

Rio Congo: Análise do fluxo de sedimentos suspensos em um megassistema multicanal na África Central

Congo River: Analysis of suspended sediment flux in a multichannel megasystem in Central Africa

Matheus Silveira de Queiroz*, Rogério Ribeiro Marinho**

*Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, matheussilveiradequeiroz@gmail.com

**Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, rogeo@ufam.edu.br

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v61i1.95541>

Resumo

Os mega rios tropicais desempenham um papel crucial na transferência de água e matéria para os oceanos. O rio Congo é o segundo maior do mundo em volume de água, desempenhando um papel significativo na exportação de água doce e sedimentos do continente para o Oceano Atlântico. Este artigo tem como objetivo analisar a variabilidade do fluxo de sedimentos suspensos do rio Congo no período entre 2005 e 2018. Foram utilizados dados da Concentração de Sedimentos Suspensos (CSS), descarga líquida e nível da água na estação de Brazzaville, que representa 97% da área da bacia, e dados de precipitação para toda a bacia. Foram estimadas a descarga sólida, produção específica de sedimentos e a taxa de denudação da bacia. A descarga líquida estimada foi $41\,268\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ para o período entre 1947 e 2023, com um regime fluvial do tipo bimodal, com pico de cheia no mês de dezembro e um pico secundário em maio. A média anual da CSS estimada para o rio Congo foi $27,20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Foi observada uma correlação moderada ($r = 0,48$) e fraca ($r = -0,26$) entre a CSS e a precipitação, e a CSS e o nível da água, respectivamente, possivelmente influenciada pelas características do terreno da bacia. Durante o ano, o rio Congo transfere para o oceano $33,66 \times 10^6\text{ ton}\cdot\text{ano}^{-1}$ de sedimentos, possui uma produção específica de sedimentos de $9,62\text{ ton}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{ano}^{-1}$ e uma taxa de denudação muito baixa ($3,37\text{ mm}\cdot\text{ky}^{-1}$).

Palavras-chave:

Concentração de Sedimentos Suspensos, Mega Rios, Rios Tropicais.

Abstract

Tropical mega rivers play a crucial role in transferring water and matter to the oceans. The Congo River is the second largest in the world by volume of water, playing a significant role in the export of fresh water and sediment from the continent to the Atlantic Ocean. This paper aims to analyze the variability of the suspended sediment flux of the Congo River between 2005 and 2018. Suspended Sediment Concentration (SSC), water discharge and water level data were used at the Brazzaville station, which represents 97% of the basin area, and precipitation data for the entire basin. Solid discharge, specific sediment yield and denudation rate of the basin were estimated. The

estimated water discharge was $41\,268\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ for the period between 1947 and 2023, with a bimodal river regime, with a flood peak in December and a secondary peak in May. The mean annual SSC estimated for the Congo River was $27.20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. A moderate ($r = 0.48$) and weak ($r = -0.26$) correlation was observed between SSC and precipitation, and SSC and water level, respectively, possibly influenced by the basin's terrain characteristics. During the year, the Congo River transfers $33.66 \times 10^6\text{ ton}\cdot\text{year}^{-1}$ of sediment to the ocean, has a specific sediment yield of $9.62\text{ ton}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{year}^{-1}$ and a very low denudation rate ($3.37\text{ mm}\cdot\text{ky}^{-1}$).

Keywords:

Suspended Sediment Concentration, Mega Rivers, Tropical Rivers.

I. INTRODUÇÃO

Os grandes rios tropicais são importantes sistemas de transferência de água e matéria para os oceanos. Quantificar a descarga líquida e sólida é essencial, pois esse é um componente que impacta o ciclo hidrológico e afeta diretamente o clima global (HARDING et al., 2011; LI et al., 2020). Um fator importante que afeta na dinâmica hidrossedimentar de um rio é o clima e, com as mudanças climáticas e as alterações no ciclo hidrológico, os sistemas fluviais estão cada vez mais sensíveis às alterações na sua morfodinâmica (HADDELAND et al., 2014). Portanto, é necessário entender a dinâmica atual do transporte de sedimentos suspensos para estimar os impactos das mudanças climáticas nos canais fluviais.

O fluxo de sedimentos para o oceano é um fator essencial do ciclo geoquímico global (WALLING; FANG, 2003; LI et al., 2020). A transferência de sedimentos também é importante para analisar os processos erosivos e a taxa de denudação global dos continentes (WALLING, 1987; ANDUALEM et al., 2023). Os ecossistemas terrestres (intra-bacia) e os marítimos também são diretamente influenciados pela disponibilidade hídrica e de sedimentos (DOLL et al., 2009), assim como as atividades antrópicas (KETTNER et al., 2010; BIEMANS et al., 2011; QUEIROZ et al., 2018). Cerca de 43% do fluxo total de carbono dissolvido da terra para os oceanos são transportados pelos canais fluviais (LUDWIG et al., 1996). Portanto, os grandes sistemas fluviais trabalham para a manutenção dos ecossistemas aquáticos e terrestres, bem como no suporte para atividades antrópicas, como a agropecuária, geração de energia, dentre outros.

A maioria dos mega rios, que possuem descarga líquida média anual superior a $17\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, apresentam um padrão de canal do tipo anabranching (LATRUBESSE, 2008), com rios entrecortados por ilhas estáveis (multicanal) (BRICE, 1984; LELI, 2015). Alguns exemplos são os rios Brahmaputra e o Yangtze na Ásia; Congo na África; e os principais rios da América do Sul, como o Amazonas, Orinoco, Paraná, Negro e Madeira. Esse padrão

de canal ocorre independentemente do clima ou ambiente geológico/geomorfológico da bacia (LATRUBESSE, 2008).

Os mega rios, devido ao elevado volume de água, são importantes na descarga sólida para os oceanos. Porém, os estudos sobre os processos que controlam o transporte de sedimentos suspensos dos mega rios para o oceano ainda são pouco compreendidos. O tamanho das bacias dificulta a quantificação desses processos com precisão na escala espacial e temporal (MOLLIEX et al., 2019). Os processos multicausais que controlam a produção de sedimentos (inclinação do canal, precipitação, temperatura, vegetação, textura do solo e suas variações espaciais na bacia) em grandes rios tornam difícil a mensuração da produção (PELLETIER, 2012). O rio Congo, localizado na África Central, é o segundo maior canal em descarga líquida do mundo, desempenhando um papel crucial nos ecossistemas marinho e terrestre da região tropical. Logo, é importante analisar a dinâmica hidrossedimentar atual deste rio para entender como mudanças ambientais e as atividades humanas, como desmatamento, mineração e construção de barragens, podem afetar esse processo de transporte de sedimentos e o aporte de água doce para o Oceano.

Este trabalho tem o objetivo de analisar e caracterizar a variabilidade histórica da concentração de sedimentos suspensos para o período entre 2005 e 2018 no rio Congo, África Central. Os resultados deste trabalho oferecem uma contribuição atualizada para o conhecimento nesta temática, além de complementar e corroborar trabalhos anteriores. Enriquecendo assim o campo de estudo e fornecendo uma base sólida para investigações futuras.

II. FIOGRAFIA DA BACIA DO CONGO

A bacia do rio Congo (Figura 1) é a segunda maior do planeta em área, com 3 700 000 km². Tem um canal de 4 374 km, o qual é o segundo maior em extensão do continente africano, atrás do rio Nilo (DEVROEY, 1951), e o segundo maior do mundo em volume de água, com uma descarga líquida da ordem de 40 000 m³.s⁻¹ (LATRUBESSE, 2008). O rio Congo forma em seu canal grandes arquipélagos, o que o caracteriza como um sistema anabranching altamente complexo (O'LOUGHLIN et al., 2013; STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). Essa bacia drena os países da República Democrática do Congo, Angola, Zâmbia, Tanzânia, Burundi, República Centro-Africana, Camarões e República do Congo (RUNGE, 2007). As características da drenagem do rio Congo fazem com que este canal seja o único no mundo a passar pela linha do Equador duas vezes. Além disso, a bacia drena cerca de 25% da área tropical úmida e insere cerca de 3,4% da água doce total no Oceano Atlântico (PROBST; TARDY, 1987).

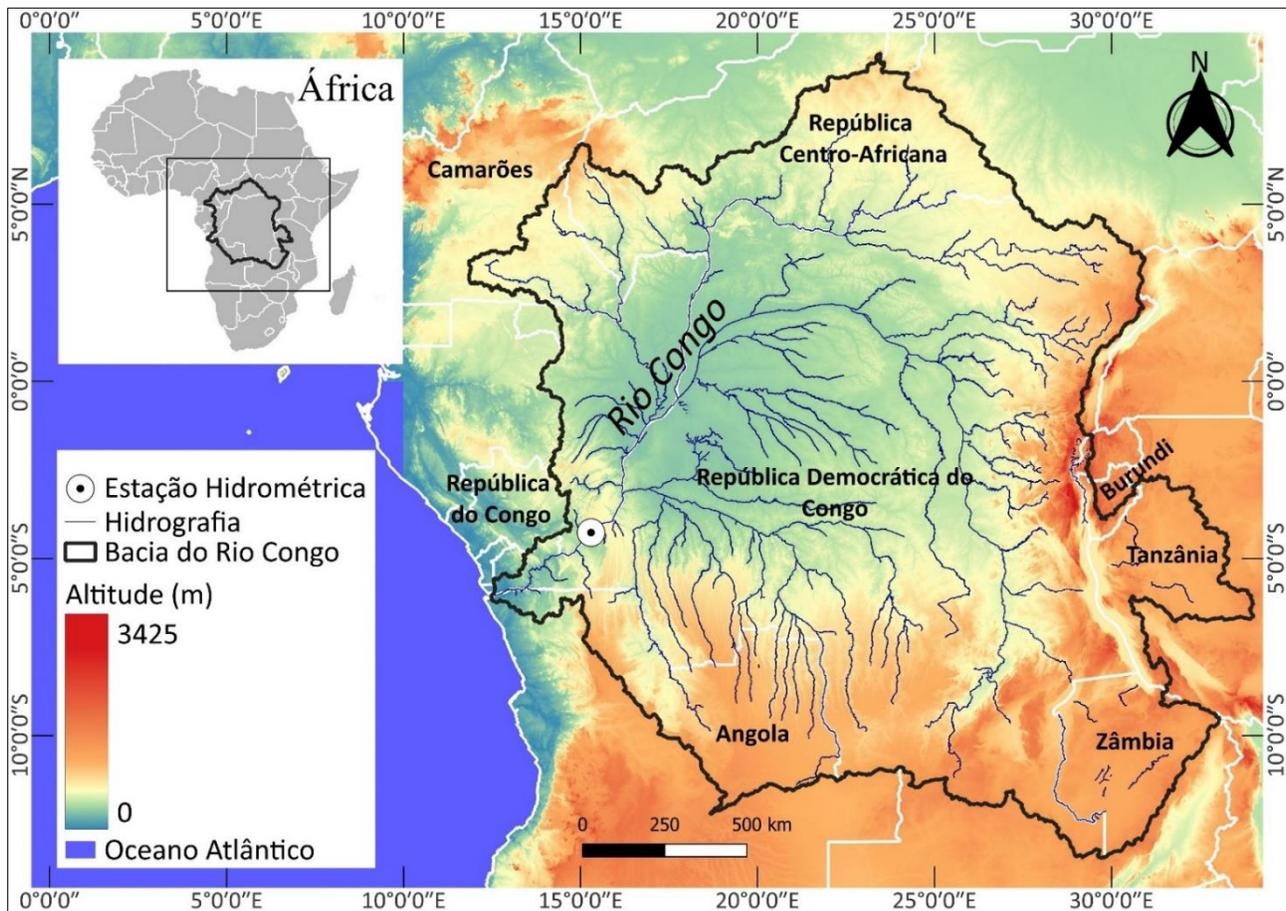


Figura 1 - Mapa de Localização, hidrografia e altimetria, bacia do rio Congo, África Central.

Fonte: Este Trabalho, 2024.

A bacia do Congo é cercada por um embasamento pré-cambriano (Escudo do Congo) (Figura 2), que inclui blocos cratônicos arqueanos e numerosos cinturões móveis (WIT; LINOL, 2014), essas rochas são profundamente intemperizadas (RANGE, 2007). Esse embasamento possui uma história geológica de 3,8 Ga com rochas ao longo de sua borda nordeste possivelmente tão antigas quanto 4,0 Ga, separados por numerosos cinturões móveis do Paleozoico a Neoproterozóico (WIT; LINOL, 2014). Os sedimentos Paleozoicos e Neoproterozóicos afloram na periferia da bacia (KADIMA et al., 2011). A área central da bacia apresenta baixas altitudes (entre 300 e 500 metros) e drena sedimentos Cenozoicos inconsolidados (RANGE, 2007). Essa região central é chamada de Cuvette Centrale.

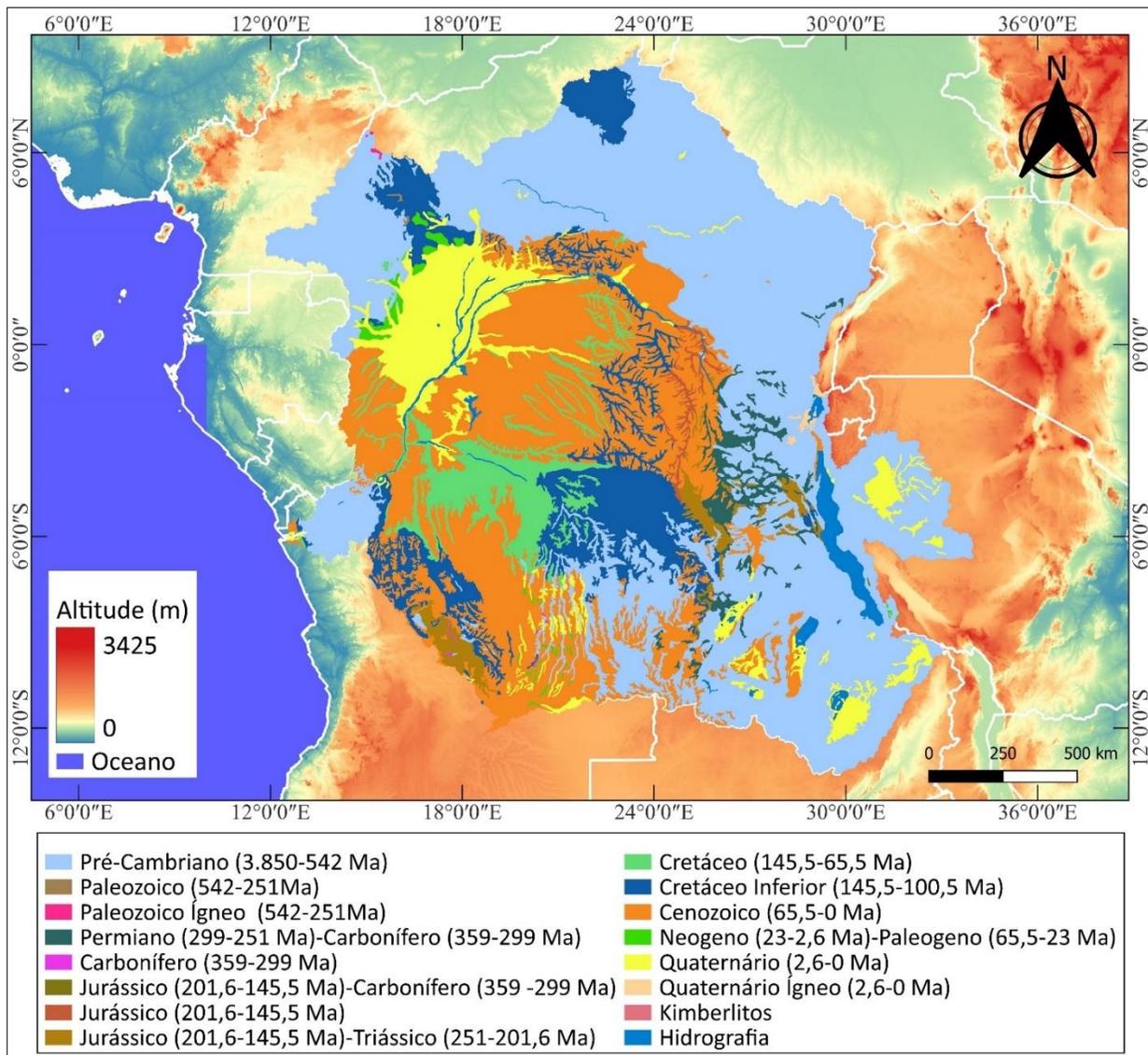


Figura 2 - Mapa Litológico da Bacia do rio Congo, África Central.

Fonte: Adaptado de United States Geological Survey, 2002.

O clima atual da bacia do rio Congo pode ser classificado como predominantemente tropical, quente e úmido (FLUGEL et al., 2015). Observa-se três zonas climáticas principais na bacia: 1) Na área central (em ambos os hemisférios, norte e sul) o clima é equatorial úmido; 2) Em latitudes mais altas é tropical úmido com estação de monções; 3) Nos limites norte e sul da bacia é tropical semiárido com uma estação seca (KOTTEK et al., 2006).

A região da bacia é cercada por colinas arredondadas de formações pré-cambrianas mesozoicas profundamente intemperizadas em uma vegetação de savana (RUNGE, 2007), sendo que menos de 44% da bacia é coberta por vegetação tropical (LARAQUE et al., 2020). A Cuvette Centrale é inundada durante o período chuvoso, fica quase sem água durante a estação seca e é uma região de deposição de sedimentos importante

(LARAQUE et al., 1998; MOLLIEUX et al., 2019). Essa característica forma no médio rio Congo uma grande área de vegetação inundada (KITAMBO et al., 2022; PARIS et al., 2022).

Os sedimentos/solos da bacia do Congo são afetados por deslocamentos tectônicos (DALY et al., 1991, 1992). A atividade sísmica da bacia indica que o embasamento cristalino não se comporta inteiramente como uma massa cratônica rígida (AYELE, 2002; DELVAUX; BARTH, 2010). A drenagem do rio Congo teve suas principais alterações no fim do Cenozoico e durante o Neogeno. Essas mudanças foram motivadas por controles estruturais, tectônica e processos fluviais ativos (FLUGEL et al., 2015).

A evolução da bacia do Congo durante o Cenozoico pode ser descrita, segundo Flugel et al. (2015), em dois modelos: 1) Uma alteração progressiva do depocentro dos rios Ogoué e Cuanza para o Congo em decorrência da captura da bacia endorreica do Congo no final do Cenozoico (BABONNEAU et al., 2002; ANKA et al. 2009); 2) Uma migração da rede de drenagem para o sul do sistema do rio Congo do Cretáceo para o Cenozoico (KARNER; DRISCOLL, 1999; NIBBELINK; BUDIHARDJO, 2002). No Neogeno, durante o inicial e médio Mioceno, houve grandes reorganizações na drenagem da parte central da bacia do Congo, que já drena para o sul. Já no Neogeno Tardio houve a estabilização do fluxo de água através das corredeiras inferiores do rio Congo que conecta o sistema ao Oceano Atlântico. Apenas no Quaternário (Pleistoceno) é estabelecida a atual morfologia do canal (drenagem passando duas vezes a linha do Equador) (FLUGEL et al., 2015).

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados dados de descarga líquida, nível da água para o período entre 1947 e 2023 e Concentração de Sedimentos Suspensos (CSS) para o período entre 2005 e 2018 da estação de Brazzaville (código = 50800000) disponibilizados pelo SO-HYBAM (<https://hybam.obs-mip.fr/>). O protocolo de coleta do SO-HYBAM se baseia nas recomendações do Programa GEMS/water do PNUMA (CHAPMAN, 1992), com coletas superficiais a cada 10 dias. A estação, situada a cerca de 500 km da foz, coleta informações do escoamento de 97% da bacia do Rio Congo, que possui uma área de drenagem de 3 700 000 km². Calculou-se a descarga sólida (Equação 1), a descarga sólida anual (Equação 2) e a produção de sedimentos específicos (Equação 3) do rio Congo.

$$Q_s = Q \times CSS \times 0.0864 \quad (1)$$

Em que: Q_s é a descarga sólida (em ton.dia⁻¹). Q é a descarga líquida (em m³.s⁻¹) observada na estação Brazzaville. CSS é a concentração de sedimentos suspensos. A constante 0,0864 é um fator de conversão para a unidade ton.dia⁻¹.

$$Q_{sa} = Q_s \times 365 \quad (2)$$

Em que: Q_{sa} é a média anual da descarga sólida (em $\text{ton}\cdot\text{ano}^{-1}$).

$$Q_{sp} = \frac{Q_{sa}}{A_b} \quad (3)$$

Em que: Q_{sp} é a produção de sedimentos específicos. A_b é a área de drenagem da estação de Brazzaville.

Foi estimada a taxa de denudação da bacia do rio Congo (Equação 4). A descarga sólida anual (Q_{sa}) foi convertida em volume de material removido pela razão entre o primeiro e a densidade da rocha ou solo. O valor da densidade utilizado foi proposto por Wittmann et al. (2011). A taxa de denudação foi obtida através da Equação 4:

$$L = \left(\frac{V}{A_b}\right)1000 \quad (4)$$

Em que: L é a taxa de denudação ($\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$), para obter o valor em $\text{mm}\cdot\text{ky}^{-1}$ multiplica-se o resultado por 1000. V é o volume de material removido ($\text{m}^3\cdot\text{ano}^{-1}$). A_b é a área da bacia (m^2).

Utilizou-se a série histórica do projeto CHIRPS v.2 (<https://www.chc.ucsb.edu/data/chpclim>) para estimar os dados de precipitação. O projeto foi desenvolvido para disponibilizar e espacializar dados climatológicos para áreas que possuem uma baixa densidade de estações convencionais, como a bacia do rio Congo. A série histórica analisada compreende o período entre 2005 e 2018, referente ao período de dados da CSS, calculada para toda a bacia do rio Congo. Os dados da CSS, nível da água, descarga líquida e precipitação foram avaliados por meio do coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de correlação de Pearson (r).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O regime do nível da água apresenta um comportamento bimodal, com o pico de cheia no mês de dezembro e um pico secundário em maio. Entre os meses de janeiro e março, há um decréscimo rápido. Porém, entre abril e maio, o nível apresenta um leve aumento, em junho, volta a diminuir. Os menores valores ocorrem no mês de agosto e a partir de setembro o nível volta a subir até o pico de cheia. A descarga líquida média anual para o período entre 1947 e 2023 foi estimada em $41\,268\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, com maior valor em dezembro ($56\,959\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) e menor valor observado em agosto ($31\,827\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) com uma amplitude de $25\,132\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (Figura 3). O regime de descarga líquida do rio Congo é relativamente regular, com uma baixa relação entre a descarga máxima e mínima anual e a descarga máxima e média ($Q_{\text{max}}/Q_{\text{min}} = 1,79$ e $Q_{\text{max}}/Q_{\text{médio}} = 1,38$).

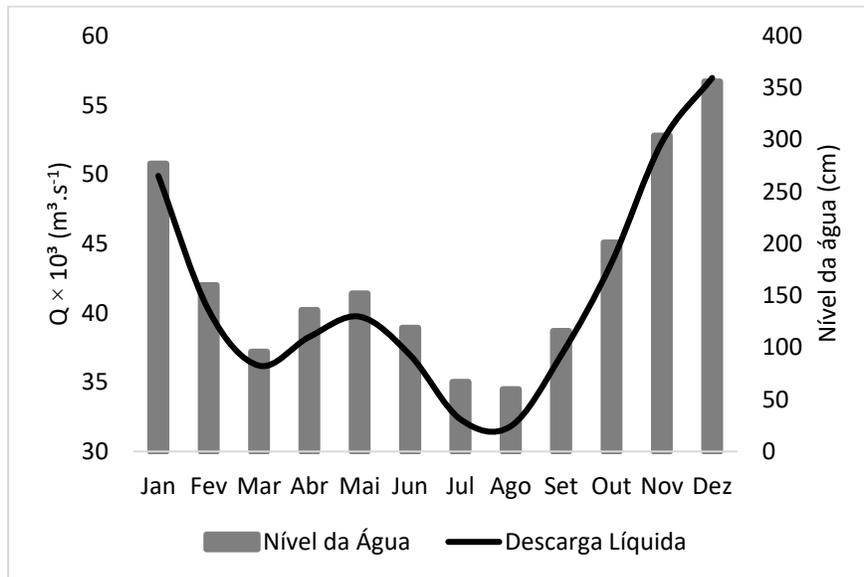


Figura 3 - Descarga Líquida e nível da água, estação de Brazzaville, período entre 1947 e 2023, rio Congo, África Central.
Fonte: Este Trabalho, 2024.

A precipitação anual na bacia do rio Congo é de $1\,513 \text{ mm} \cdot \text{ano}^{-1}$. A região apresenta um período seco bem definido entre os meses de junho e julho, com precipitação média de $72,33 \text{ mm} \cdot \text{mês}^{-1}$. O mês com a maior precipitação ocorre em outubro ($178,98 \text{ mm} \cdot \text{mês}^{-1}$) e a menor em junho ($71,99 \text{ mm} \cdot \text{mês}^{-1}$). Os meses mais chuvosos ocorrem entre outubro e abril, com média de $149,46 \text{ mm} \cdot \text{mês}^{-1}$ (Figura 4). O coeficiente de determinação (R^2 de 0,24) entre os dados de nível da água e a precipitação para o período entre 2004 e 2018 é baixo.

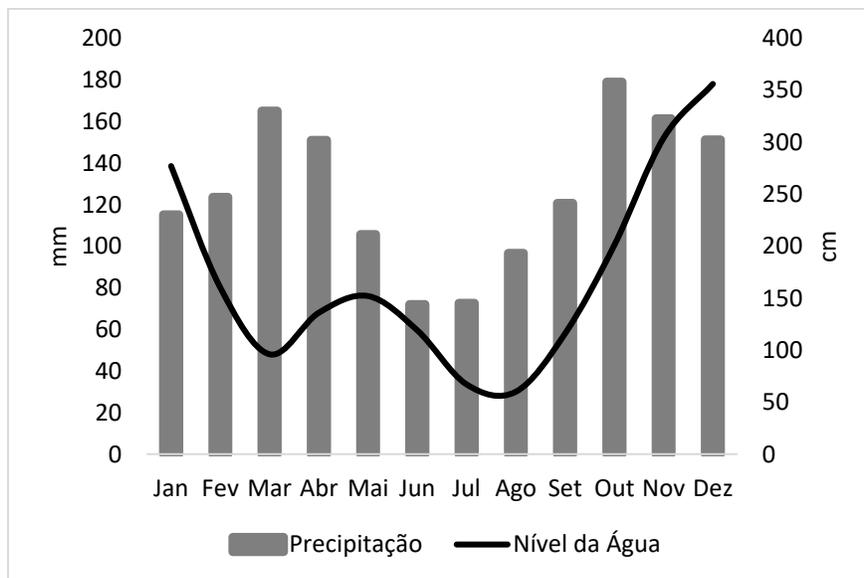


Figura 4 - Nível da água x precipitação, período entre 2005 e 2018, bacia do rio Congo, África Central.
Fonte: Este Trabalho, 2024.

A CSS média anual para o rio Congo entre 2005 e 2018 foi estimada em 27,20 mg.L⁻¹. As maiores concentrações ocorrem entre fevereiro (32,40 mg.L⁻¹) e abril (31,78 mg.L⁻¹) e a menor em janeiro (21,44 mg.L⁻¹) (Figura 5). A amplitude foi de 10,96 mg.L⁻¹, o desvio padrão foi 9,22 e o coeficiente de variação foi 33%. Não se observou um padrão claro na distribuição de sedimentos ao longo do ano hidrológico, visto que os meses de maior e menor concentração são consecutivos (janeiro e fevereiro). Os coeficientes de determinação entre os dados da CSS e o Nível da Água ($R^2 = 0,19$) e da CSS e de precipitação ($R^2 = 0,22$) foram baixos nas duas variáveis (Figuras 5a e 5b).

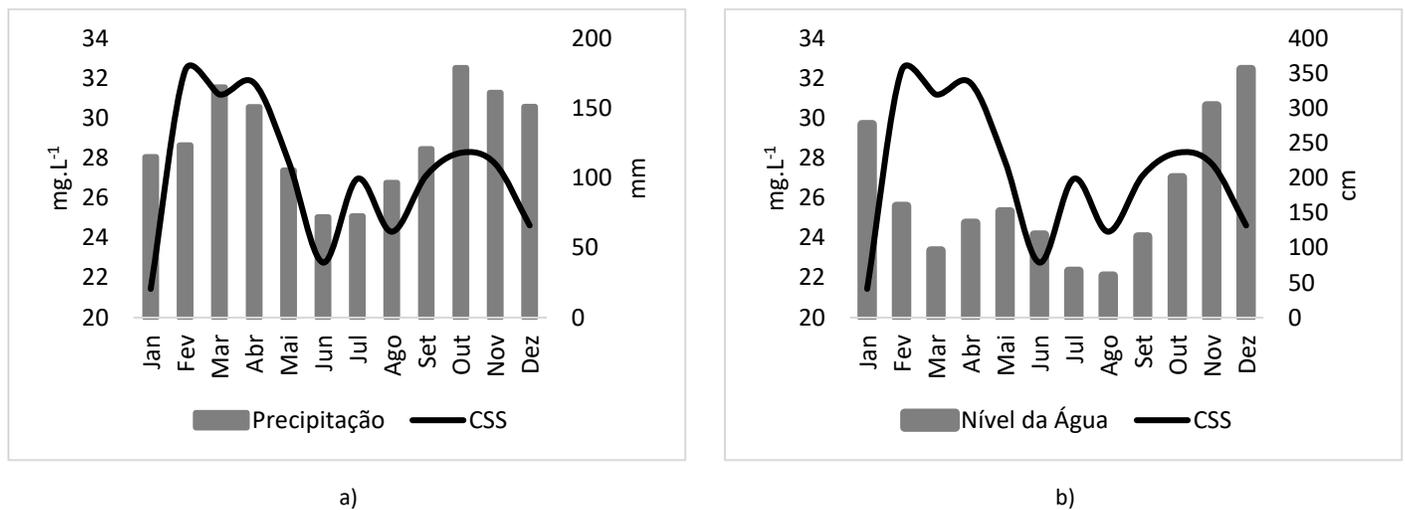


Figura 5 - CSS x Nível da Água (5a) e CSS x Precipitação (5b), período entre 2005 a 2018, rio Congo, África Central.
Fonte: Este Trabalho, 2024.

A descarga sólida (Q_s) mensal do rio Congo foi estimada em 92 222 ton.dia⁻¹. O mês com maior contribuição é dezembro, com 117 824 ton.dia⁻¹, e o menor é agosto, com 62 105 ton.dia⁻¹. A amplitude ($Q_{smax} - Q_{smin}$) é de 55 718 ton.dia⁻¹. Relacionando os dados de Q_s com a descarga líquida, observa-se um $R^2 = 0,66$, considerado entre moderado e bom (Figura 6). A descarga sólida anual (Q_{sa}) é de $33,66 \times 10^6$ ton.ano⁻¹ e a produção de sedimentos específicos (Q_{sp}) é de 9,62 ton.km⁻².ano⁻¹. A taxa de denudação da bacia do rio Congo foi estimada em 0,00337 mm.ano⁻¹ ou 3,37 mm.ky⁻¹.

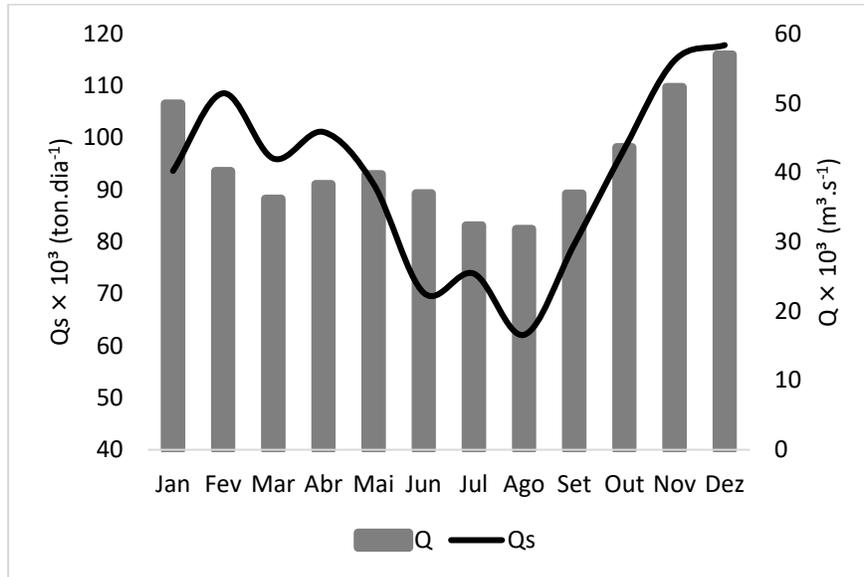


Figura 6 - Descarga sólida, período entre 2005 e 2018, rio Congo, África Central. Fonte: Este Trabalho, 2024.

A Figura 7 apresenta a correlação linear de Pearson entre as variáveis Q (descarga líquida), CSS (concentração de sedimentos suspensos), Qs (descarga sólida) e Nível da Água (em Brazzaville) e Precipitação (chuva). Figuras orientadas para direita e esquerda indicam correlação positiva e negativa, respectivamente.

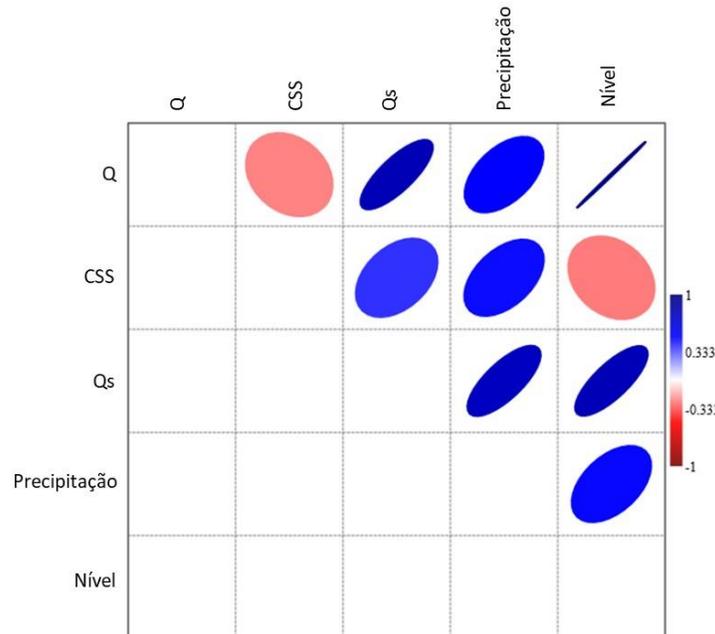


Figura 7 - Correlograma entre os dados médios mensais de vazão líquida, concentração de sedimentos suspensos, vazão sólida, Precipitação e Nível. Fonte: Este Trabalho, 2024.

O coeficiente de correlação entre Q e CSS foi de -0,24, indicando uma relação negativa fraca. Isso sugere que, quando a descarga líquida aumenta, a concentração de sedimentos suspensos tende a reduzir levemente.

Por outro lado, o coeficiente de correlação entre Q e Qs foi de 0,78, indicando uma relação direta forte. Isto significa que, quando a descarga líquida aumenta, a descarga sólida tende a aumentar. Essa relação pode ser explicada pelo fato de que, com o aumento da descarga líquida, o transporte de sedimentos suspensos também tende a ser maior. Nesta análise, a descarga líquida é a variável que melhor explica a variabilidade média mensal da CSS.

O coeficiente de correlação entre CSS e a precipitação é de 0,48, indicando uma relação positiva moderada. Isso sugere que, quando a precipitação aumenta, a concentração de sedimentos suspensos tende a aumentar. O coeficiente de correlação entre CSS e o Nível da Água é de -0,26, indicando uma relação negativa fraca. Isso sugere que, quando o nível do rio aumenta, a concentração de sedimentos suspensos tende a diminuir. Os maiores coeficientes de correlação entre Qs e precipitação e descarga líquida indicam uma relação positiva e forte entre essas variáveis.

O rio Congo em Brazzaville apresenta uma variabilidade de descarga líquida baixa ($Q_{max}/Q_{min} = 1,79$) assim como um regime de cheia baixo ($Q_{max}/Q_{médio} = 1,38$). Essa dinâmica é semelhante ao rio Amazonas em Óbidos ($Q_{max}/Q_{min} = 2,28$ e $Q_{max}/Q_{médio} = 1,36$). Porém, outros grandes rios tropicais, como o Orinoco ($Q_{max}/Q_{min} = 11,75$ e $Q_{max}/Q_{médio} = 2,10$), Madeira ($Q_{max}/Q_{min} = 7,34$ e $Q_{max}/Q_{médio} = 1,85$) e Negro ($Q_{max}/Q_{min} = 4,68$ e $Q_{max}/Q_{médio} = 1,92$), apresentam uma variabilidade e um regime maior em comparação ao Congo e o Amazonas (Figura 8).

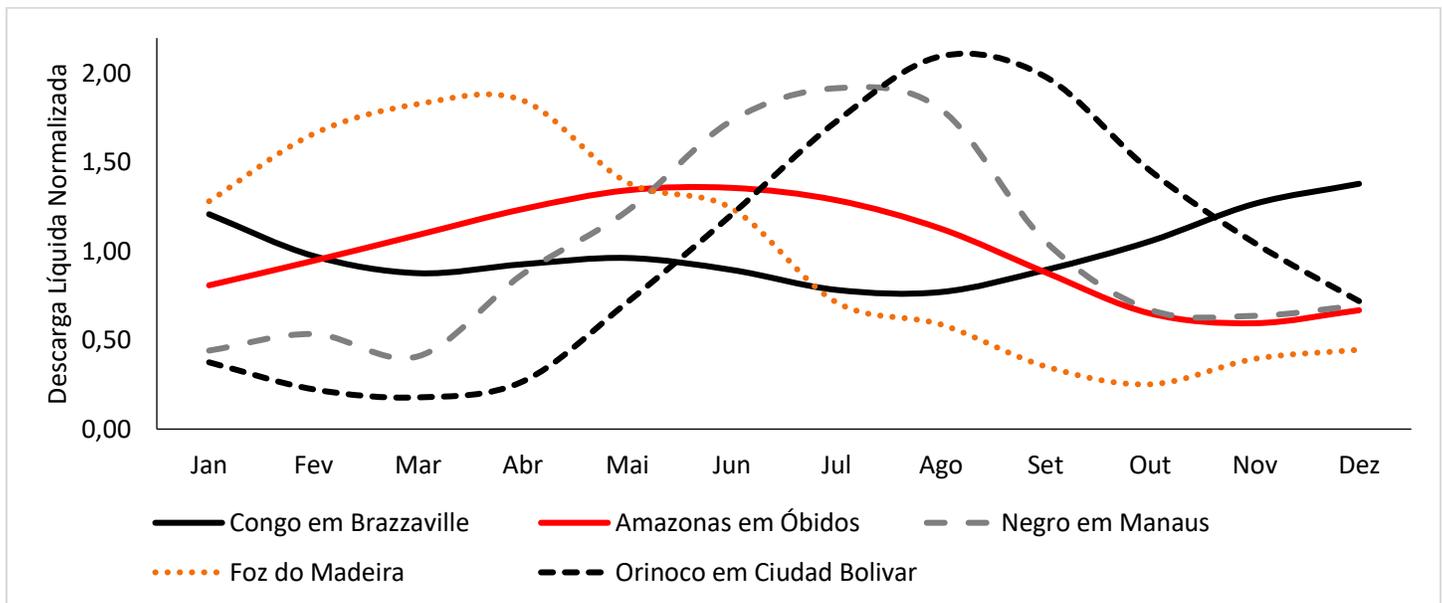


Figura 8 - Descarga Líquida Normalizada para alguns dos maiores rios do Mundo.
 Fonte: Dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico e SO-HYBAM. Este Trabalho, 2024.

Diversos trabalhos desde a década de 1940 analisaram a CSS do rio Congo (Tabela 1). Nesses estudos, a CSS variou entre 20 mg.L⁻¹ (BISSEMO et al., 2023) e 32 mg.L⁻¹ (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). O desvio padrão entre os dados é de 3,44 e o coeficiente de variação é de 13,14%. A pouca variabilidade entre os valores indica uma certa estabilidade da CSS na bacia do rio Congo nos últimos 75 anos.

Tabela 1 - Levantamento de diferentes dados de CSS, Qsa e Qsp para o rio Congo

CSS (mg.L ⁻¹)	Qsa × 10 ⁶ (ton.ano ⁻¹)	Qsp (ton.km ⁻² .ano ⁻¹)	Data	Fonte
24,98	28,94	8,15	1993	Laraque et al. (2009)
-	43	-	1990	Meade (1996)
	32,8	9	-	Latrubesse et al. (2005)
32	48	-	-	Stevaux e Latrubesse (2017)
23,99	-	-	1987-1993	Datok et al. (2021)
31,48	-	11,72	2000-2012	
-	32,8	9	-	Latrubesse (2008)
25,4	-	-	2006-2010	Laraque et al. (2013)
25,81	-	-	1987-1992	Laraque et al. (1993), Laraque e Olivry (1995)
-	47	13,16*	1948-1950	Devroey (1951)
-	31,2	8,9*	-	Gibbs (1967)
-	71,3	20,37*	-	Holleman (1968)
-	-	14,5	-	Holland (1978)
22,2-28,7	35-40	10-11,42	1978-1979	Molinier (1979)
-	40,56	11,35	-	Mouzeo (1986)
26,3	30,7	8,8	1990-1993	Coynel et al. (2005)
21,7	29,4**	8,41**	2009-2010	Spencer et al. (2016)
20-30	-	-	2013-2021	Bissemo et al. (2023)
27,2	-	-	2006-2017	Laraque et al. (2020)
27,2	33,76	9,62	2005-2018	Esse Trabalho (2024)

*Cálculos realizados considerando a área drenada pela estação de Brazzaville. **Cálculos realizados de acordo com as Equações 2 e 3.
Fonte: Este Trabalho, 2024.

Segundo Laraque et al. (2009), 55% da matéria transportada pelo rio Congo é proveniente do alto curso da bacia. O principal afluente da margem esquerda, o rio Kansai, contribui com 25% na produção de sedimentos na bacia. Os canais da margem direita contribuem com 20%, sendo o rio Ubangi (11%) o que mais contribui nesta margem. Grande parte da CSS transportada pela bacia do rio Congo é proveniente da erosão do Escudo do Congo.

Observa-se que as características hidrossedimentológicas do rio Congo diferem de outros mega rios tropicais, como os rios Madeira e Amazonas, com nascentes na cordilheira dos Andes, e o rio Brahmaputra, com nascentes na cordilheira do Himalaia. Esses rios normalmente transportam uma maior CSS devido a possuir terrenos mais recentes. Já os canais que drenam escudos cristalinos, como o Congo (Escudo do Congo na África) e Negro (Escudo da Guiana na América do Sul), drenam áreas muito intemperizadas e, portanto, transportam atualmente uma CSS menor em comparação aos rios com nascentes em cordilheiras da Amazônia e da Ásia. O

rio Orinoco na Venezuela, drena áreas do escudo das Guianas (terrenos mais antigos) e uma parte da cordilheira dos Andes (terrenos recentes), portanto apresenta uma CSS maior que os rios que drenam exclusivamente escudos cristalinos (Congo e Negro) (Tabela 2).

Tabela 2 - Características hidrossedimentares dos principais rios do mundo

Rio	Drenagem (10 ³ km ²)	Q (m ³ .s ⁻¹)	CSS (mg.L ⁻¹)	Qsa × 10 ⁶ (ton.ano ⁻¹)	Qsp (ton.km ⁻² .ano ⁻¹)
Amazonas (América do Sul)	6150	209 000 (a)	140	~1000	166,7
Congo(b) (África)	3500	41 268	27,2	33,76	9,62
Orinoco (América do Sul)	990	33 910(b)	73,9(c)	74(c)	88,5(c)
Negro (d) (América do Sul)	700	31 527(b)	5,28	5,76	8
Madeira (e) (América do Sul)	1360	27 612(b)	25-622(f)	450	330,90
Brahmaputra (Ásia)	610	20 000	1 719	520 (e)	852,4 (e)

(a) Molinier et al. (1996). (b) Este Trabalho (2024). (c) Laraque et al. (2013). (d) Marinho et al. (2022). (e) Latrubesse et al. (2005). (f) Villar et al. (2013).

Fonte: Adaptado de Stevaux e Latrubesse, 2017; Este Trabalho, 2024.

A bacia do rio Negro apresenta uma taxa de denudação de 0,04 mm.ano⁻¹ (WITTMANN et al., 2011), considerada uma das menores entre os grandes rios do mundo, porém estimamos que a taxa da bacia do rio Congo é ainda menor (0,00337 mm.ano⁻¹). Nos rios com nascentes na cordilheira dos Andes, a diferença é mais significativa: rio Amazonas em Óbidos (0,20 mm.ano⁻¹), rio Madeira próximo à foz (0,21 mm.ano⁻¹) (WITTMANN et al., 2011). No entanto, as diferenças nos métodos, na área da bacia e nos períodos analisados limitam as comparações diretas. Segundo Gaillardet et al. (1995), a intensidade da denudação química é importante na bacia do Congo, porém, mesmo considerando a desnudação de silicato química e mecânica, os valores ainda são baixos (5 mm.ky⁻¹). Isso significa que, atualmente, entre as grandes bacias de rios tropicais, a taxa de denudação da bacia do rio Congo é a menor.

Os rios Congo, na África, e negro, na bacia Amazônica, apresentam uma morfologia de canal semelhante. Ambos drenam terrenos antigos, possuem baixa carga de material suspenso, com predominância de sedimentos de fundo e um intrincado padrão anabranching (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). Observa-se que nos dois rios a relação entre CSS e precipitação apresenta baixo coeficiente de determinação (R² = 0,22, rio Congo, e R² = 0,16, rio Negro) e uma correlação moderada (r = 0,48, rio Congo, e r = -0,40, rio Negro) (Figura 9a, 9b), porém no caso do rio Negro essa relação é negativa. Já os rios de origem Andina apresentam boa correlação da CSS e precipitação (R² = 0,79 e r = 0,89, nos rios Amazonas e Madeira), o que pode indicar que o regime de chuva e de transporte de sedimento suspenso são variáveis dependentes (Figura 9c, 9d). Provavelmente, a correlação nos rios Congo e Negro é menor devido aos canais drenarem terrenos antigos e muito intemperizados.

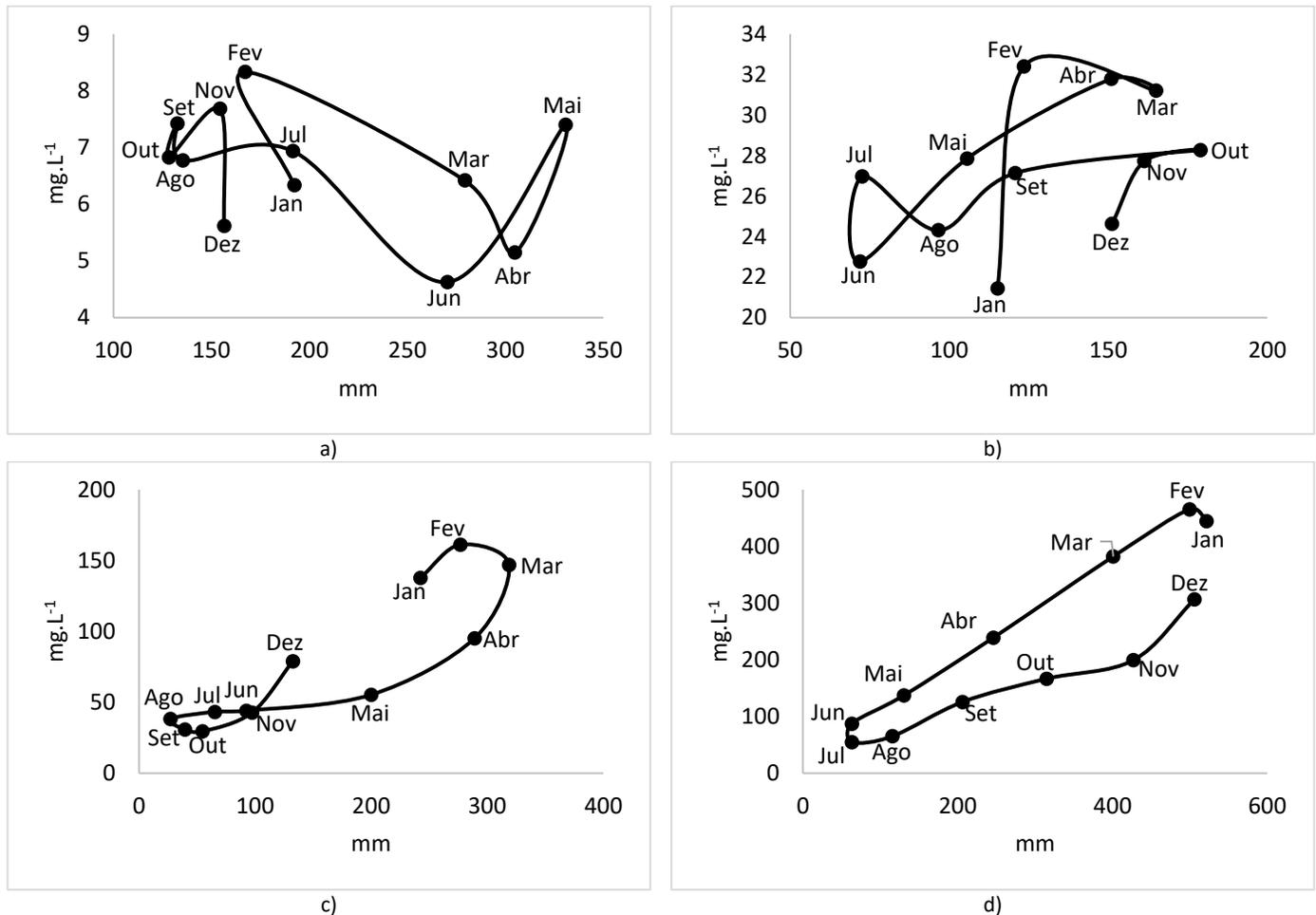


Figura 9 - CSS x Precipitação em mega rios. a: Estação de Serrinha (rio Negro). b: Estação de Brazzaville (rio Congo). c: Estação de Óbidos (rio Amazonas). d: Estação de Fazenda Vista Alegre (rio Madeira).

Fonte: Dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, SO-HYBAM e Chirps. Este Trabalho, 2024.

Os rios Congo e Negro, por serem canais anabranching mega complexos, apresentam grandes sistemas de arquipélagos estáveis. No rio Negro, há os arquipélagos de Anavilhanas e Mariuá, no baixo e médio curso, respectivamente. O primeiro possui mais de 400 ilhas e o segundo mais de 1400, os trechos dos dois arquipélagos apresentam um índice anabranching que varia de médio para alto, atestando a complexidade do canal (MARINHO et al., 2021; QUEIROZ, 2022).

No rio Congo, os sistemas de ilhas são menores, porém ainda apresentam uma alta complexidade e estão localizados principalmente no médio curso. O'Loughlin et al. (2013) analisaram a quantidade de ilhas no médio rio Congo em um intervalo de 10 km e determinaram que o número em cada trecho raramente é superior a 50, com trechos com nenhuma ilha mapeada. Isto difere do rio Negro, que apresenta em seu médio curso mais de 1400 ilhas e um vale com maior acomodação para sedimentos (QUEIROZ, 2022). Porém, a CSS atual não parece

ser suficiente para formar os sistemas de arquipélagos, conforme observaram Marinho et al. (2020) para o rio Negro. Portanto, indica-se que no passado o rio Congo transportava mais sedimentos que atualmente.

Conforme Flugel et al. (2015), as características da drenagem atual do rio Congo se desenvolveram entre o fim do Neogeno e o início do Quaternário. Durante o Neogeno houve um aumento da deposição de sedimentos terrígenos na região costeira, sustentado por um soerguimento durante o Mioceno (aumento da erosão) e corroborado por uma mudança climática (LAVIER et al., 2001; SERANNE et al., 2008). Antes do estabelecimento da atual drenagem, o rio Congo podia transportar mais sedimentos, o que contribuiu com a estabilização da drenagem e morfologia do canal ao longo do tempo.

No rio Congo, as mudanças climáticas e a cobertura do solo (vegetação) são os principais fatores que controlam o fornecimento de água e de sedimentos para o oceano. Nos últimos 185 ky a descarga líquida variou conforme os períodos climáticos, com um range de 40 000 a 50 000 m³.s⁻¹ em média nos estágios quentes (Estágios de Isótopos Marinhas – MIS 1, 5a, 5c, 5e) e uma média em torno de 35 000 m³.s⁻¹ nos estágios frios (MIS 2, 4, 6) (MOLLIEX et al., 2019).

Molliex et al. (2019) observaram uma correlação negativa entre a descarga líquida e o fornecimento de sedimentos nos últimos 185 Ky, abrangendo o quaternário. Isto corrobora com a baixa correlação atual. O fornecimento de sedimentos parece ser mais sensível às alterações na vegetação do que às mudanças climáticas, podendo ter variações de até 30% entre as fases pós-glaciais e os dados atuais (MOLLIEX et al., 2019). O aumento do desmatamento recente na bacia do Congo pode impactar diretamente na produção de sedimentos transportados para o oceano. Na bacia do rio Congo, entre 1990-2000 e 2000-2005, houve uma duplicação do desmatamento, passando de 240 000 ha.ano⁻¹ para 480 000 ha.ano⁻¹. Apesar de a perda anual da cobertura vegetal da bacia do rio Congo ser menor que em outras regiões de floresta tropical, as taxas de variação anual de desmatamento apresentam uma tendência de crescimento (ERNST et al., 2013).

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Congo é o segundo maior rio do mundo em volume de água, com uma descarga líquida média anual da ordem de 41 268 m³.s⁻¹ e uma amplitude entre os períodos de águas baixas e altas de 25 132 m³.s⁻¹. O rio Congo possui uma grande importância na transferência de água para o oceano Atlântico, onde nos meses de águas altas podem transferir em média até 56 959 m³.s⁻¹ (dezembro). Além disso, o regime de descarga líquida do rio Congo é relativamente regular, com baixa variação entre a descarga máxima e mínima anual, bem como entre a descarga máxima e média.

A Concentração de Sedimentos Suspensos anual para o rio Congo é de 27,20 mg.L⁻¹, considerada baixa se comparada com outros mega rios. Isto ocorre devido à bacia drenar terrenos mais antigos e bastante intemperizados, semelhante ao que ocorre no rio Negro, na América do Sul. A taxa de denudação atual é uma das menores do mundo (0,00337 mm.ano⁻¹).

Há uma relação direta moderada entre Precipitação e CSS e uma relação fraca entre o Nível da Água e a CSS, o que pode estar relacionado ao tipo de terreno drenado pela bacia. Durante o ano, o rio Congo transfere para o oceano um volume de sedimentos da ordem de 33,66 × 10⁶ ton.ano⁻¹ e possui uma produção específica de sedimentos de 9,62 ton.km⁻².ano⁻¹. Os dados de CSS observados desde a década de 1940 indicam que não houve uma variação significativa nos últimos 75 anos, indicando certa estabilidade deste mega sistema fluvial. Porém, o aumento do desmatamento na bacia nos últimos anos pode causar mudanças no regime de CSS da bacia.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001 pela bolsa de doutorado do primeiro autor e ao Programa HYBAM.

VI. REFERÊNCIAS

- ANDUALEM, T. G.; HEWA, G. A.; MYERS, B. R.; PETERS, S.; BOLAND, J. Erosion and Sediment Transport Modeling: A Systematic Review. *Land*, v. 12, n. 7, 1396, 2023.
- ANKA, Z.; SE´RANNE, M.; LOPEZ, M.; SCHECK-WENDEROTH, M.; SAVOYE, B. The long-term evolution of the Congo deep-sea fan: a basin-wide view of the interaction between a giant submarine fan and a mature passive margin (ZaiAngo project). *Tectonophysics*, v. 470, pp. 42–55, 2009.
- AYELE, A. Active compressional tectonics in central Africa and implications for plate tectonic models: evidence from fault mechanism studies of the 1998 earthquakes in the Congo Basin. *J. Afr. Earth Sci.*, v. 35, pp. 45-60, 2002.
- BABONNEAU, N.; SAVOYE, B.; KLEIN, B. Morphology and architecture of the present canyon and channel system of the Zaire deep-sea fan. *Mar Petrol Geol*, v. 19, pp. 445–467, 2002.
- BIEMANS, H.; HADDELAND, I.; KABAT, P.; LUDWIG, F.; HUTJES, R. W. A.; HEINKE, J.; VON BLOH, W.; GERTEN, D. Impact of reservoirs on river discharge and irrigation water supply during the 20th century. *Water Resour. Res.* v. 47, 2011.
- BISSEMO, G.; YEPEZ, S.; MOUKANDI, G. D.; BERMUDEZ, M., LEVY, A., GUALTIERI, C. Observations about hydrodynamics and sediment transport in the Congo River. 40 th IAHR World Congress, IAHR, Vienne, Austria, 2023. fahal-04162133

- BRICE, J. C. Planform properties of meandering rivers. In ELLIOT, C. M. (Org.). Proceedings of the Conference - Rivers '83, American Society of Civil Engineers, New Orleans, 1984.
- CHAPMAN, D. Water Quality Assessments-A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. Second Edition. London, 1992, 651p.
- COYNEL, A.; SEYLER, P.; ETCHEBER, H.; MEYBECK, M.; ORANGE, D. Spatial and seasonal dynamics of total suspended sediment and organic carbon species in the Congo River. *Global Biogeochem. Cycles*, v. 19, 2005.
- DALY, M. C.; LAWRENCE, S. R.; DIEMU-THIBAND, K.; MATOUANA, B. Tectonic evolution of the Cuvette Centrale, Zaire. *J. Geol. Soc. Lond.*, v. 149, pp. 539-546, 1992.
- DALY, M. C.; LAWRENCE, S. R.; KIMUN'A, D.; BINGA, M. Late Paleozoic deformation in central Africa: a result of distant collision? *Nature*, V. 350, pp. 605-607, 1991.
- DATOK, P.; SAUVAGE, S.; FABRE, C.; LARAQUE, A.; OUILLON, S.; MOUKANDI N'KAYA, G.; SANCHEZ-PEREZ, J. M. Sediment Balance Estimation of the 'Cuvette Centrale' of the Congo River Basin Using the SWAT Hydrological Model. *Water*, v. 13, 2021.
- DELVAUX, D.; BARTH, A. African stress pattern from focal inversion of focal mechanism data. Implications for rifting dynamics. *Tectonophysics*, v. 482, pp. 105-128, 2010.
- DEVROEY, E. J. Observations Hydrographiques au Congo Belge et au Ruanda-Urundi (1948-1950). Institut Royal Colonial Belge, Section des Sciences Techniques, 1951.
- DOLL, P.; FIEDLER, K.; ZHANG, J. Global-scale analysis of river flow alterations due to water withdrawals and reservoirs. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 13, pp. 2413–2432, 2009.
- ERNST, C.; MAYAUX, P.; VERHEGGHEN, A.; BODART, C.; CHRISTOPHE, M.; DEFOURNY, P. National Forest cover change in Congo Basin: deforestation, reforestation, degradation and regeneration for the years 1990, 2000 and 2005. *Glob. Change Biol.*, v. 19, pp. 1173–1187, 2013.
- FLUGEL, T. J.; ECKARDT, F. D.; COTTERILL, F. P. The present day drainage patterns of the Congo river system and their Neogene evolution. In WIT, M.J.; GUILLOCHEAU, F.; WIT, M.C. (Orgs.). *Geology and resource potential of the Congo basin*. Springer, pp. 315–337, 2015.
- FRASSON, R. P. M.; PAVELSKY, T. M.; FONSTAD, M. A.; DURAND, M. T.; ALLEN, G. H.; SCHUMANN, G.; LION, C.; BEIGHLEY, E.; YANG, X. Global Relationships Between River Width, Slope, Catchment Area, Meander Wavelength, Sinuosity, and Discharge. *Geophysical Research Letters*, v. 46, pp. 3252–3262, 2019.
- GAILLARDET, J.; DUPRÉ, B.; ALLÉGRE, C. J. A global geochemical mass budget applied to the Congo basin rivers: Erosion rates and continental crust composition. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, V. 59, n. 17, pp. 3469-3485, 1995.
- GIBBS, R. I. The geochemistry of the Amazon River systems. Part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. *Bull. Geol. Soc.*, v. 73, pp. 1203-1282, 1967.
- HADDELAND, I.; HEINKE, J.; BIEMANS, H.; EISNER, S.; FLÖRKE, M.; HANASAKI, N.; KONZMANN, M.; LUDWIG, F.; MASAKI, Y.; SCHEWE, J.; STACKE, T. Global water resources affected by human interventions and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 111, pp.3251-3256, 2014.

HARDING, R.; BEST, M.; BLYTH, E.; HAGEMANN, S.; KABAT, P.; TALLAKSEN, L. M.; WARNAARS, T.; WIBERG, D.; WEEDON, G. P.; VAN LANEN, H.; LUDWIG, F.; HADDELAND, I. WATCH: current knowledge of the terrestrial global water cycle. *J. Hydrometeorol.*, v. 12, pp. 1149–1156, 2011.

HOLLAND, D. H. The chemistry of atmosphere and oceans. CViley-Intersciences Publ., Chichester, New York, 1978, 351 pp.

HOLLEMAN, J. N. The sediment yield of major rivers of the world. *Wat. Resour. Res.*, v. 4, pp. 737- 747, 1968.

KARNER, G. D.; DRISCOLL, N. W. Tectonic and stratigraphic development of the West African and eastern Brazilian margins: insights from quantitative basin modelling. In: CAMERON, N.R.; BATE, R.H.; CLURE, V.S. (Orgs.) The oil and gas habitats of the South Atlantic, vol 153. Geological Society, London, pp. 11–40, 474 (Special Publications), 1999

KETTNER, A. J.; RESTREPO, J. D.; SYVITSKI, J. P. M. A spatial simulation experiment to replicate fluvial sediment fluxes within the Magdalena River, Colombia. *J. Geol.*, v. 118, pp. 363–379, 2010.

KITAMBO, B.; PAPA, F.; PARIS, A.; TSHIMANGA, R. M.; CALMANT, S.; FLEISCHMANN, A. S.; FRAPPART, F.; BECKER, M.; TOURIAN, M. J.; PRIGENT, C.; ANDRIAMBELOSON, J. A combined use of in situ and satellite-derived observations to characterize surface hydrology and its variability in the Congo River basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 26, pp. 1857–1882, 2022.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Koppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, v. 15, pp. 259-263, 2006.

LARAQUE, A.; BRICQUET, J. P.; OLIVRY, J. C.; BERTHELOT, M. Transport Solides et dissous du fleuve Congo (Bilan de six années d'observations). In: OLIVRY, J.C.; BOULÈGUE, J. (Orgs.). Grands bassins fluviaux périalatitiques: Congo, Niger, Amazone. Coll Sém, pp. 133–145, ORSTOM, Paris, 1993.

LARAQUE, A.; BRICQUET, J. P.; PANDI, A.; OLIVRY, J. C. A review of material transport by the Congo River and its tributaries. *Hydrol. Process.*, v. 23, pp. 3216–3224, 2009.

LARAQUE, A.; CASTELLANOS, B.; STEIGER, J.; LÒPEZ, J. L.; PANDI, A.; RODRIGUEZ, M.; ROSALES, J.; ADÈLE, G.; PEREZ, J.; LAGANE, C. A comparison of the suspended and dissolved matter dynamics of two large inter-tropical rivers draining into the Atlantic Ocean: The Congo and the Orinoco. *Hydrol. Process.*, v. 27, pp. 2153–2170, 2013.

LARAQUE, A.; MOUKANDI N'KAYA, G. D.; ORANGE, D.; TSHIMANGA, R.; TSHITENGE, J. M.; MAHÉ, G.; NGUIMALET, C. R.; TRIGG, M. A.; YEPEZ, S.; GULEMVUGA, G. Recent Budget of Hydroclimatology and Hydrosedimentology of the Congo River in Central Africa. *Water*, v. 12, 2020.

LARAQUE, A.; OLIVRY, J. C. Evolution de l'hydrologie de CongoZaïre et de ses tributaires rive droite et dynamique de ses transports solides et dissous. *Hydrologie Tropicale: Géoscience et Outil Pour le Développement*. Proceedings from the Paris Conference, IAHS 238. IAHS, pp. 271–288, 1995.

LARAQUE, A.; POUYAUD, B.; ROCCHIA, R.; ROBIN, R.; CHAFFAUT, I.; MOUTSAMBOTE, J. M.; MAZIEZOULA, B.; CENSIER, C.; ALBOUY, Y.; ELENGA, H.; ETCHEBER, H.; DELAUNE, M.; SONDAG, F.; GASSE, F. Origin and function of a closed depression in equatorial humid zones: the lake Tele in north Congo. *J. Hydrol.*, v. 207, pp. 236-253, 1998.

LATRUBESSE, E. M. Patterns of anabranching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers. *Geomorphology*, v. 101, pp. 130–145, 2008.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; SINHA, R. Tropical Rivers. *Geomorphology*, v. 70, pp.187–206, 2005.

LAVIER, L. L.; STECKLER, M. S.; BRIGUAD, F. Climate and tectonic control on the Cenozoic evolution of the West African margin. *Mar Geol*, v. 178, pp. 63–80, 2001.

LEHNER, B.; GRILL G. Global River hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems. *Hydrological Processes*, v. 27, pp. 2171–2186, 2013.

LI, L.; NI, J.; CHANG, F.; YUE, Y.; FROLOVA, N.; MAGRITSKY, D.; BORTHWICK, A. G. L.; CIAIS, P.; WANG, Y.; ZHENG, C.; WALLING, D. E. Global trends in water and sediment fluxes of the world's large rivers. *Science Bulletin*, v. 65, pp. 62-69, 2020.

LUDWIG, W.; PROBST, J. L.; KEMPE, S. Predicting the oceanic input of organic carbon by continental erosion. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 10, pp. 23 – 41, 1996.

MARINHO, R. R.; FILZIOLA, N. P.; MARTINEZ, J. M.; HARMEL, T. Suspended sediment transport estimation in Negro River (Amazon Basin) using MSI/Sentinel-2 data. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, [S. l.], v. 23, n. 1, 2022.

MARINHO, R. R.; FILIZOLA JUNIOR, N. P.; CREMON, É. H. Analysis of Suspended Sediment in the Anavilhanas Archipelago, Rio Negro, Amazon Basin. *Water*, 12, 1073, 2020.

MARINHO, R. R.; ZANIN, P. R.; FILIZOLA, N. P. The Negro River in the Anavilhanas Archipelago: streamflow and geomorphology of a complex anabranching system in the Amazon. *EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS*, v. 47, p. 1-16, 2021.

MEADE, R. River–sediment inputs to major deltas. In: MILLIMAN, J.; HAQ, B.U. (Orgs.). *Sea Level Rise and Coastal Subsidence*. Kluwer Academic Publishers, pp. 63 – 85, 1996.

MOLINIER, M. Note sur les débits et la qualité des eaux du Congo à Brazzaville. *Cah. ORSTOM, sérHydrol*. XVI(1), pp. 55-66, 1979.

MOLINIER, M.; GUYOT, J. L.; OLIVEIRA, E.; GUIMARÃES, V. Les Régimes Hydrologiques de L'amazone et de ses Affluents. In: Chevallier, P.; Pouyaud, B. (Eds.) *L'hydrologie Tropicale: Géoscience et Outil Pour le Développement*. Paris, IAHS, pp. 209-222, 1996.

MOLLIEX, S.; KETTNER, A. J.; LAURENT, D.; DROZ, L.; MARSSET, T.; LARAQUE, A.; RABINEAU, M.; MOUKANDI N'KAYA, G. D. Simulating sediment supply from the Congo watershed over the last 155 ka. *Quat. Sci. Rev.*, v. 203, pp. 38-55, 2019.

MOUZEO, K. Transport particulaire actuel du fleuve Congo et quelques affluents: enregistrement Quaternaire dans l'éventail detritique profond (sédimentologie, minéralogie et géochimie). Thèse Doc. Univ. Perpignan, 1986.

NIBBELINK, K.; BUDIHardjo, S. Paleo-Congo River Fan in Northern Gabon. AAPG annual meeting, Houston, USA, 2002.

O'LOUGHLIN, F.; TRIGG, M. A.; SCHUMANN, G. J. P.; BATES, P. D. Hydraulic characterization of the middle reach of the Congo River. *WATER RESOURCES RESEARCH*, v. 49, pp. 5059–5070, 2013.

PARIS, A.; CALMANT, S.; GOSSET, M.; FLEISCHMANN, A. S.; CONCHY, T. S. X.; GARAMBOIS, P. A.; BRICQUET, J. P.; PAPA, F.; TSHIMANGA, R. M.; GUZANGA, G. G.; SIQUEIRA, V. A.; TONDO, B. L.; PAIVA, R.; DA SILVA, J. S.; LARAQUE, A. Monitoring Hydrological Variables from Remote Sensing and Modeling in the Congo River Basin, in: TSHIMANGA, R. M.; N'KAYA, G. D. M.; ALSDORF, D. (Eds.). *Congo Basin Hydrology, Climate, and Biogeochemistry*. AGU, 2022,

- PELLETIER, J. D. A. Spatially distributed model for the long-term suspended sediment discharge and delivery ratio of drainage basins. *J. Geophys. Res.*, v. 117. 2012. [http:// dx.doi.org/10.1029/2011JF002129](http://dx.doi.org/10.1029/2011JF002129) (F02028)
- PROBST, J. L.; TARDY, Y. Long-range streamflow and world continental runoff fluctuations since the beginning of this century, *J. Hydrol.*, v. 94, pp. 289–311, 1987.
- QUEIROZ, M. S. Dinâmica Geomorfológica do Complexo Fluvial de Mariuá, Rio Negro, Bacia Amazônica. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.
- QUEIROZ, M. S.; SOARES, A. P. A; TOMAZ NETO, A. G. Comunidades rurais ribeirinhas e as águas do rio Solimões no município de Iranduba – Amazonas. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.4, n.1.108-119, 2018.
- RUNGE, J. The Congo River, Central Africa. In Gupta, A (Org.). *Large rivers: Geomorphology and management*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 293-309, 2007.
- SERANNE, M.; BRUGUIER, O.; MOUSSAVOU, M. U-Pb single zircon grain dating of present fluvial and Cenozoic aeolian sediments from Gabon: consequences on sediment provenance, reworking, and erosion processes on equatorial West African margin. *Bulletin de la Société géologique de France*, v. 179, n. 1, pp. 29–40, 2008.
- SPENCER, R. G. M.; HERNES, P. J.; DINGA, B.; WABAKANGHANZI, J. N.; DRAKE, T. W.; SIX, J. Origins, seasonality, and fluxes of organic matter in the Congo River. *Glob. Biogeochem. Cycles*, v. 30, 2016.
- STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, M. E. *Geomorfologia Fluvial*. Oficina de Textos: São Paulo: 2017.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Surficial geology of Africa (geo7_2ag): U.S. Geological Survey data release, 2002
- VILLAR, R. E.; MARTINEZ, J. M.; TEXIER, M.; GUYOT, J. L.; MENESES, P. F. P. R.; OLIVEIRA, E. A study of sediment transport in the Madeira River, Brazil, using MODIS remote-sensing images. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 44, pp. 45-54, 2013.
- WALLING, D. E. Rainfall, runoff and erosion of the land: a global view. In: GREGORY, K.J. (Org.). *Energetics of Physical Environment*. Wiley, Chichester, pp. 98 – 117, 1987.
- WALLING, D. E.; FANG, D. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. *Global and Planetary Change*, v. 39, pp. 111-126, 2003.
- WIT, M. J.; LINOL, B. Precambrian Basement of the Congo Basin and Its Flanking Terrains. In: WIT, M.; GUILLOCHEAU, F.; WIT, M. (Org.). *Geology and Resource Potential of the Congo Basin*. Regional Geology Reviews. Springer, Berlin, Heidelberg, 2015.
- WITTMANN, H.; VON BLANCKENBURG, F.; MAURICE, L.; GUYOT, J. L.; FILIZOLA, N.; KUBIK, P. W. Sediment production and delivery in the Amazon River basin quantified by in situ-produced cosmogenic nuclides and recent river loads. *Geological Society of America Bulletin*, v. 123, pp. 934–950, 2011.