

Levantamiento de metales pesados en el agua subterránea de la subcuenca del río Estrela, Saracuruna, Rio de Janeiro

Los niveles de compuestos xenobióticos volcados en los ambientes acuáticos, han aumentado de forma alarmante como resultado de la actividad antropogénica sobre el medio ambiente. Los metales pesados se diferencian de otros compuestos tóxicos por ser absolutamente no degradables, pudiendo acumularse en los componentes del ambiente, como las aguas subterráneas de una región, donde poseen sus concentraciones naturales aumentadas, debido a las actividades antrópicas en los ecosistemas, las aguas subterráneas de regiones en las ciudades, industrias, carreteras, emprendimientos inmobiliarios, garimpos, basurales y viviendas humanas presentan diversas alteraciones en cuanto a las concentraciones permitidas por ley para metales pesados. Para esta realidad ambiental deletérea, la subcuenca del río Estrela, ubicada en el municipio de Duque de Caxias-RJ, tiene un largo histórico de contaminación por metales pesados, frente a las actividades antrópicas sobre la región. Gran parte de la población local utiliza las aguas subterráneas de la región para consumo humano, animal y en actividades agrícolas, con eso se realizó el sondaje de las aguas subterráneas para evaluar su toxicidad en cuanto a la concentración de metales pesados en referencia a la Resolución Nº 420/2009 del Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Para los 18 metales (Aluminio, Arcén, Bario, Boro, Cadmio, Plomo, Cobalto, Cobre, Cromo, Hierro, Manganeseo, Molibdeno, Níquel, Selenio, Zinc, Antimonio, Mercurio y Plata) analizados, para un de lineamiento muestral de 5 puntos en la subcuenca del río Estrela, se constata una alta concentración de 15 metales potencialmente peligrosos a la salud humana y el bienestar animal y vegetal.

Palabras-chave: Ecotoxicidad; Impacto Ambiental; Efluentes Industriales; Saneamiento Ambiental.

Levantamento de metais pesados na água subterrânea da sub-bacia do rio Estrela, Saracuruna, Rio de Janeiro

Os níveis de compostos xenobióticos despejados nos ambientes aquáticos, vêm aumentando de forma alarmante como resultado da atividade antropogênica sobre o meio ambiente. Os metais pesados se diferenciam de outros compostos tóxicos por serem absolutamente não degradáveis, podendo se acumular nos componentes do ambiente, como as águas subterráneas de uma região, onde eles possuem suas concentrações naturais aumentadas, devido às atividades antrópicas nos ecossistemas, as águas subterráneas de regiões próximas a cidades, indústrias, rodovias, empreendimentos imobiliários, garimpos, lixões e habitações humanas apresentam diversas alterações quanto as concentrações permitidas por lei para metais pesados. Para esta realidade ambiental deletérea, a sub-bacia do rio Estrela, localizado no município de Caxias-RJ, possui um longo histórico de contaminação por metais pesados, em face às atividades antrópicas sobre a região. Grande parte da população local usa as águas subterráneas da região para consumo humano, animal e em atividades agrícolas, com isso foi realizado a sondagem das águas subterráneas visando levantar sua toxicidade quanto à concentração de metais pesados em referência a Resolução Nº 420/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Para os 18 metais (Alumínio, Arsênio, Bário, Boro, Cádmiio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Molibdênio, Níquel, Selênio, Zinco, Antimônio, Mercúrio e Prata) analisados, dentro de um delineamento amostral de 5 pontos dispostos na sub-bacia do rio Estrela, foram constatados a alta concentração de 15 metais potencialmente perigosos a saúde humana e ao bem estar animal e vegetal.

Keywords: Ecotoxicidade; Impacto Ambiental; Efluentes Industriais; Saneamento Ambiental.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **05/03/2018**

Approved: **10/04/2018**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Cleber Vinicius Vitorio Silva 
Fundação Oswaldo Cruz, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4275890458575782>
<http://orcid.org/0000-0001-8337-9615>
clebervitorio88@gmail.com

Josimar Ribeiro Almeida 
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3215586187698472>
<http://orcid.org/0000-0001-5993-0665>
almeida@poli.ufrj.br

Carlos Eduardo Silva 
Universidade Tiradentes, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3700554054159220>
<http://orcid.org/0000-0001-8358-0263>
carlos.eduardo@cbpciencia.com.br

Lyanna Oliveira de Carvalho 
Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1472384194462135>
<https://orcid.org/0000-0003-0372-5114>
yannacarvalhoadaptada@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2018.004.0001

Referencing this:

SILVA, C. V. V.; ALMEIDA, J. R.; SILVA, C. E.; CARVALHO, L. O..
Levantamiento de metales pesados en el agua subterránea de la subcuenca del río Estrela, Saracuruna, Rio de Janeiro. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.4, p.1-11, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.004.0001>

INTRODUCCIÓN

De forma continua e ininterrumpida, la civilización ha usado los cuerpos de agua para supervivencia, sin prácticamente ningún manejo. Los niveles de compuestos xenobióticos desechados en los ambientes acuáticos, la destrucción de las matas ciliares y el aumento de la sedimentación en las márgenes de ríos y demás cuerpos de agua vienen aumentando de forma alarmante como resultado de la actividad antropogénica sobre el medio ambiente. Este hecho ha contribuido a la generación de desequilibrios ambientales, afectando el ecosistema a nivel de estabilidad, resistencia y resiliencia. La población humana también se ve afectada. Los ecosistemas acuáticos han sido alterados, con innumerables y drásticas consecuencias para su dinámica, de ahí la necesidad cada vez más urgente del uso del monitoreo ambiental en estos ambientes y de la evaluación de su calidad (SILVA et al., 2016).

El Río de Janeiro por ser un Estado con ocupación antigua pasó por diversos ciclos económicos de explotación y de producción, en el cual sus ecosistemas originales fueron siendo progresivamente eliminados y descaracterizados. Las matas de bajada y las áreas húmedas fueron uno de los ecosistemas que más sufrieron pérdidas y degradaciones oriundas de este proceso de ocupación. Actualmente, las matas de bajada están restringidas a pequeños fragmentos ubicados al pie de la Sierra del Mar, mientras que las áreas húmedas vienen sufriendo el terraplén y drenaje principalmente en el Norte Fluminense, Región de los Lagos y Gran Río, estimulados históricamente por la agricultura y pecuaria y más recientemente por la expansión urbana desordenada (BIDEGAIN et al., 2002). Como consecuencia, diversos animales característicos de estos ambientes constan en la Lista de la Fauna Amenazada del Estado de Río de Janeiro clasificados en diferentes categorías de amenaza o incluso considerados extinguidos. En este contexto, se destaca el municipio Duque de Caxias, ubicado al pie de la Sierra de los Órganos. La ciudad tiene una ubicación privilegiada en lo que se refiere a los bosques y áreas húmedas de Río de Janeiro, abriendo fragmentos de Mata Atlántica de bajada y submontana, así como importantes remanentes de manglares y pantanos.

El aglomerado subnormal titulado 'Parque Estrela', se ubica en el distrito de Campos Elíseos y comprende una gran área de bajada, rica en brezos y otros cuerpos hídricos, en las proximidades del mayor remanente de manglares de Duque de Caxias, y consecuentemente uno de los más grandes toda el área de la Bahía de Guanabara. Por ubicarse en una región industrial de ocupación antigua, su área forestal original se encuentra bastante descaracterizada, cuando no completamente suprimida. Así, aún hoy, se destacan sus áreas húmedas, que, aunque bastante antropizadas, todavía presentan elementos faunísticos de interés conservacionistas y comerciales principalmente relacionados a la Ictiofauna, malacofauna y agricultura (BERGALLO et al., 2000).

Las aguas subterráneas son esenciales para el desarrollo humano. En Brasil, ellas desempeñan un importante papel en el abastecimiento público y privado, supliendo las más variadas necesidades de agua en diversas ciudades y comunidades, así como en sistemas autónomos residenciales, industrias, servicios, irrigación agrícola y ocio. Menos reconocido, pero igualmente importante, es su papel ecológico, fundamental para el mantenimiento de la flora, fauna y fines escénicos o paisajísticos en cuerpos de agua

superficiales, pues la perennización de la mayor parte de los cuerpos hídricos superficiales es hecha por la descarga de acuíferos, través de los flujos de base. Este mismo flujo de base también es importante para auxiliar en la dilución de efluentes domésticos e industriales y evitar la sedimentación de los ríos por la acumulación de sedimentos y residuos en las ciudades debido a su pérdida de capacidad de arrastre y caudal del cuerpo hídrico (ANA, 2006).

Con el fin de garantizar la calidad del agua consumida, el ser humano viene desarrollando desde la década del 70 del siglo pasado diversas técnicas analíticas para monitorear la presencia de compuestos xenobióticos.

De esta manera a partir de la década de los 90 del siglo pasado surge una nueva tendencia en la forma de conducir los análisis químicos con foco en la evaluación de la calidad de los compartimentos ambientales, con el objetivo de mitigar y evaluar el impacto ambiental en los ecosistemas terrestres y acuáticos. Esta nueva visión se denomina *Green Chemistry*, o química verde, química limpia, o aún, química autosostenible (SILVA et al., 2016). El concepto de la química verde, que incluye 12 principios básicos, se define como el proyecto, el desarrollo y la aplicación de los productos y procesos químicos para la reducción, eliminación, o la utilización de sustancias nocivas para la salud humana y el medio ambiente. Se iniciaron de esta forma diversas investigaciones con el objetivo de desarrollar métodos ambientalmente seguros.

La contaminación de las aguas subterráneas y los recursos hídricos superficiales en las últimas décadas representan una amenaza para la salud pública desde una perspectiva analítica de los contaminantes ambientales, los "metales pesados", "metales tóxicos", "metales traza", "elementos traza" o aún "constituyentes traza" han sido utilizados como sinónimos en la literatura, que se refieren a elementos (no siempre metales) en los sistemas acuáticos, de alto potencial toxicológico y asociados a la contaminación (ANZECC/ARMCANZ, 2000). Por otro lado, HILLERT (1997) sostiene que el término "metal pesado" habría surgido como una conveniencia para los legisladores para referirse a metales con potencial tóxico. Los elementos Cd, Hg, Pb y Bi han sido frecuentemente mencionados, incluso porque la actividad humana ha aumentado su concentración en el ambiente (HILLERT, 2005). Otra definición propone que los metales pesados sean aquellos que tienen una densidad mayor que 6 g.cm^{-3} y, por lo tanto, metales más pesados que el vanadio serían metales pesados, allí incluyendo la mayoría de los metales comerciales (PHIPPS, 1981; ALLOWAY, 1995; THORNTON, 1995; HILLERT, 1997). SILVA (2014) caracteriza los metales en tres clases diferentes: 1) Decorrência natural (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt e Au); 2) Insolúveis o asociados (V, Cr, Mn, Ti, Zr, Nb, Hf, Ta e W); 3) Asociados a enxofre (Mo, Re, Fe, Co, Ni, Cu, Ag, Cd, Hg, In, Tl, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Se e Te).

BAIRD (2002) apunta que los metales pesados se diferencian de los demás compuestos tóxicos por ser absolutamente no degradables, pudiendo acumularse en los componentes del ambiente, donde manifiestan su toxicidad. El autor destaca que los lugares de fijación final de los metales son los suelos, las aguas subterráneas y los sedimentos. Los riesgos ambientales de los metales pesados se deben a su uso intenso, toxicidad y amplia distribución, que se realiza principalmente por vía aérea o acuática, en el suelo los drenajes de una región pueden aún maximizar la evolución de esta contaminación. En el agua y en los

sedimentos estos elementos ocurren disueltos, caracterizando así un ambiente de transición temporal, entre el compartimiento de agua y el compartimiento del sedimento.

El municipio de Duque de Caxias posee un largo historial de contaminación por metales pesados, frente a las actividades antrópicas sobre los ecosistemas naturales, un ejemplo es el basurero de Gramacho, que tuvo actividad de 1976 a 2012, como el mayor basural de América Latina, este basurero llegó a recibir 7000 Ton de rechazos químicos y orgánicos al día, contaminando el suelo y las aguas subterráneas y superficiales de la región, por lixiviación de los contaminantes en el suelo y por escurrimiento superficial, teniendo su maximización de diseminación de contaminantes por la red de drenaje de la región (SILVA & MAGALHÃES, 2011).

En resumen, el drenaje es la disminución de la saturación de agua en el suelo, teniendo como foco principal este acto la ocupación del local en que se realiza el drenaje, en el área de la subcuenca del río Estrela, se realizaron drenajes que poseen cerca de medio siglo de existencia. El presente estudio de Sondaje de aguas subterráneas se basa en la "Investigación confirmatoria" de la NBR 15515 de la ABNT, titulada "Pasivo ambiental en suelo y agua subterránea", enfocándose en el levantamiento de metales pesados. Y pretende atender la Resolución Nº 420/2009 del Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), enfocándose en la evaluación de los metales pesados presentes en las aguas subterráneas, así como la evaluación de los riesgos que la población local corre, pues la misma hace uso del agua subterránea para el consumo humano, animal y en la irrigación de cultivos agrícolas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Caracterización Del Área

El área de estudios y su entorno se encuentran en la cuenca hidrográfica drenante a la Bahía de Guanabara, más específicamente en la subcuenca del río Estrela, incluyendo el río y el canal de Saracuruna (Figura 1). Los ríos Estrela y Saracuruna (así como el canal de Saracuruna) limitan el área de estudios al este y norte, respectivamente. En la porción SE del área de estudios, cerca del río Estrela, se tiene la presencia de dos cuerpos lénticos. El área de estudio (Figura 1) y su entorno se inserta en el bioma de la Mata Atlántica, de acuerdo con el INPE (2018), se sitúa en las regiones fitoecológicas de Bosque Ombrófilo Denso con formación Densa de Tierras Bajas y de Áreas de Formación Pionera Influencia flúvio-marina. La composición flúvio-marina ocupa la porción del terreno ubicada en el límite próximo a la desembocadura del río Estrela, donde forma un paisaje homogéneo, aunque pueden ser observados pequeños grupos los márgenes del curso de agua en tramos un poco más internos, presentando el manglar local un poder de dispersión de baja densidad. La geomorfología de la región es predominantemente llanura fluvial, con la presencia de algunas colinas, lo que favorece los canales meandantes y las áreas inundadas. El área y su entorno abarcan a los dominios de forma de relieve relacionados con las colinas aisladas y el fondo plano de las depresiones de la Baixada Fluminense, presentando el terreno del área de estudios una topografía predominantemente plana, destacándose la presencia de tres colinas aisladas con altitud cerca de 20 metros, situadas en su porción

noroeste. La ocupación del territorio ocurrió de forma desordenada, en el mapa de uso del suelo vemos que la región está rodeada por un adensamiento urbano, ese hecho con pocos aparatos del Estado, realizándose en autoconstrucción y agricultura, con pastos abandonados y suba provechados y fragmentos de bosques y manglares.

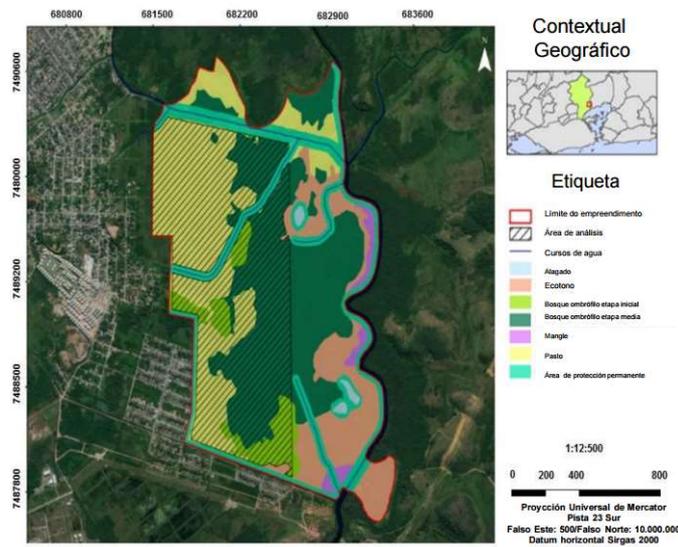


Figure 1: Área de estudios y fisonomías.

Delineamento Muestral y Análisis

La determinación del tamaño de la muestra es un factor de extrema importancia cuando se trata de estudios relacionados con impactos ambientales, pues se pretende utilizar una muestra más representativa del área de muestreo. A fin de obtener una muestra toxicológica representativa de la subcuenca del río Estrela, el 14 de junio de 2018, en el espacio muestral fueron perforados 05 pozos aleatoriamente (Figura 2) según la geomorfología local y el nivel de la capa freática, llenando toda subcuenca.

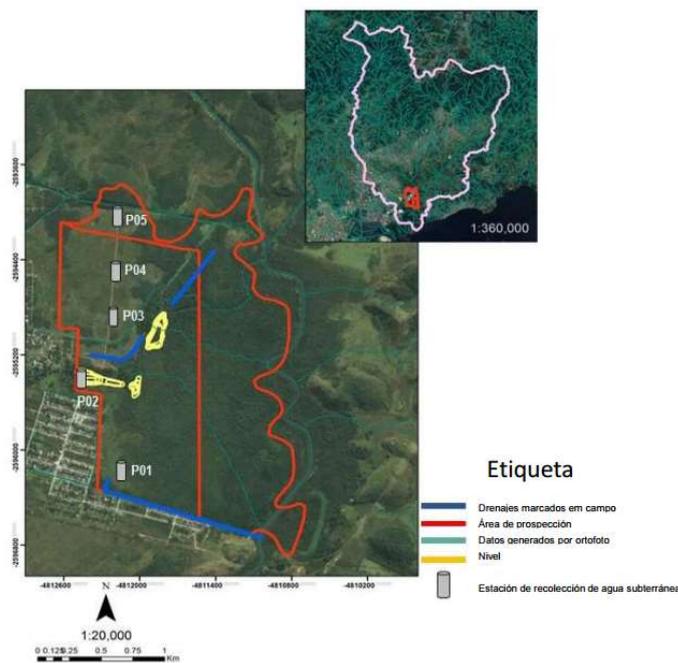


Figure 2: Delineamiento muestral y puntos de recolección.

La perforación de los pozos fue realizada con ayuda de un trado manual (Figura 3A), utilizando vástagos de diferentes tamaños y broca convencional de 4 " (Figura 3B), para suelos con poca abrasión y medio grado de compactación. Después de la perforación del pozo se realizaron las colectas de las muestras de agua subterránea con ayuda de una bomba de bajo caudal, válvula y caja controladora (figura 4). Todas las muestras fueron acondicionadas en botellas plásticas vírgenes y resfriadas a 2° C (figura 5) y siguieron refrigeradas hasta el laboratorio Hidroquímica, del grupo Oceanus, ubicado en la ciudad de Río de Janeiro.



Figure 3: Perforación por trado (A). Suelo perforado.



Figure 4: Bomba de control para la recolección de agua subterránea.



Figure 5: Sonda multiparámetro INS-87 usada para la recolección de agua.

En todas las estaciones de colecta del agua subterránea, se realizó la determinación de los parámetros fisicoquímicos oxígeno disuelto y temperatura con ayuda de una sonda multiparámetro INS-87, conforme presentado en la figura 5. Y los análisis de los metales pesados (Aluminio, Arcén, Bario, Boro, Cadmio, Plomo, Cobalto, Cobre, Cromo, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Selenio, Zinc, Antimonio, Mercurio y Plata) en las muestras de agua subterránea que atienden la Resolución N° 420/2009 del Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) en laboratorio las referencias metodológicas fueron la, USEPA 200.8 DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS IN WATERS AND WASTES BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA - MASS SPECTROMETRY /METHOD 3050B y la USEPA 200.8 DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS IN WATERS AND WASTES BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA - MASS SPECTROMETRY /USEPA 6020A-INDUCTIVELY COUPLED PLASMA-MASS.

Los análisis multivariados tienen como objetivo reducir un gran número de variables a pocas dimensiones con el mínimo de pérdida de información, permitiendo la detección de los principales patrones

de similitud y asociación entre las unidades muestrales. A fin de comprender la similitud entre los elementos encontrados, se empleó también el análisis de agrupamiento (clúster) en función del ambiente muestral con base en la matriz de similitud y empleado el índice de Bray-Curtis (Zar, 1999). El índice de Bray-Curtis varía de 0 a 1, con menores valores indicando muestras más similares. Esta estandarización en el intervalo entre uno y cero facilita la interpretación y comparación. Los valores resultantes entre los pares de muestras de las estaciones se dispusieron en una matriz de similitud. Esta matriz de similitud fue sometida a un análisis de agrupación, utilizando la conexión simple (*Simple Link*) como método de conexión. Para la confección del análisis, se utilizaron los softwares estadísticos desarrollado por Taguchi et al. (2005) y Microsoft Excel 2010.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados mostraron que la temperatura se mantuvo alrededor de 22°C y que el oxígeno disuelto varió de 0,67 mg L⁻¹ en el punto 3 a 7,82 mg L⁻¹ en el punto 2. Esta variación puede estar relacionada al tipo de fitofisiognomía entre los puntos o por la presencia de cuerpos hídricos bastante eutrofizados próximos a los puntos 3, 4 y 5. La variación de temperatura y oxígeno disuelto puede ser observada en la tabla 1, a continuación.

Table 1: Variables fisicoquímicas medidos en los pozos de recolección de agua.

Puntos	P01	P02	P03	P04	P05
Temperatura (°C)	21,7	22,0	22,0	22,4	22,3
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	5,19	7,82	0,67	0,91	1,25

Fuente: recopilada en el campo con la Sonda multiparámetro INS-87.

De acuerdo con análisis realizados por el laboratorio, los muestreos de agua subterránea presentaron resultados por debajo del límite permitido por la Resolución N° 420/2009 del Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) para 3 metales (antimonio, mercurio y plata) de los 18 metales analizados, por lo tanto, las concentraciones de 15 metales fueron superiores a los límites de esta resolución, siendo estos descritos abajo (tabla 2).

Table 2: Variables fisicoquímicas medidos en los pozos de recolección de agua.

Metales (µg L ⁻¹)	P01	P02	P03	P04	P05	CONAMA N.º 420 Agua Subterránea
Aluminio Total	67363,7	129972,3	315575,4	243298,2	236511,3	3500
Arsénico Total	34,5	61,4	241,1	79,6	144,7	10
Bario Total	311,1	2559,2	1657,3	932,6	891	700
Boro Total	1441,8	2396,4	1617,0	2260,1	1771,5	500
Cadmio Total	1,1	2,8	12,4	6,1	5,9	5
Plomo Total	189,7	114,7	587,6	373,4	401	10
Cobalto Total	3,3	101,5	111,4	54,9	54,8	70
Cobre Total	6,0	2156,8	44,3	<1,000	<1,000	2000
Cromo Total	97,0	82,1	615,0	293,8	394,3	50
Hierro Total	61557,4	41937,7	357291,4	324233	337735	2450
Manganeso Total	418,1	1118,9	3247,7	3668,9	2574,5	400
Molibdeno Total	0,6	71,4	36,0	<0,09	21,1277	70
Níquel Total	7,1	106,6	304,9	229,8	226,4	20
Selenio Total	19,6	84,8	126,1	135,3	148,9	10
Zinc Total	211,1	84,8	1700,6	1355,5	1335,9	1050
Antimonio Total	<2,000	3,187	<2,000	<2,000	<2,000	5
Mercurio Total	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	1
Plata Total	1,3	6,6	4,8	2,9	2,1	50

Fuente: recopilada en el campo con la Sonda multiparámetro INS-87.

Se destaca que concentraciones de Cobre Total y Molibdeno Total fueron superiores a los límites de esta resolución solamente en el P02. Las concentraciones de Cadmio Total fueron superiores solamente en los pozos 3, 4 y 5. Estas altas concentraciones pueden estar relacionadas con la proximidad de esos pozos a los cuerpos hídricos de la región que se comunican con la Bahía de Guanabara, local mundialmente reconocido por su alto grado de contaminación por metales.

El plomo total presentó valores acentuados CONAMA N.º 420/2009, su alta concentración de diez a cuarenta veces a los valores establecidos por la legislación, puede estar asociado a fuentes de contaminación externa de origen atmosférico (PALUDO, 2010), asociados al gran tráfico de vehículos automotores de la carretera Rio-Magé en el área de influencia de la subcuenca del río Estrela, así como de las instalaciones hidráulicas de la región de la comunidad local, que tienen por lo menos más de medio siglo de implantación y pueden influir en las concentraciones de este metal en la región, como un todo la región no posee saneamiento básico, existiendo aún pequeños basurales a cielo abierto en el entorno y en la subcuenca, siendo estos posibles puntos de contaminación y propulsamiento de plomo y otros metales como cobre, cadmio y plata, este último presentó concentraciones por debajo de la resolución CONAMA N.º 420/2009, sin embargo la plata en los ecosistemas, causa impactos negativos en la biota del suelo, especialmente en el ciclo de nutrientes, siendo un metal de preocupación mundial en el medio ambiente y de obligatoriedad de monitoreo en los ecosistemas terrestres y acuáticos.

El análisis de agrupamiento sobre la similitud de Bray-Curtis entre los elementos resultó en los gráficos dispuestos en la Figura 6. Para el análisis de los grupos considerados, se consideró el nivel del 50% de la mayor similitud relativa entre los terminales.

El análisis de agrupamiento para los elementos presentó dos grupos en el nivel de 50% de similitud, denominados A, B, C y D. Estos grupos se diferenciaron por las fuentes de origen de los elementos en los ambientes.

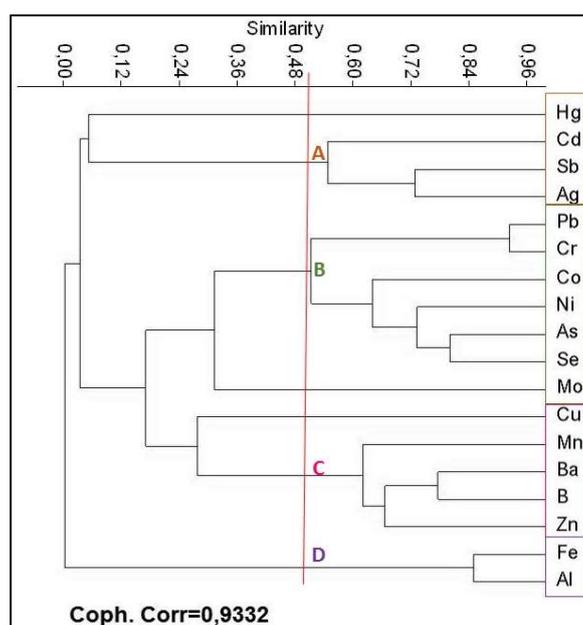


Figure 6: El resultado del análisis de agrupamiento entre los elementos. Corte al nivel de 50% de similitud.

El grupo A fue representado por elementos que estuvieron por debajo o por encima de la CONAMA N° 420/2009 , el Cadmio es un metal pesado de alta peligrosidad y presentó concentraciones arriba de la resolución para los puntos muestrales P03, P04 y P05. En general los metales del grupo A proceden de fuentes antrópicas por la falta de recolección selectiva y saneamiento ambiental, proceden de baterías y soldaduras y aleaciones metálicas (HIRATA et al., 2010; GOMES & CLAVICO, 2014). El grupo B fue representado por elementos que estuvieron todos por encima de la CONAMA N° 420/2009 , en al menos 1 punto de muestreo. En general, los metales del grupo B proceden de fuentes naturales y antrópicas, los metales Si, As, Co y Mo que poseen distribución natural (OGA et al., 2014; FELTRE, 2004; HILLERT, 1995), pueden tener potencialización en los ecosistemas por la incorporación de biosólidos de orden agrícola y los metales Pb, Cr y Ni tienen puerta de entrada antrópica por tener uso en industrias de pinturas y por estar contenidas en diversas aleaciones metálicas, algunas de utilización hidráulica (SCALIZE et al., 2014; FUNASA, 2014; HILLERT, 2005). El grupo C fue representado por elementos que estuvieron todos por encima de la CONAMA N° 420/2009 , en al menos 1 punto de muestreo. En general los metales del grupo C proceden de fuentes naturales y antrópicas, de las fuentes antrópicas poseen principalmente uso agrícola, algunos metales como Cu y Zn, pueden componer algunas aleaciones metálicas de uso industrial (CORCOVIA & CELLIGOI, 2014).

En cuanto a la frecuencia relativa de los elementos analizados (figura 7), las áreas P03, P04 y P05 poseen mayores valores relativos de metales pesados, sin embargo, en el área P02 los metales Cu y Mo, presentaron valores relativos altísimos. El análisis de agrupamiento de similitud empleado al índice Bray-Curtis entre los puntos muestrales resultó en los gráficos dispuestos en la Figura 8.

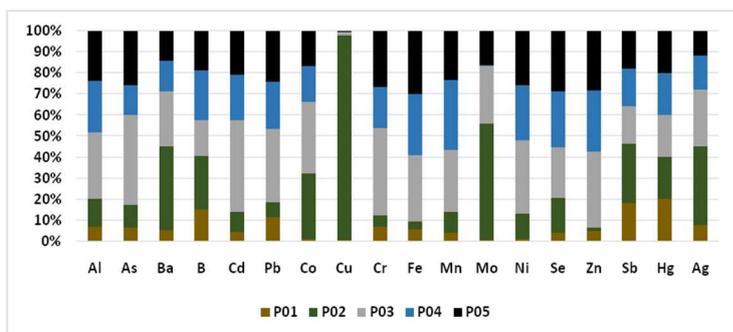


Figure 7: La frecuencia relativa (%) de la distribución de los elementos a las estaciones de recolección de agua.

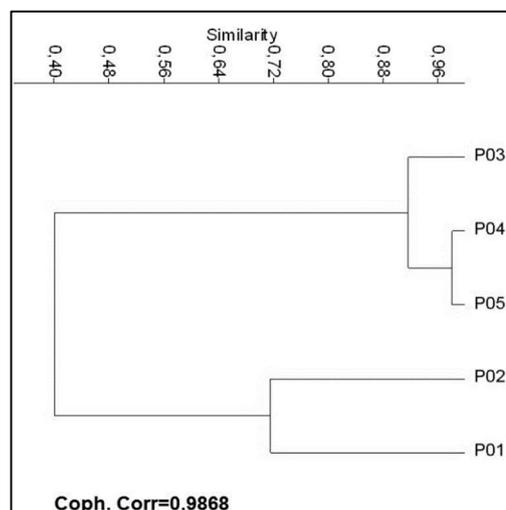


Figure 8: El resultado del análisis de agrupamiento entre las áreas de muestreo.

Las áreas muestrales P03, P04 y P05 presentaron mayor similitud, especialmente las áreas P04 y P05, factores espaciales como la distancia y la geomorfología pueden influir en estos resultados, así como los impactos antrópicos y la proximidad a los cuerpos hídricos antropizados. Las áreas P02 y P01 presentaron una mayor similitud, estas áreas poseen un divisor topográfico con las demás áreas muestrales, lo que también puede influir en los resultados encontrados.

CONCLUSIONES

En general, los análisis de agua subterrânea presentan concentraciones de metales pesados superiores a los límites permisibles de la Resolución Nº 420/2009 del Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Por consiguiente, es extremadamente peligroso que la población de el aglomerado subnormal de Parque Estrela continúe la captación de agua para consumo propio y animal en la región, así como su utilización en el cultivo de cultivos agrícolas y la irrigación de estas con el agua subterrânea de la región también es vetada, pues es notorio el riesgo de contaminación.

Las acciones que enfocan la educación ambiental y la remediación del área son necesarias, así como la participación del poder público, autarquías, institutos de investigación, universidades y ONG's, enfocándose en el bienestar humano, animal y en la sustentabilidad ambiental de forma holística, visto la importancia del mantenimiento de la calidad de las aguas subterrâneas de la subcuenca del río Estrela para la sociedad y el medio ambiente.

REFERENCIAS

ALLOWAY, B. J.. **Heavy Metals in Soils**. London: Springer, 1995.

ANA. Agência Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim**: Relatório do Diagnóstico Final. Brasília: ANA, 2006.

ANZECC; ARMCANZ. **Australian Guidelines for Water Quality Monitoring and Reporting**. ANZECC; ARMCANZ, 2000.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15515-2**: Passivo Ambiental em solo e águas subterrâneas. Parte 2: Investigação Confirmatória de 22 de março de 2011. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BAIRD, C.. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BIDEGAIN, P.; BIZERRIL, C.; SOFFIATI, A.. **Lagoas do Norte Fluminense**: perfil ambiental. Rio de Janeiro: SERLA, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília: DOU, 2009.

BERGALLO, H. G.; ROCHA, C. F. D.; VAN SLUYS, M.; ALVES, M. A. S.. O Status atual da fauna do Estado do Rio de Janeiro: Considerações finais. In: BERGALLO, H. G.; ROCHA, C. F. D.; ALVES, M. A. S.; VAN SLUYS, M.. **A Fauna Ameaçada de Extinção do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2000. p.145-150.

CORCÓVIA, J. A.; CELLIGOI, A.. Avaliação preliminar da qualidade da água subterrânea no município de Ibiporã-PR.

Revista de Estudos Ambientais, v.14, n.2, p.39-48, 2012.

DOI: <http://doi.org/10.7867/1983-1501.2012v14n2p39-48>

FELTRE, R.. **Físico-química**. 6 ed. São Paulo: Moderna, 2004.

FUNASA. Fundação Nacional De Saúde. **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS**. Brasília: FUNASA, 2014.

GOMES, A. S.; CLAVICO, E.. **Propriedades físico-químicas da água**. Rio de Janeiro: UFF (Departamento de Biologia Marinha), 2005.

HIRATA, R.; ZOBBI, J.; OLIVEIRA, F.. Águas subterrâneas: reserva estratégica ou emergencial. In: BICUDO, C.; TUNDISI, J.; SCHEUNSTUHL, M.. **Águas do Brasil**: análises estratégicas. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. p.144-164

HILLERT, M.. **Newsletter**, v.5, n.4. Ottawa: ICME, 1997.

HILLERT, M.. **International Council On Mining & Metals**. Stockholm: ICCM, 2005.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas. Coordenação Geral de Observação da Terra**. INPE, 2018.

OGA, S.; CAMARGO, M. M. A.; BATISTUZZO, J. A. O.. **Fundamentos de Toxicologia**. 4 ed. São Paulo: Atheneu, 2014.

PALUDO, D.. **Qualidade da Água nos poços artesanais do Município de Santa Clara do Sul**. Lajeado: UNIVATES, 2010.

SCALIZE, P. S.; BARROS, E. F. S.; SOARES, L. A.; HORA, K. E. R.; FERREIRA, N. C.; BAUMANN, L. R. F.. Avaliação da qualidade da água para abastecimento no assentamento de reforma agrária Canudos, Estado de Goiás. **Rev. Ambient. Água**, v.9, n.4, Taubaté, 2014. DOI: <http://doi.org/10.4136/ambi-agua.1386>

SILVA, C. V. V.; ABREU, L. A. S.. Biomonitoramento de Macroinvertebrados Bent nicos na Avalia o Ambiental da Represa Billings, SP. In: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 13. **Anais**. Poços de Caldas, 2016.

SILVA, C. V. V.; TAVARES R.; SILVA, L. M. S.; SILVA, W. S.; CARVALHO, L. O.; FRANCISCO, C. F.. Levantamento de Metais Pesados na Bacia Hidrográfica do Rio Guandu, Uma Ameaça Ambiental   Região Metropolitana do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 11. **Anais**. Poços de Caldas, 2014.

SILVA, C. V. V.; MAGALHÃES C.. Risco Ambiental da Constru o do CTR Santa Rosa Sobre o Aquífero Piranema. In: Jornada de Inicia o Científica da UFRRJ, 21. **Anais**. UFRRJ, 2011.

THORNTON, I.. **Metals in the Global Environment: Facts and Misconceptions**. International Council on Metals and the Environment. Ottawa: ICME, 1995.

ZAR, J. H.. **Biostatistical analysis**. 4 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1999.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produ o Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) det m os direitos materiais desta publica o. Os direitos referem-se   publica o do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renova es, expansões e dissemina es da contribui o, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordena o da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produ o Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publica o da contribui o em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradu o.