

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DO SEDIMENTO DE TRECHOS URBANOS DE MUNICÍPIOS DO CAPARAÓ CAPIXABA UTILIZANDO *H. azteca*

João Vítor Sousa Visa¹, Daniel Macedo de Assis¹, Letícia Pacheco Ribeiro¹,
Diego Lacerda de Souza² e Cristiane dos Santos Vergilio¹.

1 Universidade Federal do Espírito Santo – Campus Alegre/Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Laboratório de Ecotoxicologia, Alto Universitário, S/N, Guararema – 29500-000 – Alegre-ES, Brasil. joaosv1998@gmail.com, daniel.m.assis@edu.ufes.br, leticia.p.ribeiro@edu.ufes.br, cristiane.vergilio@ufes.br

2 Laboratório de Ciências Ambientais, Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Avenida Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, 28013-602, Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil. lacerdadesouza@hotmail.com.br

Resumo

O Caparaó Capixaba é formado por 11 municípios do sul do estado do Espírito Santo. O uso de agrotóxicos e fertilizantes em áreas agrícolas, a liberação de esgoto doméstico e efluentes industriais pode ter elevado o número de compostos tóxicos (metais e compostos orgânicos) na região. Os poluentes liberados na água irão em última instância se depositar nos sedimentos do fundo dos rios e córregos. O presente estudo visou avaliar a qualidade do sedimento de trechos urbanos de rios e córregos dos municípios do Caparaó Capixaba através das análises de granulometria, concentração de metais e ensaios ecotoxicológicos com a espécie bentônica *Hyalella azteca*. O sedimento rios e córregos urbanos de oito dentre os onze municípios avaliados apresentou toxicidade nos ensaios com *H. azteca*, com exceção de Muniz Freire e Divino de São Lourenço. A maioria dos pontos apresentou granulometria fina em sua composição. Todos os pontos apresentaram níveis de Cd acima do PEL (nível de efeito provável a biota). Os dados obtidos alertam para estudos à longo prazo na região.

Palavras-chave: Bentos. Córregos. Metais. Rios.

Área do Conhecimento: Ciências Biológicas – Biologia Geral.

Introdução

A microrregião do Caparaó Capixaba é formada por 11 municípios do sul do estado do Espírito Santo, localizados no entorno do Parque Nacional do Caparaó, a região tem como principal atividade econômica o cultivo de grãos de café, tendo destaque também a produção de frutas. Em 2020, o estado obteve recorde de produção, com 13.958 mil sacas colhidas (CONAB, 2020). A implantação da cafeicultura, a partir da segunda metade do século XIX, deu início ao uso degradante do solo, aplicação abusiva de pesticidas e contaminação da água, fatores indicados como os principais problemas ambientais da região (CAPARAÓ, 2006).

Os primeiros pesticidas consistiam predominantemente de substâncias inorgânicas que continham grande quantidade de metais tóxicos como o arsênio, cobre, chumbo, cádmio e mercúrio, sendo intensamente utilizados até o final da década de 40 (NOLLET; RATHORE, 2010). A sua aplicação levou ao acúmulo de metais no sedimento dos ecossistemas aquáticos, sendo que, dependendo das condições climáticas e geoquímicas, pode ocorrer a mobilização desses compostos para a coluna d'água, com a possível incorporação na biota aquática. Além dos resíduos agrícolas, 83% do esgoto dos municípios do Caparaó Capixaba é liberado diretamente nos rios e córregos da região sem nenhum tratamento (ATLAS ESGOTO, 2018). A presença de esgoto na água dos rios reduz a sua qualidade, podendo restringir seus múltiplos usos, bem como contribuir para o aumento da ocorrência de doenças de veiculação hídrica.

A situação dos recursos hídricos se agrava ao longo de trechos urbanos, onde muitos rios e córregos sofrem com o assoreamento, represamento, descarte inadequado de lixo e resíduos sólidos, dentre outros, o que leva a uma piora da qualidade da água. Os poluentes liberados na água irão em última instância se depositar nos sedimentos de fundo dos rios e córregos, fazendo com que esse seja um

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

importante compartimento para ser avaliado no monitoramento ambiental. O sedimento fornece habitat para várias espécies animais e vegetais e atua como um grande depósito de substâncias orgânicas e inorgânicas que podem ser tóxicas a esses organismos (BURTON; MACPHERSON, 1995; BURTON *et al.*, 2001). No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução 430 de 2011 passou a exigir os ensaios toxicológicos para avaliação do potencial tóxico de efluentes lançados em corpos hídricos.

As espécies bentônicas são indicadas para avaliação da toxicidade do sedimento devido ao seu contato direto com o sedimento e com a água intersticial (BURTON, 1992). As espécies do gênero *Hyalella* são onívoras e de hábitos detritívoros, alimentando-se de algas e bactérias associadas ao sedimento, além de macrófitas aquáticas. A espécie possui fácil manejo em laboratório e rápida reprodução, o que faz com que sejam ótimos organismos para o uso em bioensaios (USEPA, 2000). Com o intuito de compreender os efeitos tóxicos dos sedimentos de córregos que cruzam os trechos urbanos da região do Caparaó Capixaba, o presente estudo visou realizar uma avaliação de toxicidade aguda utilizando o organismo bentônico *Hyalella azteca*, correlacionando os resultados com os dados de granulometria e concentração de metais do sedimento.

Metodologia

As amostras de sedimento foram coletadas em trechos urbanos de rios e córregos de 10 municípios do Caparaó Capixaba, e também, em Cachoeiro de Itapemirim, a maior cidade do sul do Espírito Santo (Tabela 1). A amostragem foi realizada no período entre 05 e 08 de agosto de 2019, na estação da seca, quando há menor volume de água nos rios e córregos.

Tabela 1 – Localização dos pontos de coleta de sedimento nos diferentes rios e córregos da região do Caparaó Capixaba. As coordenadas geográficas se contram em UTM SIRGAS 2000, zona 24 K

Município	Local de coleta	Código da amostra	Longitude (mE)	Latitude (mS)
Alegre	Rio Alegre	ALE	236857.23	7701790.44
Cacheiro de Itapemirim	Rio Itapemirim	CIT	280803.98	7692564.36
Divino de São Lourenço	Rio Veado	DSL	220493.21	7717181.13
Dores do Rio Preto	Rio Preto	DRP	203081.02	7709028.72
Guaçuí	Rio Veado	GUA	220863.77	7700402.46
Ibatiba	Rio Pardo	IBA	237573.90	7760256.91
Ibitirama	Rio Braço Norte Direito	IBI	222041.85	7726435.25
Irupi	Rio Pardinho	IRU	224445.37	7748265.52
Iúna	Rio Pardo	IUN	-	-
Jerônimo Monteiro	Córrego Cristal	JM	250583.86	7699330.15
Muniz Freire	Córrego Vargem Grande	MF	248086.39	7735624.45

Fonte: Próprio autor.

As amostras de sedimento superficial (2 a 6 cm) foram coletadas com auxílio de um amostrador de fundo do tipo Van Veen, sendo armazenadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração a -4 °C. Uma fração foi separada para a análise de metais, outra para caracterização granulométrica e outra para realização dos ensaios ecotoxicológicos.

A granulometria foi realizada para a fração menor do que 2,00 mm, sem a remoção de carbonatos e matéria orgânica através de um analisador de partícula por difração a laser (Shimadzu modelo SALD-3101) em várias frações conforme escala Wentworth. Nesse estudo, as sub-categorias de areia foram agrupadas, como também, as de silte e argila.

Para a determinação de metais no sedimento, uma alíquota de 0,5 g foi digerida de acordo com o método 3052 USEPA (1995) em uma solução de HNO₃ (9 mL) + HF (4 mL) + HCl (4 mL) em forno micro-ondas (Mars 5 Xpress CEM-Corporation). Os extratos foram filtrados em papel filtro (Whatman 40), aferidos a 50 mL com ácido HNO₃ 0,5 %. A determinação dos elementos-traço (Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn) foi realizada através de espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado (ICP-OES, Varian 720-ES). Para controle analítico de precisão foram realizadas triplicatas analíticas a cada grupo

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

de cinco amostras, sendo considerados os resultados de coeficiente de variação inferiores a 10%. Brancos analíticos foram analisados a cada grupo de 10 amostras, nos quais foram empregadas as mesmas etapas realizadas para as amostras.

Os organismos-teste utilizados no presente estudo foram obtidos do cultivo do Laboratório de Ecotoxicologia (LABTOX) da Universidade Federal do Espírito Santo Campus Alegre. O cultivo original do LABTOX foi iniciado a partir de organismos cedidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Para o cultivo e o ensaio com os organismos, foram seguidas as recomendações ABNT NBR 15.470: 2013 – Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade Aguda e Crônica – Método de ensaio com *Hyalella spp* (Amphipoda). No cultivo, os organismos foram divididos em 4 cubas, cada uma contendo 100 organismos adultos, mantidos em 2 litros do meio de cultura MS (meio Metal Solution), com aeração constante e fotoperíodo de 16:08 horas claro/escuro. Os organismos de 7-14 dias foram obtidos das cubas montadas, sendo separados para utilização no ensaio.

O alimento fornecido foi um solubilizado de ração de peixe e levedura com adição de óleo de primula, sendo oferecido 2,5 mL em cada cuba todos os dias da semana. As culturas também são alimentadas com ração em pó, constituída por ração de coelho e de peixe triturada com adição de spirulina. Como substrato foram utilizadas plantas aquáticas *Elodea sp*.

O ensaio foi feito com quatro réplicas para cada ponto, adicionou-se 100 g de sedimento e 200 mL de meio de cultura (MS) em recipientes-teste com capacidade para 350 mL. Para o controle, foram usados recipientes-teste sem sedimento, contendo apenas a planta aquática *Elodea sp* e 200 mL de meio MS. Após 24 h de decantação, foram medidos os parâmetros físico-químicos e adicionados 10 organismos (entre 7 e 14 dias de desenvolvimento) em cada réplica de cada tratamento.

Ao longo do experimento foi realizada a troca de 1/3 da água dos recipientes a cada três dias, sendo fornecida a alimentação e monitorados os níveis de oxigênio dissolvido. Ao final de 10 dias de experimento foi avaliada a sobrevivência dos organismos em cada uma das amostras para avaliação do efeito tóxico.

Para as análises dos dados foi realizado uma Análise de variância (ANOVA) seguido do teste de Tukey, sendo considerada uma margem de erro de 5%. Os cálculos e os gráficos foram realizados com a utilização do software Graphpad.

Resultados

Para a caracterizar as amostras de sedimento de trechos urbanos de rios e córregos dos municípios do Caparaó Capixaba foi feita a avaliação da granulometria e a determinação da concentração de metais. Em relação à granulometria, as amostras de GUA (Guaçu), CIT (Cachoeiro de Itapemirim), JM (Jerônimo Monteiro), MF (Muniz Freire) e IRU (Irupi) apresentaram composição predominantemente arenosa (acima de 60 % areia). As amostras de IBA (Ibatiba), IUN (Íluna), DRP (Dores do Rio Preto), DSL (Divino de São Lourenço), ALE (Alegre) apresentaram composição predominantemente silte argilosa (acima de 80 % silte-argila). Enquanto que o ponto de IBI (Ibitirama) apresentou características intermediárias em relação a presença das frações areia (47,7%) e silte argila (52,3%) (Figura 1).

Os elementos alumínio (Al), bário (Ba), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), chumbo (Pb) e zinco (Zn) foram avaliados nas amostras coletadas, sendo observados os maiores níveis nos municípios de Íluna, Ibitirama, Ibatiba e Dores do Rio Preto (Tabela 2).

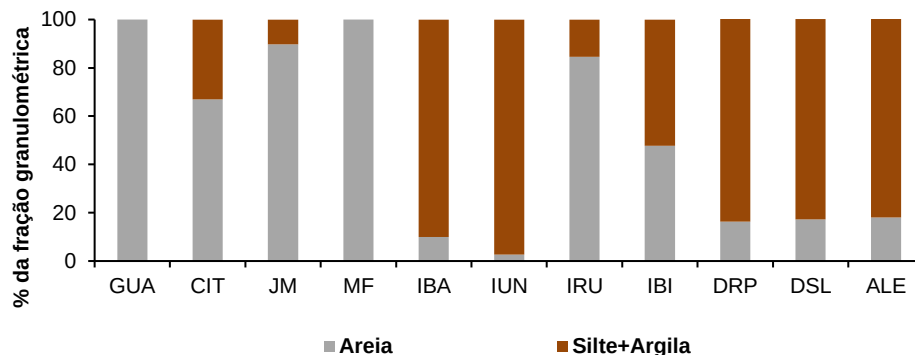
As concentrações obtidas no presente estudo foram comparadas com níveis de referência internacionais descritos pelo NOAA - National Oceanic & Atmospheric Administration, que estabelece valores de TEL (nível de limiar de efeitos adversos à comunidade biológica) e PEL (nível de efeitos adversos prováveis à comunidade biológica). Todas as amostras coletadas apresentavam valores acima do PEL para Cd. Valores acima do TEL despertam a preocupação em relação a possibilidade de ocorrência de efeitos adversos para biota exposta a esses sedimentos, enquanto que nos níveis de PEL alertam para efeitos adversos prováveis para a biota.

Os ensaios ecotoxicológicos com *Hyalella azteca* foram realizados para avaliar a toxicidade do sedimento dos trechos urbanos de rios e córregos do Caparaó Capixaba. O sedimento dos municípios Cachoeiro de Itapemirim (CIT), Jerônimo Monteiro (JM), Ibatiba (IBA), Irupi (IRU), Ibitirama (IBI), Dores do Rio Preto (DRP) e Alegre (ALE) apresentaram toxicidade para os organismos-teste, sendo que Ibatiba (IBA), Irupi (IRU), Ibitirama (IBI) induziram a mortalidade total dos organismos expostos (Figura 2). Apenas as amostras dos municípios de Muniz Freire, Divino de São Lourenço e Guaçu não

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

induziram toxicidade em *Hyalella azteca*. A ausência dos resultados de lúna (IUN) foi devido à falta de amostra suficiente para realização dos ensaios (Figura 2).

Figura 1 - Porcentagem das frações granulométricas observadas nas amostras de sedimento coletados no Caparaó Capixaba. GUA: Guaçuí, CIT: Cachoeiro de Itapemirim, JM: Jerônimo Monteiro, MF: Muniz Frente, IBA: Ibatiba, IUN: lúna, IRU: Irupi, IBI: Ibitirama, DRP: Dores do rio Preto, DSL: Divino de São Lourenço, ALE: Alegre.



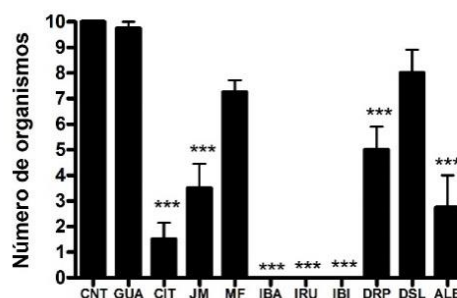
Fonte: Próprio autor.

Tabela 2 - Concentração de metais (µg/g) nas amostras de sedimento de rios e córregos de municípios do Caparaó Capixaba. Níveis de TEL (nível de efeito limite para biota) e PEL (nível de efeito provável a biota) estabelecido para os metais citados, determinados metais não tem valor estabelecido (NE).

Localização	Al	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Alegre	19.032,5	183,6	8,1	10,5	5,6	8.446,4	52,7	<0,400	13,4
Cachoeiro de Itapemirim	17.712,8	252,7	3,6	5,2	5,1	5.249,5	84,2	<0,400	13,4
Divino de São Lourenço	22.787,9	95,7	7,1	7,2	3,3	7.215,9	45,7	<0,400	8,0
Dores do Rio Preto	22.516,6	31,8	12,2	37,0	10,9	25.982,9	147,5	<0,400	21,5
Guaçuí	18.554,5	85,1	3,6	7,2	4,3	6.870,3	77,2	<0,400	10,1
Ibatiba	17.228,4	41,0	9,6	20,8	13,5	23.892,4	66,8	<0,400	36,0
Ibitirama	24.624,7	172,5	10,5	16,1	11,8	23.141,4	113,2	<0,400	36,7
Irupi	14.976,3	30,8	8,3	4,8	5,8	7.852,4	44,5	<0,400	14,0
lúna	30.444,1	54,4	12,0	23,8	20,1	41.820,7	323,5	1,6	54,3
*Jerônimo Monteiro	18.229,4	163,2	3,6	3,6	2,8	3.819,5	34,0	<0,400	9,1
Muniz Freire	7.389,6	161,8	5,1	1,1	2,1	1.343,9	11,1	<0,400	2,1
NOAA TEL (ppb)	NE	NE	0,60	37,3	35,7	NE	NE	35,0	123,0
NOAA PEL (ppb)	NE	NE	3,53	90,0	197	NE	NE	91,3	315,0

Fonte: Próprio autor.

Figura 2 - Número de indivíduos de *H. azteca* após a exposição ao sedimento de diferentes pontos amostrais da região do Caparaó Capixaba. CNT: Controle, GUA: Guaçuí, CIT: Cachoeiro de Itapemirim, JM: Jerônimo Monteiro, MF: Muniz Frente, IBA: Ibatiba, IUN: lúna, IRU: Irupi, IBI: Ibitirama, DRP: Dores do rio Preto, DSL: Divino de São Lourenço, ALE: Alegre. Os *** indicam que os resultados apresentam diferença estatística do controle, considerando $p < 0,001$.



Fonte: Próprio autor.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Discussão

As maiores concentrações de metais foram observadas nas áreas em que as análises granulométricas constataram uma maior presença de material fino (maior percentual de silte e argila). De acordo com Wang *et al* (2006), existe uma maior tendência de acumulação de metais em sedimentos com um granulometria mais fina, uma vez que esses materiais apresentam maior superfície de contato e cargas de superfície (colóides) que podem atuar adsorvendo esses metais, que justifica uma maior retenção de metais em sedimentos com mais silte e argila.

Destaca-se que as amostras com maior toxicidade nos ensaios de *Hyalella azteca*, provenientes dos municípios de Ibatiba (IBA), Irupi (IRU) e Ibitirama (IBI) também apresentaram a composição granulométrica de material mais fino, mostrando a maior tendência de acumulação de metais, principalmente Ibitirama. Os resultados do presente estudo fornecem um indicativo de um sério problema ambiental na região, evidenciando que o sedimento de diferentes rios e córregos de trechos urbanos da região do Caparaó Capixaba não fornecem boas condições para sobrevivência da biota. Considera-se ainda, que os metais possuem uma alta persistência no ambiente, não são biodegradáveis, se acumulam nos tecidos dos organismos e representam um alto risco ao ecossistema e a saúde da população humana. Estudos anteriores demonstraram a acumulação de metais em peixes de diferentes espécies da região do Caparaó Capixaba, correlacionado com a incidência de efeitos tóxicos, como eritrócitos binucleados, micronúcleo e aberrações cromossômicas (LACERDA *et al.*, 2020).

Esses resultados despertam uma preocupação em relação a qualidade dos rios e córregos da região. Sugere-se que o uso de pesticidas e fertilizantes possa ter contribuído na elevada toxicidade do sedimento da região do Caparaó Capixaba para o bioindicador testado, visto que diversos municípios da região possuem potencial agrícola. Outro contribuinte, pode ser elevada descarga de esgoto doméstico sem tratamento nos rios e córregos locais, sendo que 83% do esgoto dos municípios do Caparaó Capixaba é liberado diretamente nos rios e córregos da região sem nenhum tratamento (ATLAS ESGOTO, 2018). Esse material liberado afeta a água e boa parte desses poluentes podem se depositar no sedimento, tornando o meio tóxico para o organismo bioindicador utilizado.

Conclusão

Os resultados mostram que os trechos urbanos dos rios e córregos da região do Caparaó Capixaba sofrem intensa degradação, seja por meio do uso extensivo de agrotóxicos ou pelo lançamento direto de esgoto doméstico sem tratamento. Essas fontes de contaminação fazem com que substâncias nocivas ao meio ambiente se incorporem no ecossistema aquático e, por fim, se depositem no sedimento. Dentre os poluentes, encontram-se os metais, que apresentaram tendência de acumulação em material mais fino (silte-argila), podendo implicar em um elevado grau de toxicidade para os organismos bentônicos. A alta presença de metais desperta preocupação, uma vez que possuem a capacidade de se acumular nos organismos mesmo em baixas concentrações, podendo resultar em sua incorporação na cadeia trófica e indução de efeitos tóxicos nos organismos. Em especial, em função dos níveis de Cd para todos os municípios do Caparaó Capixaba apresentarem valores acima do PEL – NOAA.

A toxicidade do sedimento da região do Caparaó Capixaba pode ser um indicativo preocupante de impactos na sobrevivência da biota em seu ambiente natural. Esse estudo inicial ressalta a necessidade de mais trabalhos que analisem outros aspectos ambientais da região, como análise de água e elutriato. Porém, não só para o Caparaó Capixaba, mas como para toda Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, que sofre com a falta de saneamento básico e com o uso de agrotóxicos nas áreas agrícolas e descargas de resíduos industriais.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15470: ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda e crônica – Método de ensaio com *Hyalellas ssp* em sedimentos. Rio de Janeiro, 2013.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

BRADL, H. B. Sources and origins of heavy metals. In: BRADL, H. B. (Ed.). Heavy metals in the environment: Origin, Interaction and Remediation. **Elsevier**, 2005.

BURTON JR, Allen G. *et al.* Assessing sediment contamination using six toxicity assays. **Journal of Limnology**, v. 60, n. 2, p. 263-267, 2001.

BURTON JR, G. A.; MACPHERSON, C. **Sediment toxicity testing issues and methods**. Handbook of ecotoxicology (pp. 70–98). 1995.

BRASIL. Atlas Esgoto. Agência Nacional de Águas - Ana. **Despoluição das Bacias Hidrográficas**. 2018. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

CAPARAÓ, C. Agência 21. Plano de Desenvolvimento sustentável: Programa Vale Mais - Caparaó Capixaba 2006-2026. Rio de Janeiro: 122 p. 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de café, 2020. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em 10 abr. 2022.

CONAMA, Resolução nº430, de 13 de Maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA; "Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005", publicada no Diário Oficial da União em 16/05/2011; Brasília, DF.

LACERDA, D, *et al.* Comparative metal accumulation and toxicogenetic damage introction inthree neotropical fish with distinct foraging habits and feeding preferences. **Elsevier**, 2020.

NOLLET, L. M. L.; RATHORE, H. S. Fate of pesticides and transfer processes. **Handb. Pestic. Methods pestic. Residues anal**, p. 54, 2010.

WANG, X. S.; QIN, Y.; CHEN, Y. K. Heavy meals in urban roadside soils, part 1: effect of particle size fractions on heavy metals partitioning. **Environmental geology**, v. 50, n. 7, p. 1061-1066, 2006.

Agradecimentos

A infraestrutura do LABTOX UFES e LCA UENF. A FAPES (FAPES/CNPq/Dcit-SCTIE-MS/SESA) pelo financiamento do projeto através do Programa de Pesquisa para o SUS: Gestão compartilhada em Saúde (PPSUS) (TO: 290/2016 - Processo: 74713469 e TO: 209/2018 - Processo: 83164200).