

ANÁLISE TEMPORAL DO ÍNDICE DE CONECTIVIDADE SOB DIFERENTES USOS E OCUPAÇÕES DO SOLO: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO BENGUÊ

Jordana Maria Silva Martins¹, Nazaré Suziane Soares², Alexandre Gomes Costa³, Pedro Henrique Augusto Medeiros⁴, José Carlos de Araújo⁵.

RESUMO: O estudo teve como objetivo analisar a evolução temporal do Índice de Conectividade (IC) na Bacia do Benguê em Aiuaba–CE, considerando os anos de 2008, 2013, 2018 e 2023. A conectividade hidrossedimentológica, que representa a transferência de sedimentos na paisagem, foi avaliada por meio da ferramenta SedInConnect, com base na metodologia de Borselli et al. (2008), adaptada por Cavalli et al. (2013). A análise indicou uma tendência crescente na conectividade ao longo dos anos, relacionada a possíveis mudanças no uso e ocupação do solo, como desmatamento e intervenções antrópicas em geral. Essa evolução pode aumentar o assoreamento dos corpos hídricos e comprometer a qualidade da água, uma vez que a maior conectividade facilita o escoamento superficial e o transporte de sedimentos para os cursos de água.

PALAVRAS-CHAVE: conectividade; uso e ocupação do solo; erosão.

TEMPORAL ASSESSMENT OF THE CONNECTIVITY INDEX ACROSS DIFFERENT LAND USE AND LAND COVER TYPES: A CASE STUDY OF THE BENGUÊ WATERSHED

ABSTRACT: The objective of this study was to analyze the temporal evolution of the Connectivity Index (CI) in the Benguê Watershed, located in Aiuaba–CE, considering the years 2008, 2013, 2018, and 2023. The hydrosedimentological connectivity, which represents sediment transfer across the landscape, was assessed using the SedInConnect tool, based on the methodology proposed by Borselli et al. (2008) and adapted by Cavalli et al. (2013). The

¹ Mestranda no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da UFC, Fortaleza, CE. (85) 99981-5231. email: jordana.msm10@alu.ufc.br

² Doutora, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, CE.

³ Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, CE.

⁴ Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola e PGTGA, UFC e IFCE, Fortaleza, CE.

⁵ Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, CE.

analysis indicated an increasing trend in connectivity over the years, related to possible changes in land use and land cover, such as deforestation and anthropogenic interventions in general. This evolution may enhance the siltation of water bodies and compromise water quality, since higher connectivity facilitates surface runoff and sediment transport to watercourses.

KEYWORDS: connectivity; land use and occupation; erosion.

INTRODUÇÃO

A erosão consiste em um processo natural que ocorre em decorrência do impacto da gota de energia cinética em que causa o desprendimento e possível perda de solo. De acordo com Zarfl et al. (2018), as mudanças climáticas podem intensificar os eventos de precipitação, aumentar o escoamento superficial e, conseqüentemente, potencializar os processos erosivos e contribuir para o assoreamento dos corpos hídricos.

Bracken et al. (2015) afirmam que os processos hidrológicos tendem a aumentar a conectividade local, favorecendo o desprendimento e o transporte de sedimentos, o que, por sua vez, pode intensificar a degradação do solo.

Wohl et al. (2018) define a conectividade de sedimentos como a transferência de materiais entre diferentes componentes da paisagem, como encostas e rios, dentro de uma rede fluvial. De acordo com Heckman et al. (2018) mudanças do solo, uso de terra agrícola tais como lavoura/ou aração, e intervenções antrópicas no relevo afetam a conectividade dos sedimentos e modificam sua dinâmica na entrega de sedimentos na bacia, alterando os padrões de erosão e contribuindo para a degradação dos recursos hídricos e do solo.

Desse modo, a avaliação do grau de conectividade dos sedimentos na bacia hidrográfica facilita a compreensão do funcionamento e a direção do fluxo ao longo da bacia (Hooke, 2003). O entendimento desses elementos garante quantificar o grau de conectividade em termos de escala espaço-temporal na bacia hidrográfica e identificar áreas susceptíveis a erosão na bacia hidrográfica.

Nesse sentido, os estudos da conectividade nas bacias hidrográficas são essenciais para compreender a produção, transporte e deposição de sedimentos na rede fluvial, além de evidenciar como as alterações de paisagem influenciam esses processos.

Com intuito de entender como a conectividade se modifica em função das mudanças na cobertura do solo, e como estas influenciam nos caminhos de escoamento e o transporte de

sedimentos na bacia, o estudo tem como objetivo analisar a evolução temporal da conectividade a partir da classificação do uso e ocupação dos seguintes anos: 2008,2013,2018 e 2023.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na bacia do açude Benguê, situada no município de Aiuaba-CE, entre as coordenadas 06°36'01" a 06°44'35" de latitude sul e 40°07'15" a 40°19'19" de longitude oeste. Com área total de 933 km², a bacia abrange duas áreas de interesse: a Bacia Experimental de Aiuaba, com 12 km², e a Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC Aiuaba), com 113 km². O principal corpo hídrico é o açude Umbuzeiro, que apresenta capacidade de acumulação de aproximadamente 18.425.000 m³ e vazão regularizada de 0,13 m³/s. A Bacia Experimental de Aiuaba é monitorada desde 2003 pelo grupo de pesquisa HIDROSED, da Universidade Federal do Ceará.

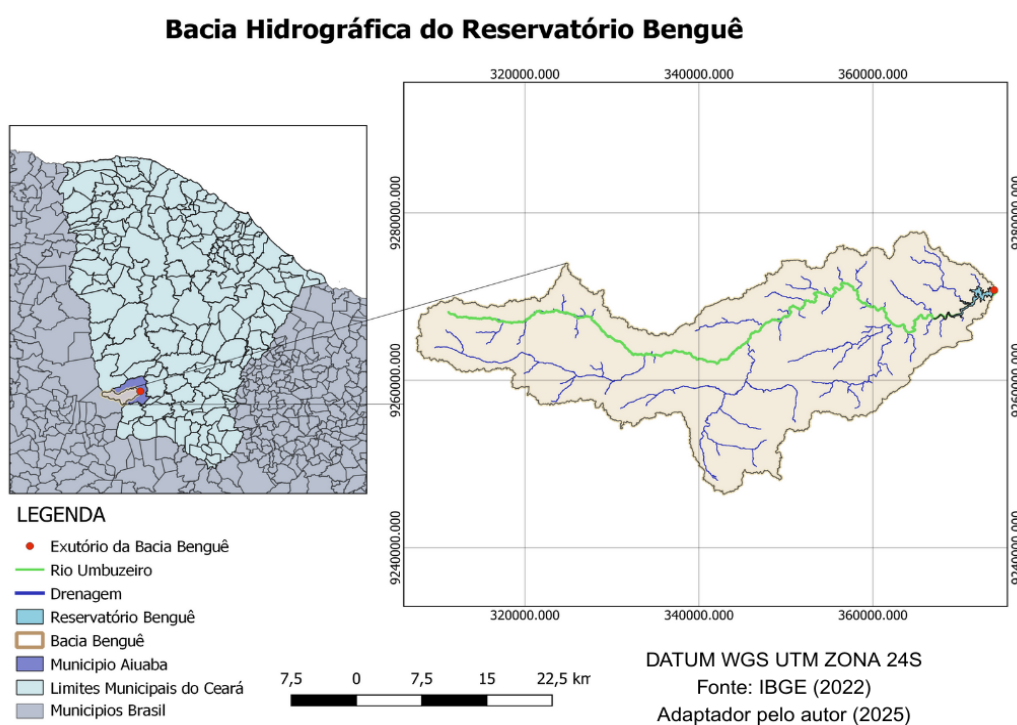


Figura 1: Mapa de Localização do Reservatório Benguê em Aiuaba-CE

Pinheiro et al. (2016), o clima da bacia é caracterizado como BSh (quente e semiárido tropical) de acordo com a classificação de Köppen, com evaporação potencial anual de 2500 mm, precipitação média de 549 mm por ano e temperatura média anual de 26 °C. Lemos e Meguro (2005) afirmam que, geologicamente, a região é composta por formações do Pré-

Cambriano Inferior e Médio, Pré-Cambriano Superior e do Cenozóico, e seus solos incluem Latossolo vermelho-amarelo, Bruno Não Cálcico, Planossolo Solódico, Solos Litólicos Eutróficos, Areias Quartzosas e depósitos aluviais.

De acordo com Oliveira et al. (1983,1988) a região possui vegetação caatinga, principalmente, na parte de depressão sertaneja onde há encostas escarpadas e carrasco na parte plana e de elevadas chapadas (em parte, na porção oeste), ligando com o Planalto de Ibiapaba (parte sul).

O Índice de Conectividade foi calculado por meio da ferramenta SedInConnect, que utiliza uma abordagem originalmente desenvolvida por Borselli et al. (2008) e posteriormente adaptada por Cavalli et al. (2013). No cálculo, são consideradas as características da área de contribuição, componente a montante (D_{up}), e características do fluxo a ser percorrido pelo sedimento até o ponto de interesse, componente de jusante (D_{dn}). Os resultados devem ser expressos em pixels durante um em um intervalo de $[-\infty, +\infty]$. A equação (Eq.1) usada para realizar o cálculo da conectividade é a seguinte:

$$IC = \log_{10} \frac{\bar{W} \times \bar{S} \times \sqrt{A}}{\sum \frac{d}{W \times S}} \quad (\text{Eq.1})$$

Dentre os elementos apresentados na equação (Eq. 1), é possível identificar, de forma representativa, como cada componente contribui para o cálculo, conforme ilustrado na Figura 2 abaixo.

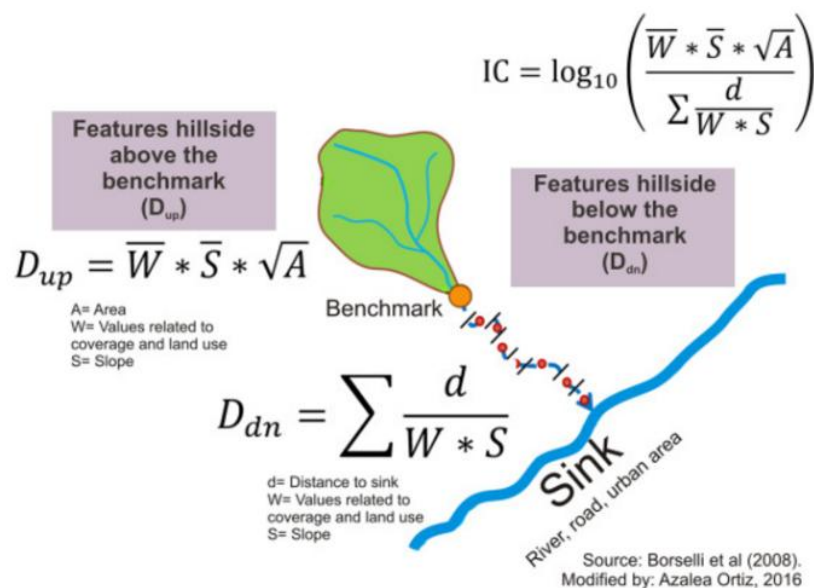


Figura 2: Componentes do Índice de Conectividade

Fonte: Borselli et al. (2008) adaptado por Azalea Ortiz (2016)

Dentre os componentes a montante ($D_{up,k}$), o k (adimensional) está relacionado a impedância, ou seja, a resistência da rugosidade da superfície. O “ θ ”, refere-se à declividade média da área contribuinte para a seção (m/m), o “ A ” representa a área contribuinte para o fluxo acumulado (m^2).

Com relação os componentes a jusante ($D_{down,k}$), o “ d_i ” representa a distância (m) da célula no caminho descendente em relação ao exultório, o S_i representa o gradiente de declividade e o W_i representa a impedância, e atua como um indicador da capacidade de interrupção do fluxo de sedimentos ao longo de uma paisagem, influenciado pela cobertura vegetal ou estruturas que possam impedir o movimento dos sedimentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse sentido, com o intuito de entender como a conectividade varia com o uso e ocupação do solo na Bacia do Benguê, foi possível perceber que uma tendência clara de aumento da conectividade hidrossedimentológica ao longo dos anos de 2008-2023 (Figura 2).

Zanandrea et al. (2019) ao analisar diferentes cenários de mudança no uso do solo, constataram que a conectividade hidrossedimentológica é influenciada tanto pela declividade do terreno quanto pelas alterações no uso e ocupação do solo. Medeiros (2008) ao avaliar como a conectividade em eventos climáticos reais, para análise do padrão de escoamento, verificou que, em escalas de bacia o tipo de solo é determinante para a eficiência do transporte de sedimentos. Já em escalas de sub-bacias, a declividade e posição da encosta, são os maiores contribuintes para o deslocamento de sedimentos.

No período de transição entre 2008 e 2013, é possível perceber que no ano de 2008 os valores de conectividade variaram de aproximadamente -5 a +2, com uma pequena faixa de área com valores variando de +1 a +2. Já em relação ao ano de 2013 os valores também variaram em aproximadamente -5 a +2, só que uma maior área com faixa de conectividade de +1 a +2, constatando assim um aumento da conectividade do ano de 2008 a 2013.

Do ano de 2013 para 2018, houve um padrão de aumento na conectividade de 1%, e os valores variaram de -5 a +2,1. Em 2023, os valores variaram de -5 até +1,5. Entretanto, de 2018 a 2023, a conectividade apresentou uma redução de 1%, o que pode indicar áreas de geração e deposição de sedimentos na bacia.

Na bacia do Benguê, de um modo geral, foi possível perceber que há uma tendência de aumento da conectividade ao longo dos anos de estudos, possivelmente em decorrência das

mudanças de uso e cobertura do solo e atividades como desmatamento, perda da cobertura vegetal, agricultura intensiva ou até mesmo os efeitos da urbanização.

Persichillo et al. (2016, 2017) avaliou como a mudança do uso e ocupação do solo influenciou na dinâmica dos sedimentos e nos deslizamentos de terras. A partir do estudo, foi possível inferir que após a exploração de práticas agrícolas após o ano de 1980, houve uma diminuição da conectividade, e afirma que se dar provavelmente ao abandono de terra. E isso pode ser explicado porque o solo exposto após um período passa a ser recoberto por vegetação, aumenta a infiltração e conseqüentemente, diminui o escoamento superficial e transporte de sedimentos. Contudo, segundo Keesstra et al. (2009) e Poepl et al. (2017) a reposta do sistema após a perturbação está relacionado com a conectividade de forma não linear pois o impacto também dependerá do estado da paisagem e da resiliência do sistema.

Liu et al. (2021) analisaram a conectividade mediante as mudanças do uso da terra nos anos de 1964,2004 e 2018, bem como avaliar a produção dos sedimentos. Contudo, no estudo foi possível verificar que os índices de conectividade diminuíram significativamente, o que pode estar relacionado aos valores de entrada do modelo com relação a vegetação e fator W (conservação do solo e água). No entanto, em geral foi possível inferir no estudo que terras agrícolas em declive e estéreis proporcionam um aumento na conectividade, e podem levar a maiores taxas de erosão.

Portanto, é possível inferimos que segundo Foerster et al. (2014) e López- Vicente et al. (2016) a conectividade é dinâmica e interfere em fatores como mudanças climáticas e práticas de uso e manejo do solo. Segundo Ellis et al. (2006), Ellis (2011) e Vanacker et al. (2014) os impactos humanos moldam a morfologia da superfície e segundo Liu et al. (2021) o padrão de paisagem é um dos fatores mais importantes a serem levados em conta, pois as formas de relevo, cobertura vegetal, tipo de solo, topografia, clima e atividades antrópicos, e conseqüentemente interferem na conectividade de sedimentos.

CONCLUSÕES

A conectividade é afetada pelas mudanças do uso e cobertura do solo que refletem na produção, transporte e deposição de sedimentos na bacia. Turnbullet et al. (2008), Foerster et al. (2014) e Yanet et al. (2018), afirmam que a vegetação, uso intensivo de terras agrícolas e terra nuas, exercem influência direta na redistribuição de sedimentos e em seu padrão espacial. Por esse motivo, é de suma importância o monitoramento da conectividade para identificar

áreas com maior entrega de sedimentos, funcionamento como uma estratégia de gestão e planejamento para a conservação e mitigação de processos erosivos na bacia hidrográfica.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORSELLI, L; CASSI, P; TORRI, D. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. **Catena**, Volume 75, Issue 3, 2008.

HECKMANN, T; CAVALLI, M; CERDAN, O; FOERSTER, S; JAVAUX, M; ÉLFICO, F; SMETONOVÁ, A; VERICAT, D; BRARDINOMI, F. Sediment connectivity indices: opportunities, challenges, and limitations. **Revisões de Ciências da Terra**, v. 187, p. 77-108, 2018.

HOOKE, J; SOUZA, J. Challenges of mapping, modelling and quantifying sediment connectivity. **Earth-Science Reviews**, v. 223, p. 103847, 2021.

LEMOS, J.R.; MEGURO, M. **Distribuição geográfica de plantas lenhosas da caatinga da Estação Ecológica de Aiuaba**, Estado do Ceará. In: Congresso de Ecologia do Brasil. 2005

LEMOS, J.R.; MEGURO, M. Florística e fitogeografia da vegetação decidual da Estação Ecológica de Aiuaba, Ceará, Nordeste do Brasil. **Revista brasileira de Biociências**, v. 8, n. 1, 2010.

LEMOS, J.R.; MEGURO, M. Estudo fitossociológico de uma área de Caatinga na Estação Ecológica (ESEC) de Aiuaba, Ceará, Brasil. **Biotemas**, v. 28, n. 2, p. 39-50, 2015.

LIU, W; SHI, C; MA, Y; LI H; MA,X. Changes induced by land use and cover on sediment connectivity and their effects on sediment production in a watershed in the Loess Plateau, China. **Catena**, v. 207, p. 105688, 2021

MEDEIROS, P.H.A. **Processos hidrossedimentológicos e conectividade em bacia semiárida: modelagem distribuída e validação em diferentes escalas**. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

ZARFL, C; LUCÍA, A. The connectivity between soil erosion and sediment entrapment in reservoirs. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 5, p. 53-59, 2018.

ZANANDREA, F; PAUL, L.R.P; KOBIYAMA, M; ZANINI, A.DA. SILVA; ABATTI, B.H. Conectividade dos sedimentos: conceitos, princípios e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, 2020.