

Avaliação do impacto da criação de Canais Artificiais sobre a dinâmica das vazões e sedimentos em suspensão em bacia hidrográfica

Evaluation of impacts on the creation of artificial channels on the dynamics of flows and suspended sediments in a hydrographic basin

Evaluación del impacto de la creación de canales artificiales en la dinámica de flujos y sedimentos suspendidos en una cuenca hidrográfica



Renato Emanuel Silva

Instituto Federal do Mato Grosso – Primavera do Leste - Mato Grosso - Brasil
renato.logan@gmail.com



Silvio Carlos Rodrigues

Universidade Federal de Uberlândia- Uberlândia – Minas Gerais - Brasil
silgel@ufu.br

Resumo: Os canais derivados multifuncionais são pequenos condutos artificiais construídos para viabilização de diversos serviços hídricos, a partir da captação de água de cursos naturais. Como são pouco conhecidas as mudanças que essas derivações promovem na dinâmica hidrológica das bacias, este artigo busca avaliar a repercussão dos sistemas de derivação sobre as vazões e sedimentos, por meio do estudo de cenários hidrogeomorfológicos, correlacionando as variáveis verificadas em campo. Dessa forma, foram escolhidas 4 derivações a partir de canais naturais da bacia do Alto Curso do Rio Dourados (Minas Gerais/Brasil) com monitoramento de 12 cenários mensais para vazão e sedimentos em suspensão. Os resultados apresentam as interferências dos canais artificiais desde os barramentos de derivação até às vertentes onde são

alteradas as dinâmicas de deslocamento dos fluxos e materiais, com formações de níveis de base artificiais, gerando depósitos de sedimentos nas vertentes e repercutindo na produção e direcionamento da água da bacia hidrográfica. Logo, foi possível perceber, que os canais multifuncionais promovem mudanças nas inter-relações (formas/processos) hidrogeomorfológicas das bacias hidrográficas impactadas. Assim, é sugerida a necessidade de considerar essas estruturas nas abordagens referentes ao planejamento e gestão de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: canais abertos artificiais; sedimentos em suspensão; interações hidrogeomorfológicas; interferências nas redes de drenagens; diques marginais antrópicos.

Abstract: Multifunctional derivative channels are small artificial passages built to promote various water services from the abstraction of water from natural courses. As the changes that these derivations promote in the hydrological dynamics of the basins are little known, this paper seeks to evaluate the impact of the derivation systems on the flow rate and sediments through the study of hydrogeomorphological scenarios, correlating the variables verified in field. To better understand these issues, we pursued the monitoring of 12 monthly scenarios for flow rates and suspended sediments from 4 derivations, which were chosen from natural channels in the Upper Course of the Rio Dourados basin (Patrocínio-MG / Brazil). The results show the interference of artificial channels from the diversion structures to the slopes, where the dynamics of displacement of flows and materials are altered, with the formation of artificial base levels generating sediment deposits in the slopes and affecting the production and direction of water on the hydrographic basin. Thus, it was possible to notice that the multifunctional channels promote changes in the hydrogeomorphological interrelationships (forms / processes) of the impacted hydrographic basins. Thus, the need to consider these structures in the approaches related to planning and management of river basins is suggested.

Keywords: artificial open channels; suspended sediments; hydrogeomorphological interactions; interference in the drainage networks, anthropic side bars.

Resumen: Los canales derivados multifuncionales son pequeños conductos artificiales construidos para hacer factibles varios servicios de agua, desde la captura de agua de cursos naturales. Como los cambios que promueven estas derivaciones en la dinámica hidrológica de las cuencas son poco conocidos, este artículo busca evaluar el impacto de los sistemas de derivación en los flujos y sedimentos, a través del estudio de escenarios hidrogeomorfológicos, correlacionando las variables verificadas en el campo. Por lo tanto, se eligieron 4 derivaciones de canales naturales en el curso superior de la cuenca del río Dourados (Minas Gerais / Brasil) con monitoreo de 12 escenarios mensuales de flujo y sedimentos suspendidos. Los resultados muestran la interferencia de canales artificiales desde las barras colectoras de desvío a las pendientes donde se altera la dinámica del desplazamiento de flujos y materiales, con formaciones de nivel de base artificial, generando depósitos de sedimentos en las pendientes y afectando la producción y dirección del agua. cuenca hidrográfica Por lo tanto, fue posible percibir que los canales multifuncionales promueven cambios en las interrelaciones hidrogeomorfológicas (formas / procesos) de las cuencas impactadas. Por lo tanto, se sugiere la necesidad de considerar estas estructuras en los enfoques relacionados con la planificación y el manejo de las cuencas hidrográficas.

Palabras clave: canales abiertos artificiales; sedimentos suspendidos; interacciones hidrogeomorfológicas; interferencia en las redes de drenaje; diques marginales antrópicos

Recebido para publicação em 8 de junho de 2020

Aceito para publicação em 15 de julho de 2020

Publicado em _____

Introdução

Nos sistemas de drenagem as análises hidrossedimentares são válidas na abordagem da distribuição dos sedimentos produzidos, transportados e depositados com a intenção de subsidiar análises sobre o funcionamento e gestão destes ambientes. (RICHARDS, 1982; SLAYMAKER, 2003) A partir dessa perspectiva, também são tratadas as intervenções humanas que impactam os sistemas de drenagem e podem ser avaliadas a partir das respostas nos exutórios (DIETRICH; DUNNE, 1978; DIETRICH *et al*, 1987; DUIJSINGS, 1987; PHILLIPS *et al*, 2000).

Entre possíveis modalidades de intervenções estão as obras hidráulicas (SEAR, 1994; LANDWEHR; RHOADS, 2003; ROSGEN, 2006), promotoras de alterações notáveis nos processos hidrogeomorfológicos, desde as vertentes (MOSLEY; LARONNE, 1982; WALLING; WEBB, 1996), passando pela conectividade fundo de vale/vertente (JENCISO *et al*, 2009, MUELLER *et al*, 2007) e chegando aos caminhos preferenciais da água (IMAIZUMI *et al*, 2010).

Os Canais Derivados Multifuncionais (CDM) são exemplos contundentes desta realidade. Esses condutos, originados dos primeiros canais de irrigação, se disseminaram pelo mundo e passaram a atender diversas atividades como: consumo humano e animal, recreação, agricultura, ornamentação, piscicultura entre outros, sendo por isso portadores de fluxos perenes (SILVA, 2018).

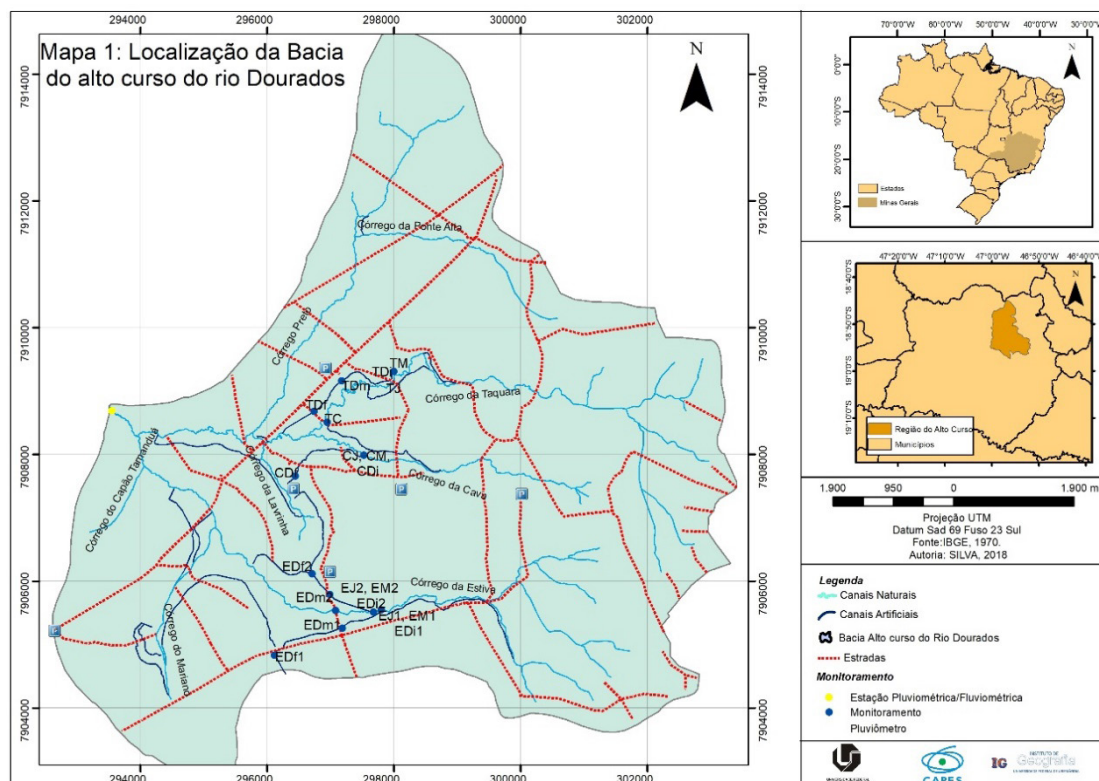
A construção destas pequenas estruturas produz mudanças em cabeceiras de drenagem que, por mais antigas, comuns e significativas que sejam, são pouco estudadas. Podendo ser chamadas de Assinaturas Topográficas Humanas - (ATH) - (TAROLLI e SOFIA, 2016), as derivações são compostas pelos barramentos, os canais artificiais e os diques marginais artificiais. Em comum, essas assinaturas alteram a conectividade hidrológica, como trabalhado por Croke *et al* (2005) para assinaturas como estradas e canais de drenagem.

Sugere-se que os sistemas de derivação promovam mudanças das vazões ao longo dos canais naturais e condicionem a formação de depósitos de sedimentos nas vertentes. Assim, este estudo avalia, por meio de cenários hidrogeomorfológicos, a repercussão dos sistemas de derivação sobre as vazões e sedimentos.

Área de Estudo

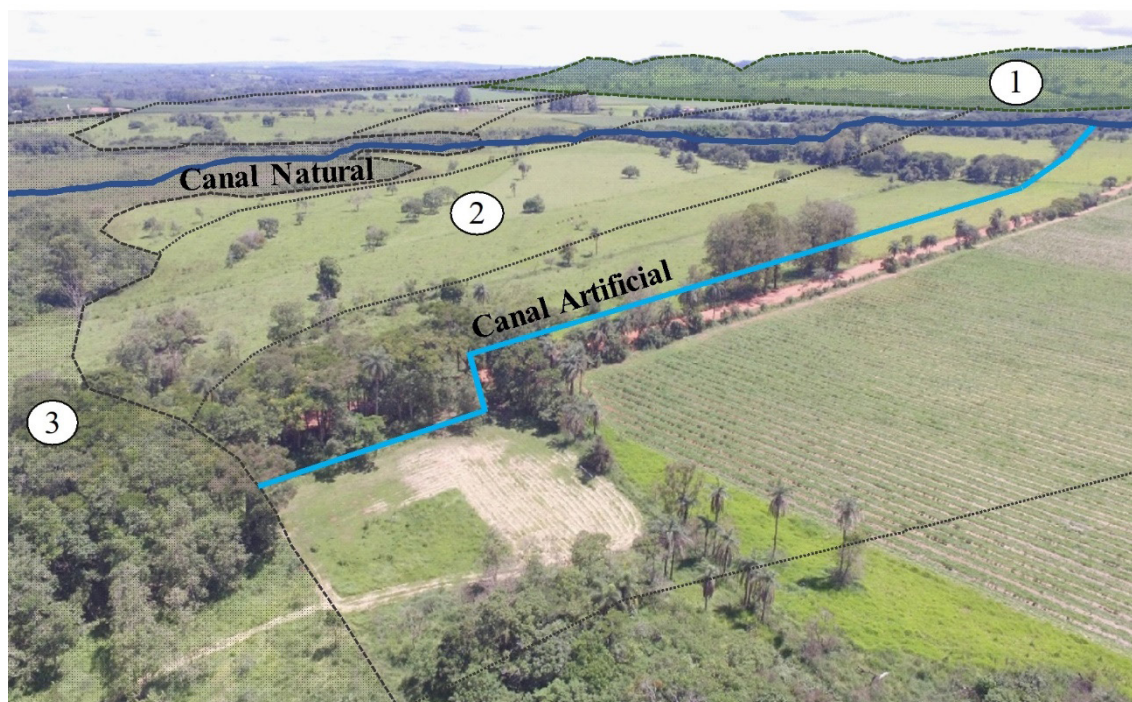
Para instrumentação desta pesquisa, escolheu-se a bacia hidrográfica do alto curso do rio Dourados (48 km²), marcada pela presença de canais artificiais interagindo com outros elementos naturais e antrópicos (Figura 1). Também é vantajoso o fato desta bacia ser sistematicamente estudada (Silva e Allan Silva 2012; Silva, Silva e Assunção, 2013, Veloso e Silva 2013, Silva e Rodrigues 2015, 2016) e monitorada pela Agência Nacional das Águas (Estação Pluviométrica e Fluviométrica da Charqueada) e Silva (2018) para uso e ocupação, precipitação, vazão, alterações ambientais e dos aspectos da hidrogeomorfologia.

Figura 1 – Mapa de Localização da bacia e pontos amostrais



O contexto geomorfológico da área é dômico (CASSETI, 1981), com terraços fluviais que se desenvolvem entre setores mais acidentados (cristas monoclinais quartzíticas), uma configuração propícia para o desenvolvimento da rede drenagem natural, onde 8 córregos sustentam 16 derivações (Figura 2). Essa disponibilidade hídrica, a partir do clima tropical com duas estações bem definidas, oportuniza avaliar as relações entre canais naturais, artificiais e usuários (SILVA, 2014). Neste sentido, o fato da bacia ser um mosaico entre antigas formas de ocupação e do avanço da modernização agrícola contribui na observação dos canais artificiais multifuncionais, mantidos por diferentes esforços técnicos de manutenção, desde as enxadas até escavadeiras.

Figura 2 – Diversidade paisagística da bacia de estudo. Na imagem, é possível diferenciar setores mais elevados e colinosos (1), por volta dos 1200 metros acima do nível do mar, sobre rochas quartzíticas, seguido de áreas mais suaves (2), entre 1000 e 900 metros, com materiais arenosos formando terraços fluviais e (3) planícies aluviais, abaixo dos 900 metros.



Por toda bacia, as frações de areia são predominantes nas coberturas superficiais oriundas de rochas sedimentares e metamórficas, do contexto de formação e desgaste da estrutura do Domo de Serra Negra. Sendo assim, os canais transportam estes materiais que, na presença de condutos artificiais, são redirecionados para as vertentes e nelas depositados.

Materiais e procedimentos

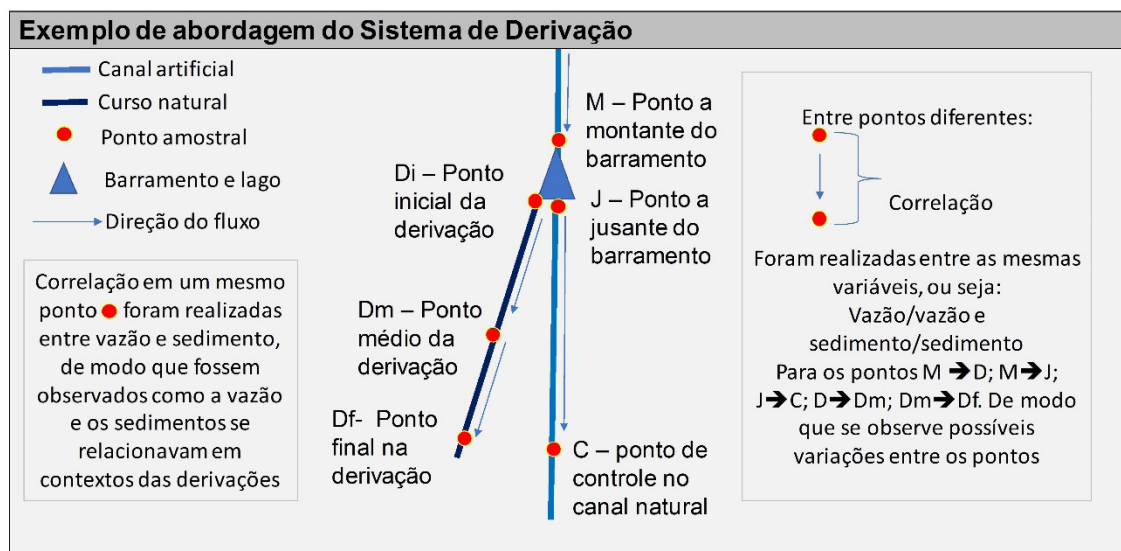
Para a bacia de estudo foi aplicado monitoramento provisório conforme Lord *et al* (2009) com apresentação de 12 cenários hidrogeomorfológicos de precipitação, vazão e sedimentos no ano hidrológico de 2015/2016. O levantamento de cenários é vantajoso, como visto em Sidle e Onda (2004), Zabaleta *et al* (2007), Ibarra (2012) e Confessor e Rodrigues (2018) por se valerem de instrumentações provisórias e viabilizarem análises de determinados contextos hidrogeomorfológicos.

A precipitação foi acompanhada com seis pluviômetros conforme orientação da Agência Nacional das Águas (ANA, 2011). Foram monitorados quatro canais derivados a partir de três cursos naturais, cabendo a Figura 3 revelar as escolhas das seções transversais nas quais foram promovidos monitoramentos e correlações. A definição destes canais e suas morfologias permitem observar os efeitos das ATH's, representadas por sulcos e diques marginais, presentes na dinâmica da vertente ao fundo de vale. A vazão foi aferida conforme metodologia da CETESB (2011) com micromolinetes fluviométricos (Global Water BC 1200 - haste graduada) para obtenção de velocidades, sendo utilizada a Equação (1).

$$(1) Q = V \times A$$

Sendo Q a vazão (m^3/s), V a velocidade (m/s) e A a área da seção molhada (m^2).

Figura 3 – Disposição dos pontos amostrais e indicação das correlações realizadas. O esquema apresenta um curso natural, que após a inserção de um barramento passa a derivar parte de seu fluxo para um canal artificial. Assim, os pontos escolhidos para monitoramento buscam mostrar o comportamento da vazão e sedimentos antes e depois do barramento (no canal natural) e no início, ponto médio e final do canal artificial.



Para melhor entender a abordagem nos canais é necessário considerar que antes de cada sigla, apresentadas na Figura 3, será incluída uma letra que indica qual canal natural está recebendo uma derivação (Quadro 1). Assim, será utilizado *T* para a derivação do córrego da Taquara, *C* para o córrego da Cava e *E* para o córrego da Estiva, que conta com duas derivações.

Quadro 1 – Exemplo de configuração de nomenclatura dos pontos de amostragens nas seções transversais aplicados neste estudo

| Derivação do Córrego da Taquara | |
|---------------------------------|---|
| TM | Ponto a montante do barramento de derivação no Córrego da Taquara |
| TJ | Ponto a jusante do barramento de derivação no Córrego da Taquara |
| TC | Ponto de controle no Córrego da Taquara |
| TDi | Ponto inicial da derivação no Córrego da Taquara |
| TDm | Ponto médio da derivação no Córrego da Taquara |
| TDf | Ponto final da derivação no Córrego Taquara |

Para sedimentos em suspensão, foram coletadas amostras nos mesmos pontos de vazão, utilizando frascos plásticos de 1000 ml. Dessa forma, foram realizadas três amostragens por seção transversal, seguindo metodologia estabelecida por Carvalho (2008). Em laboratório foram obedecidos os procedimentos operacionais estabelecidos para o Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos (LAGES, IG-UFU), agora disponibilizados em Santos e Rodrigues (2019). Assim, a Concentração de Sedimentos Suspensos (CSS) e a Carga Sólida Transportada na seção (QSS) foram plotadas para análise de cada derivação. Também foram utilizadas correlações lineares, com coeficiente de Pearson, para perceber a intensidade com que indicadores se relacionavam, dada pela Equação 2.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{var}(X) \cdot \text{var}(Y)}} \quad (2)$$

P = coeficiente de Pearson, no qual x_1, x_2, \dots, x_n e y_1, y_2, \dots, y_n são os valores medidos de ambas as variáveis a serem correlacionadas buscando observar se o comportamento de uma é influenciado pela outra

Para estas correlações se utilizou a escala proposta por Milone e Angelini (1995) válida para definir a intensidade destas relações. Os dados obtidos permitiram estabelecer análises das vazões (entre duas seções transversais), sedimentos suspensos (também entre duas seções) e vazão e sedimentos (em uma mesma seção).

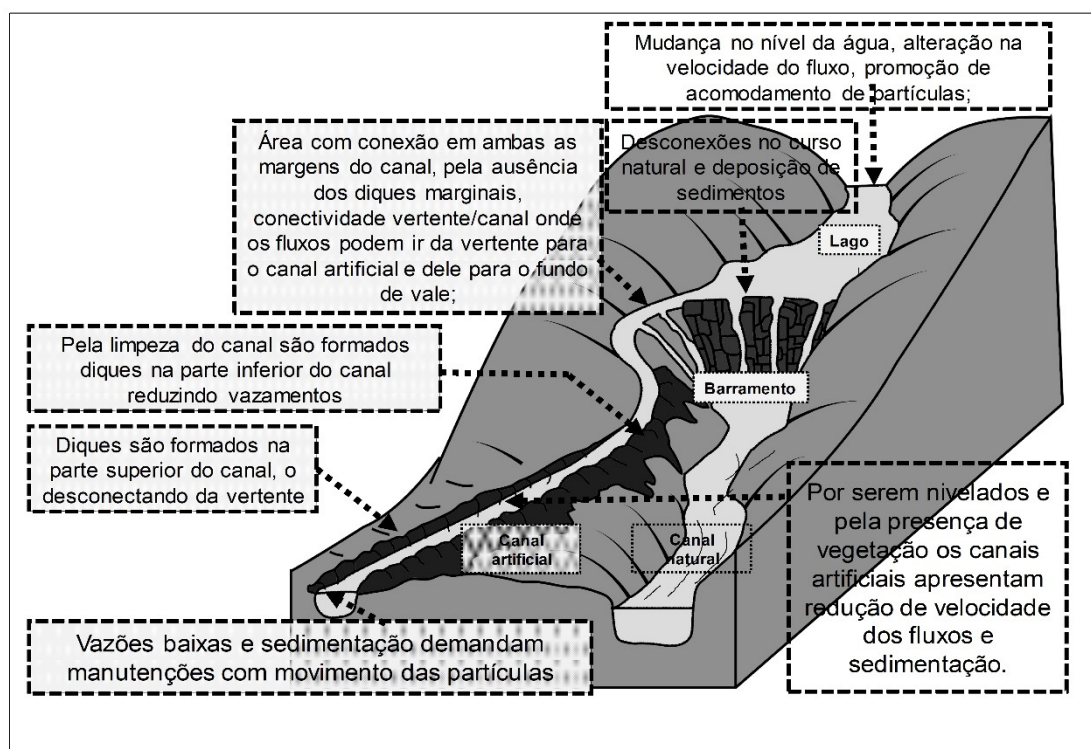
Resultados e Discussões

O sistema de derivação parte de barramentos construídos para elevar o nível da água no canal, que será parcialmente transposta pela vertente através de canais artificiais. Sendo assim, muitos deles são abertos diretamente na terra com o desenvolvimento de

vegetação em seu interior. Assim, os fluxos nos condutos variam conforme o volume de água direcionada a partir do canal natural, da evaporação, evapotranspiração, vazamentos, infiltrações e consumos demandados.

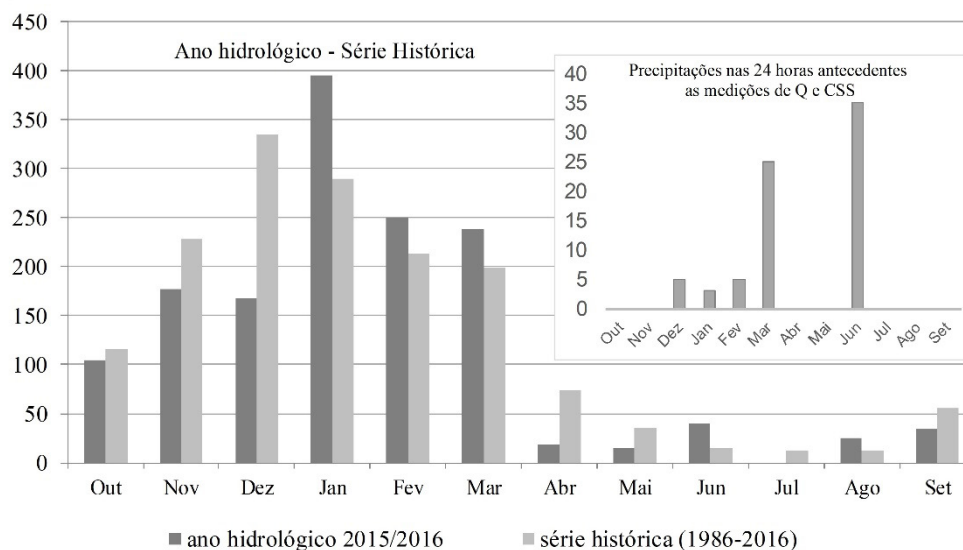
Quando esses canais são obstruídos, pela vegetação e sedimentos, ocorrem manutenções para suas retiradas e são formados os diques marginais. Os sistemas de derivação, portanto, possuem papel na acomodação de materiais em seu interior e junto aos diques que forçam a acomodação de materiais que estavam mobilizados nas vertentes. Como resultado são construídos diques marginais antrópicos que dificultam a conexão entre vertente e canais natural e artificial (Figura 4). Do contrário, quando os diques estão ausentes, os fluxos das vertentes podem se conectar as derivações.

Figura 4 – Esquema de uma derivação e estruturas influentes na dinâmica hidrossedimentar



Estas constatações empíricas são reforçadas e melhor entendidas com os estudos das vazões e das cargas de sedimentos ao longo da bacia. Para tanto, inicialmente, se considera o efeito das precipitações (Gráfico 1) na avaliação do comportamento dos indicadores ao longo dos canais naturais e artificiais.

Gráfico 1 – Precipitação – ano hidrológico 2015/2016 e as 24 horas anteriores as coletas realizadas em campo. Estação Pluviométrica Charqueada e monitoramento de campo



Uma vez que o escoamento e transporte de materiais estão atrelados a dinâmica hidrológica (COOKE e DOORNKAMP, 1975), as vazões (Q) e a carga de sedimentos em suspensão (CSS) são associados nos episódios monitorados e apresentados entre os gráficos 2 e 5.

Gráfico 2 – Córrego da Taquara - Variação da CSS e Q

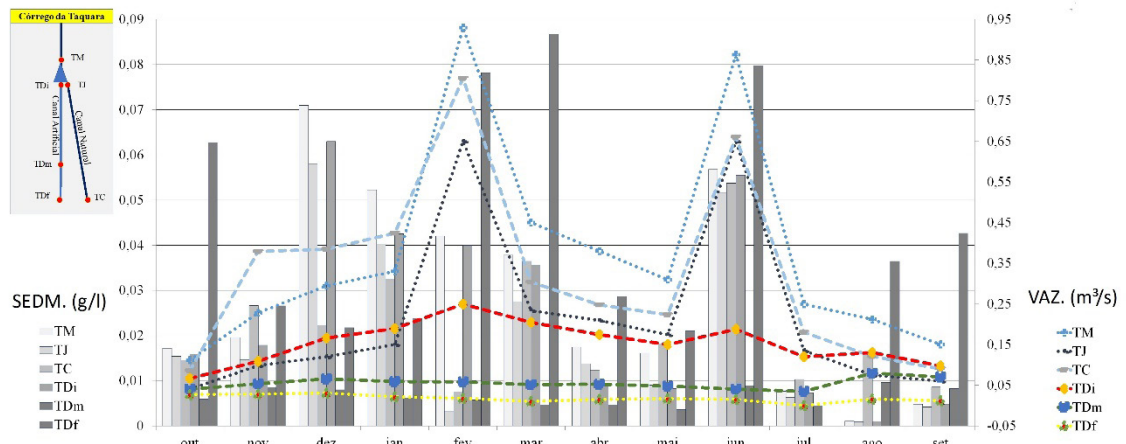


Gráfico 3 – Córrego da Cava- Variação da CSS e Q

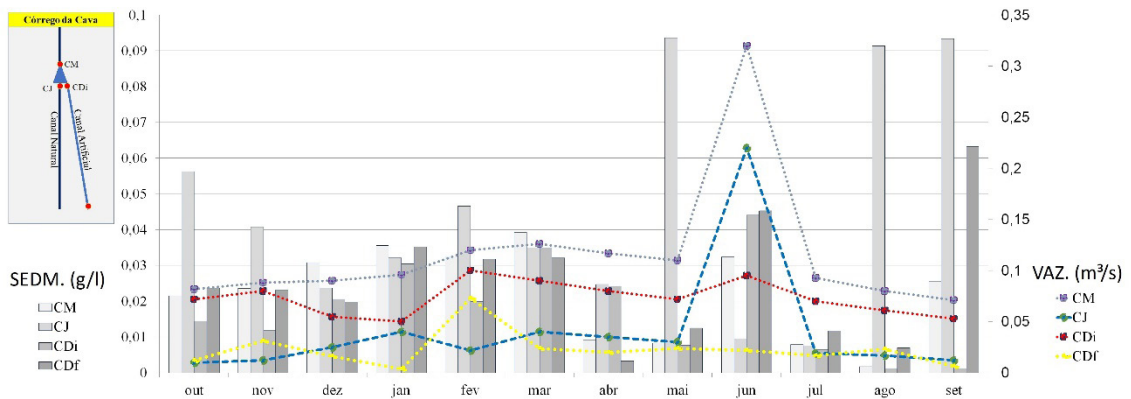


Gráfico 4 – Córrego da Estiva, Derivação 1 - Variação da CSS e Q

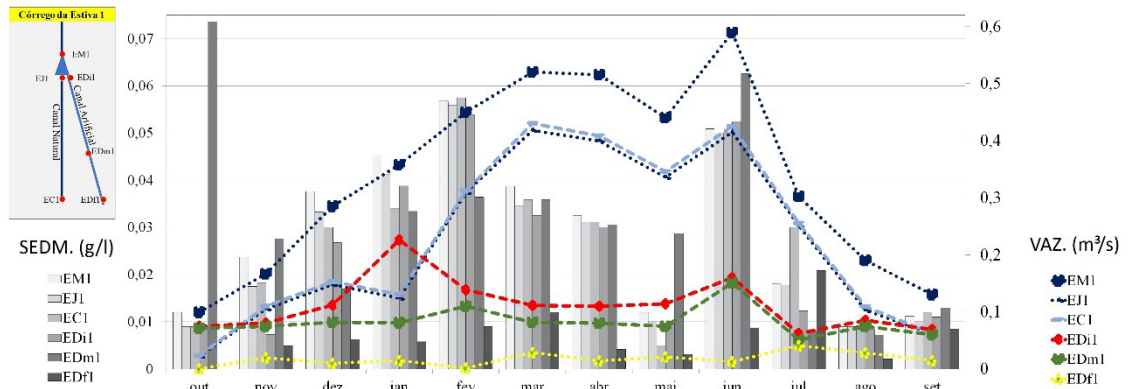
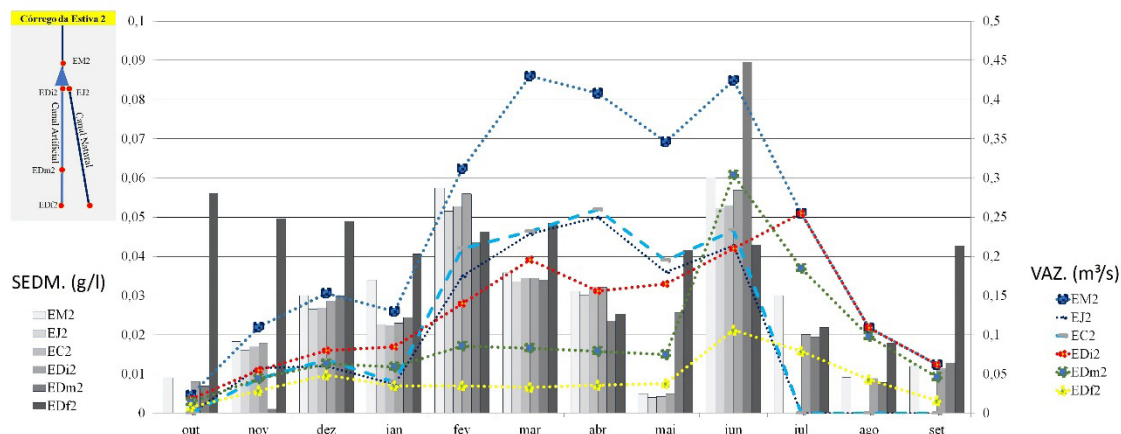


Gráfico 5 – Córrego da Estiva, Derivação 2 - Variação da CSS e Q



Esses gráficos mostram que os maiores valores de vazão estão contidos no fundo de vale que, graças a já apresentada conectividade vertente e canal (MIRUS 2007; CUNHA *et al* 2013), acabam por conduzir a maior parte do fluxo (parte é retida na dinâmica de derivação) em direção ao exutório. A variação do fundo de vale também é válida para as vazões mais baixas, quando os usuários dos canais artificiais aumentam a pressão de captação sobre os cursos naturais, justamente na estiagem (de abril a setembro), como observado no Gráfico 1. Em contrapartida, nos canais artificiais as vazões variam menos, uma vez que são contidas pela capacidade limitada destes condutos (Gráficos de 2 a 5).

Nos cenários apresentados, principalmente nos canais naturais, se notam afinidades comportamentais entre vazões e sedimentos. Já nos canais artificiais, a presença de obstáculos e a própria configuração hidráulica pode contribuir para respostas distintas entre estes indicadores. Esta questão é observada sobretudo no que se refere ao comportamento do fluxo e deposição sedimentar, como visto em outras estruturas em Lawrence e Atkinson (1998), Infante e Segerer (2010) e Gutierrez (2013). Assim, os sedimentos que tendem a responder conforme a vazão nos canais naturais, já nos artificiais estão mais subordinados as velocidades amenizadas dos

fluxos, a vegetação e as ações de limpeza e remoção de partículas, como visto nos trechos finais das derivações (Figura 5).

Para reforçar as considerações sobre os comportamentos nos canais derivados e naturais ainda foram realizadas correlações com os mesmos indicadores, mas em pontos diferentes (Gráficos de 6 a 9). Nestes apontamentos as correlações com valores mais elevados sugerem poucas alterações entre duas seções transversais conectadas.

Figura 5 – Canal artificial em dois momentos: após limpeza e retirada dos sedimentos e em condição vegetada com sedimentos sendo fixados nas hastes da vegetação

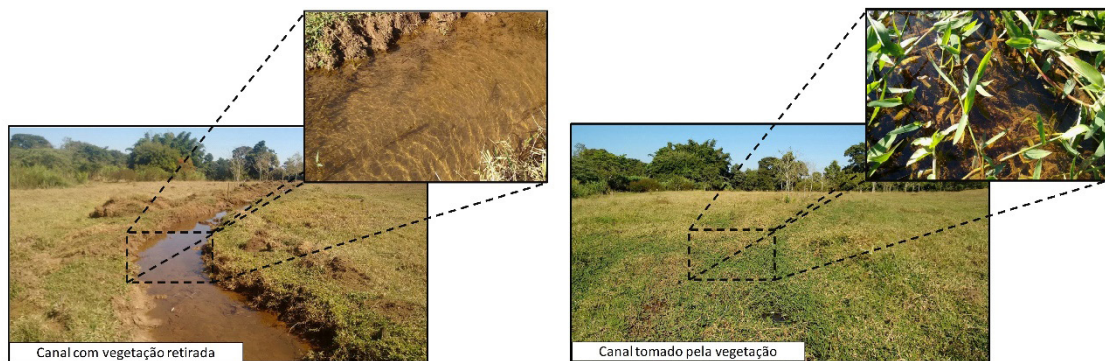


Gráfico 6 – Correlações de vazões entre seções transversais da derivação do córrego da Taquara

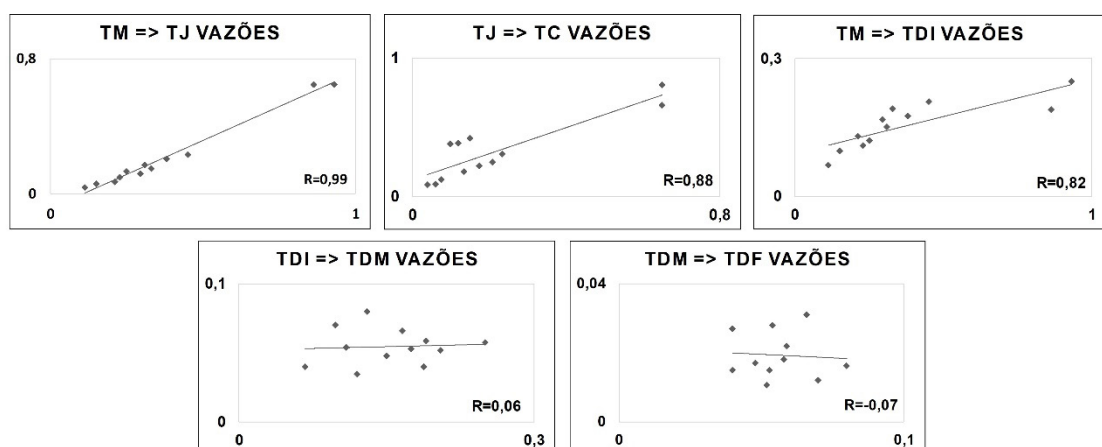


Gráfico 7 - Correlações de vazões entre seções transversais da derivação do córrego da Cava

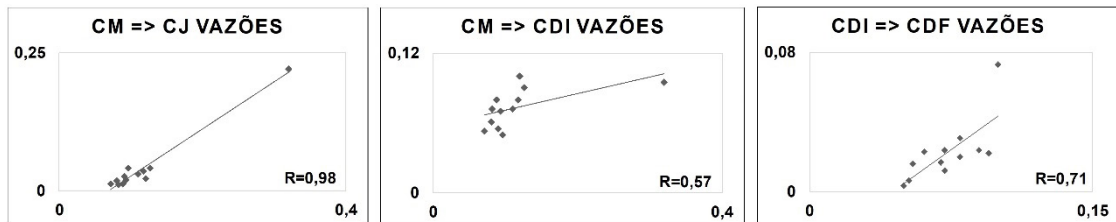


Gráfico 8 - Correlações de vazões entre seções transversais da derivação 1 do córrego da Estiva

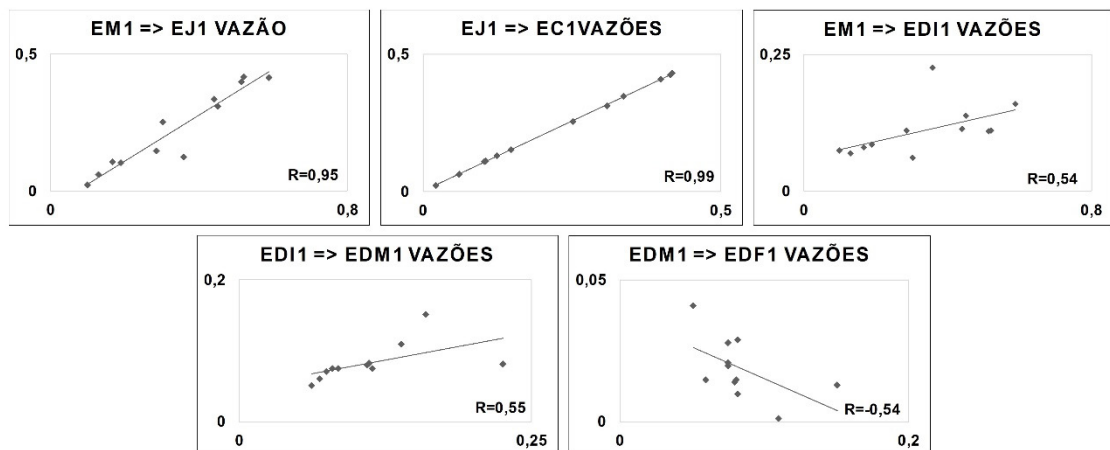
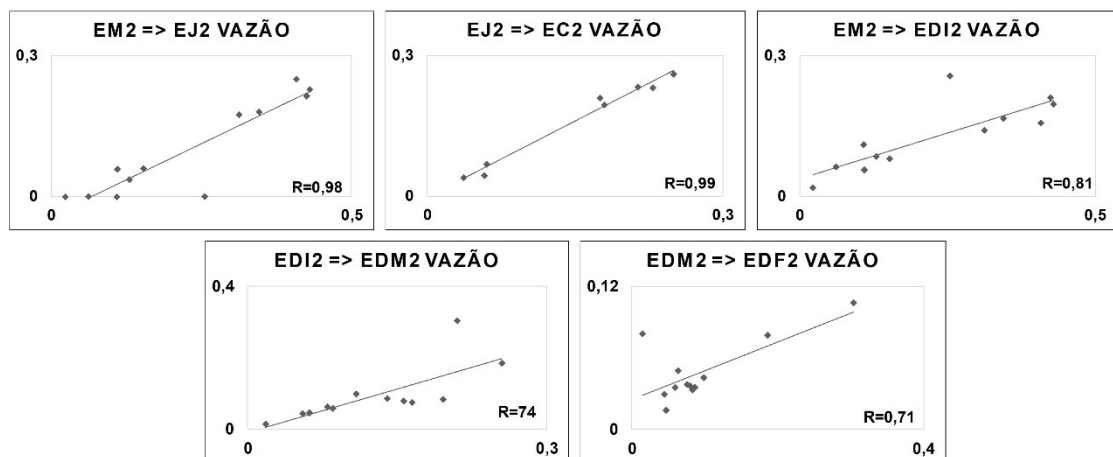


Gráfico 9 - Correlações de vazões entre seções transversais da derivação 2 do córrego da Estiva



As correlações, como serão apresentadas a seguir, se mostraram de boas a ótimas nos canais naturais e mais elevadas em comparação àquelas observadas nos canais artificiais, em que correlações negativas também foram observadas.

- Correlações positivas fortes entre os pontos amostrais dos canais naturais: na dinâmica do fundo de vale, principalmente nas cheias, quando os canais acomodam os fluxos e as vazões repercutem nos pontos a jusante. São os casos entre pontos a montante e jusante dos barramentos (TM e TJ com $R=0,99$, CM e CJ com $R=0,98$, EM1 e EJ1 com $R=0,95$ e EM2 e EJ2 com $R=0,97$), e da jusante dos barramentos com os pontos de controle (TJ e TC com $R=0,88$, EJ1 e EC1 com $R=0,99$ e EJ2 e EC2 com $R=0,99$);
- Correlações positivas entre o canal natural e o início da derivação: o argumento anterior é reforçando quando são analisadas CM e CDi com $R=0,57$, EM1 e EDi1 com $R=0,54$. Na estação chuvosa os valores nos canais naturais continuam a subir, enquanto nas derivações estabilizam após o limite da seção transversal que transborda pela vertente. Na seca, as vazões reduzem no canal natural e esforços dos usuários tentam amenizar esta queda nos artificiais (alargando a entrada de captação). Contudo, esses mesmos esforços criaram dois cenários com correlações mais elevadas em TM e TDi com $R=0,80$ e EM2 e EDi2 com $R=0,81$. Neste caso, os canais foram tão aprofundados, e os diques por consequência elevados, que sua capacidade de captação é mais tolerável a elevação da vazão natural.
- Correlações positivas ao longo das derivações: dada a forma regular dos canais artificiais os fluxos são conduzidos sem grandes oscilações, visto em CDi e CDf ($R=0,71$), EDi1 e EDm1 ($R=0,54$) EDi2 e EDm2 ($R=0,71$). Nos trechos em questão as manutenções, perdas por consumo, evaporação, evapotranspiração, infiltração e vazamentos são responsáveis pela alteração das vazões e atenuam as correlações. Entre os trechos estudados, o maior exemplo deste processo é

entre TDi e TDm com maior variação de vazão ao longo do canal e $R = 0,06$.

- Casos com correlações negativas: TDm e Tdf ($R=-0,07$) apresenta correlação negativa dado os desvios dos fluxos entre os pontos e as atividades de manutenção, então mesmo que a vazão se eleve em TDm ela pode diminuir em Tdf. Já EDm1 e Edf1 ($R=-0,54$) ocorre em um contexto de alagados formados pelo vazamento do canal danificado por animais domésticos.

Estes procedimentos foram aplicados para os sedimentos suspensos em transporte, cabendo aos gráficos de 10 a 13 apresentarem os resultados obtidos.

Gráficos 10 – Correlações de sedimentos em suspensão entre seções transversais da derivação do córrego da Taquara

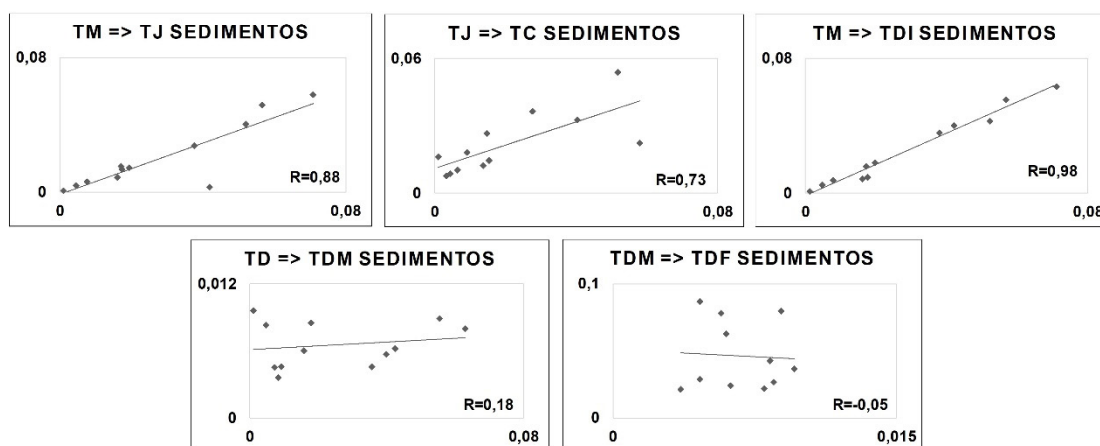


Gráfico 11 – Correlações de sedimentos em suspensão entre seções transversais da derivação do córrego da Cava

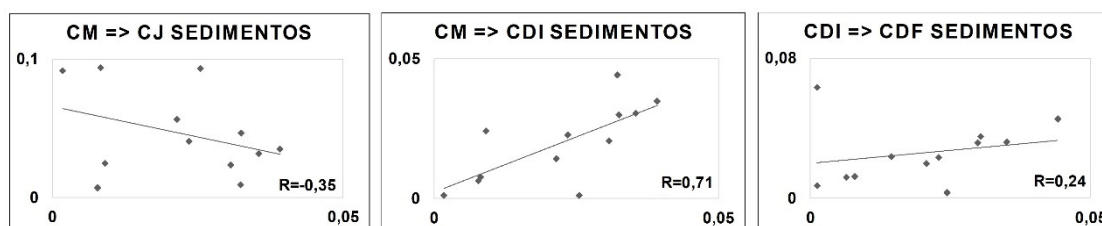


Gráfico 12 – Correlações de sedimentos em suspensão entre seções transversais da derivação 1 do córrego da Estiva

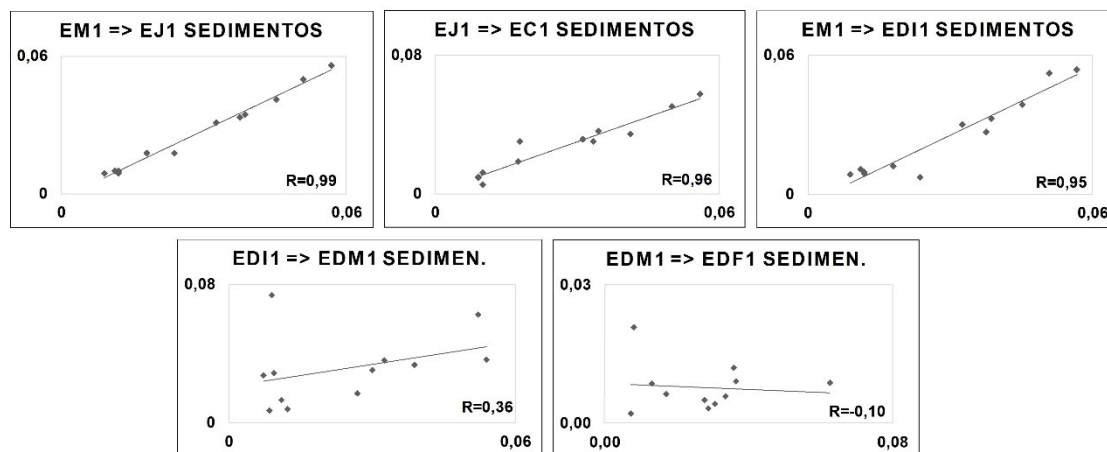
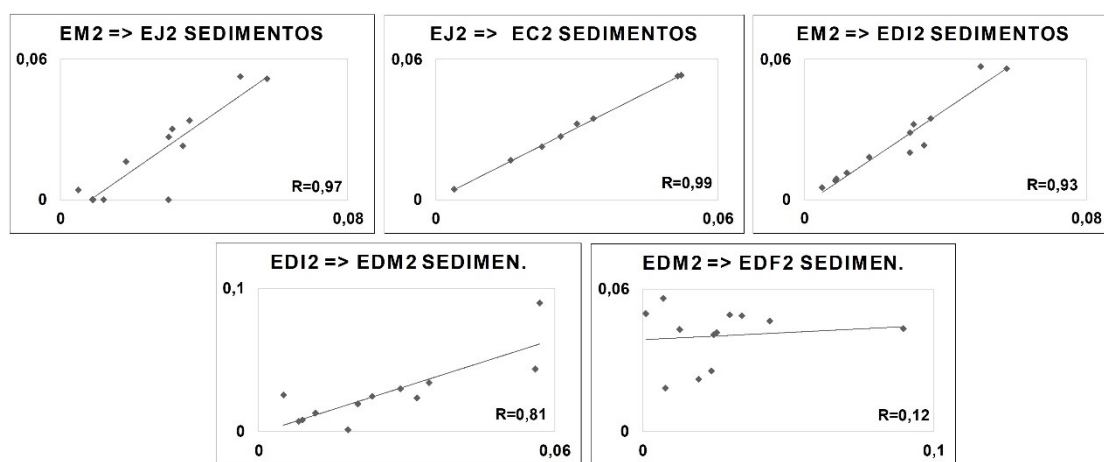


Gráfico 13 – Correlações de sedimentos em suspensão entre seções transversais da derivação 2 do córrego da Estiva



Conforme os gráficos para correlações da CSS os mesmos perfis entre as correlações mais fortes nos canais naturais em comparação aos artificiais, são observados e discutidos a seguir:

- Correlações positivas elevadas: foram principalmente identificadas nos pontos de derivações que conjugam o canal natural, a montante e a jusante do barramento da derivação, e o início do canal artificial (TM e TDi com 0,98, TM e Tj com 0,88, CM e CDi com 0,71, EM1 e EDI1 com 0,95, EM1 e

EJ1 com 0,99, EM2 e EDi2 com 0,93 e EM2 e EJ2 com 0,97). Esses valores sugerem que os barramentos possuem uma pequena capacidade de alteração do transporte de carga de sedimentos.

- Correlações positivas encontradas ao longo dos canais artificiais: A mobilidade e acomodação de sedimentos entre TDi e TDm (0,18), CDi e CDf (0,24), EDi1 e EDm1 (0,36) e EDm2 e EDF2 (0,12) variam conforme as manutenções, crescimento da vegetação e redução dos fluxos. O trecho EDi2 e EDm2 apresenta comportamento semelhante aos de início de derivação ($R=0,81$) o que sugere menor deposição, pois o canal é bem escavado e com poucos obstáculos facilitando o fluxo do sedimento;
- Correlações negativas: ocorreram em TDm e TDf (-0,05), CM/CJ (-0,35) e EDm1 e EDm1 (-0,10), sugerindo que as intervenções humanas, como reformas dos canais, desvios e interação com animais domésticos, podem impedir que um ponto influencie regularmente outro.

Com a progressão das análises, infere-se que tanto as variações (ao longo do tempo e espaço) quanto as correlações das vazões (Q) e da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) são mais fortes nos canais naturais. Nos artificiais, a ação humana tentando impedir que estes sejam obstruídos por vegetação e sedimentos acabam gerando comportamentos mais complexos e, muitas vezes, difíceis de serem correlacionados. Há, também, a possibilidade de observação do comportamento destes canais através da análise da correlação entre Q e CSS, em uma mesma seção transversal, para assim observar a influência dos canais, barramentos e outras formas na dinâmica destes sistemas de drenagem. Cabendo aos Gráficos de 14 a 17 apresentar possíveis proximidades e discrepâncias em cada seção transversal para os dois indicadores. As correlações, marcadamente mais fracas neste tipo de conjugação, serão discutidas e comparadas entre diferentes seções transversais, buscando identificar as menores, maiores e quais os significados destes indicativos.

Gráfico 14 – Córrego da Taquara – Correlações entre a CSS e Vazão

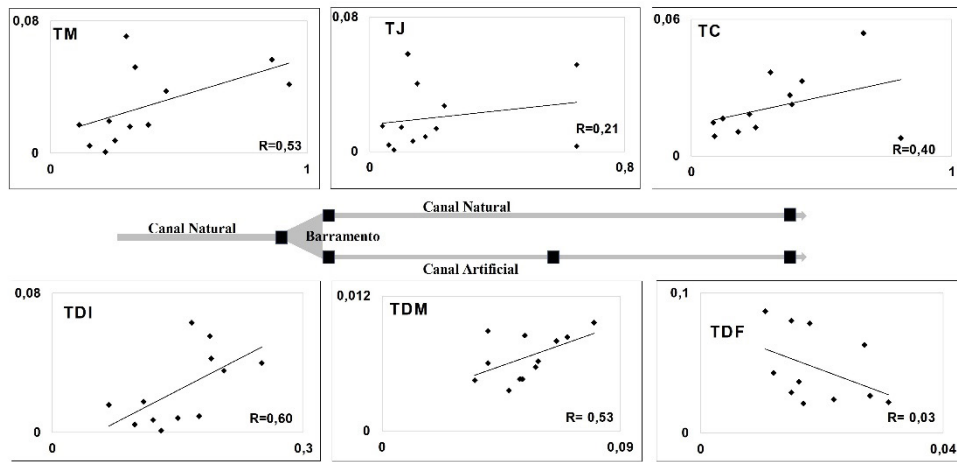


Gráfico 15 – Córrego da Cava – Correlações entre a CSS e Vazão

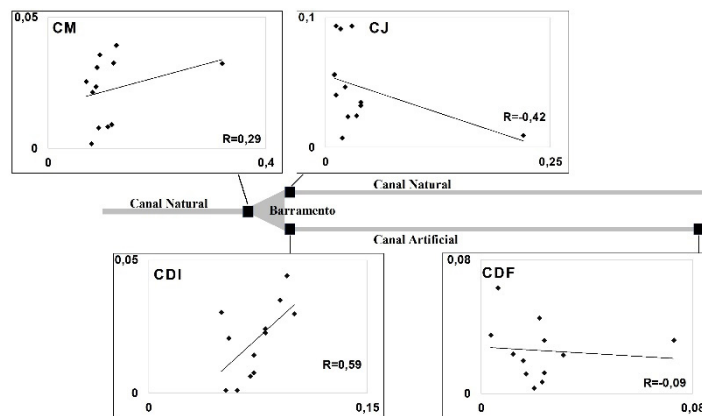


Gráfico 16 – Córrego da Estiva 1 – Correlações entre a CSS e Vazão

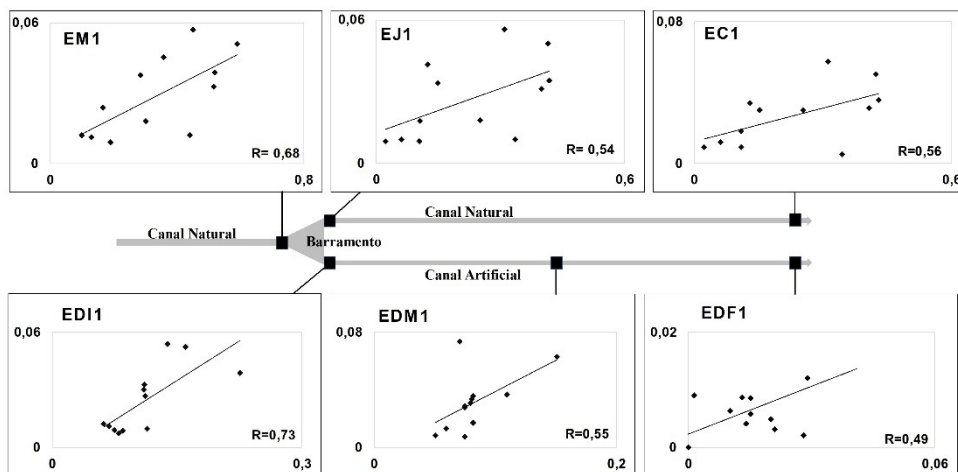
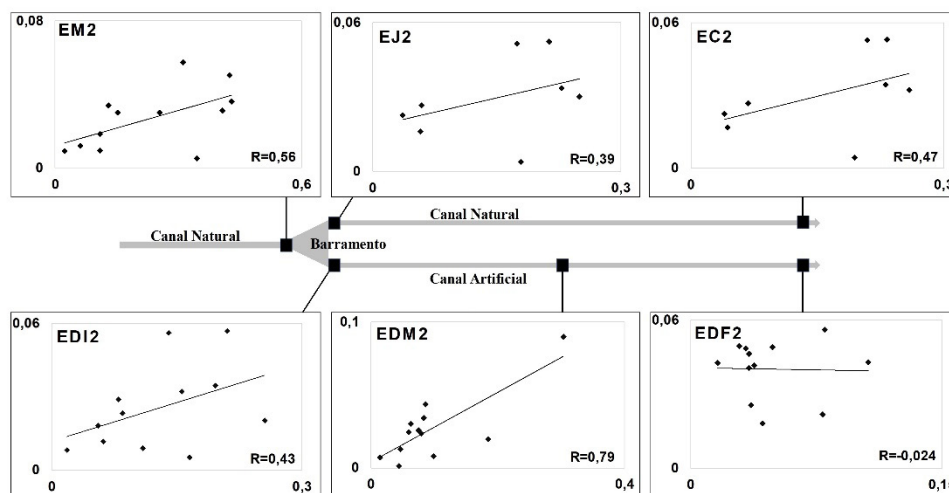


Gráfico 17 – Córrego da Estiva 2- Correlações entre a CSS e Vazão



Como visto nos gráficos, torna-se complexo relacionar vazões e sedimentos, uma vez que os ambientes estudados apresentam diferentes perfis de uso e ocupação. Tendo sido observadas, dentro da abordagem estatística de Milone e Argelini (1995), correlações fracas. Como sugere Imaizumi *et al* (2010), o aporte de sedimentos está principalmente conectado aos processos de escoamento vertente/curso. Esses graus de conectividade (CROKE e MOCKLER, 2005), são muito diversos e permeados pelas assinaturas topográficas humanas, tais como: estradas, valas, calhas coletoras, canais artificiais, drenos e os elementos naturais como: interflúvios, vertentes, fundos de vale, canais naturais, vegetação, tipos de solos entre outros.

Estas condições (usos e ocupações diversos) foram observadas nos setores antecedentes a TM, EM1 e EM2 (Gráficos 14, 16 e 17) que apresentam respectivamente os valores de correlação de 0,53, 0,68 e 0,52, embora não elevados, entre os maiores encontrados. Já os trechos arborizados (nesta bacia predominante nas áreas de nascentes), como sugerem Sidle e Onda (2004), amenizam estes deslocamentos superficiais, prevalecendo a dinâmica hidráulica no canal.

As presenças de obstáculos, como os barramentos, podem produzir correlações mais baixas, se comparadas aos trechos an-

tes dos barramentos. Esta condição é vista no Gráfico 14 com TJ ($R=0,21$), no Gráfico 16 em EJ1 ($R=0,54$) e no Gráfico 17 com EJ2 ($R=0,39$) em que passam somente parte da vazão com redução da carga sedimentar, desviada ou retida no processo de derivação. Na sequência, nos pontos de controles dos canais naturais, as correlações são levemente maiores como em TC ($R=0,40$), EC1 ($R=0,56$) e EC2 ($R=0,47$). Para esta condição é possível que, no trecho de canal natural, as correlações entre CSS e Q são fortalecidas dada as dinâmicas entre vertentes e cursos naturais.

No ponto CJ (Gráfico 15) os valores para CSS destoam ($R=-0,42$), de outros pontos a jusante, pela dificuldade de depuração dado aumento da matéria orgânica (a vegetação, sobretudo a invasora *Hedychium coronarium*) e a queda da vazão, fator que inclusive compromete a qualidade hídrica e viabilidade ecossistêmica (SVENDSEN et al, 2009). Considera-se, portanto, que os valores Q e CSS, a jusante dos barramentos, estão intimamente ligados ao potencial de captação no início da derivação (como em TJ com $R=0,21$). As captações, por sua vez, são condicionadas pela atuação dos usuários, que definem a manutenção contra vazamentos, sedimentação e crescimento da vegetação, podendo Q e CSS circularem mais facilmente (SILVA, 2018). Assim, para certas derivações, como TDi ($R=0,60$), CDi ($R=0,59$) e EDi1 ($R=0,73$), se têm comportamentos semelhantes, influenciados ainda pela dinâmica do curso natural, antes do barramento, e pela manutenção da seção transversal.

Quanto aos pontos médios de derivação, como visto nos Gráficos 14 e 16, TDm ($R=0,53$) e EDm1 ($R=0,55$) são observadas correlações (comparadas aos inícios das derivações). Nos canais abertos, como observam Greene e Knox (2014), a redução energética de transporte, seja pela configuração do canal ou vegetação, propicia a deposição. Portanto, se no início as derivações se comportavam influenciadas pelos canais naturais e suas variações, agora, no ponto médio as vazões são mais estáveis e prevalece a sedimentação. As condições do trecho antecedente ao ponto EDm2 (Gráfico 17), arbóreo, sombreado que inibe o crescimento

de vegetação dentro do canal, produziu valor mais elevado de correlação ($R=0,79$), dada a facilidade de deslocamento dos sedimentos na ausência de obstáculos significativos.

Nos trechos finais das derivações com constantes manutenções ocorrem a remobilização dos sedimentos, ainda que as vazões sejam baixas. Como resultado, as seções transversais apresentaram correlações negativas, como visto no Gráfico 14 em TDF ($R=-0,03$), Gráfico 15 em CDF ($R=-0,09$) e no Gráfico 17 com EDF2 ($R=-0,02$). Essa condição é observada também em obras de transposição maiores, nas quais as remoções de sedimentos são constantemente necessárias para garantir o fluxo, como expõem Hawley *et al* (2013). A seção transversal EDf1 (Gráfico 16) se distingue pela correlação positiva ($R=0,49$), dada as manutenções, nesse caso a vazão e sedimentos reduzem. A única exceção para EDf1 provém de uma manutenção em julho, oportunidade excepcional para entender a dinâmica de limpeza dos canais.

As correlações entre vazão e sedimentos em suspensão sugerem que os valores destas variáveis se alteram de um ponto para outro, dada redução da vazão, acomodação ou remobilização de sedimentos. Para melhor observar estes processos, os Gráficos de 18 a 21 apresentam a carga sólida transportada (QSS). Essa abordagem importa, como colocam López-Tarazón *et al* (2011), pois as concentrações de sedimentos podem ser altas mesmo em fluxos baixos, questão vista em alguns casos neste estudo.

Gráfico 18 – Carga sólida transportada (QSS) – Córrego da Taquara

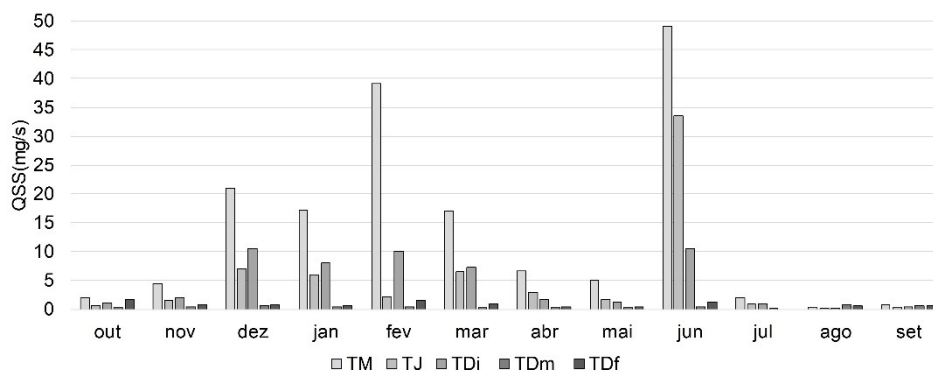


Gráfico 19 – Carga sólida transportada (QSS) – Córrego da Cava

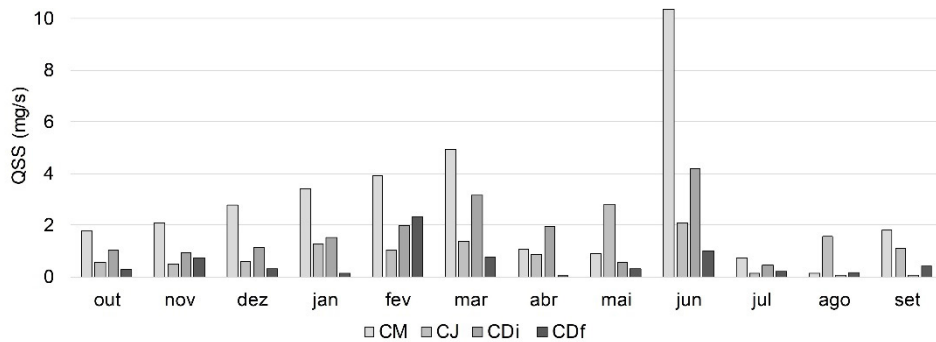


Gráfico 20 – Carga sólida transportada (QSS) – Córrego da Estiva 1

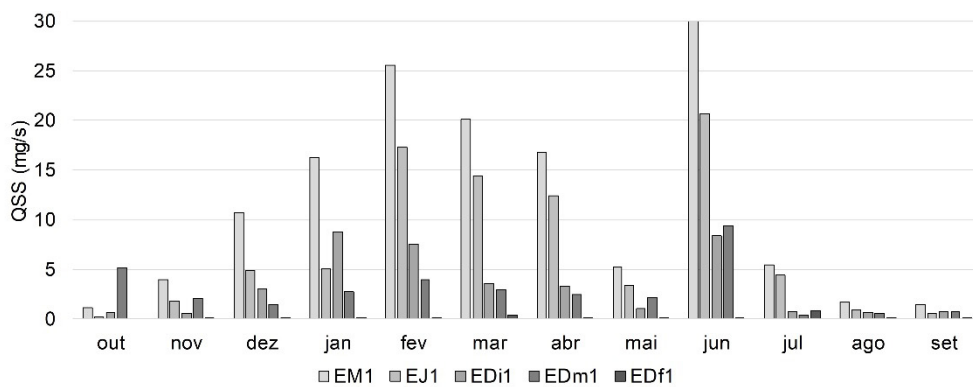
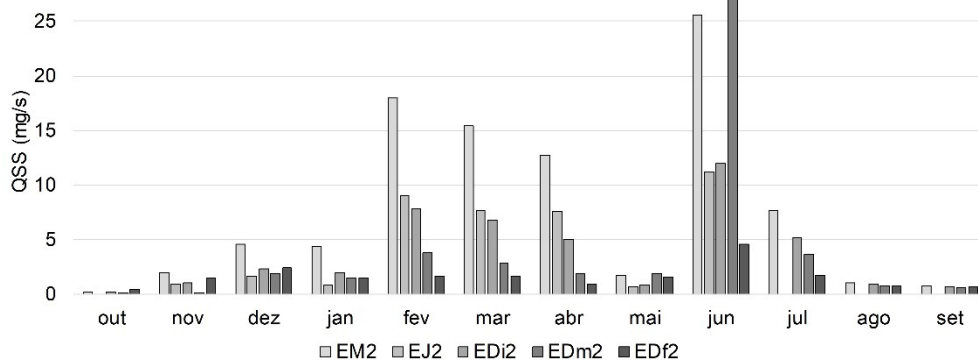


Gráfico 21 – Carga sólida transportada (QSS) – Córrego da Estiva 2



Seguindo o fluxo, geralmente os valores mais elevados de QSS estão nos canais naturais, a montante das derivações, e decaem

em seguida nos barramentos, nas divisões e perdas nas vazões, bem como canais artificiais propícios à deposição. Os barramentos, por exemplo, além de dividir os fluxos e a carga de sedimentos entre duas direções, chegam a reter 13% entre EM1 e EJ1 e 22% do material sedimentar entre TM e TJ. No caso do córrego da Cava a matéria orgânica em decomposição no ponto CJ mascara os valores retidos no barramento.

Também é preciso considerar as manutenções, quando se elevam os índices de sedimentos disponíveis para transporte em contraste com a redução do volume de água no canal. Essa indicação é vista nos valores maiores em Tdf que TDm, em Cdf que CDi e EDf2 sobre EDm2. Como esses aumentos ocorrem mesmo no período da seca, é visto que os mesmos não se referem às conexões com as vertentes, mas nas intervenções dentro dos próprios condutos.

Em suma, a Tabela 1 evidencia o potencial de deslocamento da água dentro da bacia e como a transposição implica na alteração da dinâmica hidrológica. Na medição realizada na estação seca as porcentagens desviadas são elevadas, com um canal tendo suas vazões suprimidas o que reflete nas reduções das vazões mínimas no exutório da bacia.

Tabela 1 – Porcentagens de águas derivadas em amostragens nas estações chuvosa e seca (ano hidrológico 2015/2016)

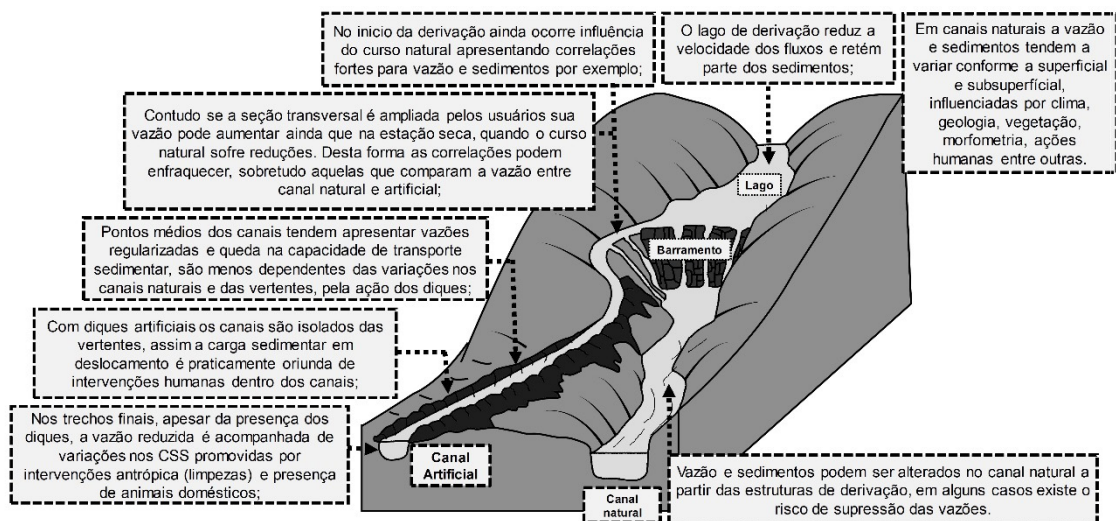
| Derivação | Jan/16 | Set/16 |
|---------------------|--------|--------|
| Córrego da Estiva 1 | 64% | 23% |
| Córrego da Estiva 2 | 63% | 100% |
| Córrego da Cava | 58% | 79% |
| Córrego da Taquara | 55% | 42% |

Nesta bacia, Silva (2014) apresentou que o perfil de ocupação predominante até início dos anos de 1990 era tradicional, com agricultura e manutenção dos canais artificiais se valendo de técnicas e ferramentas rudimentares (uso de enxadas, por exemplo). Logo,

os canais derivados eram menores, dadas as técnicas rudimentares de manejo, com retorno de fluxos para os cursos naturais uma vez que os diques antrópicos eram menores. Contudo, a partir da inserção de novos meios de manutenções com maquinários (SILVA, 2018), os diques cresceram, reduzindo a capacidade de concentração desta bacia, ao mesmo tempo que, as manutenções foram abandonadas nos trechos finais das derivações, abrandonando o retorno dos fluxos para os canais naturais.

Cabe à Figura 6 sintetizar os principais fatores observados nos sistemas de derivação se mostrando consonantes com outras pesquisas. Em Terajima *et al* (1997), por exemplo, os estudos em cabeceiras de drenagens, relativos à retirada, transporte e sedimentação de materiais, são válidas análises dos processos hidrogeomórficos. Já Dunne (1982), ao avaliar dezenas de bacias hidrográficas, atestou como é preponderante o papel humano nas respostas sedimentares e hidrológicas, como mostrado agora no contexto destes canais.

Figura 6 – Síntese do comportamento hidrossedimentar de uma bacia com canais abertos artificiais a partir das correlações e condições de uso ao longo do ano hidrológico



Considerações finais

A abordagem por cenários permitiu descrever os comportamentos das vazões e sedimentos, confirmando que os sistemas de derivação promovem mudanças das vazões, com supressões que podem ser totais, incluindo repercussões no material sedimentar, ao longo dos canais naturais. Os gráficos, das realidades estudadas, podem ser traduzidos nos pontos a seguir:

- Enquanto as maiores variações de vazão ocorrem nos canais naturais, que comportam os volumes a eles direcionados pela configuração do fundo de vale, os canais artificiais tendem a estabilidade de vazão em função de sua forma e da frequência de manutenções;
- Nos canais naturais os barramentos e poços (elementos pontuais) são responsáveis pela acomodação de partículas, já nos canais artificiais é a vegetação e a pouca declividade que promovem o decaimento de partículas na coluna de água ao longo de todo canal (elementos longitudinais);
- Logo, a dissipação da energia dos fluxos é maior nos canais artificiais, prevalecendo a deposição em contraste com a tendência de movimento das partículas nos canais naturais;
- Os gráficos hidrossedimentares e estudos das correlações evidenciam o potencial da ação antrópica na alteração da dinâmica hidrológica, e da criação de uma dinâmica própria nos canais artificiais, bem como do direcionamento dos sedimentos, sobretudo pelo redirecionamento dos fluxos e cargas para as vertentes;
- Nos canais artificiais, ao longo das vertentes, são promovidas deposições de sedimentos, a limpeza destes materiais gera diques marginais que impactam no deslocamento das águas superficiais pela vertente em direção ao fundo de vale;

- Desta forma, as mudanças inicialmente propostas são para redirecionar as vazões, pois geram repercussões tanto nas formas (vertentes e fundos de vale), quanto dos processos a elas atreladas, um testemunho do impacto hidrogeomorfológico que estas práticas promovem.

Portanto, é necessário considerar que muitos canais ainda são construídos ou alterados sem levar em consideração os impactos que produzem. A percepção destes impactos, evidenciados neste estudo, sugere que ambientes com canais abertos artificiais necessitam de atenção para a promoção do entendimento de problemas, principalmente no que se refere aos impactos das ATH's construídas para as derivações (como barramentos e canais), ou delas resultantes (diques marginais, caminhos preferenciais promovidos por vazamentos e áreas de deposição). Estes esforços de compreender a evolução das paisagens, como os apresentados neste estudo, devem fornecer meios para a gestão destas áreas.

Referencias

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Orientações para operação das estações hidrométricas**. Brasília, 2011.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 600 2008. 600p.

CASSETI, V. **Estrutura e gênese da compartimentação da paisagem de Serra Negra -MG**. Goiânia: Ed. UFG, 1981.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Guia Nacional De Coleta E Preservação De Amostras**. Brasília, 2011.

CONFESSOR, J. G.; RODRIGUES, S. C. Método para calibração, validação e utilização de simuladores de chuvas aplicados a estudos hidrogeomorfológicos em parcelas de erosão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, p. 221-228, 2018.

COOKE R.U. AND DOORNKAMP J.C. **Geomorphology in Environmental Management**. Oxford: Oxford University Press. 1975.

CROKE, J; *et al.* Sediment concentration changes in runoff pathways from a forest road network and the resultant spatial pattern of catchment connectivity. 243 **Geomorphology** v. 68, p. 257-268, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.11.020>

CROKE, J; MOCKLER, S. Gully initiation and road-to-stream linkage in A Forested Catchment, Southeastern Australia. **Earth Surf. Process. Landforms** v. 26, p. 205-217, 2001. [https://doi.org/10.1002/1096-9837\(200102\)26:2<205::AID-ESP168>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/1096-9837(200102)26:2<205::AID-ESP168>3.0.CO;2-G)

CUNHA, M.C. *et al* Medidas de controle de erosão em estradas rurais na bacia do rio das Pedras, Guarapuava-pr. **Sociedade e Natureza**, v. 25 (1), p. 107-118, 2013.

DIETRICH, W; DUNNE, T. Sediment budget for a small catchment in mountainous terrain. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Supplement Band 29*, p. 191-206, 1978.

DIETRICH, W. E. *et al.* Overview: "Zero-order basins" and problems of drainage density, sediment transport and hillslope morphology. **IAHS**. Plub, v.165, p. 49-59, 1987.

DUIJSINGS, J. J. H. M. A sediment budget for a forested catchment in Luxembourg and its implications for channel development. **Earth Surface and Processes Landforms**. v. 12. p. 173 -184, 1987. <https://doi.org/10.1002/esp.3290120207>

DUNNE T. Sediment yield and land use in tropical catchments, *Journal of Hydrology*, p. 281-300, 1979. In: LARONNE, J.B; MOSLEY, M. P. (eds) **Erosion and Sediment Yield, Stroudsburg: Benchmark: Hutchinson Ross**, 1982.

GREENE, S.L; KNOX, J. Coupling legacy geomorphic surface facies to riparian vegetation: Assessing red cedar invasion along the Missouri River downstream of Gavins Point dam, South Dakota. **Geomorphology**, v. 204, p. 277-286, 2014

GUTIERREZ, G.E. **Hidráulica de Canales**. Laboratorio de Hidráulica de Canales. Ciudad de México, 2013. 54p.

HAWLEY, R. J; MACMANNIS, K. R. Wooten, M.S. Bed coarsening, riffle shortening, and channel enlargement in urbanizing watersheds, northern Kentucky, USA, **Geomorphology**, v. 201, p. 111-126, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.06.013>

IBARRA, E. M. A geographical approach to post-flood analysis: The extreme flood event of 12 October 2007 in Calpe (Spain). **Applied Geography**, v. 32, p. 490-500, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.06.003>

INFANTE, P. S; SEGERER, C. D. **Guía de Estúdio "Obras Hidráulicas I". Cuyo**: Universidad Nacional de Cuyo -Facultad de Ingenieria. 2010.

IMAIZUMI, F. *et al.* Channel initiation by surface and subsurface flows in a steep catchment of the Akaishi Mountains, Japan. **Geomorphology**, v. 115, p. 32-42, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.09.026>

JENCOSO, K.G. *et al.* Hydrologic connectivity between landscapes and streams: transferring reachand plot-scale understanding to the catchment scale. *Water Resource Research*. **Research**. v. 45, p. 2-16, 2009. <https://doi.org/10.1029/2008WR007225>

LANDWEHR, K. RHOADS, B. L. **Depositional response of a headwater stream to channelization**, East Central Illinois, USA. *River Research Applied*, v. 19, p. 77-100. 2003. <https://doi.org/10.1002/rra.699>

LAWRENCE, P.; ATKINSON, E. **Deposition of fine sediments in irrigation canals**. *Irrigation and Drainage Systems*, v. 12, p. 371-385, 1998. <https://doi.org/10.1023/A:1006156926300>

LÓPEZ-TARAZÓN, J. A. *et al.* **The sediment budget of a highly dynamic mesoscale catchment**: The River Isábena. *Geomorphology*, v. 138 (1), p. 15-28. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.08.020>

LORD, M.L. *et al.* **Fluvial geomorphology:** Monitoring stream systems in response to a changing environment. Geological Society of America, p. 69-103, 2009.

MILONE, G; ANGELINI, F. **Estatística Aplicada**, São Paulo: Atlas Editora, 1995. 286p.

MIRUS, B. *et al.* **Simulated effect of a forest road on near-surface hydrologic response:** redux. Earth Surface, Processes and Landforms, v. 32, p. 126-142, 2007. <https://doi.org/10.1002/esp.1387>

MOSLEY, M. P; LARONNE, J. B. **Erosion and sediment yield**, Hutchinson Ross Pub. Co, Stroudsburg, Pa, 1982.

MUELLER, E. N. *et al.* **Impact of connectivity on the modeling of overland flow within semiarid shrubland environments.** Water Resources Research, v. 43, p. 1-13, 2007. <https://doi.org/10.1029/2006WR005006>

PHILLIPS, J. M. *et al.* **Time-integrated sampling of fluvial suspended sediment: a simple methodology.** Hydrological Processes, 14, p. 2589-2602, 2000. [https://doi.org/10.1002/1099-1085\(20001015\)14:14<2589::AID-HYP94>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/1099-1085(20001015)14:14<2589::AID-HYP94>3.0.CO;2-D)

RICHARDS, K., 1982. **Rivers:** Form and Process in Alluvial Channels. Methuen, USA, 1982. 358p.

ROSGEN, D. **River restoration using a geomorphic approach for natural channel design.** Proceedings of the Eighth Federal Interagency Sedimentation Conference (8thFISC), April p. 2-6, 2006, Reno, NV, USA.

SANTOS, F. C; RODRIGUES, S.C. **Procedimento Operacional Padrão (POP) – Laboratório de Geomorfologia e Erosão de Solos.** Uberlândia, 2019. 30p. DOI: 10.13140/RG.2.2.11998.59202

SEAR, D. A. **River restoration and geomorphology. Aquatic Conservation:** Marine and Freshwater Ecosystems, v. 4, p.169-177, 1994.

SIDLE, R.C; ONDA, Y. **Hydrogeomorphology: overview of an emerging Science**. Hydrological Processes, v.18, p. 597-602, 2004. <https://doi.org/10.1002/hyp.1360>

SILVA, R.E.; ALLAN SILVA, G. **A comunidade rural de Dourados no município de Patrocínio -MG**: Contatos entre rural e urbano, as relações de resistência e sobrevivência no campo. XXI Encontro Nacional de Geografia Agrária -ENGA. Uberlândia: UFU, 2012.

SILVA, R.E. **Disponibilidade e demanda hídrica a partir da análise ambiental da região do alto curso do rio Dourados em Patrocínio/MG. 2014**. Dissertação (mestrado em geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2014.

SILVA, R.E; RODRIGUES, S. C. **Identificação de impactos e obras hidráulicas na bacia do córrego Estiva - Patrocínio/MG**. In: I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias, Uberaba. Uberaba, 2015.

SILVA, R. E.; RODRIGUES, S. C. **Contribuições da Geomorfologia nos estudos de canais abertos artificiais**. In: XI SINAGEO - SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2016, Maringá. XI SINAGEO - SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA - Anais do Evento, 2016.

SILVA, R. E. **Assinaturas Topográficas Humanas (ATH's) No contexto dos canais derivados multifuncionais e suas repercussões hidrogeomorfológicas. 2018**. 266f. Tese (doutorado em geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

SILVA, R. E.; SILVA, M. M. ; ASSUNCAO, W. L. **Caracterização do Regime Pluviométrico da Bacia do Rio Corumbá (GO/DF)**. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2013, Vitória - ES. Anais XV SBGFA, 2013. v. 1. p. 1.

SLAYMAKER, O. 2003. **The sediment budget as conceptual framework and management tool**. Hydrobiologia, v. 494, p. 71-82. 2003. <https://doi.org/10.1023/A:1025437509525>

SVENDSEN, C. E. *et al.* **Flow and sediment regimes at tributary junctions on a regulated river:** impact on sediment residence time and benthic macroinvertebrate communities Kristen M. Hydrological Processes. v. 23, p. 284-296, 2009.

TAROLLI, P. SOFIA, G. **Human topographic signatures and derived geomorphic processes across Landscapes.** Geomorphology, Volume 255, 15 February 2016, p. 140-161, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.12.007>

TERAJIMA, T. *et al.* **Suspended sediment discharge in subsurface flow from the head hollow of a small forested watershed, Northern Japan.** Earth Surface Processes and Landforms, v. 22, p. 987-1000, 1997.

VELOSO, G. A. ; SILVA, R. E. ; SILVA, M. M. **Fotointerpretação De Imagens: Estudo De Caso Do Alto Da Bacia Hidrográfica Do Rio Dourados/ Patrocínio-MG Gabriel Alves Veloso, Renato.** In: Marcos Esdras Leite. (Org.). Geotecnologias aplicadas aos estudos geográficos. 1ed.Montes Claros: Unimontes, v. 1, p. 47-59, 2013.

WALLING, D.E; WEBB, B.W. **Erosion and sediment yield:** a global overview. IAHS Publ, n. 236, p. 3-20, 1996.

ZABALETA, A. *et al.* **Factors controlling suspended sediment yield during runoff events in small headwater catchment of the Basque Country".** Catena, v. 71, p. 179-190, 200

Declaração de contribuição

Todos os autores ofereceram substanciais contribuições científicas e intelectuais ao estudo. As tarefas de concepção e design do estudo, preparação e redação do manuscrito, bem como, revisão crítica foram desenvolvidas em grupo. O primeiro autor Renato Emanuel Silva ficou especialmente responsável pela criação e organização da pesquisa, realizou trabalhos de campo, escreveu e revisou o artigo. O segundo autor Sílvia Carlos Rodrigues, orientou a pesquisa, revisou e traduziu o artigo.

Renato Emanuel Silva - Licenciado em Geografia pelo Centro Universitário do Cerrado Patrocínio. Pós-graduado em Inspeção Orientação e Supervisão Escolar (Lato-Sensu) pelo UNICERP com foco na dinâmica de ensino/aprendizagem. Mestre em Análise, Planejamento e Gestão Ambiental pelo Programa de Pós Graduação em Geografia do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. Possui doutorado em Planejamento Ambiental e Ordenamento Territorial pela Universidade Federal de Uberlândia. Atualmente é Professor EBTT do Instituto Federal do Mato Grosso. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4931-353X>

Silvio Carlos Rodrigues - Bacharel em Geografia pela Universidade de São Paulo. Licenciado em Geografia pela Universidade de São Paulo. Doutor em Ciências (Geografia Física) pela Universidade de São Paulo. Atualmente é Professor Titular junto ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5376-1773>

Recebido para publicação em 20 de setembro de 2020

Aceito para publicação em 25 de outubro de 2020

Publicado em 10 de novembro de 2020