meandros ativos são resultantes do processo contínuo de erosão (margens côncavas-bancos de solapamento) e deposição (margens convexas - formação de *point-bars*). Os paleocanais são formas resultantes da elaboração passada do rio, ou seja, da sua evolução através do processo de erosão e autocaptura, uma vez que à medida que as margens côncavas são erodidas, o colo do meandro pode ser estrangulado pela formação e desenvolvimento de diques marginais, que aos poucos promove o isolamento do antigo canal, como é o caso do Lago do Amapá.

Segundo Stevaux e Latrubesse (2017, p. 120) “formas de leito, barras, ilhas, planícies de inundação e terraços são depósitos sedimentares fluviais com diferentes tempos de permanência do sistema antes de atingirem sua deposição final. Aduzem ainda que fazem parte da carga suspensa do rio, ainda, o material particulado de origem orgânica derivado de fontes aquáticas, como algas (perifíton) e organismos microscópicos (plâncton), e terrestres, como fragmentos vegetais.

Processo erosivo e o tipo de uso e ocupação da terra

Silva et al. (2003, p. 48) diz que a “erosão e o transporte de sedimentos superficiais de uma região urbanizada diferem significativamente dos processos que ocorrem em regiões onde o uso do solo é predominantemente para fins rurais”. Nas áreas urbanas, embora possam ocorrer modalidades de erosão semelhantes às áreas rurais, predominam

aquelas decorrentes da concentração de fluxo, principalmente em razão de deficiências do sistema de drenagem.

Enquanto na área urbana o uso do solo limita-se, em sua maior parte, à instalação de construções, quer seja industrial, quer seja residencial ou comercial, nas regiões rurais práticas sustentáveis de uso do solo tornam-se primordial para o sucesso de uma propriedade rural. A finalidade de uma propriedade rural é produzir algum ou alguns produtos agropecuários e o solo é o elemento-chave e o ponto de partida para o possível sucesso dessa atividade.

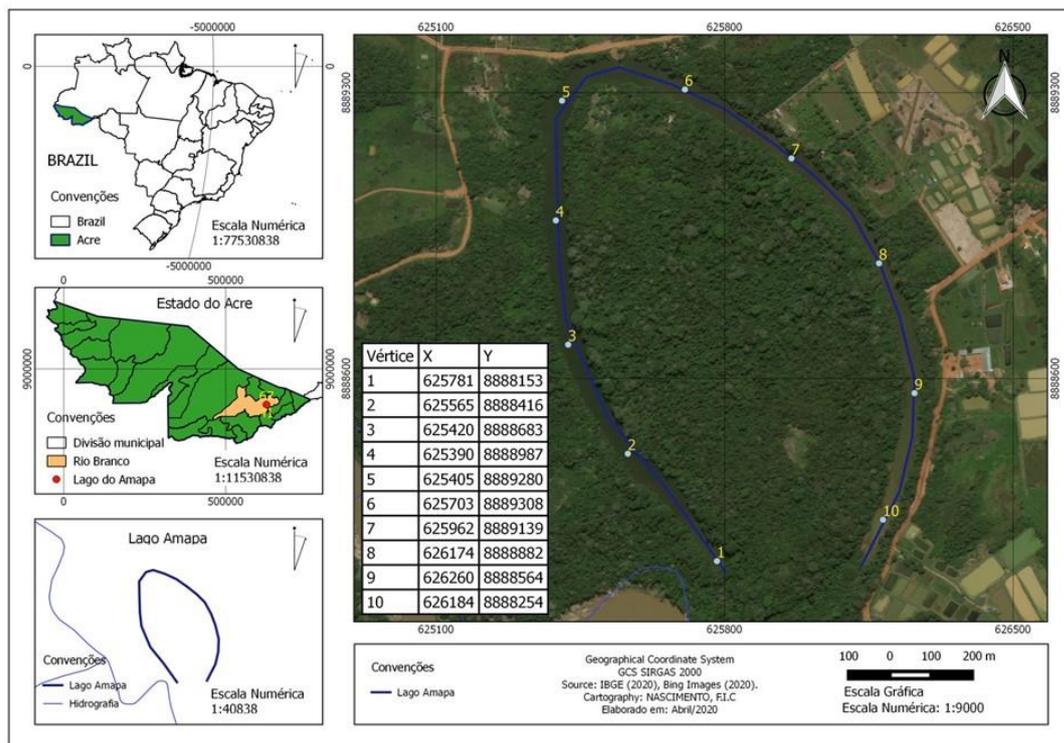
Contudo, conforme o tipo de cultura instalada, o manejo do solo e de tratamentos culturais adotados, pode haver grande exposição da superfície do solo à força erosiva das gotas de chuva. Com a exposição do solo há o carreamento de grandes quantidades de sedimentos para os cursos d'água por efeito de *runoff* e *wash load*, em maior ou menor intensidade de acordo com características físicas dos solos, topografia, chuva, cobertura vegetal entre outras (SILVA et al., 2003; SANTOS, 2013; SANTOS; AUGUSTIN, 2015).

Santos e Augustin (2015) observaram diferenças significativas de perda de sedimentos e água considerando-se área de floresta e pastagem na região da bacia do igarapé Judia, no Acre. A referida bacia que faz parte da bacia do rio Acre apresenta substituição de vastas áreas com cobertura de floresta por uso de pastagens, vindo a culminar em possíveis picos de inundação dos fundos de vales e intensos processos de acumulação de sedimentos no talvegue.

Materiais e Métodos

A área de estudo compreende um paleomeandro do rio Acre denominado Lago do Amapá, localizado em uma APA (Área de Proteção Ambiental) de mesmo nome na área rural do município de Rio Branco/AC. O Lago do Amapá possui uma extensão aproximada de 3 km e, ainda, é periodicamente inundado pelas águas do rio Acre no período das chuvas na região (outubro a março) (SILVA, 2010).

Para a pesquisa foi realizado levantamento teórico-conceitual, com leituras temáticas e elaboração da revisão bibliográfica. Literaturas sobre assoreamento fluvial, composição do relevo fluvial e dinâmica sedimentológica em ambientes fluviais.

Figura 1. Localização da área de estudo e respectivos pontos de monitoramento.

A atividade de campo consistiu em selecionar 10 (dez) pontos de monitoramento ao longo do lago, com uso de um *GPS Garmin 78s*. A seleção foi feita de forma equidistante, de 300 em 300 metros, demarcando-se o ponto com estacas, no total de 20 (vinte) no tamanho de 80 cm cada. As estacas foram pintadas e marcadas com fita adesiva e fincadas em cada ponto de amostragem, em locais que facilitavam a sua visualização.

Após a demarcação dos pontos, elaborou-se o *check-list* de materiais e equipamentos necessários para os procedimentos de coleta e análises laboratoriais da água e sedimentos de fundo. Realizou-se a coleta de água e sedimentos em campo, relativa ao período de seca regional (mês de agosto/2015) nos 10 (dez) pontos previamente selecionados no Lago do Amapá (fig. 1). Em cada ponto foram coletadas subsuperficialmente, a 20cm de profundidade, 3 amostras de água (margem esquerda, meio e margem direita do lago), totalizando-se 30 (trinta) amostras, seguindo a orientação da laboratório da Unidade de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Acre (Utal/UFAC).

Após, realizou-se as análises laboratoriais, com a leitura das variáveis físicas Sólidos Totais e Turbidez, conforme método de Macêdo (2003). Com a utilização do *software Excell for Windows* elaborou-se a curva-chave de regressão para as duas variáveis,

sendo possível, então, aferir a concentração de sedimentos em suspensão (Css). A equação gerada pela curva de regressão entre as variáveis Turbidez e Sólidos Totais (por exemplo: $y = 64.711x^{0.1294}$) é utilizada para extrair os valores de Css, onde y é a Css e x é a Turbidez, conforme utilizado por Piccolo et al. (1999), Silva et al. (2001), Vestena (2008), Santos (2013) e Santos et al. (2019).

Para a coleta de sedimentos de fundo, utilizou-se uma draga modelo *Ekman-Birge* (Van-Veen) disponível no Laboratório de Ictiologia da UFAC. A metodologia consistiu em soltar a draga na margem direita, meio e margem esquerda do lago, obtendo-se 3 amostras em cada ponto, totalizando-se 30 amostras.

Após, em laboratório, as amostras foram peneiradas na peneira com abertura de 4 mm (*tyler 5*) para retirada de materiais orgânicos maiores (folhas e galhos) e, posteriormente, foram acondicionadas em bacias plásticas e expostas para secagem ao ar livre. Após, procedeu-se as análises granulométricas do material, no laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia da UFAC, conforme metodologia de Teixeira et al. (2017), aferindo-se a média aritmética das amostras para cada ponto monitorado.

Foram realizadas, ainda, as medidas de altura do talvegue do Lago, com o apoio de uma trena de alumínio, barbante milimetrado de cinco e cinco metros e barco. A metodologia consistiu em esticar o barbante de margem à margem em cada um dos 10 pontos de monitoramento. A cada cinco metros percorrendo o barbante em direção à margem contrária, mergulhava-se a trena na água até o contato com fundo e procedia-se a medida da altura do fundo até o barbante, conforme demonstrado nas figuras 2 e 3.

Figura 2. Vista da metodologia do barbante, utilizada para as medidas de largura e profundidade.



Foto: Adriano Bortoloni - outubro/2015.

Figura 3. Procedimento de medida de profundidade do Lago, com régua e barbante.



Foto: W. Santos - outubro/2015.

A comparação inferencial entre os lados direito e esquerdo e a região do meio do Lago do Amapá foi realizada por meio do teste não-paramétrico de *Kruskal-Wallis*, ao nível de significância 5%, recomendando para comparar mais de duas populações quando à tendência central dos dados. O referido teste se justifica quando são violados pressupostos

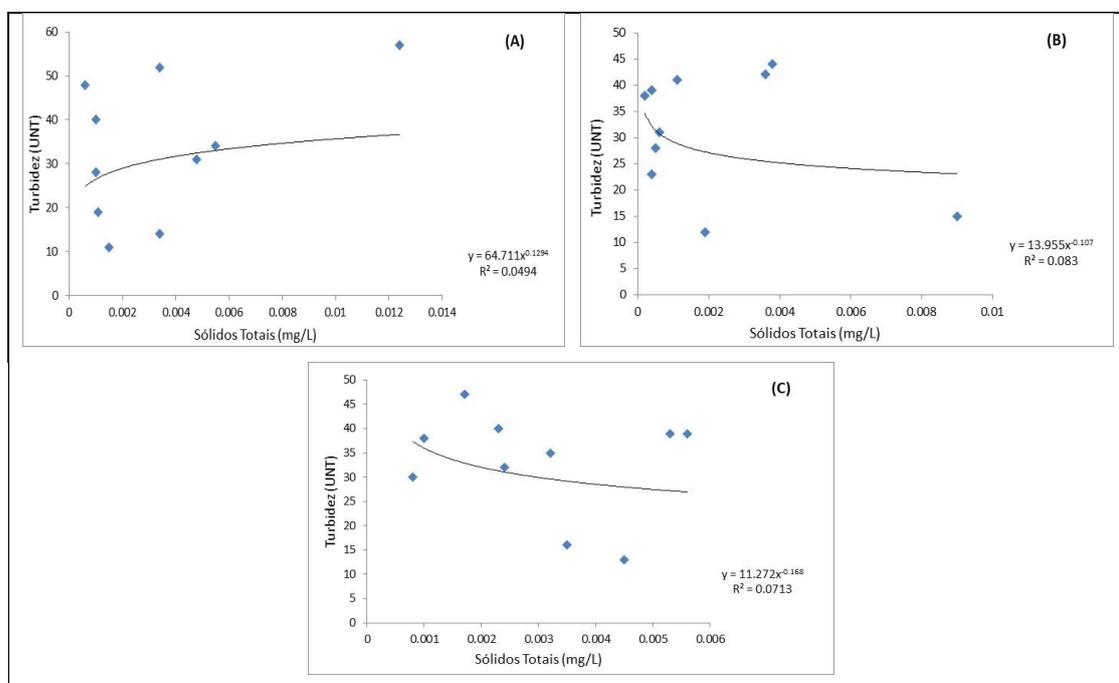
basais como a normalidade e a homocedasticidade atinentes ao modelo tradicional de análise de variância (CALLEGARI-JACQUES, 2003; LEVENE et al., 2011).

Uma vez verificada a existência de diferença significativa para o testes de Kruskal-Wallis, a comparação múltipla entre os tratamentos foi verificada por meio do teste de *post-hoc* de Dunn com correção de Bonferroni (CALLEGARI-JACQUES, 2003; LEVENE et al., 2011; NASCIMENTO et al., 2018). Para referida análise inferencial utilizou-se o *software* estatístico *R for Windows*, versão 4.0.2.

Resultados e Discussão

A partir da sumarização dos dados foi possível elaborar as curvas-chaves com a plotagem dos valores de Turbidez e Sólidos Totais, extraindo-se os valores de C_{ss}. Os modelos utilizados não se adequaram aos dados, distanciando-se em muito da média, revelando valores extremos com alta variabilidade para o conjunto dos dados analisados, com $R^2=0,0494$ (esquerda), $0,083$ (direita) e $0,0713$ (meio) (fig. 4).

Figura 4. Curvas-chaves a partir das variáveis Sólidos totais e Turbidez para as seções ESQUERDA (A), DIREITA (B) e MEIO (C) do Lago do Amapá/AC

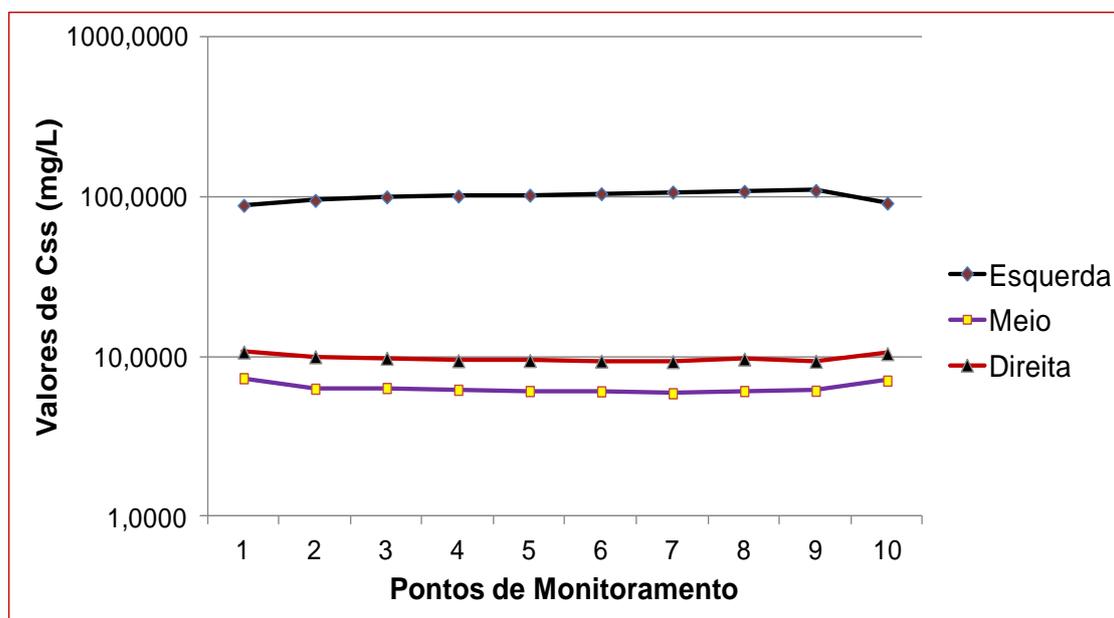


Em análise descritiva dos dados, observou-se que a maior concentração de sedimentos em suspensão ocorreu na margem esquerda do Lago do Amapá, chegando a valores elevados considerando-se o conjunto dos dados, como por exemplo no ponto 9, com 109,1914 mg/L de sedimentos, conforme se observa na tabela 1.

Tabela 1. Valores de C_{ss}, em mg/L, no meio, margem direita e margem esquerda do Lago do Amapá – Acre

	Margem	Esquerda	Meio	Direita
Pontos de monitoramento	1	88,2540	7,3259	10,6969
	2	94,7216	6,2970	9,9776
	3	99,5956	6,3657	9,7698
	4	100,9161	6,2029	9,4294
	5	102,1296	6,0912	9,4557
	6	104,3001	6,0653	9,3791
	7	106,7900	5,9032	9,3085
	8	107,9019	6,0912	9,6639
	9	109,1914	6,1178	9,3550
	10	91,0515	7,0747	10,4445

Figura 5. Valores de C_{ss} (mg/L), por ponto, para cada seção do canal fluvial (meio, direita e esquerda)



Estes valores elevados podem estar relacionados à existência de uma via vicinal (ramal) que está a 10 (dez) metros da margem esquerda do Lago, favorecendo o escoamento de material particulado para o canal a cada evento chuvoso, culminando com o aumento da C_{ss}.

Por outro lado, a margem direita é tida como mais preservada, com grande quantidade de área de floresta, abrigando moradores que realizam agricultura de subsistência com fraca interferência na C_{ss} do Lago, chegando ao valor máximo de 10,6969 mg/L de sedimentos. A menor C_{ss} foi observada no meio do Lago, com valor máximo de 7,3259 mg/L no primeiro ponto de coleta.

A ocorrência do aumento da C_{ss} no período de seca, indica a contribuição de sedimentos provenientes de áreas fontes, próximo do curso de água que condicionaram uma resposta rápida na taxa de sedimentos em suspensão (SEEGGER et al., 2004).

O declínio nos valores da C_{ss} possivelmente ocorreu pela reduzida quantidade de sedimento disponível nestas áreas. A ocorrência de picos de C_{ss} também pode estar relacionado, segundo Sammori et al. (2004), à intensidade das chuvas na região que ocasionam a lavagem de material particulado (*wash load*) para os fundos de vale.

Os resultados obtidos a partir da aplicação do Teste de Kruskal-Wallis concluiu-se pela não rejeição da hipótese de diferença entre as margens esquerda e direita na região do meio do Lago do Amapá quanto à tendência central ($p < 0,05$). Ressalta-se que a violação dos pressupostos de normalidade e homocedasticidade quantos aos resíduos foi verificada, respectivamente, por meio dos testes de Shapiro-Wilk e de Levene (ambos com p-valor inferior ao nível de significância de 5%). Na Tabela 2 são apresentados os resultados (p-valor) obtidos a partir da aplicação do teste de *post hoc* de Dunn com correção de Bonferroni.

Tabela 2. Resultados (p-valor) referentes ao teste de comparação múltipla de Dunn com correção de Bonferroni sobre os dados de C_{ss} registrados no Lago do Amapá.

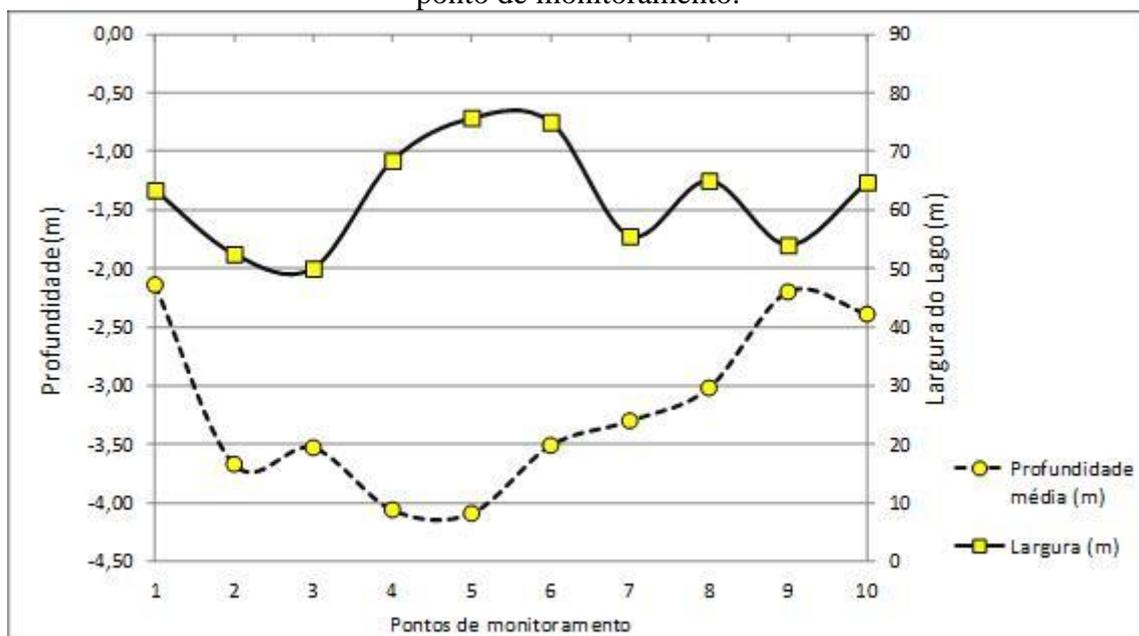
Margem	Lado direito	Lado esquerdo
Lado esquerdo	0,0332 *	-
Meio	0,0332 *	0,0000011 *

* Diferença significativa ao nível de significância 5%.

Os resultados permitem concluir pela existência de diferença significativa quanto à tendência central da C_{ss} registrada entre o lado direito e o esquerdo, entre o lado direito e o meio, bem como entre o lado esquerdo e meio. Isso implica que as condições de uso e ocupação da terra nos limites do lago podem estar influenciando na quantidade de sedimentos carreada para o seu leito. A exemplo disto, em sua margem esquerda há estrada vicinal com acesso a localidades próximas e limítrofes ao lago. Em sua margem direita, constitui-se faixa de floresta conservada com uso agrícola e piscicultura em pequena escala.

Ambas as situações corroboram o teste estatístico realizado, através da possível contribuição com as diferenças de C_{ss}. O setor do meio do lago, por não sofrer intensa interferência permanece com os menores valores de C_{ss}, resultando em diferenças significativas em relação às margens. Tais situações interferem na profundidade e na largura do lago, conforme figura 6.

Figura 6. Relação Profundidade Média (m) e Largura (m) do Lago do Amapá, por ponto de monitoramento.



A partir da análise da figura 6, demonstrando os valores de profundidade média e largura do canal, podemos constatar que há uma tendência a diminuir a profundidade nas extremidades do lago (ponto 1 e pontos 9 e 10). Esta tendência corrobora os valores de largura, uma vez que o lago apresenta-se mais estreito nas extremidades e mais largo no seu meio curso (pontos 4 a 6).

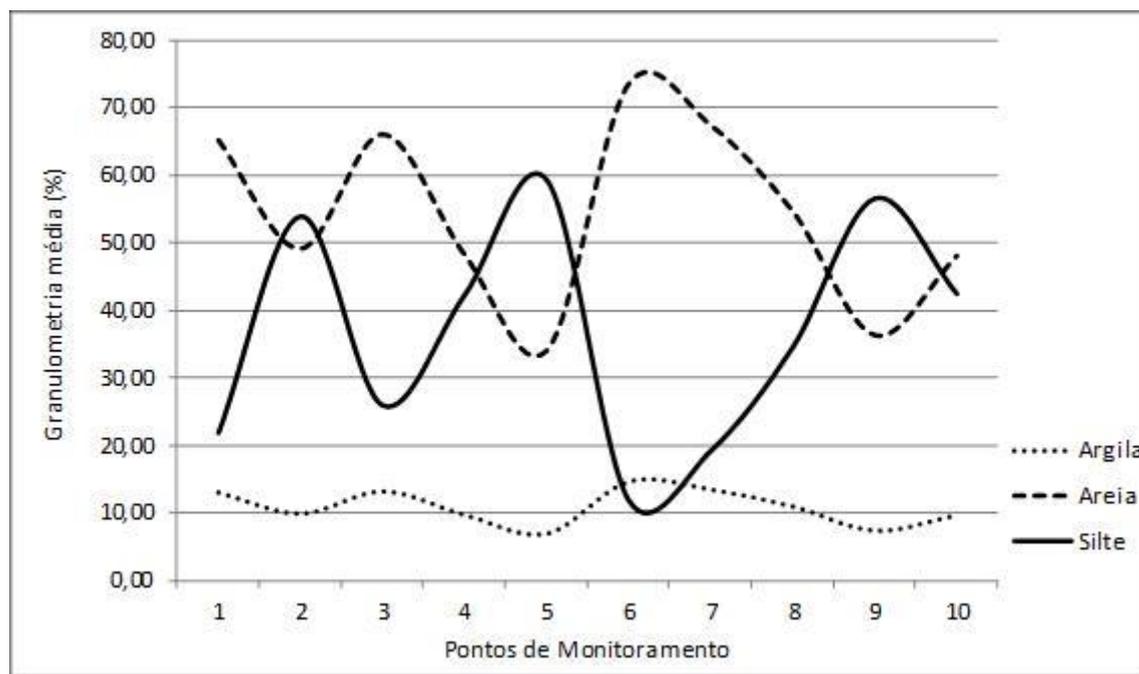
Diante disto, constatou-se que o assoreamento do Lago do Amapá está ocorrendo, em maior quantidade, nas suas extremidades, que podem ter relação direta com o aporte de sedimentos advindos do rio Acre sazonalmente. O ponto 1, situa-se na área de cabeceira do Lago, portanto, a parte mais elevada, o que pressupõe que o carreamento de sedimentos para aquele ponto esteja ocorrendo de forma vertiginosa, com isso demonstrando o ponto mais raso em todo o monitoramento, com profundidade média de -2,14m.

Os pontos 9 e 10, situam-se próximos à embocadura do Lago, em contato direto com o rio Acre no período de cheia regional. Esse fato, pode justificar as baixas profundidades médias registradas durante a pesquisa (-2,39 e -2,20m, respectivamente), considerando-se a grande quantidade de sedimentos oriundos do rio Acre que são precipitados no talvegue do Lago ano após ano, fazendo com que haja uma predisposição tanto ao assoreamento, quanto à colmatação daquele ambiente.

Os pontos de 6 a 10, demonstram anomalias quanto à largura, saindo de 75 m de largura no ponto 6, e posteriormente, estreitando-se no ponto 9 (53,99m), voltando a enlargar no ponto 10 (64,70m).

Os dados não demonstraram correlação forte entre largura e profundidade média ($r=0,27$), no entanto, observou-se que o acúmulo de sedimentos pode estar ocasionando a anomalia registrada, com queda brusca de largura, seguida de diminuição da profundidade média, principalmente nas extremidades do Lago.

Com relação à análise granulométrica dos sedimentos de fundo, constatou-se maior quantidade de material no tamanho areia, apresentando-se uma média que variou de 33,97 (ponto 5) a 73,43% (ponto 6). Os pontos 2, 5 e 9 apresentaram valores elevados de silte, material fino corroborando com os valores de argila, conforme figura 7.

Figura 7. Granulometria média (%) dos sedimentos de fundo do Lago do Amapá.

A alta quantidade de material no tamanho areia em quase todo o perfil monitorado remete a uma condição de material jovem, de origem fluvial, que certamente foi carregado e depositado no Lago pelo rio Acre quando das cheias regionais. No entanto, há que se considerar as formas de uso da terra, como a mineração de areia, pecuária, agricultura e a piscicultura que ocorrem nas áreas à montante da confluência do rio Acre com o Lago, como contribuintes desta situação (SANTOS; ARAÚJO, 2008; ACCORSI, 2014; SERRANO et al., 2019; SANTOS; SILVA, 2019; ARAÚJO et al., 2019; SANTOS et al., 2019).

A quantidade de argila não superou 15% de presença nas amostras, o que reflete uma condição juvenil do Lago. Por outro lado, compreende-se que a dinâmica sedimentar está relacionada ao tamanho da partícula, com o material grosseiro, como a areia, sendo depositado no talvegue do Lago e, a argila, como material fino, tende a encontrar-se em suspensão. Com relação ao assoreamento, observa-se que o Lago está recebendo material de origem fluvial e que o processo de assoreamento está em curso, como visto nos valores de profundidade e largura, totalmente atrelada ao depósito de material.

Estatisticamente, à exemplo da C_{ss}, os dados granulométricos dos sedimentos de fundo embora tenham atendido o pressuposto de normalidade, violou o pressuposto de homocedasticidade. Razão disto, aplicou-se o Teste de *Kruskal-Wallis* e concluiu-se pela

não rejeição da hipótese de diferença entre os valores granulométricos (areia, silte e argila) quanto à tendência central ($p < 0,05$). Ressalta-se que a violação do pressuposto de homocedasticidade quanto aos resíduos foi verificada, respectivamente, por meio dos testes de Bartlett e de Levene (ambos com p-valor inferior ao nível de significância de 5%).

Na tabela 3 são apresentados os resultados (p-valor) obtidos a partir da aplicação do teste de *post hoc* de Dunn com correção de Bonferroni.

Tabela 3. Resultados (p-valor) referentes ao teste de comparação múltipla de Dunn com correção de Bonferroni sobre os dados granulométricos dos sedimentos de fundo no Lago do Amapá.

Granulometria	Silte	Areia
Areia	0,329	-
Argila	0,0000037 *	0,009 *

* Diferença significativa ao nível de significância 5%.

A tabela 3 permite concluir que as classes granulométricas Areia e Silte não apresentaram diferença significativa entre os valores, o que pode estar ocorrendo um aporte de material primário em grande quantidade no talvegue do lago, proporcionado pelo usos diferenciados da terra no entorno, corroborados pela diferença significativa entre as classes Areia e Argila ($p = 0,009$) e Silte e Argila ($p = 0,0000037$), ao nível de confiança de 95%.

Os dados foram suficientes para a análise hidrossedimentológica do Lago do Amapá. No entanto, sugere-se que as pesquisas continuem com o devido monitoramento das reais condições e, caso necessário, sugerir outras formas de uso para o entorno do Lago, que atualmente, se constitui em APA (Área de Proteção Ambiental) e que serve de subsistência para as famílias que habitam na área.

Considerações finais

Análises hidrossedimentológicas indicam a necessidade de investigações futuras relativas à sedimentação em ambientes fluviais do Acre relacionadas ao uso e ocupação da terra em período recente. A Amazônia, por sua grande extensão em terras úmidas, dispõe de poucos estudos que relatem a influência de fatores antrópicos frente aos recursos naturais, mesmo indicando uma forte pressão agrícola ao longo de cinco décadas.

Os dados da pesquisa demonstraram processo de assoreamento em curso no Lago do Amapá ocasionado, possivelmente, pela dinâmica do rio Acre e pelas formas de uso da terra, tidas como responsáveis pelo carregamento de material primário (tamanho areia) para aquele ambiente. Ao mesmo tempo, a Css demonstrou-se em grande escala nas margens direita e esquerda, com enfoque para a primeira, que denotou a presença de estradas vicinais responsáveis pela grande quantidade de material fino particulado destinado àquele ambiente.

Pelos dados, pode-se inferir que há uma intensa relação do uso da terra com a Css, o que poderá apresentar problemas futuros, inclusive para os moradores da APA que atualmente necessitam do Lago para sobreviver através da pesca de subsistência.

Propõe-se o prosseguimento de pesquisas, no intuito de monitorar a carga de sedimentos e seus efeitos naquele ambiente fluvial em anos posteriores, verificando-se, ou não, um padrão de assoreamento em ambiente lântico específico para esta região no município de Rio Branco.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Acre pela concessão de bolsa de pesquisa.

Referências

ACCORSI, O.J. *A exploração de areia para uso na construção civil: caracterização da atividade de dragagem e sustentabilidade na bacia hidrográfica do rio Acre*. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense: UFF.

ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico–Econômico do Estado do Acre. *Zoneamento Ecológico Econômico do Acre Fase I*. Recursos Naturais e Meio Ambiente- Documento final. Rio Branco, 2000.

ACRE. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Acre*. Rio Branco: SEMA, 2012.

ARAÚJO, E.S.; AMÂNCIO, F.E; FELIPE, M.J & SANTOS, W.L. A atividade de mineração de areia e impactos ambientais no rio Acre. *Uáquiri – Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Acre*, v.1, n.1, 2019, p. 95-106.

ARAÚJO, E.A.; AMARAL, E.F; WADT, P.G.S. & LANI, J.L. Aspectos gerais dos solos do Acre com ênfase ao manejo sustentável. In: WADT, P.G.S. (Ed.) *Manejo do solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre*. Rio Branco: EMBRAPA/AC, 2005.

AMARAL, E.F. *Ambientes, com ênfase nos solos e indicadores ao uso agroflorestal das bacias dos rios Acre e Iaco, Acre, Brasil*. 2003. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa. UFV: MG.

BLOOM, A. *Superfície da Terra*. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

BONFANTI, D. C.; LIMA, F.T.B. DE; FERREIRA, L.C.A. & SANTOS, W. L. A dinâmica fluvial do Rio Acre: uma análise ambiental do trecho urbano da cidade de Rio Branco-AC. *Revista Geonorte*, 11(37), 2020, p. 154-174. <https://doi.org/10.21170/geonorte.2020.V.1.N.37.154.174>

BRILHANTE, N.A.; MENDES, A.F.; SILVA, J.A.; FROTA, N.J.R. & FERREIRA, E.J.L. Degradação ambiental e erosão na margem do rio Acre na região central da cidade de Rio Branco, Acre. In: *Anais do VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*. Campina Grande/PB – 21 a 24/11/2016. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/VIII-043.pdf> Acesso em: 24 nov./2020.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. *Bioestatística: princípios e aplicações*. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CARVALHO, N.O. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CHRISTOFOLLETI, A. *Geomorfologia*. 2ª ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1981.

FLORENZANO, T.G. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

HIGGITT, D. L. Soil erosion and soil problems. *Progress in Physical Geography*, v. 1, nº15, p. 91-100, 1991.

LEPRUN, J. C. Influência da vegetação no escoamento de água em diferentes escalas nas regiões brasileiras. In: *Anais do 1º Simpósio Brasileiro de Pesquisa Florestal*. Belo Horizonte/MG, p. 280-298, 1993.

LEVENE, D. M.; STEPHAN, D. F.; KREHBIEL, T. C. & BERESON, M. *Estatística: Teoria e aplicações*. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MACÊDO, J.A.B. *Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas*. 2ª ed (atualizada e revisada). Belo Horizonte: Conselho Regional de Química-MG, 2003.

MAIA, M.S.O. *Zoneamento geotécnico do sítio urbano do município de Rio Branco/AC e seus arredores, para fins de planejamento com ênfase à expansão urbana, através de sensoriamento remoto*. 2003. 116 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP: Rio Claro/SP.

NASCIMENTO, D. C.; SILVA, C. R. & JONATO, P. Procedimentos *post hoc*: orientação para praticantes de estatística em ciências da saúde. *Arquivos de Ciências do Esporte*, v. 6, n. 2, p. 45-49, 2018.

PRUSKI, F. F. (ed.). *Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica*. Viçosa: Ed. UFV, 2006.

RHOADS, B.L. & THORN, C.E. (eds.). *The scientific nature of geomorphology*. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1996.

SAMMORI, T.; YUSOP, Z.; KASRAN, B.; NOGUCHI, S. & TANI, M. Suspended solids discharge from a small forested basin in the humid tropics. *Hydrological Processes*, v. 18, p. 721–738, 2004.

SANTOS, W.L. *O processo de urbanização e impactos ambientais em bacias hidrográficas: o caso do Igarapé Judia-Acre-Brasil*. 2005. 165f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação – Universidade Federal do Acre, Rio Branco.

SANTOS, W.L. *Dinâmica hidroecogeomorfológica em bacia de drenagem: efeitos do uso e ocupação da terra no sudoeste amazônico – Acre – Brasil*. 2013. 289f. (Tese de Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. IGC/UFMG.

SANTOS, W. L.; SILVA, P. M. & CRISOSTOMO, C. A. Análise da Dinâmica hidrossedimentológica do médio rio Acre: Investigação inicial do processo de assoreamento. In: *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, Fortaleza: UFC, 2019.

SANTOS, W.L.; AUGUSTIN, C.H.R.R. Water and sediment loss through runoff in areas of forest and pasture cover in southwestern Amazonia – Acre – Brazil. *Zeitschrift für Geomorphologie*, vol. 59, Suppl. 2, p. 023-039, 2015.

SANTOS, W. L.; ARAÚJO, E. S. Dinâmica Fluvial do Rio Acre: Transformações da Paisagem e Impactos a partir da Mineração de Areia. In: *Anais da Conferência da Terra: Fórum Internacional do Meio Ambiente*, João Pessoa/PB: Editora Universitária da UFPB, 2008. v. 1. p. 829-834.

SERRANO, R.O.P.; LUCIO, F.S.; XAVIER, G.B.; MOREIRA, J.G.V.; MESQUITA, A.A.; OLIVEIRA, A.D.; SANTOS, W.L.; PROLO JUNIOR, S.L. Variabilidade morfométrica dos sedimentos arenosos do rio Acre. In: CARVALHO, C.M; FURTADO, C.M; PROLO JUNIOR, S.L; ZAN, R.A. (Org.). *Ciência, Inovação e Tecnologia na Amazônia 2*. 1 ed. Rio Branco: Stricto Sensu, 2019, v. 1, p. 156-170.

SILVA, A.M; SCHULZ, H.E. & CAMARGO, P.B. *Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas*. São Carlos: Rima, 2003.

SILVA, M.T. *Efeitos do pulso de inundação sobre a estrutura da comunidade de peixes de um lago de meandro abandonado na Amazônia*. 2010. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais. Rio Branco-AC: Universidade Federal do Acre.

STEVAUX, J.C. & LATRUBESSE, E.M. *Geomorfologia Fluvial*. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A. & TEIXEIRA, W. G. *Manual de Métodos de Análises de Solo*. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.

VESTENA, L.R. *Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem*. 2008. 268f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC, Florianópolis.

WETZEL, R.G. *Limnologia*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1993.