



DETERMINAÇÃO DE METAIS EM MATERIAL PARTICULADO 10 (MP10) E ESTIMATIVA DE FONTES DE POLUIÇÃO NA CIDADE DE AREQUIPA - PERU

Poluição atmosférica

Resumo

Este estudo buscou estimar a qualidade do ar em diferentes regiões da cidade de Arequipa, Peru, por meio da análise de poluentes metálicos em material particulado atmosférico inalável inferior a 10 (MP10), que representa risco à saúde. Para isso, 4 pontos de amostragem foram estabelecidos (Av Independencia; Tingo Grande, Rio Seco e Yarabamba) seguindo-se a análise de 12 metais: Alumínio (Al), Titânio (Ti), Vanádio (V), Cromo (Cr), Manganésio (Mn), Ferro (Fe), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Arsênico (As), Cádmio (Cd) e Chumbo (Pb). As análises ocorreram em ICP-MS, após digestão de filtros de fibra de quartzo. Os resultados do MP10, demonstraram que a média das quatro zonas de amostragem do de material particulado obtidos ultrapassaram os limites de 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecidos pela OMS (Organização Mundial da Saúde) por 24 h, sendo a média com o maior valor da EST-003 (Rio Seco), $182,71 \pm 45,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a média mínima da EST-004 (Yarabamba), $54,58 \pm 17,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Porém os elementos químicos avaliados nessas amostras não excederam os limites estabelecidos pelas normativas da OMS, nem a nacional (peruana) e internacionais (Brasil, Índia). A identificação dos metais produzidos antrópicamente, foi estimado pelo fator de enriquecimento (FE), sendo As e Pb os de origem antrópico, os quais estão mais concentrados em Rio Seco, que é uma zona industrial, onde a maioria das indústrias queimam carvão, além das fundições e plantas de metais não ferrosos. A partir do FE, foi possível estimar também a possível origem dos metais: Geológico, industrial e fluxo veicular.

Palavras-chave: Poluição atmosférica, Composição Química, Metais pesados, Fator de Enriquecimento



INTRODUÇÃO

Em 2016, estimou-se que a poluição do ar causa 4,2 milhões de mortes prematuras a cada ano, razão pela qual representa um grande risco ambiental para a saúde (OMS, 2021). Destaca-se nesse contexto, o material particulado (MP) atmosférico inalável inferior a 10 (MP10) que refere-se a um grupo de partículas emitidas no ar que podem ser sólidas e líquidas (Gonzales et al., 2014) e que contém substâncias orgânicas e inorgânicas capazes de penetrar no sistema respiratório, atingindo a parte mais profunda dos pulmões, contribuindo para um maior risco à saúde (WHO, 2022)

O Peru é um grande emissor de gases de efeito estufa, ocupando o sexto lugar na América Latina e o 46º no mundo. A qualidade do ar no referido país, atualmente, é considerada moderadamente insegura, sendo a indústria de petróleo e gás bem como as emissões veiculares os que mais contribuem (IAMAT, 2020) para essa condição. Além disso, destaca-se a contribuição da mineração, por sua economia basear-se nessa atividade

Devido ao exposto, é importante avaliar a composição química do material particulado para estimar sua origem e evitar riscos à saúde. Nesse contexto, a presente investigação realizada na cidade de Arequipa busca avaliar as concentrações de metais como Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb em MP10 em quatro áreas da cidade e estimar as possíveis fontes de origem serão estimadas usando o fator de enriquecimento.

METODOLOGIA

ÁREAS DE AMOSTRAGEM

O estudo concentra-se em 4 pontos de amostragem: EST-001: Av. Independência (altitude: 2.373 m), EST-002: Tingo Grande (altitude: 2.176 m), EST-003: Rio Seco (altitude: 2.459) e EST-004: Yarabamba (altitude: 2466 m). Aprecia-se que as altitudes não variam muito entre si. Esses pontos foram escolhidos estrategicamente, eles formam um polígono e estão em cada extremidade da cidade de Arequipa conforme indicado na Figura 1. A EST-001: Av. Independência é a parte leste da cidade (Campus Universitário), uma das áreas com maior trânsito da cidade de Arequipa. EST-002: Tingo Grande fica na zona

Realização

Apoio



oeste da cidade, zona rural e área de impacto direto de uma mineradora de cobre. EST-003: Rio Seco está localizado na zona norte da cidade, uma área industrializada com grande fluxo de trânsito, além de grande parte ter uma área não construída e sem cobertura vegetal e algumas solo descoberto e sem pavimento, o que implicaria uma maior suspensão de material particulado na área. EST-004: Yarabamba fica na zona sul da cidade, zona rural, sua área é parcialmente construída ou coberta por vegetação, outra área pertence à Área de Impacto Direto de uma mineradora de cobre.

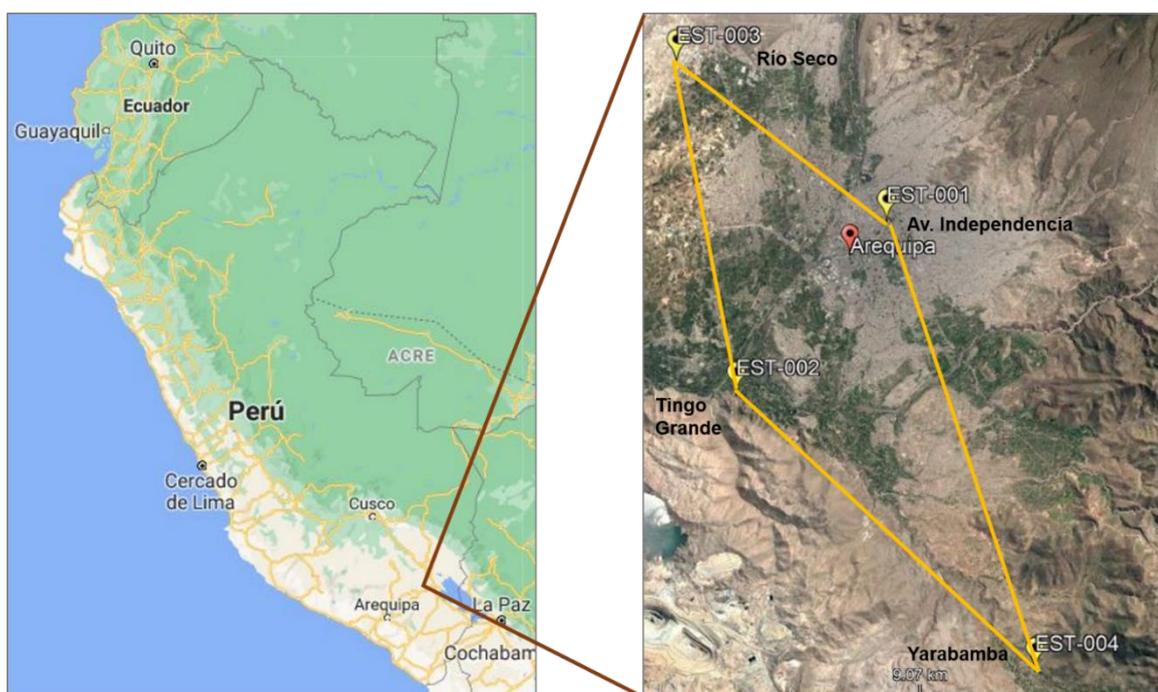


Figura 1. Estações de Monitoramento. Fonte: Autoria própria

PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM

Um total de 16 amostras de MP10 (4 amostras para cada estação de monitoramento) foram coletadas após 24 h de exposição em filtros de microfibras de quartzo da marca Whatman usando amostradores de partículas de alto volume (Modelo: HI-VOL 3000, ECOTECH, Série T22092) a uma vazão de $1,13 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ nos meses: maio, junho, agosto, setembro e outubro de 2018. As amostragens foram realizadas na estação seca. Os filtros





foram pré-tratados em estufa a 200°C por 4 h antes da amostragem, depois acondicionados em dessecador a 25°C e 40% de umidade relativa por 24 h. Após coleta, todos os filtros foram acondicionados da mesma forma (dessecador por 24 h). As concentrações de aerossol de MP10 foram determinadas gravimetricamente pesando os filtros antes e depois da amostragem 4 vezes e calculando a média dessas pesagens segundo os protocolos da EPA (1999)

DIGESTÃO E ANÁLISE DE AMOSTRAS

Para a análise do metal, seguindo os protocolos do laboratório (LABINSERV) adaptados da EPA (2017), a metade do filtro de fibra de quartzo com MP10 foi cortado em pequenos pedaços com um cortador especial, que foi limpo e revestido com Teflon. Uma solução extrativa (55,5 mL de HNO₃ ultrapuro, 165 mL de HCl ultrapuro e água ultrapura até 1L) foi então preparada. Cada uma das tiras de filtro foi colocada em um vidro limpo e em seguida foram adicionados 10 mL da solução extrativa preparada para colocar cada recipiente no micro-ondas por 23-25 minutos e a 170°C. Após a digestão, a pressão nos vasos foi dissipada e deixada esfriar até a temperatura ambiente. Para filtrar a solução no recipiente, foram adicionados 10 mL de água ultrapura a cada recipiente, agitando por 2 a 3 minutos, e então apenas 10 mL dessa mistura foram filtrados com filtros de seringa PFTE (Millpore) em tubo de ensaio. As amostras aquosas ácidas foram então analisadas para os seguintes elementos: Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, usando um espectrômetro de massa de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS; Mark Thermo Fisher Scientific X Series II). Após a obtenção dos resultados, foi realizada uma análise de variância de dois fatores (ANOVA) no Excel para determinar a diferença das médias dos elementos em cada zona e determinar quais dos metais apresentam maior variação em cada um dos quatro pontos.

FATOR DE ENRIQUECIMENTO

Os fatores de enriquecimento (FE) foram usados para estudar a contribuição relativa das fontes antropogênicas às de origem natural. O cálculo dos fatores de enriquecimento do elemento em amostras é baseado na normalização do elemento medido em relação a um

Realização

Apoio



elemento de referência. Ainda não existe uma regra bem estabelecida para a escolha de um elemento de referência, exceto que ele não deve ser afetado por fatores artificiais (Hsu et al., 2016). Segundo Waheed et al. (2010) Al, Si e Fe são os elementos mais utilizados para esta finalidade; para calcular a EF de um elemento específico, a seguinte equação deve ser seguida (Sah et al., 2019):

$$EF = \frac{\left(\frac{C_x}{C_{Fe}}\right) amostra}{\left(\frac{C_x}{C_{Fe}}\right) corteza terrestre ou solo}$$

Onde:

Cx: Concentração do elemento de interesse

Cref: Concentração de um elemento de referência.

A composição média do solo foi: 71300, 4600, 100, 200, 850, 38000, 40, 20, 50, 5, 0,5 e 10 mg/kg para Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd e Pb respectivamente (Alekseenko, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração média de MP10 varia de 54,58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 182,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dependendo da zona de amostragem, obtendo-se: EST-001 (Av. Independência) $93,05 \pm 1,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$, EST-002 Tingo Grande: $78,11 \pm 32,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$, EST-003 (Rio Seco) $182,71 \pm 45,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e EST-004 (Yarabamba) $54,58 \pm 17,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Todas as amostras de MP10 da EST-003, localizada em Rio Seco, ultrapassaram o a normativa ECA (2017) para 24 horas de amostragem estabelecido pelo MINAM no Peru ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e sua média total o supera aproximadamente 82% ao referido padrão, indicando má qualidade do ar nesta área. Em EST – 002, Tingo Grande, apenas a amostra 4 supera ligeiramente os regulamentos peruanos para 24 horas de amostragem. Comparando os dados novamente com as diretrizes da OMS ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a média de 24 horas foi superada por todas as estações, sendo quase o

Realização



dobro para EST-001 (Av. Independência) e EST-002 (Tingo Grande) e o triplo para EST-003 (Rio Seco). Comparando os maiores valores médios de MP10, que foram os de Rio Seco ($182,71 \pm 45,78$), eles mostram uma maior concentração em relação ao distrito de Ate-Lima-2018 ($136,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (INEI, 2018) e outras cidades como Bogotá-2018 ($55 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Observatório de Bogotá, 2018), Catalunha-2016 ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Domingo et al, 2018). No entanto, é inferior à qualidade do ar em Agra, Índia-2017 ($214,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Sah et al, 2019). Os resultados da análise estatística (ANOVA) indicam que existe uma diferença significativa na concentração dos elementos em cada estação amostral, bem como em cada elemento inorgânico amostrado, uma vez que todos diferem entre si. ($p < 0,05$).

Com relação às médias totais de cada elemento, eles diminuíram na seguinte ordem: Al>Fe>Ti>Zn>Cu>Mn>V>Pb>As>Cr>Ni>Cd. Em comparação com outros metais, Al e Fe tiveram as concentrações mais altas e Cd as mais baixas. O Fe é um dos metais que surge do desgaste dos freios (Hopke et al., 2020), portanto o Al e o Fe também são considerados um dos principais componentes do solo (Kyllönen et al.,2020)

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre as concentrações de metais e os limites impostos pelos Padrões de Qualidade Ambiental do Peru (ECA), da Organização Mundial da Saúde (OMS), da Resolução Conama 491/2018 do Brasil e do NAAQS da Índia, país que apresenta alguns dos níveis mais altos de poluição do ar globalmente, com 13 das 20 cidades mais poluídas do mundo (Sankar et al., 2020). Cabe destacar que as ECAs do Peru e o CONAMA do Brasil registram apenas um limite anual de chumbo de $500 \text{ ng}/\text{m}^3$ e não existe para os demais elementos analisados. Nenhuma das concentrações desses metais nas amostras de MP10 excedeu os limites da ECA, NAAQS e OMS.

Tabela 1. Comparação das concentrações de elementos inorgânicos com regulamentações nacionais e globais.

Zonas de amostragem e normativa	Al (ppb)	Ti (ppb)	V (ppb)	Cr (ppb)	Mn (ppb)	Fe (ppb)	Ni (ppb)	Cu (ppb)	Zn (ppb)	As (ppb)	Cd (ppb)	Pb (ppb)
Av Independencia	3.056	0.116	0.044	0.008	0.051	2.105	0.006	0.038	0.059	0.033	0.001	0.010
Tingo Grande	3.377	0.130	0.043	0.004	0.047	2.090	0.003	0.037	0.039	0.037	0.001	0.007
Yarabamba	2.513	0.099	0.034	0.003	0.033	1.526	0.002	0.022	0.033	0.029	0.000	0.004
Rio Seco	5.265	0.221	0.039	0.013	0.098	3.428	0.006	0.143	0.142	0.033	0.001	0.133

Realização

Apoio



OMS (2014)	-	-	1000	NSL	150	-	0.4	-	-	NSL	5	500
CONAMA(2018) - Brasil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	500
NAAQS (2009) - India	-	-	-	-	-	-	20	-	6	-	-	500
ECA (2017) - Peru	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	500

NSL: Não existe um valor específico que garanta danos a uma pessoa exposta a este contaminante, qualquer valor representa um risco

Posteriormente, as concentrações encontradas foram comparadas com os resultados de outros estudos em todo o mundo (Bencharif-Madani et al., 2019), conforme Tabela 2.

Tabela 2. Comparação das concentrações de elementos inorgânicos deste estudo com estudos mundiais.

Zonas de amostragem e Normativa	Al (ppb)	Ti (ppb)	V (ppb)	Cr (ppb)	Mn (ppb)	Fe (ppb)	Ni (ppb)	Cu (ppb)	Zn (ppb)	As (ppb)	Cd (ppb)	Pb (ppb)
Av Independencia	3.056	0.116	0.044	0.008	0.051	2.105	0.006	0.038	0.059	0.033	0.001	0.010
Tingo Grande	3.377	0.130	0.043	0.004	0.047	2.090	0.003	0.037	0.039	0.037	0.001	0.007
Yarabamba	2.513	0.099	0.034	0.003	0.033	1.526	0.002	0.022	0.033	0.029	0.000	0.004
Rio Seco	5.265	0.221	0.039	0.013	0.098	3.428	0.006	0.143	0.142	0.033	0.001	0.133
Algiers, Algeria	-	-	4.36	1.43	4.25	0.54	-	-	10	0.19	0.03	-
Barcelona, España	0.42	29	9	5	15	0.6	4.6	28	81	0.7	0.2	13
Piedmont, Italia	0.38	26.7	2.77	12.1	28.4	2.48	5.97	67.3	83	1.03	1.1	13.7
Hankou, China	3.7	214	7	11	116	3	4	40	676	66	4	409
Agra, India	-	-	42.4	70	-	3.96	50	130	630	50	23.5	21.1

Fonte: Adaptado de Bencharif-Madani et al., 2019

As concentrações dos elementos obtidos na pesquisa realizada não superam as concentrações dos locais apresentados na Tabela 2, exceto para Al, que supera os cinco locais de comparação, também Fe, que supera ligeiramente a concentração em Argel e Barcelona. Esses elementos são normalmente usados como traçadores de poeira do solo e/ou ressuspensão de crosta (Pant e Harrison, 2012). Os resultados apresentados na tabela 2 dos quatro locais de amostragem em Arequipa, são mais semelhantes aos apresentados

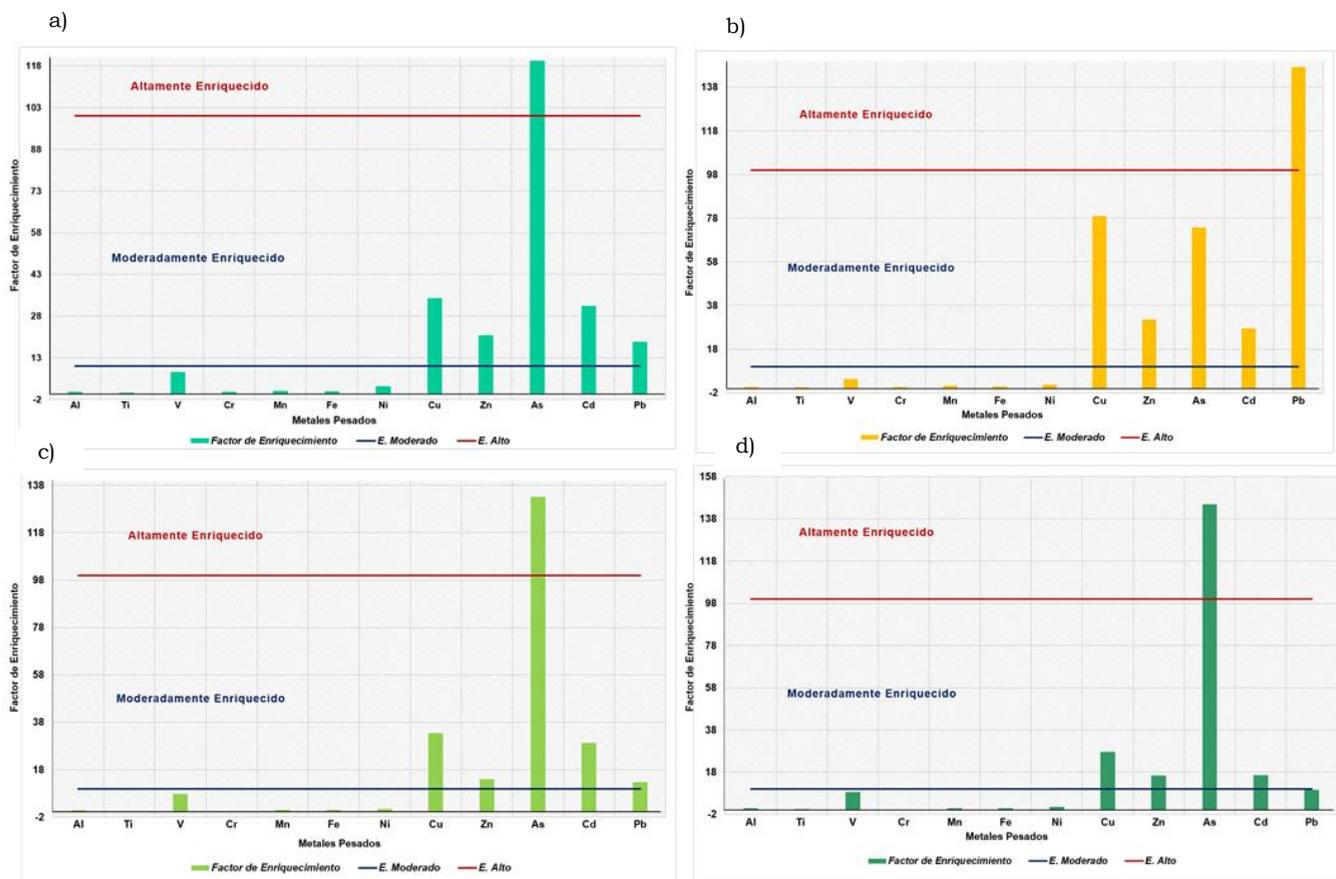
Realização



em Argel, Argélia, que são de uma área suburbana, ou seja, uma área que não tem muita influência antrópica. Portanto, pode-se induzir que o que foi encontrado em termos de composição química não representa uma grande porcentagem dentro do MP 10, considerando que foram encontrados altos níveis do mesmo. É possível que o MP10 seja composto principalmente por: carbono total, compostos orgânicos, íons como Cl^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ e NO_3^- e outros oligoelementos. Os elementos MP mais abundantes nas quatro estações de amostragem da cidade de Arequipa são: Al e Fe, indicando a dominância da

Fator de enriquecimento

O resultado da fórmula do fator de enriquecimento dos 12 oligoelementos analisados são mostrados na Fig. 2. Segundo ele, podemos distinguir três fontes principais de oligoelementos no MP10: antropogênica (altamente enriquecido), mista (moderadamente enriquecido) e da crosta terrestre (pouco enriquecido), de acordo com os valores encontrados, que são: superior a 100, de 10 a 100 e inferior a 10, respectivamente.



Realização

Apoio

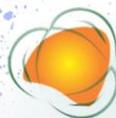


Figura 2. Factor de enriquecimento das zonas de amostragem a) Av. Independencia, b) Rio Seco, c) Tingo Grande, d) Yarabamba

Pode ser observar na figura 2 que na Av. independência, Tingo Grande e Yarabamba o único metal altamente enriquecido é As, o que indica que suas fontes foram principalmente antropogênicas. De acordo com um estudo de Sánchez-Rodas (2015), das atividades humanas, as mais importantes que emitem arsênico são a produção de metais e a queima de combustíveis fósseis. Sendo a produção de metais, a principal fonte importante de emissão antropogênica de As, devido à mineração e a subsequente transformação de sulfetos metálicos (piritas) por fundição e refinação de Cu, as piritas podem conter até 10% em peso de arsênico que pode ser liberado durante a torrefação. Como as áreas mencionadas tem diferentes características podemos estimar que as possíveis fonte são: mineração e fluxo veicular. No primer caso, deve-se a que Yarabamba e Tingo grande ficam perto de uma mineradora de cobre, e no segundo, porque a zona Av. Independência tem grande presença de fluxo de veículos e trânsito, originando maior queima de derivados de combustíveis fósseis.

Rio Seco (Figura 2b), e diferente dos demais locais, pois o Pb aparece como altamente enriquecido. A origem antropogênica do Pb se deve principalmente aos gases de escape dos veículos e emissões industriais. Neste último caso, representa aproximadamente 20% do total de carbono utilizado nas indústrias, sendo que aproximadamente 1/3 é liberado na atmosfera (Wang et al., 2018). Certamente pelas características da zona, onde existem numerosas industrias de curtumes, existe um grande uso do carvão especialmente para o aquecimento das caldeiras usadas nos processos de curtido de peles, além de outras industrias onde por exemplo são prestados serviços a pequenas mineradoras para fazer estudos de extração de alguns metais e um grande fluxo veicular de caminhões e autos.

Realização



CONCLUSÕES

Conclui-se que as concentrações de MP10 na cidade de Arequipa têm uma grande variação dependendo da área de amostragem, sendo Rio Seco, a área que se destaca com a média mais alta de MP10, representando um evidente risco à saúde humana. A composição química apresentou faixas de valores que permaneceram abaixo dos limites peruanos, internacionais e da OMS. Conforme análise do fator de enriquecimento desses elementos foi estimado que a maior parte da composição do MP10 é proveniente de fontes naturais (pela presença de Al, Ti, Fe, Ni e Cu), e os elementos mais representativos de origem antropogênica foram As e Pb, dentro das quais os setores industriais, minerador e de fluxo veicular podem ser as possíveis fontes de contribuição, devido à localização variada das zonas de amostragem.

REFERÊNCIAS

- Alekseenko A., Alekseenko V. (2014). The abundances of chemical elements in urban soils. *Journal of Geochemical Exploration*. 245–249. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.08.003>.
- Bencharif-Madani F, Ali-Khodja H; Kemmouche A., Terrouche A., Lokorai K., Naidja L., Bouziane M. (2019). Mass concentrations, seasonal variations, chemical compositions and element sources of PM10 at an urban site in Constantine, northeast Algeria. *Journal of Geochemical Exploration*. 206-220. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106356>.
- CONAMA, 2018. Diário Oficial da União. Resolução Nº 491. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603
- Domingo J.L., Rovira J., Sierra J., Nadal M., Schuhmacher M. (2018). Main components of PM10 in an area influenced by a cement plant in Catalonia, Spain: Seasonal and daily variations. *Environmental Research*. 201–209. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.04.010>. Fecha de ingreso: 28-09-2019
- ECA, 2017. Diaro Oficial El Peruano. Decreto Supremo Nº 003-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias.

Realização

Apoio



Disponível em: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-aire-establecen-disposiciones>

EPA. (1999). “EPA IO [Inorganic] Compendium Method IO-2.1: Sampling of ambient air for total suspended particulate matter (SPM) and PM10 using high volume (hv) sampler”, Disponível em: <https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa-io-2.1.pdf>.

EPA. (2017). “Method IO-3.5, Determination of metals in ambient particulate matter using inductively coupled plasma/mass spectrometry (ICP/MS)”. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa-io-3.5.pdf>.

Gonzales, G. F., Zevallos, A., Gonzales-Castañeda, C., Nuñez, D., Gastañaga, C., Cabezas, C., Naeher, L., Levy, K., & Steenland, K. (2014). Environmental pollution, climate variability and climate change: A review of health impacts on the peruvian population. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 31(3), 547–556.
<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2014.313.94>

Hopke, P. K., Dai, Q., Li, L., & Feng, Y. (2020). Global review of recent source apportionments for airborne particulate matter. *Science of the Total Environment*, 740, 140091.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140091>

Hsu, C., Chiang, H., Lin, S., Chen, M., Lin, T., Chen, Y., 2016. Elemental characterization and source apportionment of PM10 and PM2.5 in the western coastal area of central Taiwan. *Sci. Total Environ.* 541, 1139–1150. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.122>.

IAMAT. (2020). *Peru General Health Risks: Air Pollution*. Disponível em: <https://www.iamat.org/country/peru/risk/air-pollution>

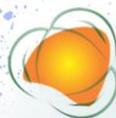
INEI, 2018. Estadísticas Ambientales. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/biblioteca-virtual/boletines/estadisticas-ambientales/1/>.

Kyllönen, K., Vestenius, M., Anttila, P., Makkonen, U., Aurela, M., Wängberg, I., Nerentorp Mastromonaco, M., & Hakola, H. (2020). Trends and source apportionment of atmospheric heavy metals at a subarctic site during 1996–2018. *Atmospheric Environment*, 236.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117644>

NAAQS, 2009. The Gazette of India: Extraordinary Part II, Section 3 on 16 November 2009. Available on Website. http://www.cpcb.nic.in/upload/Latest/Latest_49_MoEF_Notification.pdf.

Observatorio de Bogotá (2018). Concentración de Material Particulado Inferior a 10 Micras μ

Realização



PM10, promedio mensual. Disponível em:

<https://oab.ambientebogota.gov.co/indicadores/?id=511>.

Pant, P., & Harrison, R. M. (2012). Critical review of receptor modelling for particulate matter: A case study of India. *Atmospheric Environment*, 49, 1–12. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.11.060

Sah D, Lakhani A, Kumar Verma P, Kumari Kandikonda M (2019). Pollution characteristics, human health risk through multiple exposure pathways, and source apportionment of heavy metals in PM10 at Indo-Gangetic site. *Urban Climate*, 149 -162.

<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.11.010>.

Sankar, A., Coggins, J. S., & Goodkind, A. L. (2020). Effectiveness of air pollution standards in reducing mortality in India. *Resource and Energy Economics*, 62, 101188.

<https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2020.101188>

Sánchez-Rodas D., Sánchez de la Campa A, Alsoufi L. (2015). Analytical approaches for arsenic determination in air: a critical review. *Analytica Chimica Acta*. DOI: 10.1016/j.aca.2015.09.043

Waheed, A., Zhang, Y., Bao, L., Cao, Q., Zhang, G., Li, Y., Li, X., 2010. Study of seasonal variation and source characteristic of PM10 of Shanghai urban atmosphere using PIXE. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 283, 427–432. <https://doi.org/10.1007/s10967-009-0390-2>

<https://doi.org/10.1007/s10967-009-0390-2>

Wang, F., Zhou, Y., Meng, D., Han, M., & Jia, C. (2018). Heavy metal characteristics and health risk assessment of PM2.5 in three residential homes during winter in Nanjing, China. *Building and Environment*, 143, 339–348. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.011>

WHO, 2014. Ambient (outdoor) air quality and health. Disponível em:

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>.

WHO (2022). Air pollution. Disponível em: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1

Realização

Apoio