

## XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### UM OLHAR SOBRE A QUANTIDADE E QUALIDADE DA ÁGUA NO ESTADO DE SANTA CATARINA

*Gustavo Antonio Piazza<sup>1</sup>*

**Palavras-Chave** – Bacias hidrográficas, Monitoramento, Séries históricas

#### INTRODUÇÃO

Mudanças climáticas, aumento da população, intensificação da agricultura e pressões econômicas são alguns dos desafios para o aumento da demanda por água em quantidade e qualidade (Verburg et al. 1999; Alcamo et al. 2007; DeFries et al. 2010; Parolari et al. 2015). De forma geral, a qualidade da água é afetada por nutrientes, temperatura da água e sedimentos (Rodríguez-Lloveras et al., 2015; Worrall e Burt, 1999). O enriquecimento de nutrientes em águas continentais é um dos maiores problemas ambientais que a sociedade moderna vem enfrentando (Smith e Schindler, 2009). Atualmente, o estado de muitas bacias hidrográficas está amplamente alterado, principalmente em áreas próximas a foz, onde pressões das atividades humanas são mais marcantes (Bukaveckas, 2007). Atividades agrícolas estão dentre as atividades humanas que mais alteram o ambiente natural, expondo solos enriquecidos a processos de erosão e acelerando o transporte de sedimentos (Magnusson et al., 2013; Yahia e Elsharkawy, 2014) e nutrientes (Cameron et al., 2013; Dodd et al., 2014) para os corpos hídricos. O problema é que aproximadamente 40% da superfície da terra é usada pela agricultura (Alexandratos e Bruinsma, 2012), sendo o nitrogênio (N) e o fósforo (P) representando a maior ameaça para ecossistemas aquáticos (Smith e Schindler, 2009) por meio da poluição difusa (Carpenter et al., 1998, EEA, 2012, OECD, 2008).

Globalmente, os poluentes mais comuns são o nitrato ( $\text{NO}_3$ ) e o P em águas superficiais provenientes de tanto de fontes difusas como pontuais. Ambos os nutrientes são de preocupação global devido aos impactos da eutrofização (Rockström et al. 2009; Hughes et al. 2015). A produção de fertilizantes de N por meio do processo Haber-Bosch e sua aplicação em terras aráveis contribuem significativamente no aumento da produção de comida mundialmente (Galloway et al., 2004), no entanto, eles aumentam o a quantidade de N reativo no meio ambiente (Galloway et al., 2003; Sutton et al., 2011; Vitousek et al., 1997). A intensificação da agricultura é acompanhada por impactos negativos em ecossistemas de água doce, como enriquecimento por nutrientes provenientes de perdas da agricultura (Martinelli e Filoso, 2008). O P difuso de áreas agrícolas também tem impactos ecológicos em ambientes aquáticos (Jarvie et al., 2005), como por exemplo, grandes quantidades de P ficam associadas ao sedimento que posteriormente são transportados para os cursos de água durante eventos de precipitação. Parte dessas partículas de sedimento são depositadas e armazenadas no leito do rio (Tiecher et al. 2017), no entanto, em eventos de aumento de vazão, esses sedimentos são revolvidos e liberaram o P dissolvido, tendo um importante papel em águas superficiais (Jarvie et al., 2005). Entender respostas de bacias hidrográficas sob as pressões atuais da agricultura no contexto

---

<sup>1</sup> Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDE) - Edifício Office Park - Rodovia SC 401, KM 5, 4756 - 2 - Saco Grande 2, Florianópolis - SC, 88032-005, e-mail

de mudanças climáticas é essencial para o desenvolvimento de medidas de mitigação que aliviem pressões dos cenários de clima e produção de alimentos (Outram et al. 2016).

Uma forma de entender tais processos, é a utilização de series de dados de longo prazo, que tem fornecido uma ampla visão da qualidade da água em grandes bacias hidrográficas. O sinal de qualidade da água na foz de uma bacia hidrográfica integra os diversos mecanismos de transferência da rede de drenagem e processos em rio (Grathwohl et al., 2013). Séries de longo prazo de qualidade da água são necessárias (Bouraoui e Grizzetti, 2011) já que bacias hidrográficas são influenciadas por padrões temporais de larga escala do clima, influenciando também concentrações de nutrientes (Gascuel-Odoux et al., 2010). Por exemplo, muitas bacias hidrográficas são caracterizadas por rápida resposta hidrológica de entradas da precipitação e flutuações de concentrações de solutos em cursos de água, no entanto, concentrações de solutos em cursos de água variam em pequenas menores. Pode-se dizer que a comparação de regimes de exportação de solutos em bacias hidrográficas é a investigação do efeito, por exemplo, do uso e ocupação do solo, da rede de drenagem ou do clima (Dupas et al., 2017; Minaudo et al., 2017).

A caracterização da água com dados de longo prazo no Brasil é limitada a existência de séries de dados de longo prazo com qualidade adequada. Tendo em vista o histórico de eventos relacionados a água, Santa Catarina no sul do Brasil, pode ser considerado um Estado privilegiado em relação ao número de estações de monitoramento. Uma série de dados de longo prazo, por exemplo, pode revelar impactos de uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas. Este estudo fez uma análise dos pontos de monitoramento de vazão e qualidade (de sedimento, nitrogênio e fósforo) investigando padrões e dados existentes em bacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no Estado de Santa Catarina, na região Sul do Brasil. Santa Catarina é conhecido historicamente por registros de eventos hidrológicos extremos como precipitações intensas e enchentes anuais desde sua colonização (Frank e Sevegnani, 2009), fator preponderante para a densidade de estações de monitoramento pluviométricas e fluviométricas no Estado.

Todos os dados utilizados neste estudo estão disponíveis na base de dados nacional, o Hidroweb da Agência Nacional de Águas (<http://hidroweb.ana.gov.br>). Na Tabela 1 foi apresentado um sumário com as estações de monitoramento utilizadas considerando as regiões hidrográficas (RH) de Santa Catarina.

**Tabela 1.** Informação das regiões hidrográficas (RH) de Santa Catarina

RH	Nome	Área (km <sup>2</sup> )	Estações fluviométricas	Densidade (estação/km <sup>2</sup> )	Vazão Específica (l.s.km <sup>2</sup> )	Média da precipitação* (mm)
1	Extremo Oeste	5.835	02	0,0003	33,1	1955
2	Meio Oeste	11.289	11	0,0010	31,2	1883
3	Vale do Rio do Peixe	7.897	04	0,0005	27,4	1833
4	Planalto de Lages	22.766	04	0,0002	27,0	1693
5	Planalto de Canoinhas	10.904	05	0,0005	21,2	1663
6	Baixada Norte	4.936	06	0,0012	41,3	1813
7	Vale do Itajaí	15.335	21	0,0014	24,3	1657
8	Litoral Centro	5.269	05	0,0009	26,7	1743
9	Sul	5.725	11	0,0019	28,2	1627
10	Extremo Sul	4.908	06	0,0012	36,8	1637

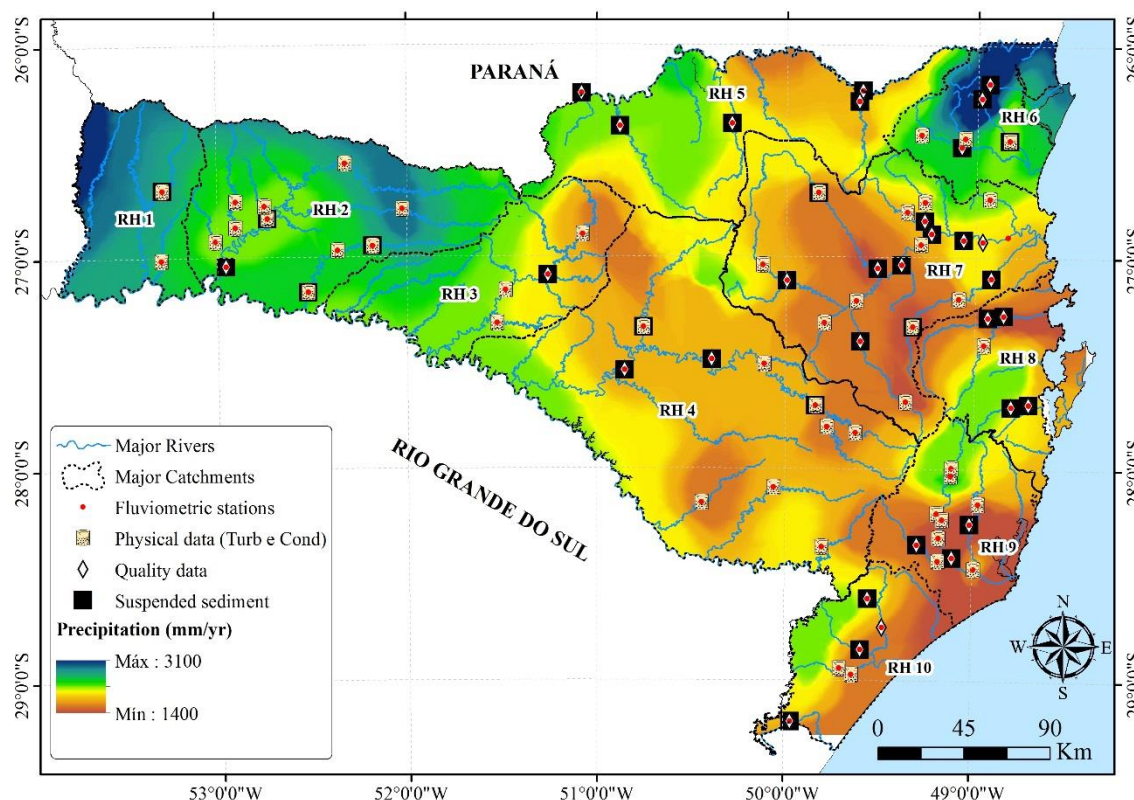
\*Gotardo et al. (2018).

Dados das estações de monitoramento foram organizados em tabelas Excel tendo em vista a disponibilidade histórica dos dados. No total, 81 estações foram selecionadas (Figura 1). O registro mais antigo é de novembro de 1927. Foram utilizados apenas dados consistidos. Quando existentes,

foram utilizados dados até o período de dezembro de 2018, no entanto, a maioria dos dados consistidos só possuem registro até 2014.

Dados de sedimento e qualidade de água ( $\text{NO}_3$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ ) não são tão distribuídos e abundantes quanto aos dados fluviométricos possivelmente devido aos custos relacionados a sua coleta e análise, não sendo tão comuns na perspectiva nacional e estadual.

Figura 1 – Localização, precipitação (mm) e tipos de monitoramento tendo em vista as Regiões Hidrográficas do Estado de Santa Catarina



No sentido de analisar um possível impacto do uso e da ocupação do solo por RH foi utilizado o resultado do levantamento do Programa Monitoramento da Cobertura Florestal de Santa Catarina, ou MonitoraSC. O MonitoraSC é uma plataforma pública para acesso aos mapas e dados, integrante do projeto Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC).

Tabela 2. Principais usos e ocupações do solo nas regiões hidrográficas (RH) de Santa Catarina

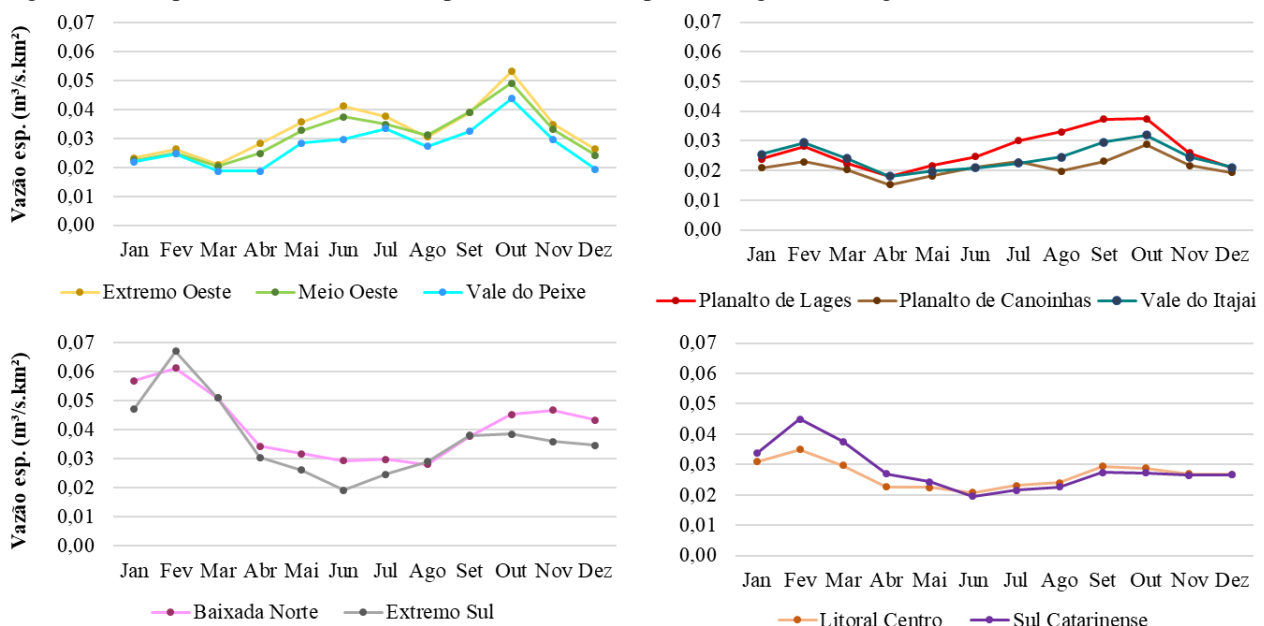
RH	Nome	Floresta Nativa	Reflorestamento	Agricultura + pastagem	Área urbana	Outros Usos
1	Extremo Oeste	20,0 %	4,7 %	72,9 %	1,8 %	0,6 %
2	Meio Oeste	22,7 %	8,2 %	65,9 %	1,8 %	1,4 %
3	Vale do Rio do Peixe	36,1 %	11,8 %	48,7 %	2,1 %	1,3 %
4	Planalto de Lages	31,3 %	13,9 %	52,3 %	0,6 %	1,9 %
5	Planalto de Canoinhas	38,3 %	17,7 %	41,4 %	1,8 %	0,8 %
6	Baixada Norte	63,6 %	4,2 %	24,7 %	7,2 %	0,3 %
7	Vale do Itajaí	55,5 %	9,1 %	30,6 %	3,8 %	1,0 %
8	Litoral Centro	65,9 %	4,8 %	21,0 %	6,3 %	2,0 %
9	Sul	44,3 %	9,8 %	39,8 %	2,6 %	3,5 %
10	Extremo Sul	31,1 %	7,1 %	53,3 %	4,5 %	4,0 %

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Dados hidrológicos

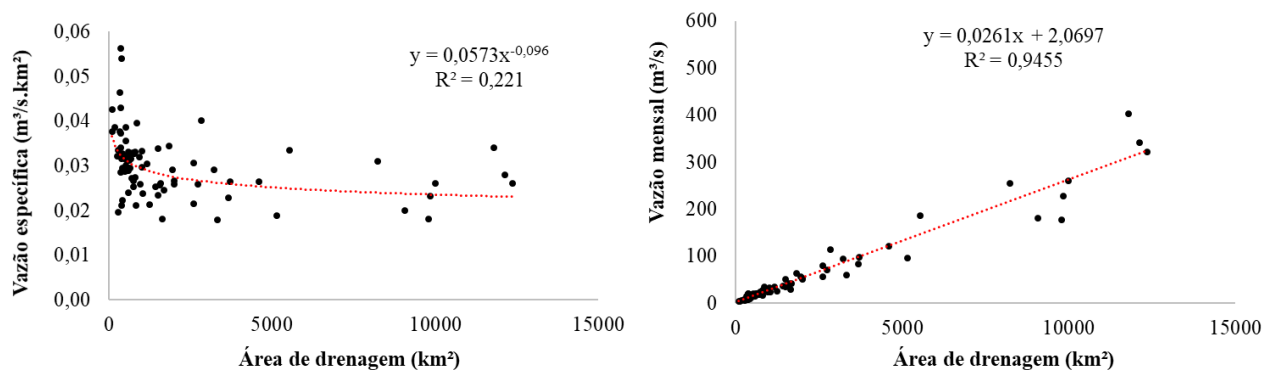
Tendo em vista a média das vazões específicas, no qual possibilita a comparação entre as regiões hidrográficas (RH), podemos verificar algumas semelhanças, como por exemplo, a RH 1 (Extremo Oeste), RH 2 (Meio Oeste), e RH 3 (Vale do Rio do Peixe), que apresentam o pico vazão no mês de outubro (primavera). A RH 4 (Planalto de Lages), mesmo estando na mesma grande bacia hidrográfica (Rio Uruguai), não teve padrão semelhante com as RHs do oeste, ficando em padrão semelhante ao das regiões vizinhas RH 5 (Planalto Canoinhas) e RH 7 (Vale do Itajaí). As RHs litorâneas tiveram uma resposta sazonal parecida, com maiores flutuações na RH 6 (Baixa Norte) e RH 10 (Extremo Sul), e mais estável, na RH 8 (Litoral Centro) e RH 9 (Sul catarinense), todas com pico de vazão no verão, mais especificamente no mês de fevereiro.

Figura 2 – Comportamento das vazões específicas (l/s.km<sup>2</sup>) para as Regiões Hidrográficas do Estado de Santa Catarina



Tendo em vista as relações clássicas da hidrologia, para as 81 estações, foi encontrado o padrão já conhecido de que menores áreas de drenagem tendem a produzir mais água (Figura 3A).

Figura 3 – Relações (A) vazão específica x área de drenagem, e (B) vazão média de longo termo x área de drenagem para 81 estações fluviométricas no Estado de Santa Catarina



Para a vazão média de longo termo (Qmlt), uma extrapolação linear de  $R^2$  (0,94) foi encontrada, demonstrando que maiores áreas de drenagem tendem a possuir maiores Qmlt.

### Dados físicos (turbidez e condutividade)

De acordo com dados das estações, para dados físicos, as RHs que possuem maiores problemas com turbidez foram a RH 8 (Litoral Centro), RH 7 (Vale do Itajaí) e RH 1 (Extremo Oeste), considerando a média e mediana. Para a condutividade, que está relacionada a quantidade de íons nos cursos de água, a RH 10 (Extremo Sul), RH 9 (Sul) e RH 7 (Vale do Itajaí) apresentaram as maiores concentrações, tendo em vista as médias. Analisando as medianas de condutividade, a RH 10 (Extremo Sul), RH 6 (Baixa Norte), RH 3 (Vale do Rio do Peixe) e RH 1 (Extremo Oeste), foram as que apresentaram as maiores concentrações.

**Tabela 3.** Dados físicos das estações nas regiões hidrográficas (RH) de Santa Catarina (1927-2018)

RH	Nome	Estações de Turb/Cond	Média Turb (NTU)	Mediana Turb (NTU)	Média Cond (ms/cm)	Mediana Cond (ms/cm)
1	Extremo Oeste	02	53,01	17,50	77,62	69,2
2	Meio Oeste	11	35,52	15,90	55,38	46,0
3	Vale do Rio do Peixe	04	41,13	16,25	72,18	69,3
4	Planalto de Lages	10	19,51	11,68	40,91	37,7
5	Planalto de Canoinhas	05	21,80	16,80	44,18	40,2
6	Baixada Norte	06	29,48	9,91	72,33	71,2
7	Vale do Itajaí	19	75,20	34,15	74,97	65,1
8	Litoral Centro	05	120,09	23,08	54,91	42,5
9	Sul	11	46,35	12,32	74,98	62,5
10	Extremo Sul	06	28,79	6,81	119,78	98,2

**Legenda:** Turb – turbidez; e Cond – Condutividade.

Tendo em vista uma possível relação do uso e ocupação do solo, as RHs com maiores áreas de agricultura e pastagem, foram as RHs 1 (Extremo Oeste), 2 (Meio Oeste) e 10 (Extremo Sul), sendo que algumas destas RHs foram responsáveis também pelas maiores concentrações de turbidez (como a RH 1, com a terceira maior concentração na média e mediana) e de condutividade (RH 10 com a maior concentração tanto na média como na mediana).

### Dados de qualidade (Sedimento, Nitrogênio e Fósforo)

Ressalta-se inicialmente a baixa quantidade de dados qualidade nas RHs estudadas. Para sedimento, no entanto, os dados são adequados. De acordo com dados existentes, as RHs que possuem maiores problemas com sedimentos foram, por meio das médias e das medianas, foram as RHs 7 (Vale do Itajaí), 9 (Sul), e 6 (Baixa Norte).

**Tabela 3.** Dados de qualidade da água das estações nas regiões hidrográficas (RH) de Santa Catarina (1927-2018)

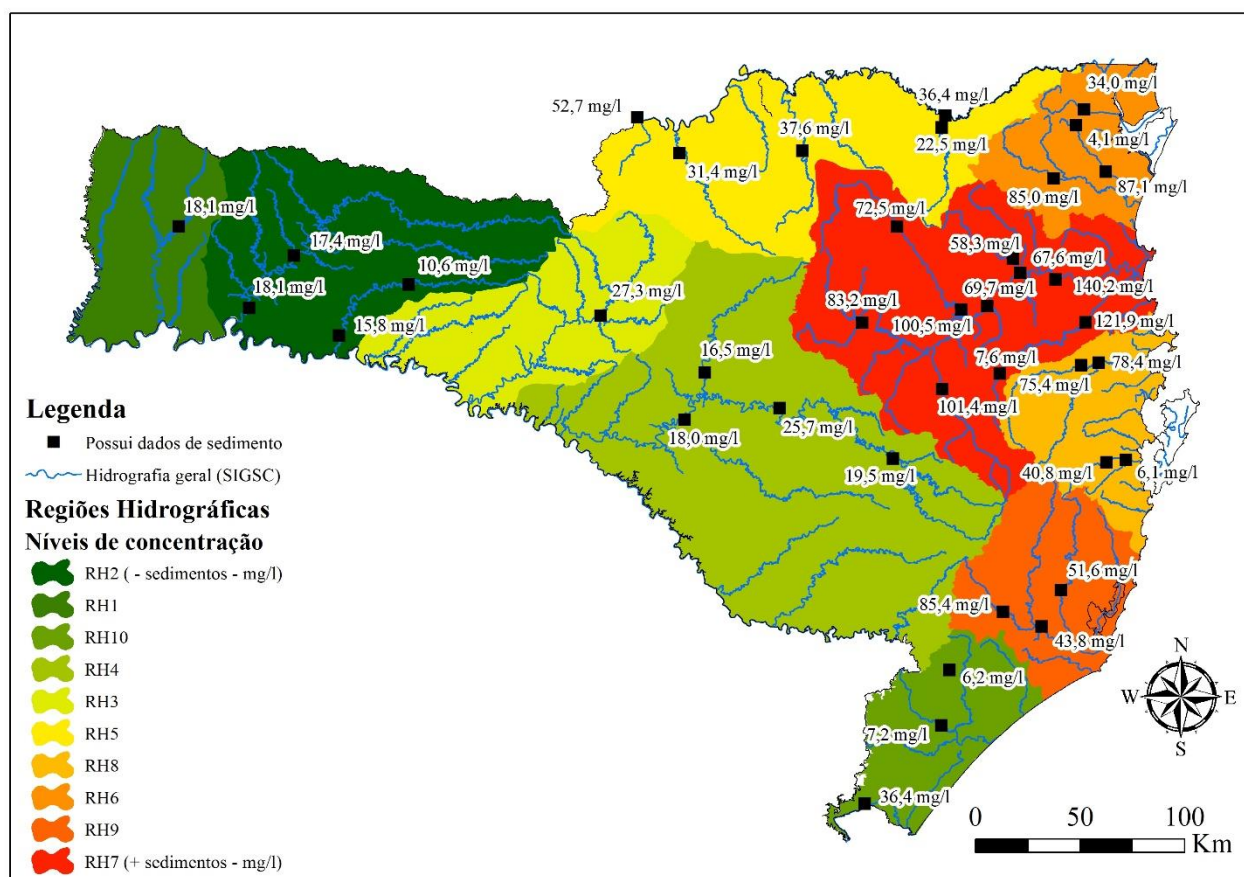
RH	Nome	Estações SS	Média SS (mg/l)	Mediana SS (mg/l)	Estações Qualidade (N,P)	Média NO <sub>3</sub>	Média PO <sub>4</sub> <sup>3</sup>
1	Extremo Oeste	01	18,1*	4,3*	00	-	-
2	Meio Oeste	04	15,5	8,7	01	0,90*	-
3	Vale do Rio do Peixe	01	27,3*	11,3*	01	2,44*	0,29*
4	Planalto de Lages	04	19,9	12,6	02	0,95	0,19
5	Planalto de Canoinhas	05	36,1	29,8	04	0,46	0,40
6	Baixada Norte	04	52,6	54,5	03	0,19	0,87
7	Vale do Itajaí	10	82,3	68,1	10	1,51	1,65
8	Litoral Centro	04	50,2	47,0	04	0,93	0,17
9	Sul	03	60,3	61,4	03	0,79	0,15
10	Extremo Sul	03	16,6	17,6	04	0,73	0,19

**Legenda:** SS – sedimento; \*apenas uma estação.

Como dito anteriormente, para  $\text{NO}_3$  e  $\text{PO}_4^{3-}$  o número de estações é reduzido, diminuindo também a qualidade das informações. Por exemplo, para  $\text{NO}_3$ , a RH 3 (Vale do Rio do Peixe) com apenas uma estação foi a que apresentou a maior concentração, seguida da RH 7 (Vale do Itajaí). Para o  $\text{PO}_4^{3-}$ , o resultado também trouxe a RH 7 (Vale do Itajaí) e a RH 6 (Baixa Norte), como aquelas com as maiores concentrações. Considerando uma possível relação do uso e ocupação do solo, não houve resposta correlata com as áreas de agricultura e pastagem, no entanto, para áreas urbanas houve relação, já que as RHs com maiores áreas urbanas foram 6 (Baixada Norte), 8 (Litoral Centro) e 10 (Extremo Sul), sendo que para o  $\text{PO}_4^{3-}$  a RH 6 (Baixada Norte) foi a responsável pela maior concentração. A degradação da qualidade da água em várias partes do globo é resultado das mudanças no uso e na ocupação do solo, associados aos impactos das mudanças climáticas (Bussi et al., 2016; Rodríguez-Lloveras et al., 2015). Na Europa, a saúde de rios teve decréscimo principalmente por altas concentrações de N e P geralmente provenientes de atividades antropogênicas (Beusen et al., 2005), o que não é o caso de Santa Catarina, já que os locais com maiores agricultura e pastagem, não foram os responsáveis por maiores concentrações de N ou P.

Sabe-se também que um aumento de área florestada deve contribuir para o decréscimo de processos de erosão e consequente redução nas cargas de sedimento, além de aumentar processos de infiltração e garantir um melhor abastecimento de água (Ilstedt et al., 2007; Bredemeier, 2011). No entanto, os locais com maiores áreas florestadas, RH 8 (Litoral Centro), RH 6 (Baixada Norte) e RH 7 (Vale do Itajaí), foram responsáveis pelas maiores cargas de sedimento, demonstrando a complexidade que são os processos sedimentos em cursos de água e sua relação de uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas. Abaixo foi apresentado de forma temática as médias das concentrações de sedimento das estações utilizadas por RH (Figura 3).

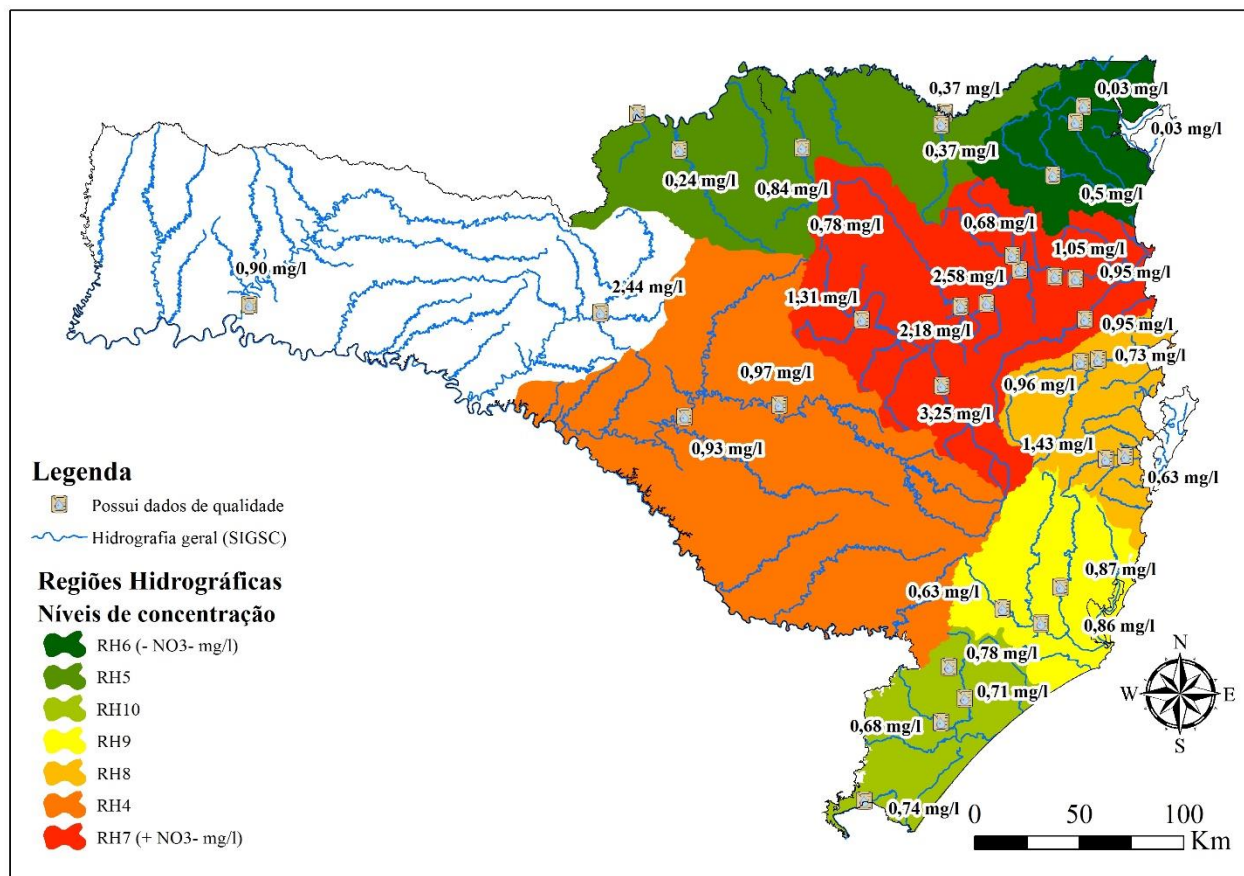
Figura 3 – Médias de sedimentos (mg/l) por estação de monitoramento nas Regiões Hidrográficas de Santa Catarina. O degradê de cores (verde ao vermelho) indica as RHs com menores e maiores médias, respectivamente.



Os locais com as maiores cargas de sedimentos em rios foram as RHs litorâneas, possivelmente associadas a processos de erosão e da geologia, já que estes locais são as RHs que possuem as maiores áreas florestadas. Diferente das RHs com baixas quantidades de floresta e alta cobertura de áreas agrícolas, como é o caso das RHs 1 (Extremo Oeste) e 2 (Meio Oeste).

O mesmo processo de tematização das concentrações foi apresentado para o  $\text{NO}_3$ , que é o parâmetro de qualidade com maior quantidade de dados (Figura 4).

Figura 4 – Médias de  $\text{NO}_3$  (mg/l) por estação de monitoramento nas Regiões Hidrográficas de Santa Catarina. O degradê de cores (verde ao vermelho) indica as RHs com menores e maiores médias, respectivamente.



A lixiviação de nitrato é controlada pelo equilíbrio entre as entradas de fertilizantes e a absorção pela cultura juntamente com a mineralização do solo (Rodrigo et al., 1997). Para o P, que tem maior afinidade de adsorção com o solo em comparação com o  $\text{NO}_3$ , o P é menos solúvel e menos sujeito a lixiviação. No entanto, vários estudos destacaram a possibilidade de lixiviação de P solúvel em águas subterrâneas rasas e subsequente transferência lateral para águas superficiais como um mecanismo dominante em bacias hidrográficas alimentadas por águas subterrâneas (Dupas et al., 2015; Mellander et al., 2016; van der Salm et al., 2011). No Brasil, a eutrofização de P tem sido responsável por alguns eventos de crescimento excessivo de macrófitas em rios (Kobayashi et al., 2008) ou florescimento de algas em lagos (Ribeiro et al., 2012), águas costeiras (Teichberg et al., 2010), e reservatórios de barragens (Chellappa et al., 2008; Matsumura-Tundisi et al., 2010).

## CONCLUSÃO

A comparação hidrológica agrupou RHs de Santa Catarina com padrões sazonais semelhantes, como por exemplo, Grupo 1: RH 1 (Extremo Oeste), RH 2 (Meio Oeste), e RH 3 (Vale do Rio do

Peixe); Grupo 2: RH 4 (Planalto de Lages), RH 5 (Planalto Canoinhas) e RH 7 (Vale do Itajaí); Grupo 3: RH 6 (Baixa Norte) e RH 10 (Extremo Sul); e Grupo 4: RH 8 (Litoral Centro) e 9 (Sul Catarinense). O padrão clássico de que menores áreas de drenagem tendem a produzir mais água também foi encontrado na análise dos registros, assim como, para a Qmlt, que apresentou extrapolação linear positiva de  $R^2$  (0,94), demonstrando que maiores áreas de drenagem tendem a possuir maiores Qmlt.

A rede de monitoramento de Santa Catarina possui bons dados, adequados para análises aprofundadas, para dados físicos, como turbidez e a condutividade, sendo possível encontrar relação com o uso e ocupação do solo, no qual RHs com maiores áreas de agricultura e pastagem foram responsáveis por maiores concentrações de turbidez (RH 1 – Extremo Oeste) e de condutividade (RH 10 – Extremo Sul).

Para o  $\text{NO}_3$  e o  $\text{PO}_4^3$  existe baixa quantidade de dados nas RHs estudadas, não sendo possível encontrar relação com o uso e ocupação do solo para com as áreas de agricultura e pastagem, no entanto, foi encontrada relação dos dados com áreas urbanas para a RH 6 (Baixada Norte). A relação com uso e ocupação do solo também não demonstrou relação com concentrações de sedimentos, indicando a complexidade dos processos tanto de sedimentos como de análise de uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas. No entanto, vale novamente ressaltar a baixa quantidade de dados, principalmente, para períodos recentes para as estações de monitoramento.

Como recomendação, sugere-se que a rede de monitoramento de Santa Catarina seja atualizada (dados) e complementada (novas estações) para que relações com uso e ocupação do solo (mapa base de 2017) tenham dados e relações mais adequadas. Análises neste estudo foram básicas, não abordando testes estatísticos aprofundados. Por isso, sugere-se que estes dados sejam trabalhados com metodologias estatísticas adequadas, extraindo melhores informações para gestão e o planejamento dos recursos hídricos em Santa Catarina.

## REFERÊNCIAS

- ALCAMO J, FLÖRKE M, MÄRKER M. (2007) “*Future long-term changes in global water resources driven by socioeconomic and climatic changes*”. Hydrol Sci J, 52:247–275.
- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. (2012). “*World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision.*” ESA Working Paper No. 12-03. FAO, Rome.
- BEUSEN, A.H.W., DEKKERS, A.L.M., BOUWMAN, A.F., LUDWIG, W., HARRISON, J. (2005). “*Estimation of global river transport of sediments and associated particulate C, N, and P*”. Glob. Biogeochem. Cycles 19, GB4S05.
- BOURAOUI, F., GRIZZETTI, B. (2011). “*Long term change of nutrient concentrations of rivers discharging in European seas.*” Sci. Total Environ. 409, 4899–4916.
- BREDEMEIER, M. (2011). “*Forest climate and water issues in Europe*”. Ecohydr. 4(2): 159–167.
- BUKAVECKAS, P. A. (2007). “*Effects of channel restoration on water velocity, transient storage, and nutrient uptake in a channelized stream*”. Environ. Sci. Technol., 41, 1570–1576.
- BUSSI, G., WHITEHEAD, P.G., BOWES, M.J., READ, D.S., PRUDHOMME, C., DADSON, S.J. (2016). “*Impacts of climate change, land-use change and phosphorus reduction on phytoplankton in the River Thames (UK)*.” Sci. Total Environ.
- CAMERON KC, D.I.H.J, MOIR, J.L. (2013). “*Nitrogen losses from the soil/plant system: a review.*” Ann Appl Biol.; 162:145-73.
- CARPENTER, S.R., CARACO, N.F., CORRELL, D.L., HOWARTH, R.W., SHARPLEY, A.N., SMITH, V.H. (1998). “*Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen*”. Ecol. Appl. 8: 559–568.
- CHELLAPPA, N.T., CHELLAPPA, S.L., CHELLAPPA, S. 2008. “*Harmful phytoplankton blooms and fish mortality in a eutrophicated reservoir of Northeast Brazil*”. Braz Ar Biol Tech 51:833-41.



- DEFRIES RS, RUDEL T, URIARTE M, HANSEN M. (2010). “Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century”. *Nat Geosci*, 3:178–181.
- DODD RJ, MCDOWELL RW, CONDRON LM. (2014) “Is tillage an effective method to decrease phosphorus loss from phosphorus enriched pastoral soils?” *Soil Till Res.*; 135:1-8.
- DUPAS, R., GRUAU, G., GU, S., HUMBERT, G., JAFFREZIC, A., GASCUEL-ODOUX, C. (2015). “Groundwater control of biogeochemical processes causing phosphorus release from riparian wetlands.” *Water Res.* 84, 307–314.
- DUPAS, R., MELLANDER, P. E., GASCUEL-ODOUX, C., FOVET, O., MCALEER, E. B., MCDONALD, N., SHORE, M., JORDAN, P. (2017). “The role of mobilisation and delivery processes on contrasting dissolved nitrogen and phosphorus exports in groundwater fed catchments” *Sci. Total Environ.*, 599–600, 1275–1287.
- EEA (2012). “European Waters - Assessment of Status and Pressures. Office for Official Publications of the European Union”, Luxembourg.
- FRANK, B., SEVEGNANI, L. (2008). “Desastre de 2008 no Vale do Itajaí. Água, gente e política” / organização: Beate Frank e Lucia Sevegnani; colaboração: Carla Caroline Tomaselli. – Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009.192 p.: il. Inclui bibliografia. ISBN
- GALLOWAY, J.N., ABER, J.D., ERISMAN, J.W., SEITZINGER, S.P., HOWARTH, R.W., COWLING, E.B., et al., (2003). “The nitrogen cascade”. *Bioscience* 53, 341–356.
- GALLOWAY, J.N., DENTENER, F.J., CAPONE, D.G., BOYER, E.W., HOWARTH, R.W., SEITZINGER, S.P., et al., (2004). “Nitrogen cycles: past, present, and future”. *Bioge.* 70, 153–226.
- GASCUEL-ODOUX, C., AUROUSSEAU, P., DURAND, P., RUIZ, L., MOLENAT, J. (2010). “The role of climate on inter-annual variation in stream nitrate fluxes and concentrations”. *Sci. Total Environ.* 408, 5657–5666.
- GRATHWOHL, P., RUGNER, H., WOHLING, T., OSENBRUCK, K., SCHWIENSTEK, M., GAYLER, S., WOLLSCHLAGER, U., SELLE, B., PAUSE, M., DELFS, J. O., GRZESCHIK, M., WELLER, U., IVANOV, M., CIRPKA, O. A., MAIER, U., KUCH, B., NOWAK, W., WULFMAYER, V., WARRACH-SAGI, K., STRECK, T., ATTINGER, S., BILKE, L., DIETRICH, P., FLECKENSTEIN, J. H., KALBACHER, T., KOLDITZ, O., RINK, K., SAMANIEGO, L., VOGEL, H. J., WERBAN, U., AND TEUTSCH, G. (2013). “Catchments as reactors: a comprehensive approach for water fluxes and solute turnover”. *Environ. Earth Sci.*, 69, 317–333.
- HUGHES, B.B., LEVEY, M.D., FOUNTAIN, M.C., CARLISLE, A.B., CHAVEZ, F.P., GLEASON, M.G. (2015). “Climate mediates hypoxic stress on fish diversity and nursery function at the land–sea interface.” *Proc Natl Acad Sci USA*, 112:8025–8030.
- ILSTEDT, U., MALMER, A., VERBEETEN, E., MURDIYARSO, D. (2007). “The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: a systematic review and meta-analysis”. *Forest Ecology and Management* 251 (1–2): 45–51.
- JARVIE, H.P., JÜRGENS, M.D., WILLIAMS, R.J., NEAL, C., DAVIES, J.J.L., BARRETT, C., WHITE, J. (2005). “Role of riverbed sediments as sources and sinks of phosphorus across two major eutrophic UK river basins: the Hampshire Avon and Herefordshire Wye.” *J Hydrol.* 304:51-74.
- KOBAYASHI, J.T., THOMAZ, S.M., PELICICE, F.M. (2008) “Phosphorus as a limiting factor for *Eichhornia crassipes* growth in the upper Paraná River floodplain”. *Wetlands.*; 28:905-13.
- MAGNUSSON, M.; HEIMANN, K.; RIDD, M; NEGRI, A.P. (2013) “Pesticide contamination and phytotoxicity of sediment interstitial water to tropical benthic microalgae.” *Water Res.*; 47:5211-21.
- MARTINELLI, L.A., FILOSO, S. (2008). “Expansion of sugarcane ethanol production in Brazil: environmental and social challenges.” *Ecol. Appl.* 18:885–898.
- MATSUMURA-TUNDISI, T., TUNDISI, J.G., LUZIA, A.P., DEGANI, R.M. “Occurrence of *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 bloom at the Billings Reservoir, São Paulo state, Brazil.” *Braz J Biol.* 2010; 70:825-9.

- MELLANDER, P.E., JORDAN, P., SHORE, M., MCDONALD, N.T., WALL, D.P., SHORTLE, G., DALY, K. (2016). “Identifying contrasting influences and surface water signals for specific groundwater phosphorus vulnerability”. *Sci. Total Environ.* 541, 292–302.
- MINAUDO, C., DUPAS, R., GASCUEL-ODOUX, C., FOVET, O., MELLANDER, P.-E., JORDAN, P., SHORE, M., AND MOATAR, F. (2017). “Nonlinear empirical modeling to estimate phosphorus exports using continuous records of turbidity and discharge,” *Water Resour. Res.*, 53.
- OECD (2008). “Environmental Performance of Agriculture in OECD Countries Since 1990.” OECD, Paris, France.
- Outram, F. N., Cooper, R. J., Sünnerberg, G., Hiscock, K. M., and Lovett, A. A. (2016). “Antecedent conditions, hydrological connectivity and anthropogenic inputs: factors affecting nitrate and phosphorus transfers to agricultural headwater streams” *Sci. Total Environ.*, 545–546, 184–199.
- Parolari AJ, Katul GG, Porporato A. (2015). “The Doomsday Equation and 50 years beyond: new perspectives on the human-water system”. *Wiley Interdiscip Rev Water*, 2:407–414.
- Ribeiro GF, Andrade RR, Maizonave CRM, Crossetti LO. “Effects of cyanobacterial summer bloom on the phytoplankton structure in an urban shallow lake, Guaíba Lake, Southern Brazil.” *Neotrop Biol Conserv.* 2012; 7:78-87.
- Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson Å, Chapin FS, Lambin EF, Lenton TM, Scheffer M, Folke C, Schellnhuber HJ, et al. A safe operating space for humanity. *Nature* 2009, 461:472–475.
- Rodríguez-Lloveras, X., Bussi, G., Francés, F., Rodríguez-Caballero, E., Solé-Benet, A., Calle, M., Benito, G., Rodríguez-Lloveras, X., Bussi, G., Francés, F., Rodríguez-Caballero, E., Solé-Benet, A., Calle, M., Benito, G. (2015). “Patterns of runoff and sediment production in response to land-use changes in an ungauged catchment”. *J. Hydrol.* 531: 1054–1066.
- van der Salm, C., Dupas, R., Grant, R., Heckrath, G., Iversen, B.V., Kronvang, B., Levi, C., Rubaek, G.H., Schoumans, O.F. (2011). “Predicting phosphorus losses with the PLEASE model on a local scale in Denmark and the Netherlands”. *J. Environ. Qual.* 40, 1617–1626.
- Smith, V.H. Schindler, D.W. (2009). “Eutrophication science: where do we go from here? Trends in Ecology and Evolution”, 24, 201–207.
- Sutton, M.A., Oenema, O., Erisman, J.W., Leip, A., van Grinsven, H., Winiwarter, W. (2011). “Too much of a good thing.” *Nature* 472, 159–161.
- Teichberg M, Fox SE, Olsen YS, Valiela I, Martinetto P, Iribarne O, Muto EY, Petti MAV, Corbisier TN, Soto-Jiménez M, Páez-Osuna F, Castro P, Freitas H, Zitelli A, Cardinaletti M, Tagliapietra D. (2010). “Eutrophication and macroalgal blooms in temperate and tropical coastal waters: nutrient enrichment experiments with *Ulva* spp.” *Glob Change Biol.* 2010; 16:2624-37.
- Tiecher T, Schenato RB, Santanna MA, Caner L, Rheinheimer DS. 2017. “Phosphorus forms in sediments as indicators of anthropic pressures in an agricultural catchment in southern Brazil.” *Rev Bras Cienc Solo*;41: e0160569.
- Verburg PH, Bouma J. (1999). “Land use change under conditions of high population pressure: the case of Java”. *Glob Environ Change*, 9:303–312.
- Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., Likens, G.E., Matson, P.A., Schindler, D.W., et al. (1997). “Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences.” *Ecol. Appl.* 7, 737–750.
- Worrall, F., Burt, T.P. (1999). “The impact of land-use change on water quality at the catchment scale: the use of export coefficient and structural models”. *J. Hydrol.* 221:75–90.
- Yahia D, Elsharkawy EE. (2014). “Multi pesticide and PCB residues in Nile tilapia and catfish in Assiut city, Egypt.” *Sci Total Environ.* 2014; 466-467:306-14.

**AGRADECIMENTOS**, à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pela bolsa de pesquisa pelo Edital 34/2020.