



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

## CONFLUÊNCIA DE RIOS E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA ESTUDOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: ESTUDO DE CASO EM RIOS DA REGIÃO DO SUL DA BAHIA

### *RIVER JUNCTION CONTRIBUTIONS TO STUDIES IN HYDROGRAPHIC BASINS: A CASE STUDY IN RIVERS IN THE SOUTHERN REGION OF BAHIA*

(Recebido em 20-08-2018; Aceito em: 18-02-2019)

**Kaique Brito Silva**

Laboratório de Climatologia do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas  
kbritofb96@hotmail.com

**Neylor Alves Calasans Rego**

Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual de Santa Cruz  
nacrego@uesc.br

**José Wildes Barbosa Santos**

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
wildesbarbosa@yahoo.com

### **Resumo**

Características hidroquímicas em confluências hidrográficas revelam informações sobre as relações da água com os atributos ambientais das bacias conectadas. Nessa perspectiva, este estudo teve como objetivo compreender a mistura das águas na confluência dos rios Salgado e Colônia, no Sul da Bahia – Brasil. Para subsidiar essa leitura, utilizou-se a equação de balanço de massa para estimar os valores de mistura dos parâmetros analisados na confluência. Cátions e ânions foram determinados através de coletas de amostras de água e suas relações com os sistemas naturais e antrópicos, de um ponto de vista geográfico, revelaram que os valores das concentrações estão diretamente ligados a diversos cenários ambientais (meio físico e uso da terra) das bacias hidrográficas. A eficácia de 96% demonstrou que o passo a passo metodológico empregado nesse trabalho pode subsidiar outros trabalhos e discussões em bacias hidrográficas envolvendo confluência de rios.

**Palavras-chave:** Mistura de água; Atributos ambientais; Hidroquímica; Rio Salgado; Rio Colônia.

### **Abstract**

*Hydrochemical characteristics at hydrographical confluences show water conditions within the environmental context of the connected basins. In this perspective, this study had the objective to understand the mixing of waters at the confluence of the Salgado and Colônia rivers, in the South of Bahia - Brazil. To support this research, we use a mass balance equation to estimate the levels of variation of the parameters at the confluence. Cations and anions were determined by collecting water samples and their relationships with natural and anthropic systems from a geographical viewpoint revealed that the concentration values are directly linked to various environmental scenarios of the watersheds (physical environment and land use). The 96% of efficacy demonstrated that the methodological step-by-step approach employed in this work can support other works and discussions in river basins involving confluence of rivers.*

**Keywords:** *Water mixture; Environmental features; Hydrochemistry; Salgado River; Colonia River.*

### **Introdução**

Estudos direcionados a qualidade e quantidade dos recursos hídricos na Biosfera são resultantes, nas últimas três décadas, de uma preocupação majoritária em relação à água, no que concerne o seu uso e disponibilidade. Classificada como bem de sobrevivência (consumo) primordial para a sustentação da vida, atualmente tem sido questionada e analisada a sua qualidade no abastecimento das populações e se discutido um possível esgotamento de sua forma potável em determinadas regiões do planeta (HANSEN, 2013; ARNELL e GOSLING, 2014; SILVA *et al.*, 2015; DO e WESTRA, 2017; MATTOS *et al.*, 2019).

A complexidade do tema surge a partir do momento que se percebe que a qualidade e quantidade da água são condicionadas por diversos fatores socioambientais que permeiam as paisagens: atividades de uso do solo distintas, urbanização, padrões culturais do uso da água, regime pluviométrico, riqueza hidrográfica e aquífera, são alguns dos vetores com pesos distintos e fundamentais para a manutenção hídrica de determinada região (SOARES e AQUINO, 2012; ARNELL e GOSLING, 2014).

Para tais análises, surgem as Bacias Hidrográficas (BH's) como notadamente os melhores recortes espaciais no que concernem estudos de qualidade e quantidade de água (CHRISTOFOLETTI, 1980; PIRES, 2002). Delimitadas por interflúvios (linhas de cumeada), apresentam clima, geologia, geomorfologia, uso da terra e mosaico hidrológico específicos em cada região, determinando características peculiares à água subterrânea e superficial. Essa diversidade geográfica é resultante da interação dos sistemas naturais e antrópicos (HUPP, 1996; SUVOROV, 2009; GAGARINOVA, 2010; AMORIM, 2012, SILVA *et al.*, 2018b). Além disso, estudar as BH's é acompanhar os diferentes caminhos que a água percorre no ambiente, agregando ou diluindo parâmetros que condicionam sua qualidade (GUERRA, 1995).

A estrutura sistêmica de uma BH forja o percurso de corpos d'água para um ponto em comum (exutório) que trazem consigo toda a gama de componentes presentes na litosfera, como elementos e compostos químicos, sedimentos e efluentes. Entretanto, antes do exutório, tais rios se conectam por meio de diversos pontos de tributação e confluência hidrográfica, condicionando diversos tipos de mistura e modificando característica da água após cada ponto de encontro. Conhecendo esse arranjo, Guerra e Guerra (2011) e Stevaux e Latrubesse (2017) apontam que, para estudos em bacias acima de 50 km<sup>2</sup>, por exemplo, é importante uma compartimentação da mesma em sub-bacias a partir dos maiores rios tributários, pois os pontos de confluência podem revelar comportamentos mais detalhados de cada porção da BH, contribuindo para gestões ambientais mais acuradas.

Nessa concepção, os estudos em confluências de rios estão basicamente voltados para a mistura e balanço de parâmetros de qualidade que ocorre em seu bojo, formando o rio a jusante. Os poucos trabalhos que utilizaram metodologias para analisar confluências como os de Bristow (1993), Orfeo e Stevaux (2002), Boyer *et al.* (2010) e Campodonico e Pasquini (2015), Yuanfeng *et al.* (2015), determinam parâmetros em rios formadores e modelam (simulam) situações no rio receptor, utilizando equações de mistura (ou adaptações) e balanço quali-quantitativo de massa. Geralmente, os objetivos desses trabalhos são as análises de diluição de efluentes e contaminantes em rios de importância regional ou estuários que sofrem perturbações antrópicas. Segundo Mosley (1976), analisar confluências serve também para identificar processos naturais, como dissolução de minerais das rochas, deposição de elementos químicos no fundo da coluna d'água, morfologia de canais fluviais e limite biogeográfico de organismos vivos (FERNANDES *et al.* 2004). Ou seja, identificar misturas de diversos tipos de água é perceber que o "sistema confluência" é um indicador de diversas características do meio físico-ambiental das bacias hidrográficas que forma a mesma.

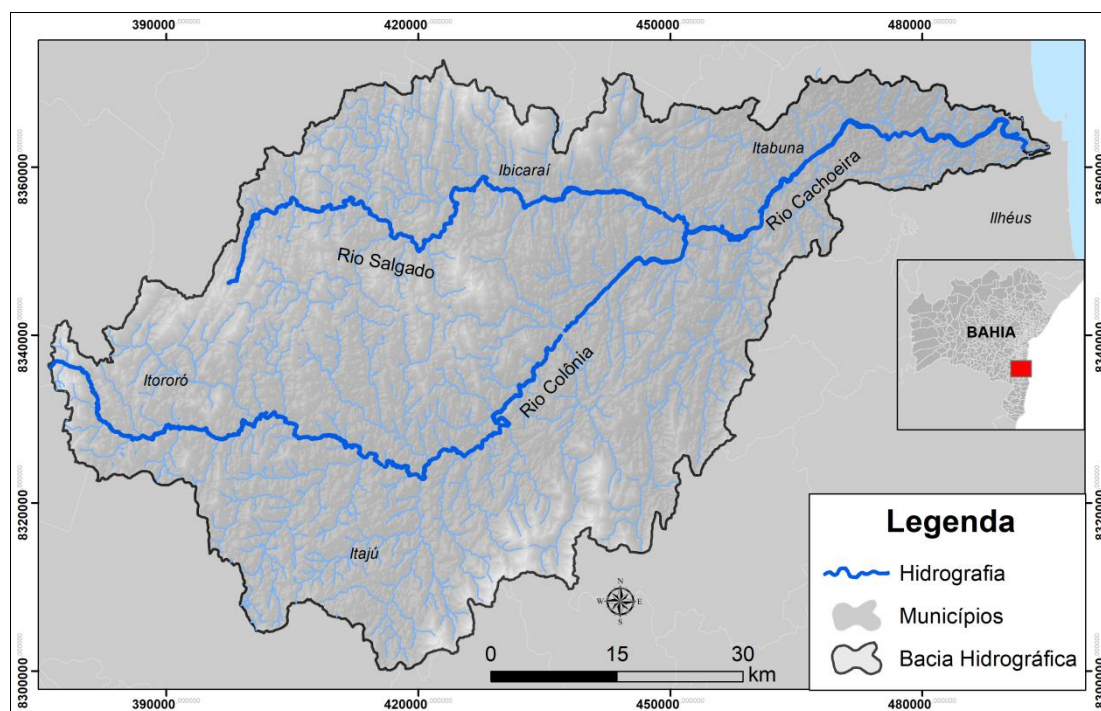
Dessa forma, para entender a dinâmica hidrológica de uma confluência através de uma perspectiva sistêmica, os objetivos desse trabalho se iniciam pela [1] caracterização ambiental das bacias hidrográficas dos rios Colônia e Salgado, no Estado da Bahia – Brasil. Os rios mencionados confluem para formar o rio Cachoeira, importante curso d'água para as cidades regionais. No ponto de confluência, [2] foram determinados os parâmetros de qualidade da água (cátions e ânions), além da vazão dos canais em estudo, no intuito de observar a mistura dos parâmetros e compreender as características que predominam de forma majoritária no rio formado (Cachoeira). Para isso, [3] utilizou-se uma estimativa de comparação dos valores das concentrações *in loco* com os valores submetidos a "equação de balanço de massa", observando a proximidades dos números e visualizando os resultados.

## Materiais e Métodos

### Área de Estudo

A Bacia Hidrográficas do rio Colônia (2339 km<sup>2</sup>) e rio Salgado (1020 km<sup>2</sup>) confluem e formam o alto curso da Bacia Hidrográfica do rio Cachoeira, no estado da Bahia, Nordeste do Brasil. O rio Colônia nasce na direção sudoeste e, após estender-se por 120 km, banhando os municípios de Itororó, Itapetinga, Itajú do Colônia e Itapé, tem sua confluência com o rio Salgado. Logo passa então a receber o nome de rio Cachoeira por ser o canal fluvial de maior extensão da bacia, como convenção morfométrica. Já o rio Salgado tem sua nascente no município de Firmino Alves e apresenta um curso de 88 km, banhando os municípios de Santa Cruz da Vitória, Floresta Azul e Ibicarai onde finalmente tem sua confluência com o rio Colônia (Figura 01). O resultante rio Cachoeira percorre cerca de 50 km após a confluência, banhando as cidades de Itapé, Itabuna e Ilhéus, e tem a sua foz na Baía do Pontal, Oceano Atlântico.

**Figura 01:** Bacia Hidrográfica do rio Cachoeira, Bahia



**Fonte:** Elaborado pelos autores a partir de dados da SEI. Agosto de 2018.

Segundo a classificação de Köppen (1948) e as representações espaciais de Alvares *et al.* (2013) e Silva *et al.* (2016), a região em estudo apresenta dois tipos climáticos definidos pelos valores de pluviosidade anual: Clima Tropical de Floresta (Af) na porção oriental com valores pluviométricos anuais em torno de 1900 mm; Clima tropical Subúmido (Aw) no zona oeste, com valores em torno de 900 mm durante o ano. Esses valores de série histórica climatológica podem ser observados nos

trabalhos de Santos (2008), Figueiredo (2004) e Silva (2015). Em resposta aos índices pluviométricos, a vegetação da área de estudo é definida como domínio Mata Atlântica, com ecossistemas típicos de regiões tropicais, variando entre floresta ombrófila e zonas de vegetação semidecidual.

#### *Caracterização ambiental*

Os cenários ambientais das BH's dos rios Colônia e Salgado foram desenvolvidos através da sobreposição de informações georreferenciadas em um banco de dados cartográfico com dados inerente às unidades de paisagem [1] Geologia, [2] Geomorfologia, [3] Solos e [4] uso da terra. Inicialmente, considerou-se uma escala regional de análise, de métrica 1:100.000, levando em conta a paisagem em que foram geradas as cinco variáveis cartográficas utilizadas, integrando camadas dos componentes físico-naturais da paisagem. Além disso, foi adotada a escala gráfica 1:200.000 para a representação dos mapas presentes nos resultados. Todos esses dados são obtidos em arquivos digitais no formato *Shapefile* (.shp), disponíveis através do sistema cartointerativo do Processamento Digital (2017) e Superintendência de Estudos Socioeconômicos-SEI (2004).

Em seguida, foi realizado um levantamento das cartas que abrangem os municípios das bacias em estudo. Foram selecionadas quatro cartas topográficas na escala 1:100.000 produzidas pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, SUDENE (1977): Itabuna, Ibicaraí, Camacã e Iitororó. O intuito do uso dessas cartas foi para refinamento nos contornos dos rios, levando em conta principalmente os aspectos das curvas de nível nos arquivos de hipsometria.

Toda a conjuntura de dados apontada foi realizada através de processamentos no Sistema de Informação Geográfica *ArcGIS* 10.3. Inicialmente, foram importados os dados para composição das camadas e organização das sobreposições. Em seguida, realizou-se uma junção dos arquivos, definindo os nomes das unidades mapeadas e unindo os polígonos pela mesma informação na tabela de atributos (comando *merge*). Após a junção, gerou-se um único arquivo *shapefile*, contendo as posições geográficas e as informações de legenda das unidades mencionadas.

#### *Coleta e análise de amostras de água*

Para identificação das informações hidroquímicas dos rios Salgado, Colônia e Cachoeira, foram estabelecidos três pontos de coleta para quatro campanhas campo, estando esses pontos próximos da posição da confluência hidrográfica. As coletas foram realizadas entre agosto de 2016 e fevereiro de 2017, observando assim um período de 7 meses. Optou-se pelas convenções expostas por Boyer *et al.* (2010) e Fleck *et al.* (2013), os quais defendem que em tributações de até 50 m de largura o ideal é observar a mistura dos efluentes (esgotos) num deslocamento de 200 m a jusante



(Figura 02). A coleta foi feita de acordo com o manual de métodos padronizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Em cada coleta de campo, foram medidas as descargas (vazões) dos canais por meio da sonda OTT ADC – *Acoustic Digital Current Meter*, com acurácia de  $\pm 0,25$  cm/s.

**Figura 02:** Pontos de coleta na confluência em estudo



Fonte: Esri Imagery. Agosto de 2018.

Foram determinadas as concentrações dos cátions Sódio ( $\text{Na}^+$ ), Potássio ( $\text{K}^+$ ), Cálcio ( $\text{Ca}^+$ ) e Amônio ( $\text{NH}_4$ ) através do procedimento de Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). O *range* do ICP-OES usado foi 1.10 Kw com sistema de nebulização ciclônica *single pass*. Os valores dos espectros utilizados foram 568,821 nm para  $\text{Na}^+$ , 766,491 nm para  $\text{K}^+$ , 315,887 nm para  $\text{Ca}^+$ , 493,408 nm e 443,766 nm para  $\text{NH}_4$ . As curvas de calibragem foram determinadas com concentração de 100 mg L<sup>-1</sup>.

A determinação dos ânions Nitrito ( $\text{NO}_2$ ), Nitrato ( $\text{NO}_3$ ) e Ortosilicato ( $\text{SiO}_4$ ) foram obtidas pelo método de absorção molecular de radiação monocromática, com leitura do espectro eletromagnético através do espectrofotômetro U-5100 HITACH. O Ortofosfato ( $\text{PO}_4$ ) foi determinado através do método do ácido ascórbico, derivado de um complexo misto de molibdato de Amônio. A Alcalinidade foi quantificada pelo método de titulação com Ácido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0,02 N. Por fim, os Cloretos (Cl) foram determinados através do método volumétrico de Mohr, onde os íons cloretos são retrabalhados

com solução padronizada de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) a 0,01 N, na presença de cromato de potássio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) como indicador de medida (APHA, 2012).

### *Mistura de águas*

A equação de balanço de massa proposta por Kelman (1999) e utilizada por Yuanfeng (2015) e Steuvax e Latrubesse (2017) foi utilizada para estimar a mistura das águas dos rios Salgado e Colônia, que conseqüentemente definem o valor do rio Cachoeira. A escolha dessa equação foi baseada no pressuposto de que tal formulação matemática é adotada para calcular o fluxo dos efluentes em tributações e confluências dentro de alguns dos principais modelos hidrológicos de qualidade de água, como o StreeterPhelps, Hydrology, e Qual2E (KELMAN, 1997; RONCHAIL, 2005). Em modelos mais detalhados, como o Qual2K apresentado por Indian (1979), é retratado o encontro das águas de maneira exponencial, com mais fatores de calibração para entrada e saída de energia no sistema.

A equação de mistura propõe simulações de diversos tipos de lançamentos de efluentes líquidos e suas movimentações de fluxo em canais, unidirecionais. Segundo Roques (2006), é possível que a presença dessas influências esteja agregando uma gama de elementos (e reações químicas) com características físico-químicas e biológicas distintos dos naturalmente presentes no corpo d'água. O balanço qualitativo tem como ponto de partida a Equação 1 de balanço de massa:

$$C_{mistura} = \frac{C_a Q_a + C_b Q_b}{Q_a + Q_b}$$

(Equação 1)

onde,

$C_a$  = concentração de um determinado parâmetro de qualidade no efluente a; (rio Colônia)

$Q_a$  = vazão do efluente a; (rio Colônia)

$C_b$  = concentração de um determinado parâmetro de qualidade no efluente b; (rio Salgado)

$Q_b$  = vazão do efluente b; (rio Salgado)

$C_{mistura}$  = concentração de um determinado parâmetro de qualidade na mistura resultante dos efluentes a e b (Rio Cachoeira)

## **Resultados e Discussão**

### *Atributos ambientais*

Os rios das BH's em estudo drenam uma geologia constituída predominantemente de rochas ígneas, intrusivas, da família do Ortognaisse. São associadas ao período Arqueano, especificamente a era do Proterozóico Superior (4,5 M.a A.P). São basicamente dois grandes grupos: O cinturão Itabuna\Itapetinga e o Complexo Ibicuí. As rochas dos dois grandes grupos afloram como ocorrências de Tonalitos (de composição quartzítica) e derivados de mesma mineralogia, ao longo de todos os

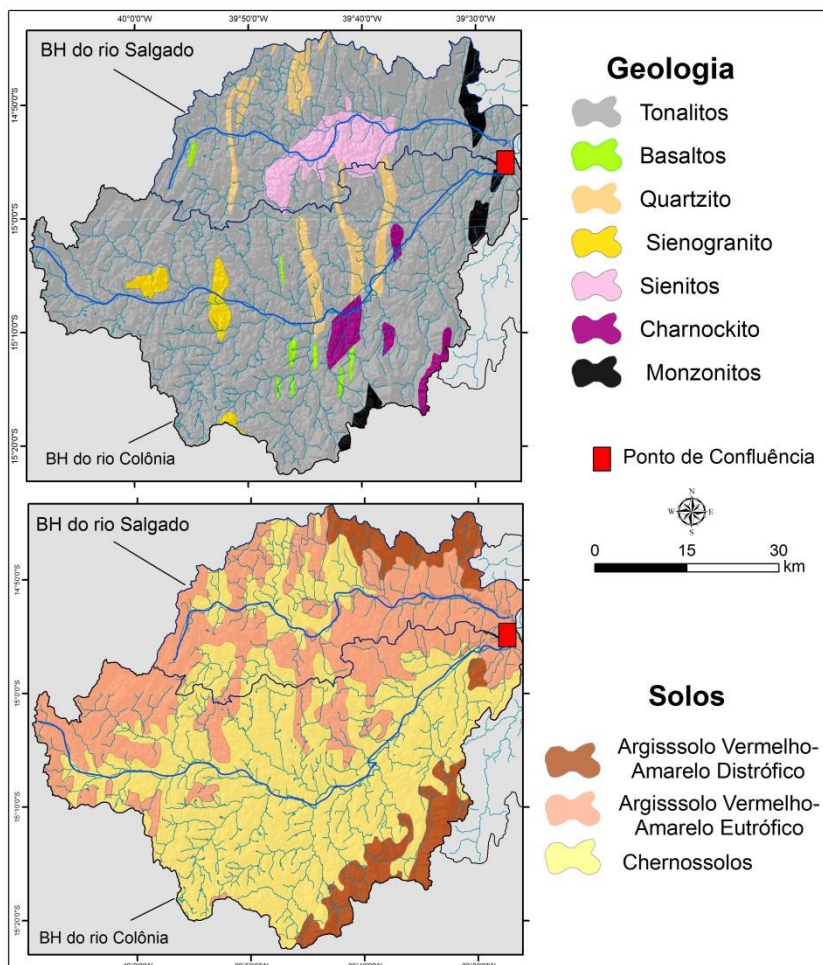
cursos das BH's (Figura 03). Em algumas classificações é denominado um complexo de cunho (escudo) Cristalino. Charnockitos e Sienitos trazem consigo um litotipo fitado com faixas claras de quartzo e feldspato, bem como faixas escuras ricas em biotitas e anfibólio. As variações mais distintas, como o Basalto e o Quartzito são resultados de metamorfismos mais recentes, aglutinado cristais de quartzo. Esse litotipo condiciona uma hidrologia fissural, com falhas geológicas lineares, moldando a hidrografia das BH's para o tipo dentrítica (MELPHI, 1963).

Nas áreas em estudo foram identificadas duas classes de solos: Argissolos e Chernossolos (Figura 3). De forma geral, tratam-se de solos rasos, com horizontes definidos pela intensidade de lixiviação e moderados níveis de precipitação. Na área de drenagem do rio Salgado predominam os Argissolos, que são constituídos texturalmente por uma relação 1/2 de partículas tamanho areia/quartzo em mistura com argila. Nessa classe, o horizonte "B" do perfil indica uma atividade de permeabilidade regular, mas que preserva a fração argila. Além disso, a retenção de minerais de argila nessa classe de solo é atrelada com a clivagem e permeabilidade dos gnaisses constituídos de quartzo, gerando ambientes de moderada permeabilidade de água.

Já na área de drenagem da BH do rio Colônia há uma predominância dos Chernossolos: são solos escuros, apresentando alta atividade de argila (Ta) e alta saturação por bases (alto V%). São solos caracterizados por *slickensides*. Na área em estudo, a ocorrência desse solo está associada às rochas que possuem minerais que permitir a formação de solo com alto teor de cátions de reação alcalina (principalmente Ca<sup>+</sup> e Mg<sup>+</sup>), como os anfibólios presentes no Tonalito.



Figura 03: Geologia e Pedologia



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da SEI (Bahia). Agosto de 2018

No que concerne ao relevo, a composição geomorfológica das duas bacias constitui-se basicamente de três classes: [1] serras, [2] morros e [3] depressões (Figura 4). As serras estão associadas aos interflúvios das duas áreas, que são as zonas de altitude mais elevada. Entretanto, observa-se um predomínio dessa classe na BH do rio Salgado, o que indica uma atividade de esculpimento do relevo mais incisivo comparado as outras áreas (CASSETI, 2005; SILVA *et al.*, 2012; SILVA e AMORIM, 2018; SILVA *et al.* 2018a); os morros, com ocorrências pontuais nos altos cursos das BH's, são definidos pela feição de mares de morro (AB'SABER, 1969), caracterizados por formas de "meia-laranja"; as depressões da área, que segundo Caseti (2005), são resultantes da dissecação do relevo de embasamento cristalino, e observa-se um predomínio dessa classe no interior da BH do rio Colônia.

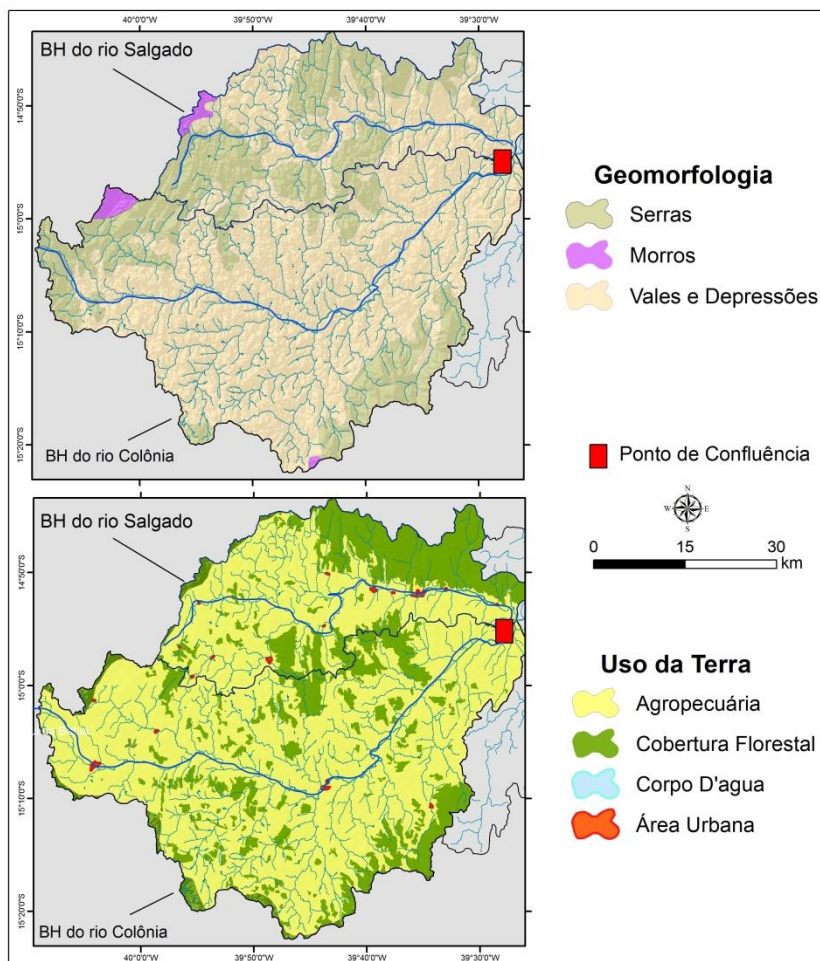
De forma efetiva, as classes geomorfológicas indicam cenários que condicionam determinadas atividades de uso da terra (COLAVINE e PASSOS, 2011). Nas bacias em estudo essa concepção é

percebida, cujo quatro classes de uso da terra identificadas estão ligadas aos contornos do relevo. Considerando as duas bacias, a classe destinada a [1] Agropecuária ocupa cerca de 63% de toda a paisagem, e está associada às áreas de depressões, que conceitualmente são preferenciais para atividades desse gênero. Dentro desse valor, 71% está inserido dentro dos domínios da BH do rio Colônia. O predomínio dessa atividade econômica resulta na ausência da vegetação, e possivelmente subsidia os observados valores de vazão menores quando comparados aos números do rio Salgado no ponto de confluência. As áreas com vegetação se restringem a fragmentos florestais presentes geralmente nos topos de algumas serras, acentuando a homogeneização da paisagem (Figura 04).

Em seguida, 29% de área total apresenta [2] Cobertura Florestal, havendo uma mistura entre zonas de Cabruca (produção de *Theobroma cacao* em consórcio com vegetação nativa) e fragmentos florestais da Mata Atlântica. 55% dessa classe está inserida nos limites da Bacia do Rio Salgado. São basicamente zonas de serras, não aproveitadas para a agropecuária. Nessas áreas encontram-se diversos tributários do rio Salgado, e a presença de vegetação auxilia na retenção de água no sistema hidrológico, o que possivelmente explica os valores de vazão mais elevados quando comparados com os dados do rio Colônia, mesmo a área de drenagem sendo menor do que a BH do rio mencionado.

Uma porcentagem de 5% da paisagem das bacias em estudo foi identificada como [3] áreas urbanas, sempre posicionadas ao longo dos rios. As cidades de Ibicaraí e Floresta Azul têm suas áreas urbanas (sedes e distritos) nas margens do rio Salgado. Juntas, somam cerca de 40 mil habitantes. Já a cidade de Itajú do Colônia e Itororó, encontram-se nas margens do rio Colônia, somando cerca de 30 mil habitantes. Por fim, um total de 3% das classes mapeadas nas áreas das BH's são [4] corpos d'água, em sua maioria barragens ou represamentos na zona rural dos municípios. Alguns corpos d'água também estão associados a áreas alagadas em períodos de chuvas intensas.

Figura 04: Geomorfologia e uso da terra



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da SEI (Bahia). Agosto de 2018

### Características das águas

As características das águas no ponto de confluência dos rios Colônia e Salgado, a partir dos parâmetros analisados, demonstraram-se próximas em relação aos valores de concentração e suas variações em função da vazão. Cabe frisar novamente o mesmo regime pluviométrico para as duas bacias em estudo.

No rio Colônia, a vazão média foi de 350 L/s, com os valores alternando entre 430 e 280 L/s em respectivos períodos de maior e menor intensidade de chuvas. Os cátions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ , os ânions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4$  e a alcalinidade, apresentaram valores de concentração maiores em momentos de maior disponibilidade de água no sistema da bacia, diferente dos dados observados em bacias de mesmo cenário geográfico apresentado por Chaussê *et al.* (2016) e De Paula (2010), que sugerem uma concentração maior em cenários de menor vazão.

Mesmo havendo influência da geologia e dos solos, as concentrações na água indicam aportes desses elementos e compostos por fatores externos ao sistema hidrológico, sendo provável sua relação com as atividades agropastoris que predominam o uso da terra, além da presença de áreas urbanas. Em conformidade com os trabalhos de Lucio *et al.* (2012), Paula *et al.* (2012) e Araujo *et al.* (2015), em ambos os rios observam-se valores acentuados de Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>, em função do predomínio de sienitos (rochas alcalinas com minerais ricos em Na<sup>+</sup>), e Ca<sup>+</sup> oriundo da presença dos Chernossolos. Além disso, os valores de mediana para Cl<sup>-</sup> (69,5 mg/l), Na<sup>+</sup> (100,1 mg/l) e K<sup>+</sup> (10,31 mg/l) que indicam uma estimativa das concentrações em 50% do tempo amostral, corroboram com as concentrações determinadas por Figueiredo (2004), Santos (2008) e Lucio *et al.* (2012), que pesquisaram esses mesmo parâmetros nesse mesmo rio. Os dados de todos os parâmetros determinados para o rio Colônia na confluência são expostos na Tabela 01:

**Tabela 01:** Valores dos cátions (azul) e ânions (cinza) determinados no rio Colônia

Rio Colônia					
Parâmetro (mg/l)	Coletas (1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup> , 4 <sup>a</sup> )				Mediana
Na <sup>+</sup>	171,5	182,1	28,7	25,3	100,1
K <sup>+</sup>	22,09	18,5	2,12	2,11	10,31
Ca <sup>+</sup>	43	40	37	37	38,5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,05	0,1	0,12	0,1	0,1
Cl <sup>-</sup>	85	94	54	47	69,5
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,0096	0,008	0,008	0,01	0,008
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,47	0,65	0,63	0,54	0,58
SiO <sub>2</sub>	2,25	2,49	3,2	2,8	2,64
PO <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,14	0,09	0,07	0,06	0,08
Alcalinidade	54	63	42	40	48

**Fonte:** Dados de coleta e pesquisa. Agosto de 2018

Os valores para NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e ânions NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SiO<sub>2</sub> apresentaram baixa variação ao longo das análises, e se apresentam similares tanto no rio Colônia quanto no Salgado. No rio Salgado, foram obtidos valores de vazão média de 590 L/s, alternando entre 810 L/s e 340 L/s em respectivos períodos de maior e menor intensidade de chuvas.

A presença da cobertura florestal em áreas de nascentes provavelmente contribuiu para uma manutenção no fluxo de água do rio Salgado, o que explica os valores de vazão maiores que do rio

Colônia, mesmo este tendo uma maior área de drenagem. Observa-se também um comportamento apontado por Brandão *et al* (2015) e Chaussê *et al.* (2016) onde os valores dos nutrientes  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  aumentaram sua concentração em períodos de menor vazão. Segundo o autor, esse processo, que envolve presença de matéria orgânica e variações na demanda de oxigênio do corpo d'água, está intimamente ligado à presença de áreas urbanas ribeirinhas ao rio principal, além do mencionado predomínio de uso agropecuário da terra na BH, onde as águas servidas por esses sistemas desencadeiam num aporte multivariado desses compostos mencionados. O nome "rio Salgado" é uma alusão à salinidade observada no rio ao longo do tempo, e neste rio destacam-se os maiores valores para  $\text{Na}^+$  determinados ao longo da pesquisa (Tabela 02). Esse comportamento também é observado no trabalho de Santos *et al.* (2008).

**Tabela 02:** Valores dos cátions (azul) e ânions (cinza) determinados no rio Salgado

Parâmetro (mg/l)	Rio Salgado				Mediana
	Coletas (1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup> , 4 <sup>a</sup> )				
$\text{Na}^+$	191,3	189,7	79,12	58,9	134,41
$\text{K}^+$	11,1	13,4	3,4	2,9	7,25
$\text{Ca}^+$	29	26	30	28	28,5
$\text{NH}_4^+$	0,069	0,09	0,08	0,1	0,085
$\text{Cl}^-$	83	88,4	46	43	64,5
$\text{NO}_2^-$	0,01	0,004	0,005	0,009	0,007
$\text{NO}_3^-$	0,51	0,53	0,47	0,44	0,49
$\text{SiO}_2$	2,93	2,18	2,18	2,04	2,18
$\text{PO}_4^+$	0,12	0,23	0,015	0,01	0,067
Alcalinidade	51	59	41	36	46

**Fonte:** Dados de coleta e pesquisa. Agosto de 2018

#### *Mistura das águas na confluência*

Após a junção dos rios Colônia e Salgado, a determinação dos parâmetros hidroquímicos no rio Cachoeira demonstrou que, para o cenário em estudo, as características da mistura não predominam em função de um rio, sendo observada uma alternância das eventuais similaridades (Tabela 4). Essa dinâmica é observada em rios de dimensões regionais, como os da BH's em estudo, corroborando as conclusões de Lane *et al* (2000), Boyer *et al.* (2006), Lane *et al.* (2008), Kurth *et al.*

(2014) e Guillén-Ludena *et al.* (2016). As vazões do rio Cachoeira tiveram média de 635 L/s, alternando entre 870 L/s e 400 L/s em respectivos períodos de maior e menor intensidade.

Numa perspectiva de similaridade temporal das concentrações considerando a estatística da mediana (valor de referência de 50% ao longo do tempo amostral), o cátion  $\text{Ca}^+$  (31,55 mg/L) e os ânions  $\text{SiO}_2$  (2,49 mg/L) e  $\text{PO}_4^{3-}$  (0,095 mg/L) apresentaram concentrações próximas às observadas no rio Colônia. Já os demais parâmetros tiveram valores de concentração próximos aos observados no rio Salgado, que demonstrou valores de fluxo maior. A exceção paramétrica foi de alcalinidade (38 mg/l), que não apresentou proximidade com os valores cerca de 47 (mg/l).

**Tabela 04:** Valores dos cátions (azul) e ânions (cinza) determinados no rio Cachoeira

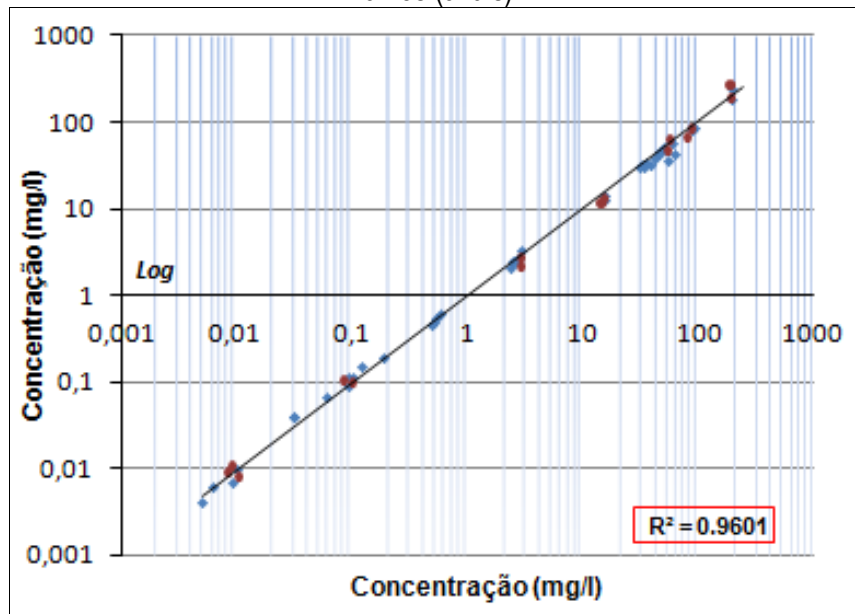
Parâmetro (mg/l)	Rio Cachoeira				Mediana
	Coletas (1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup> , 4 <sup>a</sup> )				
$\text{Na}^+$	253,4	188,4	56	43,1	122,2
$\text{K}^+$	12,54	13,9	3,24	2,54	7,89
$\text{Ca}^+$	34	32,1	31	30,1	31,55
$\text{NH}_4^+$	0,067	0,09	0,11	0,11	0,1
$\text{Cl}^-$	81	88,1	51	44,2	66
$\text{NO}_2^-$	0,01	0,004	0,006	0,007	0,0065
$\text{NO}_3^-$	0,49	0,62	0,53	0,47	0,51
$\text{SiO}_2$	2,83	2,13	2,56	2,43	2,49
$\text{PO}_4^{3-}$	0,15	0,19	0,04	0,04	0,095
Alcalinidade	37	44,1	39	32,1	38

**Fonte:** Dados de coleta e pesquisa. Agosto de 2018

Os valores das concentrações dos rios Colônia e Salgado, conforme apresentado na metodologia, foram submetidos à equação de balanço de massa no intuito de estimar os valores após a mistura das águas, no rio Cachoeira. Os resultados da formulação matemática aproximaram-se em 96% dos números reais, determinados através da coletada das águas após a confluência. Tanto para os cátions quanto os ânions, os valores da regressão linear demonstram uma capacidade de leitura de ambientes de confluência utilizando essa equação (Figura 05).



**Figura 05:** Regressão linear em base logarítmica (de mg/l) para os valores dos cátions (vermelhos) e ânions (azuis)



**Fonte:** Dados de pesquisa. Agosto de 2018

O alto valor do coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,96$ ) obtido na análise pode ser explicado, segundo Valdex (2015), pelo fato de que a formulação considera duas entradas de fluxos lineares que podem ser normalizadas em função da vazão e concentração. Esse resultado pode reproduzir erros contínuos para estudos em duas ou mais confluências, mas demonstra-se satisfatório para localidades unitárias.

## Conclusões

A partir desse trabalho, que envolveu dados e apontamentos oriundos de diferentes segmentos das ciências da Terra, percebe-se que estudos de confluências hidrográficas podem auxiliar de forma efetiva diversas análises e discussões acerca das características das bacias hidrográficas que se conectam. No presente estudo, os constituintes dos meios físicos e antrópicos das BH's foram identificados como similares, mas em bacias com diferentes características ambientais, por exemplo, as mudanças desses cenários serão reproduzidas na hidroquímica das águas que se misturam em confluências entre seus principais rios. Outro exemplo é que a partir da determinação de variáveis hidrológicas utilizadas para estudos de poluentes e degradação ambiental, uma confluência pode inferir qual das bacias aporta de maneira negativa os pontos a jusante da mistura.

Para as bacias dos rios Colônia e Salgado, observou-se que há uma alternância de influências na hidroquímica das águas, que são derivadas de atividades distintas de uso da terra como áreas urbanas e sistemas agropecuários, bem como diferentes relações de dissolução de minerais de rochas

e solos. Entretanto, os valores das concentrações dos cátions e ânions se apresentaram próximos para os três rios, indicando que eventuais análises da mistura das águas na confluência que envolvam outros elementos hidroquímicos também tenha o mesmo comportamento. Dessa forma, conclui-se que o rio Cachoeira, no ponto em estudo, tem suas características moldadas por ambos os tributantes.

No que concerne ao uso da equação de balanço de massa para estimar a mistura das águas e subsidiar a discussão da interação dos parâmetros no sistema confluência, a forma unidimensional da formulação matemática mostrou-se satisfatória para a área em estudo. Os valores estimados próximos ao real demonstram que um simples processamento a partir dos métodos empregados nesse trabalho, podem elucidar as diferentes relações da água com os atributos ambientais de eventuais bacias hidrográficas em estudo.

### Agradecimentos

Desenvolvimento da pesquisa possível devido à infraestrutura dos laboratórios de Climatologia da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP e Climatologia da Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC. Financiamento FAPESP mediante projeto 18/09401-1 e CAPES (Código de financiamento 001). Aos Professores Daniela Mariano e Fábio Alan Figueiredo.

### Referências

- ALVARES, C.A. STAPE, J.L. SENTELHAS, P.C. *Köppen's climate classification map for Brazil*. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, 2013, p. 711-728.
- AMORIM, R.R. *Um novo olhar na geografia para os conceitos e aplicações de geossistemas, sistemas antrópicos e sistemas ambientais*. Caminhos de Geografia, v. 13, n. 4, 2012, p 80-81.
- APHA. American Public Health Association. *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater*. 22 ed. Washington. 2012.
- ARAUJO, T. G. SOUZA, MARCELO F. L. MELLO, WILLIAM Z. SILVA, D. M. L. *Bulk atmospheric deposition of major ions and dissolved organic nitrogen in the lower course of a tropical river basin, southern Bahia, Brazil*. Journal of the Brazilian Chemical, v. 8, 2015, p. 1692-1701.
- ARNELL, N. GOSLING, S. *The impacts of climate change on river flood risk at the global scale*. Climatic Change. v. 7, 2014, p. 1-15.
- BOYER, C. ROY, A.G. BEST, J. L. *Dynamics of a river channel confluence with discordant beds: flow turbulence, bed load sediment transport, and bed morphology*. Journal of Geophysical Research, v. 111, 2006, p. 14-30.
- BOYER, C., VERHAAR, M., ROY, A.G., BIRON, P.M., MORIN, J. *Impacts of environmental changes on the hydrology and sedimentary processes at the confluence of St. Lawrence tributaries: potential effects on fluvial ecosystems*. Hydrobiologia, v. 647, 2010, p. 163–183.
- BRANDÃO, C. S., CHAUSSÊ, T. C. C., SILVA, L. P., MOREAU, M. S., & SILVA, D. M. L. *variabilidade espaço-temporal das cargas dissolvidas de rios em área de proteção ambiental no nordeste brasileiro*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v 20, n°3,2015, p 551– 559.
- BRISTOW, C.S. *Morphology and Facies Models of Channel Confluences*. Department of Geology. Birkbeck College, University of London, Malet street. 1993

- CAMPDONICO, V. A. PASQUINI, M.G.G.A. *The dissolved chemical and isotopic signature down flow the confluence of two large rivers: The case of the Parana and Paraguay rivers*. Journal of Hydrology. v. 528, 2015, p 161–176.
- CHAUSSÊ, T.C. C. BRANDÃO, C.S. SILVA, D.M.L. *Evaluation of nutrients and major ions in streams-implications of different timescale procedures*. Environmental monitoring and assessment, v. 188, 2016, p. 38.
- COLAVINE, A.P, PASSOS, M.M. *Integração de mapas de declividade e modelos tridimensionais do relevo na análise da paisagem*. Geonorte. v. 3, 2011, p. 37-48.
- DE PAULA, C.F.F. *Emissões naturais e antrópicas de metais e nutrientes para a bacia inferior do rio de Contas, Bahia*. Quimica Nova, v. 33, nº. 1, 2010, p. 70-75.
- DO. H. X. WESTRA, S. LEONARD, M. *A global-scale investigation of trends in annual maximum streamflow*. Journal of Hydrology. v. 552, 2017, p 28–43.
- FERNANDES, C.C., Jeffrey P. John G. L. *Amazonian Ecology: Tributaries Enhance the Diversity of Electric fishes*. Science, vol. 305, 2004, p. 1960-1963.
- FIGUEIREDO, A. F. R. *Análise do risco de salinização dos solos da bacia hidrográfica do rio Colônia - Sul da Bahia*. Dissertação de Mestrado. 2004 (Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) Universidade Estadual de Santa Cruz, Bahia. 150 p.
- FLECK, L. TAVARES, M. H. F. EYNG, E. *Principais modelos matemáticos de qualidade da água e suas aplicações: uma revisão*. Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, v. 1, n. 7, 2013, p. 47–62.
- GAGARINOVA, O. V. KOVALCHUK, O. A. *Assessment of anthropogenic impacts on landscape-hydrological complexes*. Geographical and Natural Resources. n. 31, 2010, p. 291–295.
- GUILLÉN-LUDEÑA, S. FRANCA, M.J. CARDOSO, A.H. SCHLEISS, A.J. *Evolution of the hydromorphodynamics of mountain river confluences for varying discharge ratios and junction angles*. Geomorphology. v. 255. 2016, p. 1–15.
- HANSEN, M.C. *High-resolution global maps of 21st-century forest cover change*. Science. v. 342, 2013, p. 850–853.
- HUPP, C. R. OSTERKAMP, W. R. *Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes*. Geomorphology. v. 14, 1996, p. 277-295.
- KELMAN, J. VIEIRA, A. M. RODRIGUEZ, J. *El Niño influence on streamflow forecasting*. Stochastic Environmental Research And Risk Assessment, v. 14, 1999, p. 123-138.
- KURTH, A. M. SCHIRMER, M. *Thirty years of river restoration in Switzerland: implemented measures and lessons learned*. Environ. Earth Sciences. v. 72, 2014, p. 2065–2079.
- LANE, S.N. BRADBROOK, K. F. RICHARDS, K.S. BIRON, P.M. ROY, A.G. *Secondary circulation cells in river channel confluences: measurement artifacts or coherent flow structures?* Hydrology Processes. v. 14, 2000, p. 11–12.
- LANE, S.N. PARSONS, D.R., BEST, J.L. ORFEO, O., KOSTASCHUK, R.A., HARDY, R. J. *Causes of rapid mixing at a junction of two large rivers: Rio Paraná and Rio Paraguay, Argentina*. Journal Geophysics Researcher. v. 113, 2008, p. 29-44.
- LUCIO, M.Z.T. SANTOS, S.S. SILVA, D. M. L. *Hydrochemistry of Cachoeira river (Bahia State, Brazil)*. Acta Limnológica Brasiliensia, v. 24, 2012, p. 181-192.
- MATTOS, J. B. SILVA, K. B. DA SILVA, R. J. ALMEIDA, T. H. M. PÓVOAS, H. S. S. DA SILVA, P. V. R. SILVA M. I. *Natural factors or environmental neglect? Understanding the dilemma of a water crisis in a scenario of water plenty*. Land Use Policy, v. 82, 2019, p. 509-517.
- MOSLEY, M.P. *An experimental study of confluences*. Journal Geology. v. 84, 1976, p. 535–562.
- ORFEO, O. STEVAUX, J. C. *Hydraulic and morphological characteristics of the middle and upper reaches of the Paraná River (Argentina and Brazil)*. Geomorphology, v. 44, 2002, p 309-322.
- PROCESSAMENTO DIGITAL. Brasil em dados. Shapefiles diversos. (Disponível em: <http://processamentodigital.com.br>). Acesso em Junho de 2017.

- RONCHAIL, J. *Discharge variability in within the amazon basin*. in: franks, s. et al. (ed.) regional hydrological impacts of climate change – Hydroclimatic Variability. v. 34, 2005, p. 21-29.
- SANTOS, J. W. B. PAULA, F. C. F. REGO, N. A. C. *Tipologia fluvial da bacia hidrográfica do Rio Salgado, sul da Bahia*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 13, 2008, p. 217-226.
- SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. *Mapas digitalizados do Estado da Bahia: base de dados*. Salvador: SEI. (CD-ROM). 2004
- SILVA, D. M. L. SOUZA, M.F.L. DE PAULA, F.C.F. *Nutrient export a small watershed in northeast Brazil*. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology. v. 19, 2016, p. 01-13.
- SILVA, K. B. AMORIM, R. R. *Representação de Geossistemas em Estudos de Arqueologia da Paisagem: Ambientes Ancestrais em Ilhéus, Nordeste do Brasil*. Revista Do Departamento De Geografia, v. 36, 2018, p. 91-103.
- SILVA, K. B. AMORIM, R. R., MATTOS, J. B. *Aspectos físicos da Bacia Hidrográfica do rio Salitre: uma contribuição para estudos de Geossistemas*. Acta Geográfica, v. 12(29), 2018 (a), p. 33-45.
- SILVA, K. B. AMORIM, R. R. REGO, N. A. C. *A representação dos geossistemas com ênfase no estudo dos recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do rio Bachoeira, Brasil*. Revista Caminhos de Geografia v. 19, n. 67, Set/2018 (b), p. 53–67.
- SILVA, K. B. GOMES, R.L. REGO, N.A.C. *Social And Environmental Hydrographics Implications Of The Land Use In The Plain And Coastal Boards Between Ilhéus And Olivença – Ba*. Journal Of Hyperspectral Remote Sensing. v. 5, 2015, p. 13-26.
- SILVA, K. B. REGO, N. A. C. SANTOS, J. W. B. COSTA, P. A. *Identification of urban heat islands as a subsidy for creation of green areas*. Gaia Scientia, v. 10(4), 2016, p. 209-222.
- SOARES, J. P. R. AQUINO C.M.S. *Systemic analysis: theoretical contribution methodology and applications in the state of Piauí, Brazil*. ACTA Geográfica, Boa Vista, v.6, 2012, p. 239 – 255.
- STEUVAX, J. C. LATRUBESSE, E.M. *Geomorfologia Fluvial. Oficina de textos*. São Paulo. 2017
- SUDENE. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. *Folha Topográficas*. Carta (SD-24-ZC-IV). Bahia, SUDENE. 1977. Escala 1:100.000.
- SUVOROV, E. G. SEMENOV, Yu. M. NOVITSKAYA, N. I. *The landscape-assessment map for the Asian part of Russia: the principles and methodological aspects of charting*. Geographical and Natural Resources, v. 30, 2009, p. 313–317.
- YUANFENG, A. I. Z. PINGWANG, A. BAOSHENG, W. *An experimental study of fluvial processes at asymmetrical river confluences with hyperconcentrated tributary flows*. Geomorphology. v. 230, 2015, p. 26–36.

(Recebido em 20-08-2018; Aceito em: 18-02-2019)