

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**EVOLUÇÃO DO MÉDIO RIO TOCANTINS DURANTE O QUATERNÁRIO TARDIO**

JANDESSA SILVA DE JESUS

Dissertação apresentada ao Programa de  
Geociências (Geotectônica e Geoquímica)  
para obtenção do título de Mestra em  
Ciências.

Área de concentração: Geotectônica

Orientador: Prof. Dr. Fabiano do  
Nascimento Pupim

SÃO PAULO  
2020

## RESUMO

Jesus, J. S., 2020, Evolução do médio rio Tocantins durante o Quaternário tardio [Dissertação de Mestrado], São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 115 p.

O rio Tocantins drena a área mais oriental da Amazônia. A maior parte de sua bacia hidrográfica é representada por vales rochosos, mas o trecho médio é marcado pelo acúmulo de sedimentos, que mostra um conjunto diversificado de formas fluviais, grandes planícies de inundação e níveis de terraço, chamados Paleocanal do Tocantins e Bico do Papagaio. No entanto, a história quaternária do rio Tocantins é pouco conhecida devido à falta de estudos geomorfológicos condicionados por dados geocronológicos. Portanto, caracterizamos os depósitos sedimentares do médio Tocantins e aplicamos datação por luminescência opticamente estimulada (OSL), a fim de entender como essa paisagem fluvial evoluiu durante o Quaternário tardio. Os resultados desta pesquisa são apresentados em dois artigos. O primeiro consiste no mapeamento geomorfológico na escala de 1:100.000 da planície fluvial no médio rio Tocantins. Foram definidas três unidades geomórficas principais: (i) planície aluvial, (ii) terraços fluviais e (iii) paleoleque aluvial. Nossos resultados oferecem insights sobre os complexos processos geomorfológicos e sedimentológicos que moldam a paisagem fluvial atual. O mapa apresentado oferece um produto cartográfico detalhado, que pode ser de utilidade para planejadores e tomadores de decisão em projetos de desenvolvimento regional e conservação. O segundo artigo apresenta os resultados da análise morfosedimentar integrada à datação OSL, que permite interpretar a evolução da paisagem entre  $661 \pm 42$  e  $160 \pm 16,3$  ka. As idades OSL permitem identificar três fases principais de deposição e duas fases de incisão. A fase deposicional mais antiga formou os Terraço Altos (T1) e parte do Paleoleque aluvial entre 160 a 32 ka. Posteriormente, ocorreu um evento de incisão em torno de 31 ka, resultou no abandono do T1, seguido de uma segunda fase de deposição que construiu os Terraços Baixos (T2) e promoveu a reativação dos Paleoleques aluviais de 31 a 6 ka. A incisão mais recente ocorreu de 6 a 5 ka, permitindo o abandono do T2 e a redução do nível da base local até sua posição atual. A moderna planície de inundação é construída desde 5 ka até o presente, com deposição de sedimentos devido à frequente migração lateral do rio Tocantins. Os resultados obtidos neste trabalho apresentam uma paisagem altamente diversificada em termos de suas geoformas, aspectos sedimentares e geocronológicos resultantes dos vários momentos de sua evolução geomorfológica ao longo do Quaternário tardio. Os resultados foram correlacionados com dados paleoclimáticos regionais e apontam que as mudanças climáticas foram o principal impulsionador da dinâmica fluvial do médio Tocantins nos últimos 160 ka. A evolução dos terraços dessa região da Amazônia se assemelha a formação dos terraços fluviais na Amazônia Central e Ocidental descritos na literatura e apontam que os sistemas fluviais da Amazônia Oriental, que drenam terrenos do Brasil Central apresentam respostas fluviais semelhantes aos rios com cabeceiras em terrenos andinos. Reforçam assim, que as flutuações climáticas são o principal fator responsável pela formação de sequência de terraços fluviais amazônicos e que responderam de forma similar as essas mudanças registradas no Quaternário tardio.

Palavras-chave: Rio Tocantins, Marabá (PA), Geomorfologia Fluvial, Datação OSL, Paleoclima.

## 1 INTRODUÇÃO

A própria natureza de um sistema fluvial é produzir sedimentos que registram a variabilidade dos processos através do tempo e espaço (Gupta, 2007). As análises da evolução do rio a longo prazo e as respostas do sistema às mudanças ambientais fornecem um contexto importante com o qual pode se interpretar a dinâmica contemporânea e pretérita do rio. Na escala de tempo de longo-prazo ( $10^3$ - $10^6$  anos), fatores como controle tectônico, mudanças climáticas e no nível de base desempenham papel fundamental na dinâmica e desenvolvimento desses sistemas (Maddy et al., 2001). Mudanças nessas variáveis alteram o volume de água e o suprimento de sedimentos, resultando em fases alternadas com predomínio de incisão ou agradação, o que pode conduzir para a formação de terraços e planícies fluviais ao longo da história evolutiva dos sistemas fluviais (Bull, 1991; Bridgland e Westaway, 2008). Contrastos nas características morfológicas e sedimentares entre diferentes níveis de terraços fluviais e a planície moderna de um rio indicam a ocorrência de mudanças nas condições ambientais regionais (Pazzaglia, 2013). Portanto, o estudo geomorfológico e sedimentológico de depósitos sedimentares preservados em terraços e planícies fluviais, acoplados a geocronologia, são importantes ferramentas para a compreensão da resposta dos sistemas fluviais a mudanças ambientais ocorridas em escalas temporais de longo-prazo, principalmente durante o Quaternário (Merritts, 2007).

O sistema fluvial formado pelo rio Amazonas e seus afluentes têm sido alvo de muitos esforços com o objetivo de compreender sua evolução geológica ao longo do Quaternário. A maioria desses estudos está concentrada na porção oeste da bacia (Pupim et al., 2019 e referências). No extremo oeste (May et al., 2008; Rigsby et al., 2009), sudoeste (Latrubesse, 2002; Rossetti et al., 2012, 2014; Bertani et al., 2015), noroeste (Latrubesse and Franzinelli, 2005; Cremon et al., 2016), região central da Amazônia, no rio Solimões-Amazonas (Latrubesse e Franzinelli, 2002; Soares et al., 2010; Nogueira et al., 2013; Gonçalves Júnior et al., 2016), onde a ocorrência de depósitos fluviais em diferentes níveis de terraços é mais abundante.

No entanto, os fatores que governam as mudanças nesses grandes sistemas fluviais ainda são controversos. Muitos autores argumentam que as flutuações climáticas seriam o principal fator responsável pela formação de sequências de

terraços nos rios da Amazônia ocidental ao longo do Quaternário tardio (Räsänen et al., 1990; Latrubesse, 2003; Rigsby et al., 2009).

A alternância entre períodos úmidos e secos associados a mudanças na cobertura vegetal (florestas mais ou menos densas ou floresta *versus* savana) (Hammen et al., 1992; Bush et al., 2004; Cheng et al., 2013; D'Apolito et al., 2013) levariam a perturbações no suprimento de sedimentos e no fluxo desses rios, promovendo fases de gradação (período seco) e degradacional (período úmido) (Latrubesse, 2003).

Registros palinológicos e geoquímicos importantes no leste (Absy et al., 1991, 2014; Sifeddine et al., 1994; Cordeiro et al., 2008; Hermanowski et al., 2012, 2014; Guimarães et al., 2013, 2016, 2019 Sahoo et al., 2015; Reis et al., 2017), sul (Fontes et al., 2017), oeste (Behling and Hooghiemstra, 1999; Seltzer et al., 2000; Baker et al., 2005; Cordeiro et al., 2011a; Groot and Bogot, 2011; Cohen et al., 2014), central (Behling, 2001; Moreira et al., 2009; Zocatelli et al., 2016) e noroeste (Behling, 2001; Sifeddine et al., 2003; Zocatelli et al., 2013; Häggi et al., 2017; Augusto-Silva et al., 2019) da Amazônia contribuem para evidências de alterações paleoambientais e de vegetação que provavelmente refletem as mudanças climáticas ocorridas durante o Quaternário tardio na região. Por outro lado, há uma expressiva lista de publicações que indicam a influência de processos tectônicos recentes na configuração e geometria do sistema de drenagem da Amazônia (Costa et al., 2001; Franzinelli e Igreja, 2002; Almeida-Filho e Miranda, 2007; Rossetti et al., 2014, 2017, 2019).

A formação de terraços também foi associada a mudanças relativas no nível do mar desde o LGM. Irion et al., (2009) argumenta que a incisão que originou a atual planície e afluentes do rio Amazonas ocorreu durante o LGM, devido a condições de nível relativo do mar inferior ao atual. Depois, a elevação do nível do mar no Holoceno teria afogado os vales esculpidos, gerando espaço de acomodação para a deposição de sedimentos que preenchem a planície atual.

Apesar dos recentes avanços no entendimento dos fatores que influenciam os sistemas fluviais na Amazônia Ocidental, existe uma lacuna no entendimento dos depósitos fluviais do rio Tocantins que drena o extremo leste da Amazônia. Os dados geológicos disponíveis são escassos e muitas questões ainda estão em debate, principalmente sobre quais são os fatores alogênicos e/ou fatores autogênicos mais importantes para a evolução desses sistemas. As escalas temporais e espaciais em que atuam e se as mudanças na precipitação, cobertura vegetal, regime de fluxo,

calibre e disponibilidade de materiais trouxeram mudanças significativas na morfologia dos sistemas fluviais na Amazônia durante o Quaternário.

No entanto, dados paleoambientais indicam que o padrão de precipitação e vegetação não foi homogêneo em toda a região drenada pelos rios amazônicos, pelo menos nos últimos 100 ka, com diferenças marcantes entre leste-oeste e norte-sul (Bush et al., 2004; Cheng et al., 2013; Zhang et al., 2016; Wang et al., 2017). Assim, a segunda hipótese do trabalho é que os sistemas fluviais do extremo leste da Amazônia, que drenam terrenos do Brasil Central (Sawakuchi et al., 2015; Pupim et al., 2016; Bertassoli et al., 2019) como o rio Tocantins, apresentam respostas diferentes dos rios que drenam terrenos andinos, no extremo oeste da Amazônia.

Embora reconhecendo o imperativo das mudanças regionais ou específicas de ajustes geomórficos no final do Quaternário, é instrutivo considerar a natureza e extensão da perturbação e sistema associado (Gupta, 2007). Neste contexto o objetivo foi a elaboração de um modelo de evolução geológica-geomorfológica para os depósitos fluviais no médio rio Tocantins baseado na análise geomorfológica, sedimentológica e geocronológica. Isto visou compreender os principais fatores responsáveis pela evolução durante o Quaternário tardio

A escolha da área de estudo deve-se à localização, pois esse trecho do rio Tocantins recebe água e sedimentos de áreas de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado, assim, os depósitos sedimentares têm grande potencial para registrar flutuação nesses ambientes, e a existência de uma lacuna de estudos que abordam a evolução geomorfológica dessa região, com exceção de Valente e Latrubesse (2012).

O mapeamento geomorfológico por meio de produtos de sensoriamento remoto e análise de fácies sedimentares possibilitaram compreender a distribuição espacial e características dos ambientes e subambientes deposicionais atuais e pretéritos. Detalhada cronologia absoluta dos depósitos sedimentares por meio de datação por OSL permitiram determinar a idade de soterramento dos sedimentos, assim como definir fases com domínio de processos agradacionais e degradacionais ao longo da evolução da planície. Esse conjunto de dados forneceu subsídios para a elaboração de um modelo geológico-geomorfológico evolutivo da planície fluvial do médio rio Tocantins e das mudanças ambientais que podem ter influenciado o fluxo de sedimentos e o desenvolvimento dos sistemas fluviais situados na região leste da Amazônia.

## CONCLUSÕES

A região do Bico do Papagaio e o Paleocanal do Tocantins localizados na região do médio rio Tocantins consiste em um importante registro geomorfológico fluvial do leste da Amazônia. Ocorre um emaranhado de feições geomorfológicas dominadas por lagos estreitos e extensos, paleodiques e paleocanais inseridos em extensos terraços e amplas planícies, e contrastes de ambientes de sedimentação e vegetação.

O mapa geomorfológico na escala de 1:100.000 dessa região oferece insights sobre os complexos processos geomorfológicos e sedimentológicos que moldam a paisagem fluvial atual e pode ser de utilidade para planejadores e tomadores de decisão em projetos de desenvolvimento regional e conservação.

Integração do mapeamento geomorfológico e o quadro cronológico obtido a partir dos sedimentos fluviais aliados as características sedimentológica coletados em terraços, planícies e leques aluviais possibilitaram apontar as principais fases de evolução geomorfológica dessa complexa paisagem.

Com base no mapeamento por sensoriamento remoto, de campo, levantamento bibliográfico, ainda escasso para essa região, e o nosso robusto registro geocronológico tornou-se possível propor que a paisagem atual foi formada pela dinâmica do rio Tocantins e seus afluentes nos últimos 160 ka, e apontam que o principal motor dessa evolução foram alterações no suprimento de água e sedimentos resultantes das mudanças climáticas.

As três principais fases de deposição e duas de incisão resultam da alternância entre períodos úmidos e secos, promovendo fases de agradação e incisão. As cinco principais fases são: 1) Formação dos Terraços Altos (T1) e parte do Paleoleque aluvial entre 32 a 160 ka; 2) Primeiro evento de incisão por volta de 31 ka com o abandono do T1; 3) Formação dos Terraços Baixos (T2) e reativação dos leques aluviais entre 6 e 31 ka; 4) Segundo evento de incisão entre 5-6 ka promove o abandono do T2 e a redução do nível de base local a posição atual do canal; e 5) Construção da planície aluvial desde 5 ka até o presente com e a migração lateral do canal.

A deposição e abandono dos terraços altos (T1) entre 32 e 160 ka se correlaciona diretamente com a formação dos terraços na Amazônia Central e Ocidental descritos na literatura e relevam que os sistemas fluviais da Amazônia Oriental, que drenam terrenos do Brasil Central apresentam respostas semelhantes

os rios com cabeceiras em terrenos andinos. Dessa forma nossa hipótese que esse sistema fluvial do leste da Amazônia teria uma dinâmica diferente vista o contexto geológico e biológico, no ecótono Cerrado-Amazônia não foi confirmada. Reforçando a influência das mudanças climáticas na construção da paisagem fluvial amazônica. Os registros fluviais encontrados nessa região seguem a tendência geral dos testemunhos palinológicos e paleoclimáticos de outros locais da Amazônia e de parte do Cerrado.

Apesar do avanço que esta pesquisa trouxe para o entendimento da dinâmica fluvial durante o Quaternário tardio frente as mudanças climáticas no médio rio Tocantins, leste da Amazônia, a área ainda possui registros sedimentares a serem explorados. Os inúmeros lagos e paleocanais apresentam grande potencial para o avanço de reconstruções paleoclimáticas em área de transição entre floresta amazônica e cerrado durante o Holoceno médio e tardio; assim como o sistema de paleoleques aluviais, composto de “white sands” que suportam enclaves de vegetação aberta com horizontes de paleossolos, são potencialmente promissores para reconstrução da dinâmica funcional e geobotânica dessa região, que ainda é limitado e por vezes controverso.

## REFERÊNCIAS

- Ab'Saber, A.N., 2010, Zoneamento fisiográfico e ecológico do espaço total da Amazônia Brasileira: Estudos Avançados , p. 15–24, <http://www.scielo.br/pdf/ea/v24n68/04.pdf> (accessed October 2019).
- Absy, M.L. et al., 1991, Mise en evidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60 000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales: Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, v. 3, p. 673–678, <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:31917>.
- Absy, M.L., Cleef, A.M., D'apolito, C., and Silva, M.F.F., 2014, Palynological differentiation of savanna types in Carajás, Brazil (southeastern Amazonia): Palynology, v. 38, p. 78–89, doi:10.1080/01916122.2013.842189.
- Aitken, M.J., 1985, An Introduction to Optical Dating- The Dating of Quaternary Sediments: New Yourk, Oxford University Press Inc., 279 p.
- Akama, A., 2017, Impacts of the hydroelectric power generation over the fish fauna of the Tocantins river, Brazil: Marabá dam, the final blow: Oecologia Australis, v. 21, p. 222–231, doi:10.4257/oeco.2017.2103.01.
- Akter, S., Ali, R.M.E., Karim, S., Khatun, M., and Alam, M., 2018, Geomorphological, Geological and Engineering Geological Aspects for Sustainable Urban Planning of Mymensingh City, Bangladesh: Open Journal of Geology, v. 08, p. 737–752, doi:10.4236/ojg.2018.87043.
- Albert, J.S., Val, P., and Hoorn, C., 2018, The changing course of the Amazon River in the Neogene: center stage for Neotropical diversification: Neotropical Ichthyology, v. 16, p. 1–24, doi:10.1590/1982-0224-20180033.
- Almeida-Filho, R., and Miranda, F.P., 2007, Mega capture of the Rio Negro and formation of the Anavilhas Archipelago, Central Amazônia, Brazil: Evidences in an SRTM digital elevation model: Remote Sensing of Environment, v. 110, p. 387–392, doi:10.1016/j.rse.2007.03.005.
- Almeida, F.F., Hasui, Y., Brito Neves, B., and Fuck, R.A., 1977, Províncias estruturais brasileiras. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande, PB:
- ANA, 2005, Cadernos de Recursos Hídricos - Aproveitamento do Potencial Hidráulico para Geração de Energia: Brasília-DF, 101 p., [http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF\\_GeraçaoEnergia.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF_GeraçaoEnergia.pdf).
- ANA, A.N. de Á., 2017, Plano Estratégico da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia: , p. 204, <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/todos-os-documentos-do-portal/documentos-spr/planos-de-bacia/plano-estrategico-de-recursos-hidricos-da-bacia-hidrografica-dos-rios-tocantins-e-araguaia-relatorio-sintese>.
- Anhuf, D. et al., 2006, Paleo-environmental change in Amazonian and African rainforest during the LGM: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 239, p. 510–527, doi:10.1016/j.palaeo.2006.01.017.
- Antoine, P., Lozouet, N.L., Chaussé, C., Lautridou, J.P., Pastre, J.F., Auguste, P., Bahain, J.J., Falguères, C., and Galehb, B., 2007, Pleistocene fluvial terraces from

northern France (Seine, Yonne, Somme): synthesis, and new results from interglacial deposits: *Quaternary Science Reviews*, v. 26, p. 2701–2723, doi:10.1016/j.quascirev.2006.01.036.

Assine, M.L., Corradini, F.A., Pupim, F. do N., and McGlue, M.M., 2014, Channel arrangements and depositional styles in the São Lourenço fluvial megafan, Brazilian Pantanal wetland: *Sedimentary Geology*, v. 301, p. 172–184, doi:10.1016/j.sedgeo.2013.11.007.

Assine, M.L., Merino, E.R., Pupim, F.N., Warren, L. V., Guerreiro, R.L., and McGlue, M.M., 2015, Geology and Geomorphology of the Pantanal Basin, in *Dynamics of the Pantanal Wetland in South America. The Handbook of Environmental Chemistry*, Springer, Cham, v. 37, p. 23–50, doi:10.1007/698\_2015\_349.

Augusto-Silva, P.B., MacIntyre, S., Rudorff, C.M., Cortés, A., and Melack, J.M., 2019, Stratification and mixing in large floodplain lakes along the lower Amazon River: *Journal of Great Lakes Research*, v. 45, p. 61–72, doi:10.1016/j.jglr.2018.11.001.

Baker, P.A., Fritz, S.C., Garland, J., and Ekdahl, E., 2005, Holocene hydrologic variation at Lake Titicaca , Bolivia / Peru , and its relationship to North Atlantic climate variation: v. 20, p. 655–662, doi:10.1002/jqs.987.

Bangen, S.G., Wheaton, J.M., Bouwes, N., Bouwes, B., and Jordan, C., 2014, A methodological intercomparison of topographic survey techniques for characterizing wadeable streams and rivers: *Geomorphology*, v. 206, p. 343–361, doi:10.1016/j.geomorph.2013.10.010.

Barberi, M., Salgado-Labouriau, M.L., and Suguio, K., 2000, Paleovegetation and paleoclimate of “Vereda de Aguas Emendadas”, central Brazil: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 13, p. 241–254, doi:10.1016/S0895-9811(00)00022-5.

Behling, H., 2001, Late Quaternary environmental changes in the Lagoa da Curuça region (eastern Amazonia, Brazil) and evidence of Podocarpus in the Amazonon lowland: *Vegetation History and Archaeobotany*, v. 111, p. 1009–1010, doi:10.1192/bjp.111.479.1009-a.

Behling, H., 2002, Late Quaternary vegetation and climate dynamics in southeastern Amazonia inferred from Lagoa da Confusão Tocantins State, northern Brazil: *Amazoniana*, v. 17, p. 27–39.

Behling, H., and Hooghiemstra, H., 1999, Environmental history of the Colombian savannas of the Llanos Orientales since the Last Glacial Maximum from lake records El Pinal and Carimagua: *Journal of Paleolimnology*, v. 21, p. 461–476, doi:10.1023/A:1008051720473.

Behling, H., Keim, G., Irion, G., Junk, W., and Mello, J.N. de, 2001, Holocene environmental changes in the Central Amazon Basin inferred from Lago Calado (Brazil): *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 173, p. 87–101, doi:10.1016/s0031-0182(01)00321-2.

Bertani, T.C., Rossetti, D.F., Hayakawa, E.H., and Cohen, M.C.L., 2015, Understanding Amazonian fluvial rias based on a Late Pleistocene-holocene analog: *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 40, p. 285–292, doi:10.1002/esp.3629.

- Bertassoli, D.J. et al., 2019, Spatiotemporal Variations of Riverine Discharge Within the Amazon Basin During the Late Holocene Coincide With Extratropical Temperature Anomalies: *Geophysical Research Letters*, v. 46, p. 9013–9022, doi:10.1029/2019gl082936.
- Bigarella, J.J., 1973, Geology of the Amazon and Parnaiba Basins, *in* The South Atlantic, Boston, MA, Springer US, p. 25–86, doi:10.1007/978-1-4684-3030-1\_2.
- Brasil, 2012, Plano Decenal de Expansão de Energia 2021: Brasília-DF, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, 386 p.
- Bridgland, D., and Westaway, R., 2008, Climatically controlled river terrace staircases: A worldwide Quaternary phenomenon: *Geomorphology*, v. 98, p. 285–315, doi:10.1016/j.geomorph.2006.12.032.
- Bridgland, D.R., and Westaway, R., 2014, Quaternary fluvial archives and landscape evolution: A global synthesis: *Proceedings of the Geologists' Association*, v. 125, p. 600–629, doi:10.1016/j.pgeola.2014.10.009.
- Brierley, G.J., and Fryirs, K.A., 2005, Geomorphology and river management: applications of the river styles framework: 387 p.
- Brito Neves, B. B., and Cordani, U.G., 1991, Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic: *Precambrian Research*, v. 53, p. 23–40, doi:10.1016/0301-9268(91)90004-T.
- Bull, W.B., 1991, Geomorphic Responses to Climatic Change: v. 83, 114–116 p.
- Bush, M.B., De Oliveira, P.E., Colinvaux, P.A., Miller, M.C., and Moreno, J.E., 2004a, Amazonian paleoecological histories: One hill, three watersheds: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 214, p. 359–393, doi:10.1016/S0031-0182(04)00401-8.
- Bush, M.B., Silman, M.R., and Urrego, D.H., 2004b, 48,000 Years of Climate and Forest Change in a Biodiversity Hot Spot: *Science*, v. 303, p. 827–829, doi:10.1126/science.1090795.
- Bush, M.B., Stute, M., Iedru, M., Behling, H., and Colinvaux, P. a, 2001, Paleotemperature Estimates for the Lowland Americas: *Americas*, The.,
- Campbell, D.F., 1949, Revised report on the reconnaissance geology of the Maranhão Basin.: Conselho Nacional do Petróleo. 117p. Petrobras/DEPEX, Relatório Interno, v. 103.
- Cheng, H., Sinha, A., Cruz, F.W., Wang, X., Edwards, R.L., D'Horta, F.M., Ribas, C.C., Vuille, M., Stott, L.D., and Auler, A.S., 2013, Climate change patterns in Amazonia and biodiversity: *Nature Communications*, v. 4, doi:10.1038/ncomms2415.
- Cohen, M.C.L., Rossetti, D.F., Pessenda, L.C.R., Friaes, Y.S., and Oliveira, P.E., 2014, Late Pleistocene glacial forest of Humaitá-Western Amazonia: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 415, p. 37–47, doi:10.1016/j.palaeo.2013.12.025.
- Colinvaux, P.A., De Oliveira, P.E., Moreno, J.E., Miller, M.C., and Bush, M.B., 1996, A long pollen record from lowland Amazonia: Forest and cooling in glacial times: *Science*, v. 274, p. 85–88, doi:10.1126/science.274.5284.85.

- Cordeiro, C.L.O., Rossetti, D.F., Gribel, R., Tuomisto, H., Zani, H., Ferreira, C.A.C., and Coelho, L., 2016, Impact of sedimentary processes on white-sand vegetation in an Amazonian megafan: *Journal of Tropical Ecology*, v. 32, p. 498–509, doi:10.1017/S0266467416000493.
- Cordeiro, R.C., Turcq, B., Sifeddine, A., Lacerda, L.D., Silva Filho, E. V., Gueiros, B., Potty, Y.P., Santelli, R.E., Pádua, E.O., and Patchinelam, S.R., 2011, Biogeochemical indicators of environmental changes from 50Ka to 10Ka in a humid region of the Brazilian Amazon: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 299, p. 426–436, doi:10.1016/j.palaeo.2010.11.021.
- Cordeiro, R.C., Turcq, B., Suguio, K., Oliveira da Silva, A., Sifeddine, A., and Volkmer-Ribeiro, C., 2008, Holocene fires in East Amazonia (Carajás), new evidences, chronology and relation with paleoclimate: *Global and Planetary Change*, v. 61, p. 49–62, doi:10.1016/j.gloplacha.2007.08.005.
- Costa, J.B.S., Bemerguy, R., Hasui, Y., and Borges, M.S., 2001, Tectonics and paleogeography along the Amazon river: *Journal of south American Earth Sciences*, v. 14, p. 335–347.
- Costa, J.B.S., Hasui, Y., Bemerguy, R.L., Soares-Júnior, A. V., and Villegas, J.M.C., 2002, Tectonics and paleogeography of the Marajó Basin, northern Brazil: *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, v. 74, p. 519–531, doi:10.1590/S0001-37652002000300013.
- Cremon, É.H., Rossetti, D. de F., Sawakuchi, A. de O., and Cohen, M.C.L., 2016, The role of tectonics and climate in the late Quaternary evolution of a northern Amazonian River: *Geomorphology*, v. 271, p. 22–39, doi:10.1016/j.geomorph.2016.07.030.
- Cruz, F.W., Karmann, I., Viana, O., Burns, S.J., Ferrari, J.A., Vuille, M., Sial, A.N., and Moreira, M.Z., 2005, Stable isotope study of cave percolation waters in subtropical Brazil: Implications for paleoclimate inferences from speleothems: *Chemical Geology*, v. 220, p. 245–262, doi:10.1016/j.chemgeo.2005.04.001.
- D'Apolito, C., Absy, M.L., and Latrubesse, E.M., 2013, The Hill of Six Lakes revisited: New data and re-evaluation of a key Pleistocene Amazon site: *Quaternary Science Reviews*, v. 76, p. 140–155, doi:10.1016/j.quascirev.2013.07.013.
- Dagosta, F.C.P., and Pinna, M., 2019, The Fishes of the Amazon : Distribution and Biogeographical Patterns , with a Comprehensive List of Species: *Bulletin of the American Museum of Natural History*, v. 2019, p. 1–163, doi:10.1206/0003-0090.431.1.1.
- Deus, S.C.S., Neves, R.J.J., Jauche, E., Almeida, C., Faial, K.R.F., Medeiro, A.C., Mendes, R.A., Faial, K.C.F., Leite, J.C., and Deus, R.J.A., 2018, Streamflow forecasts due precipitation water in a tropical large watershed at Brazil for flood early warning, based on SWAT model: *ITEGAM- Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*, v. 4, p. 4–14, doi:10.5935/2447-0228.20180027.
- Duller, G.A.T., 2003, Distinguishing quartz and feldspar in single grain luminescence measurements: *Radiation Measurements*, v. 37, p. 161–165, doi:10.1016/S1350-4487(02)00170-1.
- Duller, G.A.T., 2015, The Analyst software package for luminescence data: overview

- and recent improvements, *in* Ancient TL, v. 33, p. 35–42.
- Dumont, J.F., Deza, E., and Garcia, F., 1991, Morphostructural provinces and neotectonics in the Amazonian lowlands of Peru: Journal of South American Earth Sciences, v. 4, p. 373–381, doi:10.1016/0895-9811(91)90008-9.
- Dunne, T., Mertes, L.A.K., Meade, R.H., Richey, J.E., and Forsberg, B.R., 1998, Exchanges of sediment between the flood plain and channel of the Amazon River in Brazil: Bulletin of the Geological Society of America, v. 110, p. 450–467, doi:10.1130/0016-7606(1998)110<0450:EOSBTF>2.3.CO;2.
- Esri, 2019, World Imagery, , p. <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?use.>
- Felipe, L.B., 2012, Geologia, Geomorfologia e Morfotectônica da Região de Marabá-PA: Universidade Estadual Paulista (UNESP), 158 p., <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/103038>.
- Felipe, L.B., and Morales, N., 2017, Influência neotectônica na evolução geomorfológica e geológica da região de Marabá-PA: Contribuições à Geologia da Amazônia, v. 10, p. 145–161, <http://www.sbg-no.org.br/>.
- Ferraz-Vicentini, K.R., and Labouriau-Salgado, L.M.L., 1996, Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil: Journal of South American Earth Sciences, v. 9, p. 207–209.
- Fisch, G., Marengo, J.A., and Nobre, C., 1998, Uma revisão geral sobre o clima da amazônia: Acta Amazonica, v. 28, p. 101–126, <http://www.scielo.br/pdf/aa/v28n2/1809-4392-aa-28-2-0101.pdf>.
- Fontes, D., Cordeiro, R.C., Martins, G.S., Behling, H., Turcq, B., Sifeddine, A., Seoane, J.C.S., Moreira, L.S., and Rodrigues, R.A., 2017, Paleoenvironmental dynamics in South Amazonia, Brazil, during the last 35,000 years inferred from pollen and geochemical records of Lago do Saci: Quaternary Science Reviews, v. 173, p. 161–180, doi:10.1016/j.quascirev.2017.08.021.
- Franzinelli, E., and Igreja, H., 2002a, Modern sedimentation in the Lower Negro River, Amazonas State, Brazil: Geomorphology, v. 44, p. 259–271, doi:10.1016/S0169-555X(01)00178-7.
- Franzinelli, E., and Igreja, H., 2002b, Modern sedimentation in the Lower Negro River, ,: v. 44, p. 259–271.
- Fryirs, K.A., and Brierley, G.J., 2012, Geomorphic Analysis of River Systems:, doi:10.1002/9781118305454.
- Galbraith, R.F., ROBERTS, R.G., LASLETT, G.M., YOSHIDA2, H., and OLLEY, J.M., 1999, Optical Dating of Single and Multiple Grains of Quartz From Jinmium Rock Shelter, Northern Australia: Part I, Experimental Design and Statistical Models: Archaeometry, v. 41, p. 339–364.
- Garreaud, R.D., Vuille, M., Compagnucci, R., and Marengo, J., 2009, Present-day South American climate: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 281, p. 180–195, doi:10.1016/j.palaeo.2007.10.032.
- Geosage, 2018, Spectral Transformer GUI Landsat-8 Imagery®, , p.

[http://www.geosage.com/highview/features\\_landsat8..](http://www.geosage.com/highview/features_landsat8..),

Goés, A.M., 1981, Estudo sedimentológico dos Sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecuru, no Nordeste do Pará e Noroeste do Maranhão: Universidade Federal do Pará, 52 p.

Góes, A.M., 1995, Formação Poti (Carbonífero inferior) da Bacia do Parnaíba: Universidade de São Paulo, 204 p., doi:10.11606/T.44.1995.tde-11022014-105309.

Gonçalves Júnior, E.S., Soares, E.A.A., Tatumi, S.H., Yee, M., and Mittani, J.C.R., 2016, Pleistocene-Holocene sedimentation of Solimões-Amazon fluvial system between the tributaries Negro and Madeira, Central Amazon: Brazilian Journal of Geology, v. 46, p. 167–180, doi:10.1590/2317-4889201620160009.

Gonçalves, J., and Nicola, R., 2002, Araguaia - Do tranquílio balanço das águas à turbulência anunciada: lutar é preciso: Mobilização para Conservação das Áreas Úmidas do Pantanal e Bacia do Araguaia, p. 32.

Google Earth Pro®, 2019, Google Earth Pro®: , p. kh.google.com, kh.google.com.

Graham, S.A., 1986, Provenance modelling as a technique for analysing source terrane evolution and controls on foreland sedimentation.: Foreland basins, p. 425–436, doi:10.1002/9781444303810.ch23.

Groot, M.H.M., and Bogot, R.G., 2011, of the Past Ultra-high resolution pollen record from the northern Andes reveals rapid shifts in montane climates within the last two glacial cycles: , p. 299–316, doi:10.5194/cp-7-299-2011.

Guérin, G., Mercier, N., and Adamiec, G., 2011, Dose-rate conversion factors : Update Dose-rate conversion factors : update:

Guimarães, J.T.F. et al., 2019a, Upland lakes of the Carajás region : origin and development through time: Preprints, p. 1–25, doi:10.20944/preprints201905.0214.v1.

Guimarães, J.T.F., Cohen, M.C.L., França, M.C., Alves, I.C.C., Smith, C.B., Pessenda, L.C.R., and Behling, H., 2013, An integrated approach to relate Holocene climatic, hydrological, morphological and vegetation changes in the southeastern Amazon region: Vegetation History and Archaeobotany, v. 22, p. 185–198, doi:10.1007/s00334-012-0374-y.

Guimarães, J.T.F., Sahoo, P.K., Souza-Filho, P.W.M., Costa de Figueiredo, M.M.J., Reis, L.S., da Silva, M.S., and Rodrigues, T.M., 2019, Holocene history of a lake filling and vegetation dynamics of the Serra sul Dos Carajás, southeast Amazonia: Anais da Academia Brasileira de Ciencias, v. 91, p. 1–17, doi:10.1590/0001-3765201720160916.

Guimarães, J.T.F., Sahoo, P.K., Souza-Filho, P.W.M., Maurity, C.W., Silva Júnior, R.O., Costa, F.R., and Dall'Agnol, R., 2016, Late Quaternary environmental and climate changes registered in lacustrine sediments of the Serra Sul de Carajás, south-east Amazonia: Journal of Quaternary Science, v. 31, p. 61–74, doi:10.1002/jqs.2839.

Gupta, A., 2007, Large rivers: Geomorphology and management (A. Gupta, Ed.): Singapore, 661 p., doi:10.1002/rra.1204.

- Häggi, C., Chiessi, C.M., Merkel, U., Mulitza, S., Prange, M., Schulz, M., and Schefuß, E., 2017, Response of the Amazon rainforest to late Pleistocene climate variability: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 479, p. 50–59, doi:10.1016/j.epsl.2017.09.013.
- Hamilton, S.K., Kellndorfer, J., Lehner, B., and Tobler, M., 2007, Remote sensing of floodplain geomorphology as a surrogate for biodiversity in a tropical river system (Madre de Dios, Peru): *Geomorphology*, v. 89, p. 23–38, doi:10.1016/j.geomorph.2006.07.024.
- Hammen, T., Duivendoorden, J.F., Lips, J.M., Urrego, L.E., and Espejo, N., 1992, Late quaternary of the middle Caquetá River area (Colombian Amazonia): *Journal of Quaternary Science*, v. 7, p. 45–55, doi:10.1002/jqs.3390070105.
- Van Der Hammen, T., and Hooghiemstra, H., 2000, Neogene and Quaternary history of vegetation, climate, and plant diversity in Amazonia: *Quaternary Science Reviews*, v. 19, p. 725–742, doi:10.1016/S0277-3791(99)00024-4.
- Hasui, Y., Abreu, F.D.A.M. de, and Silva, J.M.R. da, 1977, Estratigrafia da faixa de dobramentos Paraguai-Araguaia no centro-norte do Brasil: *Boletim IG*, v. 8, p. 107, doi:10.11606/issn.2316-8978.v8i0p107-117.
- Hermanowski, B., Costa, M.L., and Behling, H., 2012, Environmental changes in southeastern Amazonia during the last 25,000yr revealed from a paleoecological record: *Quaternary Research*, v. 77, p. 138–148, doi:10.1016/j.yqres.2011.10.009.
- Hermanowski, B., Costa, M.L., and Behling, H., 2014, Possible linkages of palaeofires in southeast Amazonia to a changing climate since the Last Glacial Maximum: *Vegetation History and Archaeobotany*, v. 24, p. 279–292, doi:10.1007/s00334-014-0472-0.
- Herz, N., Hasui, Y., Costa, J.B.S., and Matta, M.A.S., 1989, The Araguaia fold belt, Brazil: A reactivated Brasiliano-Pan-African cycle (550 Ma) geosuture: *Precambrian Research*, v. 42, p. 371–386, doi:10.1016/0301-9268(89)90020-X.
- Hoorn, C. et al., 2010, Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity: *Science*, v. 330, p. 927–931, doi:10.1126/science.1194585.
- Howard, J.L., 1993, The statistics of counting clasts in rudites: a review, with examples from the upper Palaeogene of southern California, USA: *Sedimentology*, v. 40, p. 157–174, doi:10.1111/j.1365-3091.1993.tb01759.x.
- IBGE, 2009, Manual Técnico de Geomorfologia (Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Ed.): Rio de Janeiro, 2009, 182 p., <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>.
- ICMBio, 2018, Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume VI - Peixes, in Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Org.). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção, Brasília, DF, v. VI-Peixes, p. 1232.
- IDESP, 1992, Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará: v. Edição Esp.
- Inkscape, 2007, Inkscape Project™ 0.92.3.: , p. <http://https://inkscape.org/>.

- Irion, G., Bush, M.B., Nunes de Mello, J.A., Stüben, D., Neumann, T., Müller, G., Morais de, J.O., and Junk, J.W., 2006, A multiproxy palaeoecological record of Holocene lake sediments from the Rio Tapajós, eastern Amazonia: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 240, p. 523–535, doi:10.1016/j.palaeo.2006.03.005.
- Irion, G., Junk, W., Keim, G., Nunes de Mello, J., and Behling, H., 2001, Holocene environmental changes in the Central Amazon Basin inferred from Lago Calado (Brazil): *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 173, p. 87–101, doi:10.1016/s0031-0182(01)00321-2.
- Irion, G., and Kalliola, R., 2010, Long-Term Landscape Development Processes in Amazonia: *Amazonia, Landscape and Species Evolution: A Look into the Past*, v. 1, p. 185–197, doi:10.1002/9781444306408.ch11.
- Irion, G., Müller, J., Morais, J.O., Keim, G., Mello, J.N., and Junk, W.J., 2009, The impact of Quaternary sea level changes on the evolution of the Amazonian lowland: *Hydrological Processes*, v. 23, p. 3168–3172, doi:10.1002/hyp.7386.
- Jesus, J.S., 2016, Geocronologia por Luminescência dos depósitos fluviais do Médio Tocantins - SE do Pará: Implicações Paleogeográficas e Paleoclimáticas: Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, 62 p.
- Jones, A.F., Brewer, P.A., Johnstone, E., and Macklin, M.G., 2007, High-resolution interpretative geomorphological mapping of river valley environments using airborne LiDAR data: *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 32, p. 1574–1592, doi:10.1002/esp.1505.
- Kodama, Y.-M., 1993, Large-Scale Common Features of Sub-Tropical Convergence Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ) Part II : Conditions of the Circulations for Generating the STCZs: *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, v. 71, p. 581–610, doi:10.2151/jmsj1965.71.5\_581.
- Kodama, Y., 1992, Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones: *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, v. 70, p. 813–836, doi:10.2151/jmsj1965.70.4\_813.
- Latrubblesse, E.M., 2002, Evidence of quaternary palaeohydrological changes in middle Amazonia: The Aripuanã-Roosevelt and Jiparaná “fans”: *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband*, v. 129, p. 61–72.
- Latrubblesse, E.M., 2003, The Late Quaternary Paleohydrology of Large South American Fluvial Systems, *in* Gregory, K; Benito, G. ed., *Palaeohydrology: Understanding Global Change*, Wiley & Sons, p. 193–213.
- Latrubblesse, E., Arima, E., Ferreira, M., Nogueira, S., Wittmann, F., Dias, M.S., Dagosta, F., and Baye, M., 2019, Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome: *Conservation Science and Practice*, v. 1, doi:10.1111/csp2.77.
- Latrubblesse, E.M., and Franzinelli, E., 2002, The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil: *Geomorphology*, v. 44, p. 241–257, doi:10.1016/S0169-555X(01)00177-5.

- Latrubblesse, E.M., and Franzinelli, E., 2005, The late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: Implications for island and floodplain formation in large anabranching tropical systems: *Geomorphology*, v. 70, p. 372–397, doi:10.1016/j.geomorph.2005.02.014.
- Latrubblesse, E.M., and Kalicki, T., 2002, Late Quaternary Palaeohydrological Changes in the Upper Purus Basin, South-western Amazonia, Brazil: *Boletim Goiano de Geografia*, v. 19, doi:10.5216/bgg.v19i1.15311.
- Latrubblesse, E.M., and Stevaux, J.C., 2002, Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil: *Zeitschrift fur Geomorphologie*, Supplementband, v. 129, p. 109–127.
- Ledru, M.P., Bertaux, J., Sifeddine, A., and Suguio, K., 1998, Absence of Last Glacial Maximum Records in Lowland Tropical Forests: *Quaternary Research*, v. 49, p. 233–237, doi:10.1006/qres.1997.1953.
- Leeder, M.R., and Mack, G.H., 2001, Lateral erosion ('toe-cutting') of alluvial fans by axial rivers: Implications for basin analysis and architecture: *Journal of the Geological Society*, v. 158, p. 885–894, doi:10.1144/0016-760000-198.
- Lees, A.C., Peres, C.A., Fearnside, P.M., Schneider, M., and Zuanon, J.A.S., 2016, Hydropower and the future of Amazonian biodiversity: *Biodiversity and Conservation*, v. 25, p. 451–466, doi:10.1007/s10531-016-1072-3.
- Lewin, J., and Ashworth, P.J., 2014a, The negative relief of large river floodplains: *Earth Science Reviews*, v. 129, p. 1–23, doi:10.1016/j.earscirev.2013.10.014.
- Lewin, J., and Ashworth, P.J., 2014b, The negative relief of large river floodplains: *Earth-Science Reviews*, v. 129, p. 1–23, doi:10.1016/j.earscirev.2013.10.014.
- Lewin, J., Davies, B., and Wolfenden, P., 1977, Interactions between channel change and historic mining sediments: *River Channel Changes*, p. 353–367, [https://hwbdocuments.env.nm.gov/Los Alamos National Labs/General/14434.pdf](https://hwbdocuments.env.nm.gov/Los%20Alamos%20National%20Labs/General/14434.pdf).
- Lima, M.R. de, 1982, PALINOLOGIA DA FORMAÇÃO CODO NA REGIÃO DE CODO, MARANHÃO: *Bol. IG. Instituto de Geociências*, v. 13, p. 116–128.
- Lima, F.C.T., and Caires, R.A., 2011, Fishes from the Serra Geral do Tocantins Ecological Station, Rio Tocantins and Rio São Francisco basins, with remarks on the biogeographical implications of the common headwater between the Rio Sapão and Rio Galheiros: *Biota Neotropical*, v. 11.
- Lima, F.C.T., and Ribeiro, A.C., 2011, Continental-Scale Tectonic Controls of Biogeography and Ecology Continental-Scale Tectonic Controls of Biogeography and Ecology: Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes, p. 145–164, doi:10.1525/9780520268685.003.0009.
- Lisiecki, L.E., and Raymo, M.E., 2005, A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic  $\delta^{18}\text{O}$  records: *Paleoceanography*, v. 20, p. 1–17, doi:10.1029/2004PA001071.
- Maddy, D., Bridgland, D., and Westaway, R., 2001, Uplift-driven incision and climate-controlled river terrace development in the Thames Valley, UK: *Quaternary International*, v. 79, p. 23–36, doi:10.1016/S1040-6182(00)00120-8.

MapBiomas, 2019, Project MapBiomas. Brazilian Land Cover & Use Map Series:, <http://mapbiomas.org/> (accessed December 2019).

Marengo, J.A., and Espinoza, J.C., 2016, Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts: International Journal of Climatology, v. 36, p. 1033–1050, doi:10.1002/joc.4420.

Mascarenhas, A.L.S., Vidal, M.R., and Silva, E.V., 2015, O Uso do SIG para Definição de Aspectos Geomorfológicos no Médio Curso do Rio Tocantins Parte Oriental da Bacia Amazônica: Revista Geoamazonia, v. 2, p. 68–78, doi:10.17551/2358-1778/geoamazonia.n1v2p68-78.

Mattos, M.V.B. de, 2014, Projeto Paleocanal, *in* Coordenação Noé von Atzingen ed., O Penta - Revista 30 anos Fundação Casa da Cultura de Marabá - FCCM, Marabá , Halley Gráfica e Editora , p. 100, [https://issuu.com/amauryaquino/docs/revista\\_fccm\\_420x280mm\\_ebookbaixa](https://issuu.com/amauryaquino/docs/revista_fccm_420x280mm_ebookbaixa) (accessed October 2019).

May, J.H., Zech, R., and Veit, H., 2008a, Late Quaternary paleosol-sediment-sequences and landscape evolution along the Andean piedmont, Bolivian Chaco: Geomorphology, v. 98, p. 34–54, doi:10.1016/j.geomorph.2007.02.025.

May, J.-H., Zech, R., and Veit, H., 2008b, Late Quaternary paleosol-sediment-sequences and landscape evolution along the Andean piedmont, Bolivian Chaco: Geomorphology, v. 98, p. 34–54, doi:10.1016/j.geomorph.2007.02.025.

Merino, E.R., Pupim, F.N., Macedo, H.A., and Assine, M.L., 2015, Enhancement and integration of optical satellite images with SRTM data for mapping and study of large fluvial plains: Examples in the Brazilian Pantanal: Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 16, p. 49–62.

Merona, B., 1987, Aspectos Ecológicos da Ictiofauna no Baixo Tocantins: Acta Amazonica, v. Único, p. 109–124.

Mérona, B., Juras, A.A., Santos, G.M., and Cintra, I.H.A., 2010, Os peixes e a pesca no Baixo Rio Tocantins Vinte anos depois da UHE Tucuruí: 208 p.

Merritts, D., 2007, Fluvial Environments | Terrace Sequences, *in* Encyclopedia of Quaternary Science, Pennsylvania, USA, Elsevier, p. 694–704, doi:10.1016/b0-44-452747-8/00116-2.

Mertes, L.A.K., and Dunne, T., 2007, Effects of Tectonism, Climate Change, and Sea-level Change on the Form and Behaviour of the Modern Amazon River and its Floodplain, *in* Avijit Gupta ed., Large Rivers: Geomorphology and Management, Chichester, John Wiley & Sons Ltd, p. 115–140.

Mertes, L.A.K., Dunne, T., and Martinelli, L.A., 1996, Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon River, Brazil: Bulletin of the Geological Society of America, v. 108, p. 1089–1107, doi:10.1130/0016-7606(1996)108<1089:CFGATS>2.3.CO;2.

Mesner, J.C., and Wooldridge, L.C.P., 1964, Maranhão Paleozoic Basin and Cretaceous Coastal Basins, North Brazil: Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, v. 48, p. 1475–1512.

Miall, A.D., 2014, Fluvial depositional systems: Toronto, 1–316 p., doi:10.1007/978-3-

319-00666-6.

- Miklín, J., and Galia, T., 2017, Detailed fluvial-geomorphologic mapping of wadeable streams: A proposal of universal map symbology: *Journal of Maps*, v. 13, p. 698–706, doi:10.1080/17445647.2017.1355275.
- MMA, 2006, Caderno da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia: Brasília-DF, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, 132 p.
- Molian, L.C.B., 1993, Amazonia rainfall and its variability: Hydrology and water management in the humid tropics, p. 99–111.
- Moreira, L.S., Moreira-Turcq, P.F., Cordeiro, R.C., and Turcq, B.J., 2009, Reconstituição paleoambiental do Lago Santa Ninha, Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil: *Acta Amazonica*, v. 39, p. 609–616, doi:10.1590/s0044-59672009000300016.
- Moreira, L.S., Moreira-Turcq, P., Cordeiro, R.C., Turcq, B., Caquineau, S., Viana, J.C.C., and Brandini, N., 2013, Holocene paleoenvironmental reconstruction in the Eastern Amazonian Basin: Comprido Lake: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 44, p. 55–62, doi:10.1016/j.jsames.2012.12.012.
- Murray, A.S., and Wintle, A.G., 2000, Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol: *Radiation Measurements*, v. 32, p. 57–73, doi:10.1016/S1350-4487(99)00253-X.
- Murray, A.S., and Wintle, A.G., 2003, The single aliquot regenerative dose protocol: Potential for improvements in reliability: *Radiation Measurements*, v. 37, p. 377–381, doi:10.1016/S1350-4487(03)00053-2.
- Nanson, G.C., and Croke, J.C., 1992, A genetic classification of floodplains: *Geomorphology*, v. 4, p. 459–486, doi:0169-555X/92/.
- Nobre, P., and Shukla, J., 1996, Variations of SST, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America.: *J.Climate*, v. 9, p. 2464–2479, doi:10.1175/1520-0442(1996)009<2464.
- Nogueira, A.C.R., Silveira, R., and Guimarães, J.T.F., 2013, Neogene-Quaternary sedimentary and paleovegetation history of the eastern Solimões Basin, central Amazon region: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 46, p. 89–99, doi:10.1016/j.jsames.2013.05.004.
- Oliveira-Filho, A.T., 1995, A study of the origin of central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns: *Edinburgh Journal of Botany* , p. 55, doi:10.1017 / S0960428600000949.
- De Oliveira, P.E., McMichael, C.N.H., Pinaya, J.L.D., and Bush, M.B., 2019, Climate change and biogeographic connectivity across the Brazilian cerrado: , p. 1–12, doi:10.1111/jbi.13732.
- Oliveira, P.S., and Marquis, R.J., 2002, The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna: New York Chichester, Columbia University Press, 373 p.
- Oliveira, S.C., Pupim, F.N., Stevaux, J.C., and Assine, M.L., 2019, Luminescence Chronology of Terrace Development in the Upper Paraná River , Southeast Brazil:

v. 7, p. 1–17, doi:10.3389/feart.2019.00200.

Park, E., and Latrubesse, E.M., 2019, A geomorphological assessment of wash-load sediment fluxes and floodplain sediment sinks along the lower Amazon River: *Geology*, v. 47, p. 403–406, doi:10.1130/G45769.1.

Park, E., and Latrubesse, E., 2017, The hydro-geomorphologic complexity of the lower Amazon River floodplain and hydrological connectivity assessed by remote sensing and field control: *Remote Sensing of Environment*, v. 198, p. 321–332, doi:10.1016/j.rse.2017.06.021.

Passos, M., Soares, E., Tatumi, S., Yee, M., Mittani, J., Hayakawa, E., and Salazar, C., 2020, Pleistocene-Holocene sedimentary deposits of the Solimões-Amazonas fluvial system, Western Amazonia: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 98, p. 102455, doi:10.1016/j.jsames.2019.102455.

Pazzaglia, F.J., 2013, Fluvial Terraces, *in* Shroder, J.F. ed., *Treatise on Geomorphology*, p. 379–412, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.211.535&rep=rep1&type=pdf> (accessed August 2019).

Petit, J.R. et al., 1999, Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica: *The Future of Nature: Documents of Global Change*, p. 348–358.

Prescott, J.R., and Hutton, J.T., 1994, Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long-term time variations: *Radiation Measurements*, v. 23, p. 497–500, doi:10.1016/1350-4487(94)90086-8.

Pupim, F., N., Assine, M.L., and Sawakuchi, A.O., 2017, Late Quaternary Cuiabá megafan, Brazilian Pantanal: Channel patterns and paleoenvironmental changes: *Quaternary International*, v. 438, p. 108–125, doi:10.1016/j.quaint.2017.01.013.

Pupim, F.N. et al., 2019, Chronology of Terra Firme formation in Amazonian lowlands reveals a dynamic Quaternary landscape: *Quaternary Science Reviews*, v. 210, p. 154–163, doi:10.1016/j.quascirev.2019.03.008.

Pupim, F. do N., Sawakuchi, A.O., Mineli, T.D., and Nogueira, L., 2016, Evaluating isothermal thermoluminescence and thermally transferred optically stimulated luminescence for dating of Pleistocene sediments in Amazonia: *Quaternary Geochronology*, v. 36, p. 28–37, doi:10.1016/j.quageo.2016.08.003.

RadamBrasil, 1974, Radam Brasil Folha SB.22 Araguaia e parte da Folha SC.22 Tocantins: Rio de Janeiro, 521 p., <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv24021.pdf> (accessed October 2019).

RadamBrasil, 1986, RadamBrasil Folha SB.22-X-D Marabá: Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Carta Geológica - Escala 1:250.000 - Anexo I, v. SB.22-X-D.

Räsänen, M.E., Salo, J.S., Jungnert, H., and Pittman, L.R., 1990, Evolution of the Western Amazon Lowland Relief: impact of Andean foreland dynamics: *Terra Nova*, v. 2, p. 320–332, doi:10.1111/j.1365-3121.1990.tb00084.x.

Reis, L.S., Guimarães, J.T.F., Souza-Filho, P.W.M., Sahoo, P.K., Figueiredo,

- M.M.J.C., de Souza, E.B., and Giannini, T.C., 2017, Environmental and vegetation changes in southeastern Amazonia during the late Pleistocene and Holocene: *Quaternary International*, v. 449, p. 83–105, doi:10.1016/j.quaint.2017.04.031.
- Ribas, C.C., Aleixo, A., Nogueira, A.C.R., Miyaki, C.Y., and Cracraft, J., 2012, A palaeobiogeographic model for biotic diversification within Amazonia over the past three million years: *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 279, p. 681–689, doi:10.1098/rspb.2011.1120.
- Ribeiro, M.C.L.B., Petrere, M., and Juras, A., 1995, Ecological integrity and fisheries ecology of the Araguaia—Tocantins River Basin, Brazil: *Regulated Rivers: Research & Management*, v. 11, p. 325–350, doi:10.1002/rrr.3450110308.
- Rigsby, C.A., Hemric, E.M., and Baker, P.A., 2009, Late Quaternary Paleohydrology of the Madre de Dios River, southwestern Amazon Basin, Peru: *Geomorphology*, v. 113, p. 158–172, doi:10.1016/j.geomorph.2008.11.017.
- Rosa, M.B., and Silva, L.T., 2016, Alguns Aspectos Climatológicos da ZCIT sobre o Atlântico: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais(CPTEC/INPE), São Paulo, Brasil, p. 37–42.
- Ross, J.L.S., 2016, Relevo brasileiro no contexto da América do Sul: *Revista Brasileira de Geografia*, doi:10.21579/issn.2526-0375\_2016\_n1\_art\_2.
- Rossetti, D.F. et al., 2015, Mid-Late Pleistocene OSL chronology in western Amazonia and implications for the transcontinental Amazon pathway: *Sedimentary Geology*, v. 330, p. 1–15, doi:10.1016/j.sedgeo.2015.10.001.
- Rossetti, D.F., Bertani, T.C., Zani, H., Cremon, E.H., and Hayakawa, E.H., 2012, Late Quaternary sedimentary dynamics in Western Amazonia: Implications for the origin of open vegetation/forest contrasts: *Geomorphology*, v. 177–178, p. 74–92, doi:10.1016/j.geomorph.2012.07.015.
- Rossetti, D.F., Cohen, M.C.L., Bertani, T.C., Hayakawa, E.H., Paz, J.D.S., Castro, D.F., and Friaes, Y., 2014, Late Quaternary fluvial terrace evolution in the main southern Amazonian tributary: *Catena*, v. 116, p. 19–37, doi:10.1016/j.catena.2013.11.021.
- Rossetti, D.F., and Goés, A.M., 2004, O Neógeno da Amazônia Oriental: Museu Paraense Emílio Goeldi, Coleção Friederich Katzer, p. 13–52.
- Rossetti, Gribel, R., Cohen, M., Valeriano, M., Tatumi, S.H., and Yee, M., 2019, The role of Late Pleistocene-Holocene tectono-sedimentary history on the origin of patches of savanna vegetation in the middle Madeira River, southwest of the Amazonian lowlands: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 526, p. 136–156, doi:10.1016/j.palaeo.2019.04.017.
- Rossetti, D., Peter, Mann de Toledo, and Góes, A.M., 2005, New geological framework for Western Amazonia (Brazil) and implications for biogeography and evolution: *Quaternary Research*, v. 63, p. 78–89, doi:10.1016/j.yqres.2004.10.001.
- Rossetti, D.F., Toledo, P.M., and Góes, A.M., 2005, New geological framework for Western Amazonia (Brazil) and implications for biogeography and evolution: *Quaternary Research*, v. 63, p. 78–89, doi:10.1016/j.yqres.2004.10.001.
- Rossetti, D.F., Toledo, P.M., and Valeriano, M.M., 2019b, Neotectonics and tree

mortality in a forest ecosystem of the Negro basin: Geomorphic evidence of contemporary seismicity in the intracratonic Brazilian Amazonia: *Geomorphology*, v. 329, p. 138–151, doi:10.1016/j.geomorph.2018.12.028.

Rossetti, D.F., and Truckenbrodt, W., 1997, Revisão estratigráfica para os depósitos do albano-terciário inferior (?) na Bacia de São Luís, Maranhão: *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, sér. Ciênc. da Terra*, v. 9, p. 29–41.

Rossetti, D.F., Valeriano, M.M., Gribel, R., Cohen, M.C.L., Tatumi, S.H., and Yee, M., 2017, The imprint of Late Holocene tectonic reactivation on a megafan landscape in the northern Amazonian wetlands: *Geomorphology*, v. 295, p. 406–418, doi:10.1016/j.geomorph.2017.07.026.

Sahoo, P.K., Souza-Filho, P.W.M., Guimarães, J.T.F.S., Silva, M.S., Costa, F.R., Manes, C.L.O., Oti, D., Júnior, R.O.S., and Dall'Agnol, R., 2015, Use of multi-proxy approaches to determine the origin and depositional processes in modern lacustrine sediments: Carajás Plateau, Southeastern Amazon, Brazil: *Applied Geochemistry*, v. 52, p. 130–146, doi:10.1016/j.apgeochem.2014.11.010.

Salo, J., Kalliola, R., Häkkinen, I., Mäkinen, Y., Niemelä, P., Puhakka, M., and Coley, P.D., 1986, River dynamics and the diversity of Amazon lowland forest: *Nature*, v. 322, p. 254–258, doi:10.1038/322254a0.

Sant'Anna, L.G., Soares, E.A. do A., Riccomini, C., Tatumi, S.H., and Yee, M., 2017, Age of depositional and weathering events in Central Amazonia: *Quaternary Science Reviews*, v. 170, p. 82–97, doi:10.1016/j.quascirev.2017.06.015.

Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Gaudette, H.E., Groves, D.I., McNaughton, N.J., and Fletcher, I.R., 2000, A New Understanding of the Provinces of the Amazon Craton Based on Integration of Field Mapping and U-Pb and Sm-Nd Geochronology: *Gondwana Research*, v. 3, p. 453–488, doi:10.1016/S1342-937X(05)70755-3.

Sawakuchi, A.O. et al., 2015, The Volta Grande do Xingu: Reconstruction of past environments and forecasting of future scenarios of a unique Amazonian fluvial landscape: *Scientific Drilling*, v. 20, p. 21–32, doi:10.5194/sd-20-21-2015.

Schumm, S., 1988, Variability of the fluvial system in space and time: Scales and global change, p. 225–250.

Seltzer, G., Rodbell, D., and Burns, S., 2000, Isotopic evidence for late Quaternary climatic change in tropical South America: , p. 35–38.

Sifeddine, A. et al., 2003, A 21 000 cal years paleoclimatic record from Caçó Lake, northern Brazil: evidence from sedimentary and pollen analyses: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 189, p. 25–34, doi:10.1016/S0031-0182(02)00591-6.

Sifeddine, A., Frohlich, F., Fournier, M., Martin, L., Servant, M., Soubiès, F., Turcq, B., Suguio, K., and Volkmer-Ribeiro, C., 1994, La sédimentation lacustre indicateur de changements des paléoenvironnements au cours des 30000 dernières années (Carajás, Amazonie, Brésil): *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, v. 318, p. 1645–1652.

Sinha, R., Jain, V., Babu, G.P., and Ghosh, S., 2005, Geomorphic characterization and diversity of the fluvial systems of the Gangetic Plains: *Geomorphology*, v. 70, p.

207–225, doi:10.1016/j.geomorph.2005.02.006.

Slingerland, R., and Smith, N.D., 2004, River Avulsions and Their Deposits: Annual Review of Earth and Planetary Sciences, v. 32, p. 257–285, doi:10.1146/annurev.earth.32.101802.120201.

Smith, R.J., and Mayle, F.E., 2018, Impact of mid- to late Holocene precipitation changes on vegetation across lowland tropical South America: A paleo-data synthesis: Quaternary Research (United States), v. 89, p. 134–155, doi:10.1017/qua.2017.89.

Soares, E.A.A., Tatumi, S.H., and Riccomini, C., 2010, OSL age determinations of Pleistocene fluvial deposits in Central Amazonia: Anais da Academia Brasileira de Ciencias, v. 82, p. 691–699, doi:10.1590/S0001-37652010000300017.

Souza, D.F., 2015, Evolução sedimentar do tabuleiro do Embaubal, baixo rio Xingu: , p. 64.

Souza, E.B., and Ambrizzi, T., 2003, Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms: Climanálise.

Stevaux, J.C., 2000, Climatic events during the Late Pleistocene and Holocene in the Upper Parana River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brazil: Quaternary International, v. 72, p. 73–85, doi:10.1016/S1040-6182(00)00023-9.

Stevaux, J.C., Corradini, F.A., and Aquino, S., 2013, Connectivity processes and riparian vegetation of the upper Paraná River, Brazil: Journal of South American Earth Sciences, v. 46, p. 113–121, doi:10.1016/j.jsames.2011.12.007.

Tassinari, C.C.G., and Macambira, M.J.B., 1999, Geochronological provinces of the Amazonian Craton: Episodes, v. 22, p. 174–182.

Thom, G., Xue, A., Sawakuchi, A.O., Ribas, C.C., Hickerson, M.J., Aleixo, A., and Miyaki, C., 2020, Quaternary climate changes as speciation drivers in the Amazon floodplains: Science Advances, v. 6, doi:10.1126 / sciadv.aax4718.

Thomas, M.F., 2008, Understanding the impacts of Late Quaternary climate change in tropical and sub-tropical regions: Geomorphology, v. 101, p. 146–158, doi:10.1016/j.geomorph.2008.05.026.

Tobler, W., 1987, Measuring spatial resolution: Land Resources Information Systems Conference, p. 12–16.

Tofelde, S., Savi, S., Wickert, A.D., Bufe, A., and Schildgen, T.F., 2019, Alluvial channel response to environmental perturbations: fill-terrace formation and sediment-signal disruption: , p. 609–631.

USGS, 2015, USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global: US Geological Survey, doi:10.5066/F7PR7TFT.

Valente, C.R., and Latrubesse, E.M., 2012b, Fluvial archive of peculiar avulsive fluvial patterns in the largest Quaternary intracratonic basin of tropical South America: The Bananal Basin, Central-Brazil: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 356–357, p. 62–74, doi:10.1016/j.palaeo.2011.10.002.

Vandenbergh, J., 2003, Climate forcing of fluvial system development: an evolution

- of ideas: Quaternary Science Reviews, v. 22, p. 2053–2060, doi:10.1016/S0277-3791(03)00213-0.
- Várzea, A., 1942, Relevo do Brasil: Revista Brasileira de Geografia, p. 97–135.
- Vasquez, M.L., 2006, Geocronologia em Zircão, Monazita e Granada e Isotópos de Nd das Associações Litológicas da Porção Oeste do Domínio Bacajá: Evolução Crustal da Porção Meridional da Província Maroni-Itacaiúnas - Sudeste do Cratônio Amazônico: Universidade Federal do Pará, 212 p.
- Vasquez, M.L., and Rosa-Costa, L.T., 2008, Geologia e Recursos Mineirais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas - SIG (Programa Geologia do Brasil (PGB). Integração e Difusão de Dados da Geologia do Brasil. Mapas Geológicos Estaduais, Ed.): Belém, CPRM, 328 p.
- Vera, C. et al., 2006, Toward a Unified View of the American Monsoon Systems: American Meteorological Society, p. 4977–5000.
- Verstappen, H.T., 1977, Remote sensing in geomorphology: Elsevier Scientific Publishing Company, v. 4.
- Villegas, J.M.C., 1994, Geologia Estrutural da Bacia do Marajó: Universidade Federal do Pará, 128 p.
- Wang, X., Edwards, R.L., Auler, A.S., Cheng, H., Kong, X., Wang, Y., Cruz, F.W., Dorale, J.A., and Chiang, H.W., 2017, Hydroclimate changes across the Amazon lowlands over the past 45,000 years: Nature, v. 541, p. 204–207, doi:10.1038/nature20787.
- Wheaton, J.M., Fryirs, K.A., Brierley, G., Bangen, S.G., Bouwes, N., and O'Brien, G., 2015, Geomorphic mapping and taxonomy of fluvial landforms: Geomorphology, v. 248, p. 273–295, doi:10.1016/j.geomorph.2015.07.010.
- Williams, R.D., Brasington, J., Vericat, D., and Hicks, D.M., 2014, Hyperscale terrain modelling of braided rivers: Fusing mobile terrestrial laser scanning and optical bathymetric mapping: Earth Surface Processes and Landforms, v. 39, p. 167–183, doi:10.1002/esp.3437.
- Winemiller, K.O. et al., 2016, Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong: Science, v. 351, p. 128–129, doi:10.1126/science.aac7082.
- Yamazaki, D., Ikeshima, D., Tawatari, R., Yamaguchi, T., O'Loughlin, F., Neal, J.C., Sampson, C.C., Kanae, S., and Bates, P.D., 2017, A high-accuracy map of global terrain elevations: Geophysical Research Letters, v. 44, p. 5844–5853, doi:10.1002/2017GL072874.
- Zhang, Y. et al., 2016, Equatorial Pacific forcing of western Amazonian precipitation during Heinrich Stadial 1: Scientific Reports, v. 6, p. 1–7, doi:10.1038/srep35866.
- Zhou, J., and Lau, K.M., 1998, Does a monsoon climate exist over South America? Journal of Climate, v. 11, p. 1020–1040, doi:10.1175/1520-0442(1998)011<1020:DAMCEO>2.0.CO;2.
- Zinck, J.A., 2016, Geopedology:, doi:10.1007/978-3-319-19159-1.
- Zocatelli, R., Moreira-Turcq, P., Bernardes, M., Turcq, B., Cordeiro, R.C., Gogo, S., Disnar, J.R., and Boussafir, M., 2013, Sedimentary evidence of soil organic matter

input to the curuai amazonian floodplain: Organic Geochemistry, v. 63, p. 40–47, doi:10.1016/j.orggeochem.2013.08.004.

Zocatelli, R., Moreira-Turcq, P., Jacob, J., Cordeiro, R.C., Boussafir, M., Le Milbeau, C., Bernardes, M., and Turcq, B., 2016, Holocene land cover dynamics in the Curuai Floodplain inferred from lacustrine biomarkers: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 443, p. 237–248, doi:10.1016/j.palaeo.2015.11.046.

Zular, A., Sawakuchi, A.O., Chiessi, C.M., D'Horta, F.M., Cruz, F.W., Demattê, J., Ribas, C.C., Hartmann, G., Giannini, P.C., and Soares, E.A.A., 2019, The role of abrupt climate change in the formation of an open vegetation enclave in northern Amazonia during the late Quaternary: Global and Planetary Change, v. 172, p. 140–149, doi:10.1016/j.gloplacha.2018.09.006.