

A presença de arsênio em atividades minerárias: uma análise cienciométrica
The presence of arsenic in minerary activities: a scientometric analysis
La presencia de arsenico en actividades minerarias: un análisis cienciométrico

Recebido: 29/05/2019 | Revisado: 05/06/2019 | Aceito: 21/06/2019 | Publicado: 26/06/2019

Gabriela Aparecida Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2518-6900>

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: gabrielaferreira147@gmail.com

Guilherme Henrique Rodrigues de Assis

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0259-4549>

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: guilhermehrassis@yahoo.com.br

Juni Cordeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9371-8385>

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: juni.cordeiro@funcesi.br

Cristina Donizeti Bernardes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0906-9971>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: cristinadbernardes@yahoo.com.br

Maria Auxiliadora Lage

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8628-2923>

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: mauxiliadora.lage@funcesi.br

José Luiz Cordeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3838-4666>

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: jluiz.cordeiro@funcesi.br

Resumo

A mineração é uma atividade importante para o desenvolvimento econômico de um país, além de ser imprescindível para a melhoria da qualidade de vida e bem-estar social. Entretanto, este

setor pode desencadear impactos negativos ao meio ambiente e à saúde associados à contaminação por elementos-traço, tais como o arsênio (As). Assim, este artigo objetivou avaliar a evolução espaço-temporal dos trabalhos científicos publicados e indexados, entre os anos de 1982 e 2017, no banco de dados Web Of Science relacionados à presença deste elemento em atividades minerárias. Foi realizada uma pesquisa documental, de abordagem quali-quantitativa, através do método de ciênciometria, que resultou em uma amostra de 833 artigos. Os resultados obtidos apontam para a evolução do número de artigos publicados no decorrer do período analisado, sendo que os países com o maior número de publicações foram a Holanda (27,7% das citações), os Estados Unidos (25,1%) e a Inglaterra (17,5%). Foi possível notar que as técnicas mais utilizadas na análise de As foram a espectrometria de fluorescência atômica, a espectrometria de absorção atômica e a difração de raios-X citadas em 54,9% dos artigos. Além disso, as técnicas de remoção mais aplicadas em ambientes contaminados correspondem à fitorremediação com 43,1% das citações e a biorremediação com 19%. Destaca-se que as pesquisas envolvendo contaminação desencadeadas por atividades antrópicas são um importante instrumento de conhecimento para detecção, prevenção e/ou mitigação de impactos causados pela contaminação por elementos traço.

Palavras-chave: Ciênciometria; Contaminação; Elementos traço; Impactos ambientais; Mineração.

Abstract

Mining is an important activity for the economic development of a country, besides being essential for the improvement of the quality of life and social welfare. However, this sector may trigger negative environmental and health impacts associated with trace element contamination, such as arsenic (As). Thus, this article aimed to evaluate the spatio-temporal evolution of published and indexed scientific papers, from 1982 to 2017, in the Web of Science database related to the presence of this element in mining activities. A qualitative and quantitative documentary research was carried out using the scientometry method, which resulted in a sample of 833 articles. The results obtained point to the evolution of the number of articles published during the period analyzed, with the countries with the largest number of publications being the Netherlands (27.7% of the citations), the United States (25.1%) and England (17.5%). It was possible to note that the most used analysis techniques of As were the atomic fluorescence spectrometry, atomic absorption spectrometry and X-ray diffraction spectrometry mentioned in 54.9% of the articles. In addition, the most applied removal techniques in contaminated environments correspond to phytoremediation with 43.1% of citations and bioremediation with 19%. It should be noted that research involving contamination triggered by

anthropic activities is an important knowledge instrument for detection, prevention and / or mitigation of impacts caused by contamination by trace elements.

Keywords: Scientometry; Contamination; Trace elements; Environmental impacts; Mining.

Resumen

La minería es una actividad importante para el desarrollo económico de un país, además de ser imprescindible para la mejora de la calidad de vida y el bienestar social. Sin embargo, este sector puede desencadenar impactos negativos al medio ambiente ya la salud asociados a la contaminación por elementos traza, tales como el arsénico (As). Así, este artículo objetivó evaluar la evolución espacio-temporal de los trabajos científicos publicados e indexados, entre los años 1982 y 2017, en el banco de datos Web of Science relacionados a la presencia de este elemento en actividades mineras. Se realizó una investigación documental, de abordaje cualitativo, a través del método de cienciometría, que resultó en una muestra de 833 artículos. Los resultados obtenidos apuntan a la evolución del número de artículos publicados en el transcurso del período analizado, siendo que los países con el mayor número de publicaciones fueron Holanda (27,7% de las citas), Estados Unidos (25,1%) y Inglaterra (17,5%). Se pudo notar que las técnicas más utilizadas en el análisis de As fueron la espectrometría de fluorescencia atómica, la espectrometría de absorción atómica y la difracción de rayos X citadas en el 54,9% de los artículos. Además, las técnicas de remoción más aplicadas en ambientes contaminados corresponden a la fitorremediación con el 43,1% de las citas y la biorremediación con el 19%. Se destaca que las investigaciones involucrando contaminación desencadenadas por actividades antrópicas son un importante instrumento de conocimiento para detección, prevención y/o mitigación de impactos causados por la contaminación por elementos traza.

Palabras clave: Cienciometría; La contaminación; Elementos trazo; Impactos ambientales; La minería.

1. Introdução

A atividade minerária é um setor relevante para o desenvolvimento econômico, sendo imprescindível para a melhoria da qualidade de vida e bem-estar da sociedade. Entretanto, esta atividade pode acarretar diversos impactos ambientais negativos como a poluição do ar, desmatamento, perda de solo e biodiversidade, contaminação de corpos hídricos e do solo, entre outros (Silva, 2007).

Com relação à contaminação, pode-se salientar a presença de elementos traços, tais como o arsênio (As), que ocorre de forma natural na crosta terrestre em baixas concentrações. (Massahud, 2008). De origem natural, o As pode ser encontrado no solo, água e ar através da

ocorrência de fenômenos naturais como a emissão de gases de erupção vulcânica, processos geotermiais e por meio da dissolução de rochas e minerais que possuem tal elemento em sua composição (Pataca, Bortoleto & Bueno, 2005).

O As também pode ser proveniente de atividades antrópicas, sendo encontrado na agricultura, por meio da produção de insumos agrícolas como, por exemplo, os pesticidas; na indústria química, sendo utilizado na produção de vidrarias como descolorantes e dispersantes de bolhas; na indústria eletrônica, utilizado na produção de compostos semicondutores e diodos; e na mineração, principalmente nas situações nas quais há sulfetos, uma vez que ocorre a associação destes com o As (Pataca, Bortoleto & Bueno, 2005)

O As é o elemento principal na composição de mais de 200 minerais, podendo ser verificado nos minérios de prata (Ag), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), manganês (Mn), cobalto (Co), antimônio (Sb) e ouro (Au). Todavia, o mineral mais comumente relacionado a este elemento é a arsenopirita (FeAsS), frequentemente relacionada ao ouro, que pode causar a contaminação de corpos hídricos devido à sua alta toxicidade (Rodrigues & Malafaia, 2008).

Em sua forma inorgânica o As é um elemento carcinogênico que pode acarretar doenças como câncer pulmonar e de pâncreas, úlceras, gastrites, abortos espontâneos, entre outras. Deste modo, a alta toxicidade do As e o desconhecimento da população sobre possíveis áreas contaminadas por este elemento são motivos de preocupação com relação à saúde humana e ao meio ambiente (Massahud, 2008; Gonçalves, 2011).

Neste contexto, este trabalho objetiva avaliar a evolução espaço-temporal dos trabalhos científicos publicados e indexados no banco de dados Web of Science relacionados à presença de As em atividades minerárias.

2. Metodologia

Neste estudo utilizou-se a ciênciometria que, de acordo com Vanti (2002), corresponde a uma ferramenta importante no ramo acadêmico já que permite mensurar o conhecimento científico. Desse modo, Chapula (1998) alega que a ciênciometria estuda os fenômenos através de métodos quantitativos já que ela é uma peça chave no segmento sociológico das ciências.

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos através de pesquisa documental que, conforme Prodanov e Freitas (2013), corresponde à análise de um documento já elaborado que pode ser usado como uma fonte de extração de informação. Dessa forma, os dados

analisados neste trabalho foram obtidos por meio da pesquisa documental a partir das planilhas geradas por pesquisa utilizando palavras-chave realizada no banco de dados Web of Science.

Os termos selecionados para esta busca foram “mining” (mineração), “arsenic” (arsênio) e “impact” (impacto) nos campos de busca tópicos. Foram encontrados 833 artigos, que correspondem à amostra utilizada nesta pesquisa. A busca foi realizada na língua inglesa por ser o idioma predominante no meio científico.

O tratamento dos dados obtidos nesta pesquisa ocorreu por meio da estatística descritiva e análise de conteúdo. De acordo com Barbeta (1998), a estatística descritiva baseia-se em resumir, descrever e entender, através de resumos e/ou representações gráficas (gráficos, tabelas), os dados obtidos na pesquisa, permitindo sintetizar e organizar as informações sem que ocorra perda das suas ideias centrais. Segundo Appolinário (2006), a análise de conteúdo se baseia na interpretação das categorias que compõem a pesquisa sendo que é preciso estabelecer um procedimento que objetive retirar as ideias centrais do material original de modo que cada assunto extraído esteja claramente explicado.

Assim, a análise de conteúdo foi utilizada neste trabalho com o intuito de descrever e quantificar as informações publicadas sobre a temática “presença de As na mineração”, enquanto a estatística descritiva foi utilizada para examinar a evolução das publicações entre os anos de 1982 e 2017.

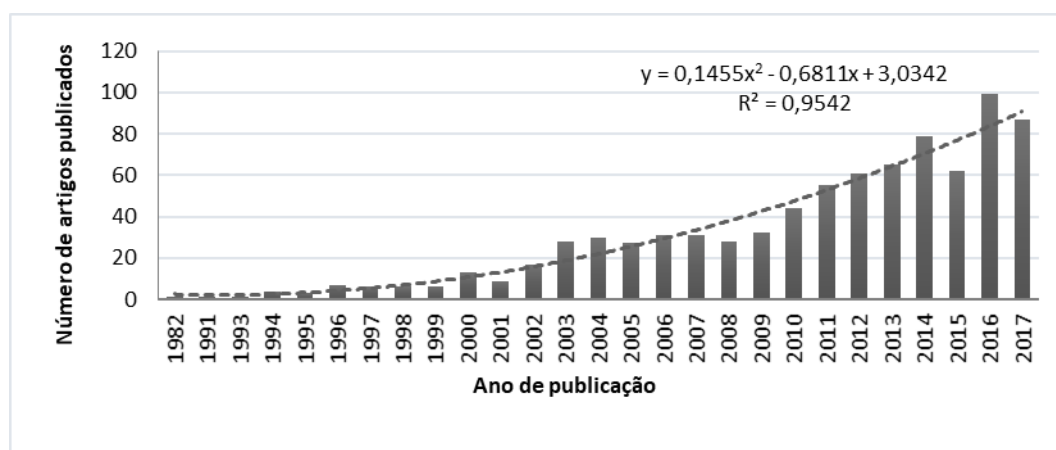
3. Resultados e discussão

Considerando a evolução espaço-temporal dos trabalhos de pesquisas publicados sobre a presença de As em atividades minerárias é possível observar, através do Gráfico 1, um crescimento no número de trabalhos científicos a partir de 1982. Ressalta-se que o ano de início da busca de artigos foi delimitada pela disponibilidade de trabalhos no banco de dados *Web of Science* e pelas palavras-chaves utilizadas na pesquisa.

Considerando os dados expressos no Gráfico 1, nota-se que 2,8% dos artigos foram publicados entre os anos de 1982 e 1997 (n = 23); 13,1% (n = 109) entre 1998 e 2004; 23,2% (n = 193) entre 2005 e 2010 e 60,9% dos artigos (n = 508) entre 2011 e 2017.

Além disso, analisando-se por meio da regressão polinomial a relação entre o número de publicações e seus anos, verifica-se uma relação estatística significativa ($y = 0,1455x^2 - 0,6811x + 3,0342$; $R^2 = 0,9542$, $p < 0,01$), indicando um crescimento exponencial no número de trabalhos científicos publicados, principalmente após o ano de 2010.

Gráfico 1 – Evolução dos artigos publicados sobre a presença de arsênio em atividades minerárias entre os anos de 1982 e 2017



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

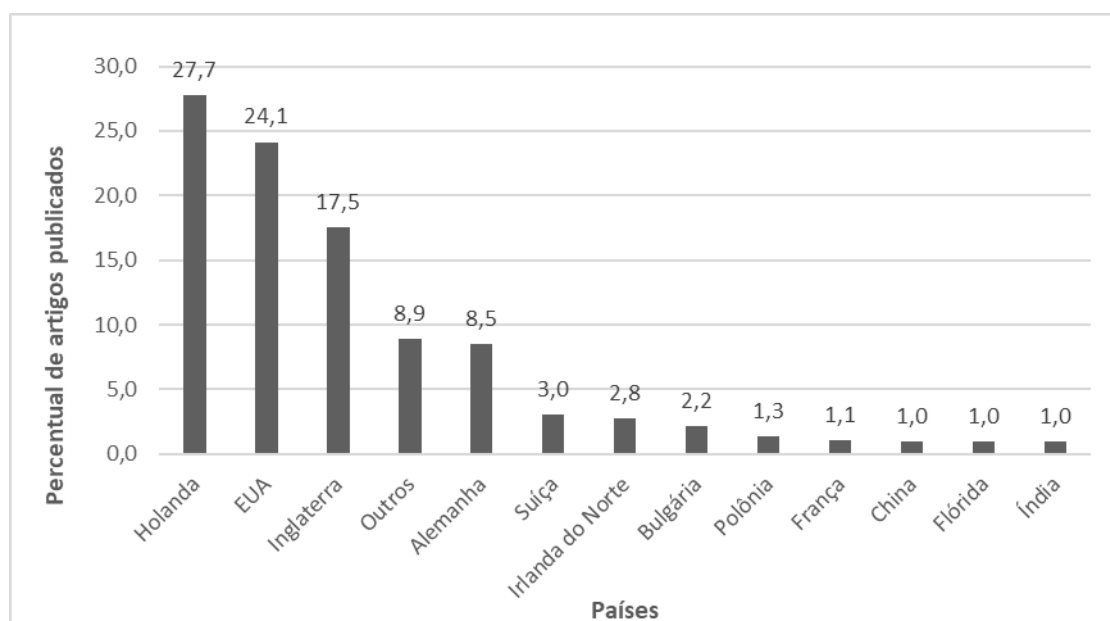
Destaca-se que nesta pesquisa foram analisados 833 artigos, procedentes de 43 países e publicados em 272 revistas científicas. Dentre os países com o maior número de publicações de trabalhos com a temática abordada, destacam-se a Holanda com 27,7% (n = 231), os Estados Unidos da América (EUA) com 25,1% (n = 201), a Inglaterra com 17,5% (n = 146) e a Alemanha com 8,5% (n = 71).

Ressalta-se ainda que Suíça, Irlanda do Norte e Bulgária publicaram entre 2,2 e 3% dos trabalhos; Polônia e França publicaram 1 e 1,3%, respectivamente; enquanto a China e a Índia publicaram 1% cada uma. O Brasil publicou 6 artigos, o que correspondeu a 0,7% do total analisado, ficando enquadrado na categoria “outros”, representada no Gráfico 2, criada para agrupar os países que obtiveram publicações inferiores a 1% do total.

De acordo com o Gráfico 2, observa-se que o somatório do número de publicações dos países europeus (Holanda, Inglaterra, Alemanha, Suíça, Irlanda do Norte, Bulgária, Polônia e França) equivale a 64,1% dos artigos publicados. Ressalta-se que este elevado número de publicações pode estar relacionado ao fato de que a Europa possui jazidas significativas de ouro (Zaparolli, 2009).

Segundo Erickson (2002), os EUA, por serem uma grande potência capitalista com destaque em diversos setores econômicos, possuem relevantes investimentos em pesquisas, o que acarretou no elevado número de publicações do país.

Gráfico 2 – Percentual de artigos científicos publicados, por países, entre os anos de 1980 e 2017



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

O Brasil obteve um baixo percentual de publicações, correspondendo a 0,7% dos artigos analisados. De acordo com Rodrigues e Malafaia (2008), no território brasileiro há apenas três regiões com ocorrência de As que foram estudadas nos últimos anos, correspondendo ao Quadrilátero Ferrífero (MG), no qual o As está associado à mineração de ouro; região do Vale do Ribeira (SC e SP), contaminada em decorrência de atividades minerárias, beneficiamento e refino de minérios de chumbo-zinco-prata; região Amazônica, incluindo a região de Santana (AP), onde o elemento ocorre associado ao minério de manganês.

Em relação às 272 revistas científicas que publicaram artigos relacionados à presença de As em atividades minerárias, aquelas que obtiveram maior percentual foram a *Science Total Environmental* com 7,4%, *Environmental Earth Science* e *Journal Geochemical Exploration* com 4,2% cada uma. Já o *Journal Chemosphere* e *Environmental Geochemical and Health* publicaram 2,2 e 3,7%, respectivamente (Tabela 1). Destaca-se que a categoria “outras” representa um total de 60,9% revistas que obtiveram publicações inferiores a 2,2%.

Salienta-se que a revista *Sciences Total Environmental* aborda pesquisas sobre diversas áreas do meio ambiente (atmosfera, hidrosfera, biosfera e a litosfera), sendo responsável pela publicação de 60 artigos; já a revista *Environmental Earth Sciences*, que aborda os aspectos da interação entre homem, recursos naturais, clima, terra e as zonas

geográficas e a revista *Journal Geochemical Exploration* da área de geoquímica analítica e geoinformática, publicaram 34 artigos cada uma, representando, assim, os periódicos com os maiores números de publicações abordando a presença do As na mineração.

Tabela 1 – Percentual de artigos científicos publicados por revista científica no banco de dados *Web of Science* entre os anos de 1982 e 2017

Revista	Percentual de publicações
Outras	60,9%
<i>Sciences Total Environmental</i>	7,4%
<i>Environmental Earth Sciences</i>	4,2%
<i>Journal Geochemical Exploration</i>	4,2%
<i>Environment Geochemistry and Health</i>	3,7%
<i>Environmental Pollution and Control</i>	3,1%
<i>Environmental Geology</i>	3,0%
<i>Environment Monitoring Assessment</i>	3,0%
<i>Applied Engineering in Agriculture</i>	2,8%
<i>Environmental Sciences Pollution</i>	2,8%
<i>Water Air Soil Pollution</i>	2,7%
<i>Journal Chemosphere</i>	2,2%
Total	100,0

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Dessa forma, a presença de As em áreas de exploração minerária tem sido foco de pesquisas científicas em diferentes áreas do conhecimento, tais como geologia, engenharia, microbiologia, dentre outras, indicando a multidisciplinaridade deste tema. Como a presença de um elemento traço pode levar à contaminação do solo, água e ar torna-se importante avaliar a presença deste elemento em alimentos, pois a partir do consumo destes, a população também pode ser contaminada. Assim, no próximo tópico, averiguou-se as culturas agrícolas mais citadas nos artigos analisados.

3.1 Culturas agrícolas mais citadas na literatura científica entre os anos de 1982 e 2017

Centro e três artigos citaram diferentes culturas que, neste trabalho, foram agrupadas em: cereais (totalizando 46,6%); hortaliças e/ou leguminosas e/ou vegetais, correspondendo a 26,3%; frutas e/ou hortaliças com 2,9% e “outros” com 24,2%. Esta última categoria engloba, por exemplo, carne de veado, mel, leite, peixes e erva mate (Tabela 2).

Tabela 2 – Principais culturas mencionadas (n = 103) nos artigos científicos selecionados do banco de dados *Web of Science* entre os anos de 1982 e 2017

Cultura	Frequência	Percentual
Cereais	48	46,6%
Hortaliças e/ou leguminosas e/ou vegetais	27	26,3%
Frutas e/ou hortaliças	3	2,9%
Outros	25	24,2%
Total	103	100

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Dentre os cereais mais mencionados, destacam-se o arroz com 47% das citações, o milho com 33% e o trigo com 18%. Com relação às hortaliças e/ou leguminosas e/ou vegetais, a batata e o feijão foram as mais mencionadas, com 5,8% e 4,6%, respectivamente. Outras culturas relacionadas a esta categoria foram mencionadas, mas não obtiveram porcentagem representativa, tais como, alface e abóbora, apresentando, cada uma 0,8% das citações.

Nota-se que as culturas de arroz, milho, feijão e batata obtiveram maior percentual de citações nos artigos analisados. Segundo Barros e Calado (2005), esses tipos de culturas possuem maiores extensões de cultivos e grande facilidade de adaptação em variadas regiões com características climáticas diferenciadas. Além disso, de acordo com Moreira e Siqueira (2006), a possibilidade de contaminação destes tipos de culturas é muito grande devido ao fato de suas raízes absorverem, facilmente e sem distinção, elevados níveis de nutrientes presentes no solo.

Já na categoria frutas e/ou hortaliças observou-se baixo número de citações (n = 3) correspondendo a 2,9% do total. Assim, morango, banana, mamão e laranja tiveram, um somatório de 2,7% de citações, sendo que a alface obteve 0,2%. Segundo Andreoli (2006), culturas que podem ser consumidas *in natura* apresentam maior risco de contaminação, pois estão diretamente em contato com o solo e muitas vezes são consumidas sem serem lavadas.

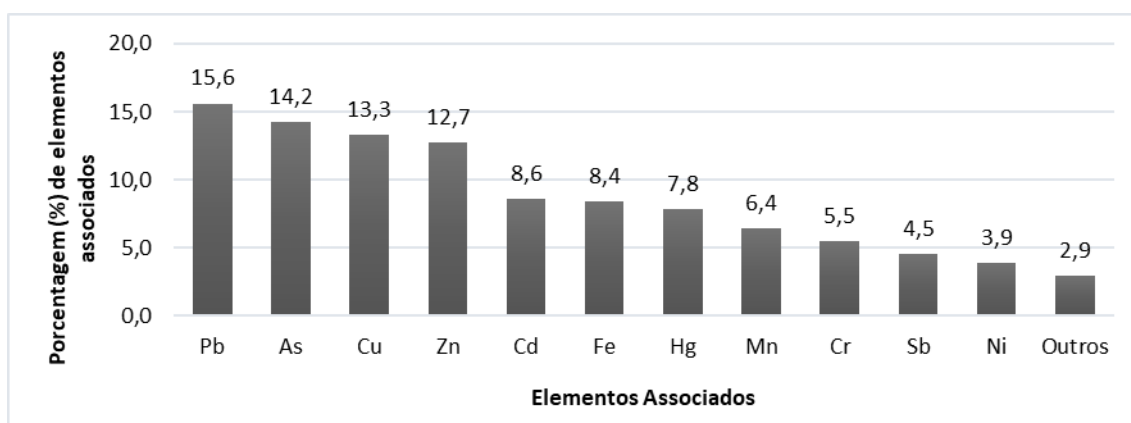
A atividade minerária apesar de sua relevância no âmbito econômico, é precursora de diversos impactos ambientais negativos que estão interligados a diversos elementos que, associados ao As, podem afetar o solo, o ar, a água e a saúde humana.

3.2 Principais elementos e minérios associados a presença de arsênio

O As pode ocorrer associado a outros elementos como, por exemplo, o ferro na composição de minerais, principalmente em áreas de exploração de sulfetos. Além disso, o As pode estar presente em diferentes meios, ocorrendo sua associação à múltiplos elementos químicos (Rosa, 1999).

Considerando que alguns artigos consultados abordavam mais de um elemento, estes foram analisados individualmente a fim de se obter a porcentagem de citação de cada um. Desse modo, contatou-se que 266 artigos citavam esses elementos ($n = 1372$), sendo que o chumbo correspondeu a 15,6% do total de citações; já 14,2% das citações indicavam o As, 13,3% indicaram o cobre; 12,7% mencionaram o zinco; o cádmio obteve 8,6% de citações; o ferro 8,4%; o mercúrio correspondeu a 7,8% das citações; enquanto manganês, cromo, antimônio e níquel foram citados entre 6 e 3% (Gráfico 3). O grupo classificado como “outros” engloba elementos como ouro, prata, enxofre e urânio, correspondendo a 2,9% de citações.

Gráfico 3 – Principais elementos associados ao arsênio citados nos artigos científicos (n=1372) selecionados do banco de dados *Web of Science*



Fonte: Dados da pesquisa, 2018

O As é o principal elemento formador de mais de 200 minerais classificados como óxidos, sulfetos, arsenetos e arsenatos, que ocorrem, comumente, em ambientes mineralizados e/ou que possuem chumbo, cobalto, cobre, ferro e níquel. Além disso, este elemento também é subproduto da produção metalúrgica dos metais de chumbo, cobre, cobalto, ferro e zinco (Anjos, 2006).

Como o metal chumbo corresponde a 15,6% do total de citações destaca-se que na mineração de chumbo e zinco (Zn), o As ocorre como arsenatos e sulfoarsenatos sendo produto do processo de transformação dos minérios de chumbo e zinco primários a oxidados (Rosa, 1999). Além disso, o chumbo associa-se ao As na indústria farmacêutica na composição do antimoniato de meglumina, medicamento utilizado no tratamento de leishmaniose (Silva Júnior, 2001).

O As ocorre associado ao cobre e ao cromo na composição de preservativos de madeira formando o arseniato de cobre cromatado (CCA). O CCA apresenta elevado risco à saúde humana, principalmente aos trabalhadores que podem inalá-lo durante o processo de preservação da madeira (Brand, Anzaldo & Moreschi, 2006).

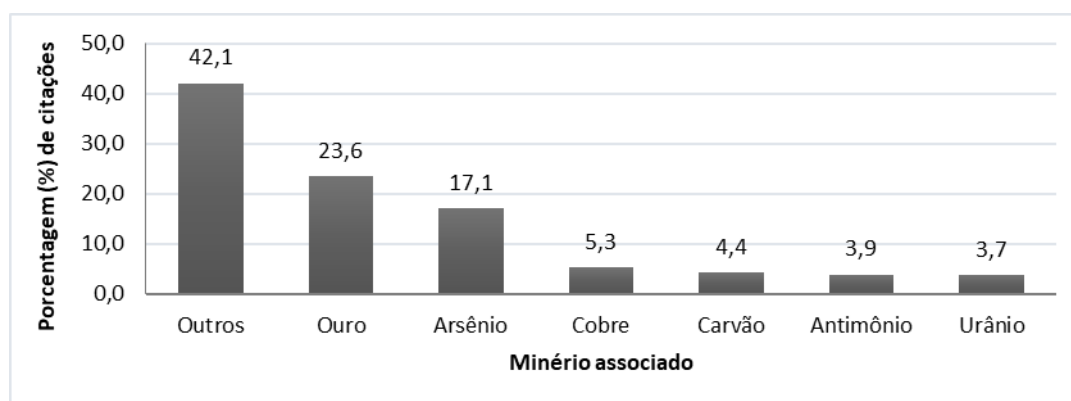
O principal mineral composto por As, ferro e enxofre, corresponde à arsenopirita (FeAsS), comumente associada ao elemento ouro. A associação As-Fe forma também o mineral escorodita, produto da oxidação de sulfetos. Além disso, a composição de As-Fe auxilia na remoção do As do ambiente através da precipitação de sais de ferro (Borba, Figueiredo & Cavalcanti, 2004).

A abundância da ocorrência de As na crosta terrestre, entre outros fatores, deve-se à sua presença na composição de variados minerais, sendo que alguns destes possuem significativo valor econômico, sendo explorados como minérios. Assim, a associação do As a minerais tipicamente explorados pode implicar em contaminação e riscos ambientais e à saúde, uma vez que a exploração mineral pode levar o As a transformações químicas que o tornam ainda mais pernicioso (Pataca, Bortoleto & Bueno, 2005).

Segundo Klein e Dutrow (2012), um mineral corresponde à um elemento ou composto químico sólido, com composição atômica fortemente organizada, formado por processos naturais, comumente inorgânicos. Já o termo minério, segundo Branco (2008), é utilizado para caracterizar um mineral ou conjunto de minerais que possuem valor econômico.

Neste sentido, constatou-se que os minérios aos quais o As ocorre associado foram citados em 399 artigos, totalizando 434 citações (Gráfico 4), uma vez que alguns artigos citaram mais de um minério. Assim, o minério de ouro corresponde a 23,6% das citações, o As apresentou porcentagem de 17,1%, o minério de cobre obteve porcentagem de 5,3%, enquanto os minérios de carvão, antimônio e urânio obtiveram porcentagens entre 3% e 5%. O grupo denominado “outros” obteve 42,1% de citações e abrangeu os minérios que tiveram porcentagem menor do que 3%, tais como estanho, chumbo, prata e antimônio.

Gráfico 4 – Principais minérios associados ao arsênio citados (n = 434) nos artigos selecionados no banco de dados *Web of Science*



Fonte: Dados da pesquisa, 2018

Por se tratar de elemento extremamente calcófilo, ou seja, possuir maior afinidade com sulfetos do que com silicatos, o As é capaz de desenvolver fases exclusivas em minerais como realgar (As_4S_4) e ouro-pigmento (As_4S_3). Além disso, ressalta-se a presença desse elemento em reservas auríferas devido à associação entre o ouro e minerais sulfetados como a pirita (FeS_2) e a arsenopirita ($FeAsS$) (Correia, 2016).

Faz-se importante salientar que as citações nos artigos analisados referentes ao minério de As não o tratavam propriamente como produto de exploração, mas como minério associado à outros elementos como ouro, antimônio, chumbo e prata. Contudo, segundo Anjos (2006), 70% da produção mundial de As é destinada à indústria de madeira como preservativos e 22% são utilizados na produção de insumos agrícolas, tais como os pesticidas.

A relação entre o As e os minérios de carvão e urânio ocorre comumente em rochas sedimentares, que são caracterizadas por maiores concentrações de As quando comparadas às rochas ígneas (Rosa, 1999). Destaca-se ainda que, de acordo com Peixoto (2013), o As está presente na exploração de minério de urânio, através de depósitos naturais formados pela associação As-U.

Ressalta-se que a presença de As, na atividade minerária pode ser acentuada na etapa de exploração, responsável pela exposição deste elemento a transformações químicas, como a oxidação, que alteram sua composição, tornando-o pernicioso ao meio. Por isso, faz-se importante a detecção do As para que os impactos negativos causados por este elemento sejam minimizados ou extintos.

3.3 Matrizes mais citadas nos artigos analisados

A evolução das atividades antrópicas, principalmente a exploração mineral, tem acentuado os teores de As levando às contaminações do ar, solos e corpos hídricos. Com relação ao ar, o As se apresenta como trióxido de arsênio e a transferência ocorre por meio de combustão e por dispersão de material particulado proveniente de resíduos de mineração. No solo, a ocorrência do As se deve a depósitos minerários sulfetados associados a presença do As (Companhia de Tecnologia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, 2014).

Assim, considerando a toxicidade do As, sua mobilidade e presença em diferentes meios físicos como água, ar, sedimentos e vegetação, 766 artigos (n = 833) pesquisados abordaram as matrizes analisadas para detecção de As. Notou-se que 63,4% das citações correspondiam à água e/ou sedimentos e/ou alimentos e/ou plantas; 17,7% estavam relacionadas à água (doce, salgada ou subterrânea); 9,1% evidenciaram sedimentos, englobando solo, rejeitos, rochas e poeira; 3,3% estavam relacionados ao cabelo e/ou urina e/ou sangue e/ou unha e/ou leite materno; 2% mencionaram o ar; 1,2% indicaram materiais microbiológicos, enquanto as plantas corresponderam a 0,8% das citações (Tabela 3). Ressalta-se que o grupo denominado “outros” compreende os materiais que obtiveram porcentagem menor que 0,8%, tais como animais e aerossóis.

Tabela 3 – Principais matrizes citadas (n=833) nos artigos pesquisados no banco de dados

Web of Science

Matriz	Porcentagem
Água e/ou Sedimentos e/ou Alimento e/ou Plantas	63,4
Água	17,7
Sedimentos	9,9
Cabelo e/ou urina e/ou sangue e/ou unha e/ou leite materno	3,3
Ar	2,0
Outros	1,7
Materiais microbiológicos	1,2
Plantas	0,8
Total	100,0

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Considerando que alguns artigos analisaram mais de uma matriz, destaca-se a associação feita pelos materiais água, sedimentos, alimentos e plantas, citada em 63,4% dos artigos. De acordo com Borba, Figueiredo e Cavalcanti (2004), o risco à saúde devido a ingestão de água e alimentos contaminados faz com que pesquisas sejam realizadas a fim de se evitar a contaminação por As, visto que este elemento pode ser encontrado tanto em águas superficiais quanto em águas subterrâneas, sob forma de compostos orgânicos ou inorgânicos.

Em águas superficiais e em sedimentos (solo e poeira) a ocorrência do As pode estar relacionada ao uso de pesticidas em áreas de intensa atividade agrícola, ocasionando contaminação por meio do escoamento superficial ou infiltração (Dellamatrice & Monteiro, 2014). Um outro meio de ocorrência do As em águas e solo ocorre através da dissolução de rochas que possuem o elemento em sua composição (Pataca, Bortoleto & Bueno, 2005).

Em águas subterrâneas, a principal forma de ocorrência do As é a inorgânica, sendo esta a sua forma mais tóxica. A presença do As ocorre através da formação geológica dos aquíferos, constituídos por compostos de As. Neste sentido, destaca-se que o risco de contaminação através do consumo destas águas é mais acentuado em regiões pobres e desprovidas de abastecimento de água, nas quais a construção de cisternas e poços são alternativas economicamente acessíveis para a população (Figueiredo, Borba & Angélica, 2006).

O As pode estar presente em variados sedimentos como solos, rejeitos e poeira de mineração e rochas, materiais que corresponderam a 9,9% das citações observadas. Nos solos, a presença de As pode ocorrer de forma natural, pelo processo de intemperismo de rochas compostas por este elemento e de forma antrópica através da atividade minerária e agrícola. Destaca-se que em rejeitos e poeira provenientes da mineração existe uma grande quantidade de elementos-traço como o As, principalmente na mineração de sulfetos (Silva *et al.*, 2004).

A contaminação por As em alimentos e plantas, materiais que totalizaram 0,8% das citações, ocorre, normalmente, através da utilização de pesticidas para combater pragas e insetos no cultivo de plantas e alimentos, uma vez que estes insumos agrícolas possuem em sua composição alta concentração deste elemento (Fleck, Tavares & Eyng, 2013). Assim, com a utilização de pesticidas, o As pode ser adsorvido pela planta, causando sua contaminação (Dellamatrice & Monteiro, 2014).

De maneira geral, as análises de matrizes microbiológicas visam identificar a capacidade destas, comumente bactérias, em remover As da água e solo por meio da técnica de biorremediação (Gaylarde, Bellinaso & Manfio, 2005).

Considerando o ar, que totalizou 2% das citações, a presença do As está relacionada às atividades vulcânicas, ocorrendo a liberação de gases tóxicos formados por elementos químicos tais como As, clorofluorcarbonetos (CFC) e enxofre (Pataca, Bortoleto & Bueno, 2005).

No organismo humano, as principais matrizes indicativas de presença de As são cabelo, urina, sangue e unha (Scarpelli, 2003). Ressalta-se que o cabelo é o mais utilizado, pois atua como órgão de excreção, sendo assim, capaz de fornecer diagnóstico sobre a presença de As no organismo humano (Pozebon, Dressler & Curtius, 1999). Além do cabelo, a unha também é um indicador de disfunções e alterações no organismo, podendo relevar se há algum tipo de contaminação ou doença. No caso de contaminação por As, as unhas apresentam linhas brancas transversais e mudanças no seu desenvolvimento (Rodrigues & Malafaia, 2008). Faz-se importante salientar que unhas e cabelos podem indicar a acumulação de As no organismo nos últimos meses ou anos (Scarpelli, 2003).

O teste realizado em urina para detecção de As é um importante método de análise, pois, quando o As é absorvido pelo organismo humano, como por exemplo, por meio de compostos de As como arsenobetaína (AsB), ingeridos no consumo de frutos do mar, é através da urina que são expelidos os seus metabólitos inorgânicos como ácido dimetilarsônico (DMA(III)), ácido dimetilarsínico (DMA(V)), ácido monometilarsônico (MMA(III)) e ácido monometilarsínico (MMA(V)) (Barra *et al.*, 2000).

As análises do sangue podem identificar a recente acumulação de As no organismo (Scarpelli, 2003). Salienta-se que as análises também são feitas no leite materno, pois se houver ingestão de As pela lactante, o elemento pode ser passado à criança através do aleitamento, podendo provocar danos à saúde desta, uma vez que o neonato possui elevada vulnerabilidade quando comparado ao adulto (Mallagoli, Manzini & Plicas, 2013).

Dada a ocorrência do As em diferentes matrizes são necessárias análises buscando avaliar a possibilidade de contaminação por este elemento. Desta forma, estudos sobre a detecção de As, principalmente no meio ambiente, mostram-se importantes para que, se identificada sua presença, técnicas de remoção sejam empregadas de modo a mitigar os impactos negativos gerados.

3.4 Técnicas de análise de arsênio mais citadas nos artigos analisados

A detecção geoquímica vem sendo ampliada com as melhorias tecnológicas que ocorrem nos instrumentos e metodologias utilizadas. A determinação de concentrações muito

baixas de um certo elemento depende, sobretudo, de métodos analíticos multielementares (Licht, Mello & Silva, 2007).

Notou-se que as técnicas de análise foram citadas 833 vezes em 596 artigos, uma vez que alguns trabalhos abordavam mais de uma delas. A associação das técnicas de espectrometria de fluorescência atômica, espectrometria de absorção atômica e espectrometria de difração de raios-X correspondeu a 54,9% das citações; a associação de espectrometria de difração de raios-X e/ou microscopia de varredura totalizou 10,1% das citações; a espectrometria de emissão óptica e/ou espectrometria de difração de raios-X obtiveram 4,6% das citações; a análise de polimorfismo de comprimento de fragmento de restrição terminar (T-RFLP) e/ou análise de microdigitalização e os levantamentos geoestatísticos totalizaram, respectivamente, 4,2% e 3,8% das citações. As técnicas de análises que obtiveram porcentagem inferior a 3% tais como espectrometria de absorção atômica com geração de hidretos e biomonitoramento, foram inseridas no grupo classificado como “outros” totalizando 22,4% das citações.

Tabela 4 – Principais técnicas de análise de arsênio citadas (n=833) nos artigos obtidos no banco de dados Web Of Science

Técnica de Análise	Porcentagem (%)
Espectrometria de fluorescência atômica, espectrometria de absorção atômica e difração de raios-X	54,9
Outros	22,4
Difração de raios x/ microscopia de varredura	10,1
Espectrometria de emissão óptica/ Difração de raios-X	4,6
Análise de polimorfismo de comprimento de fragmento de restrição terminar (T-RFLP)/ Análise de microdigitalização	4,2
Levantamentos geoestatísticos	3,8
Total	100,0

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Notou-se que as técnicas mais citadas na análise de As foram a espectrometria de fluorescência atômica, a espectrometria de absorção atômica e a espectrometria de difração de raios-X. Segundo Licht, Mello e Silva (2007), a técnica de espectrometria de fluorescência atômica é bastante utilizada em geoquímica, sendo empregada para a identificação de elementos de caráter incomum, como As e antimônio, em amostras mineralizadas.

A técnica de espectrometria de absorção atômica é utilizada em aerossóis e em elementos metálicos, como o ouro e ametais como o As (Krug, Nóbrega & Oliveira, 2004). Entretanto, de acordo com Licht, Mello e Silva (2007), apesar deste método analítico ser de fácil instalação e execução, não é pertinente para a detecção geoquímica, pois para cada elemento químico faz-se necessária uma calibração distinta e os limites de detecção não atendem a maioria dos elementos-traço.

A técnica de espectrometria de difração de raios-X é recomendada para determinação de fases cristalinas presentes em rochas, sendo considerada vantajosa, pois é um método analítico simples, rápido, apresentando resultados confiáveis (Albers *et al.*, 2002).

Frequentemente associado à espectrometria de difração de raios-X, os artigos analisados utilizaram a microscopia eletrônica de varredura, que utiliza um microscópio para analisar, de maneira rápida, os aspectos microestruturais de amostras sólidas. O microscópio de varredura faz uso de feixes de elétrons, e não de feixes de fótons como os microscópios convencionais, o que melhora a resolução com a fonte de luz branca (Dedavid, Gomes & Machado, 2007).

Por sua vez, a técnica de espectrometria de emissão óptica é considerada vantajosa, sendo frequentemente utilizada em geoquímica analítica por se tratar de um teste rápido, de alta precisão e sensibilidade, fornecendo análise multielementar sincrônica (Morgano, Queiroz & Ferreira, 1999).

A análise de polimorfismo de comprimento de fragmento de restrição terminar (T-RFLP) é comumente utilizada para prospecção de As e outros elementos em amostras de comunidades microbiológicas. Ressalta-se que esse método possui excelente capacidade e eficácia na distinção de filotipos e fisiologia de comunidades microbiológicas (Marsh *et al.*, 2000).

Por fim, a geoestatística consiste em uma técnica de observação de uma amostra que, segundo Yamamoto e Landim (2013), objetiva caracterizar uma variável através da análise da distribuição e variabilidade espacial de uma amostra. Dentre as técnicas de amostragem da geoestatística destaca-se como a mais vantajosa e eficiente a amostragem sistemática, realizada em uma malha regular que fornece maior distribuição dos pontos e, conseqüentemente, maior probabilidade de acerto na detecção.

Nota-se que as técnicas de análises são importantes métodos de detecção e determinação de presença de elementos-traço em um meio. Devido ao fato de que a contaminação pode ocorrer tanto por processos naturais quanto por atividades antrópicas, a

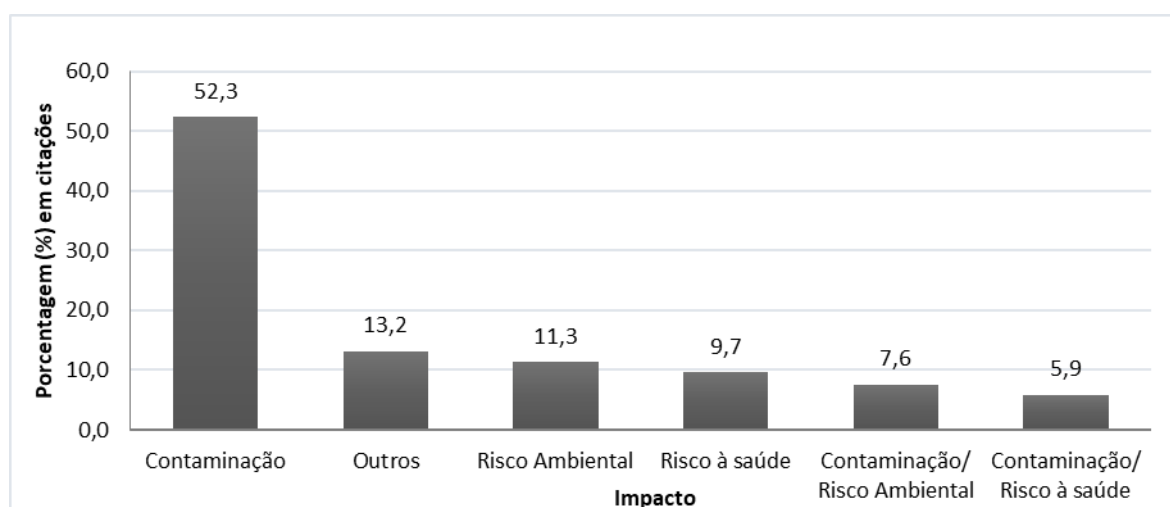
utilização de técnicas de análise para detecção de elementos-traço é, portanto, um importante instrumento para identificação e mitigação de possíveis impactos ambientais

3.5 Impactos ambientais negativos associados à presença de arsênio

As atividades econômicas, excepcionalmente a mineração, são uma das maiores fontes causadoras de impactos. Dessa forma, a atividade minerária desencadeia efeitos que interferem na saúde e no meio ambiente uma vez que pode alterar a composição do solo, tornando-o infértil; acarretar o assoreamento de corpos hídricos da região; promover o desmatamento; provocar a poluição hídrica através dos efluentes de materiais tóxicos decorrentes da extração; reduzir a fauna; aumentar o número de doenças respiratórias decorrentes da poluição do ar, dentre outros impactos negativos (Souza *et al.*, 2010).

Assim, os impactos negativos foram mencionados em 741 artigos (n = 783). Ressalta-se que alguns artigos mencionaram mais de um impacto, além disso, a categoria “contaminação” (Gráfico 5) obteve 52,3% das citações (n = 410), porém, este impacto foi citado em outras duas categorias, representadas pela Contaminação/Risco Ambiental verificada em 7,6% (n=59) das citações e Contaminação/Risco à saúde, correspondendo a 5,9% (n=46) destas. A categoria “outros”, totalizando 13,2%, engloba os impactos que obtiveram menos de 5% das citações, tais como risco ecológico (2,7%) e perda de biodiversidade (1,8%).

Gráfico 5 – Impactos negativos (n = 783) advindos das atividades minerárias identificados nos artigos analisados



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

De modo geral, a contaminação decorrente de exploração minerária é resultado das águas de baixo pH (< 3) que são descartadas após as atividades de lavra e beneficiamento e/ou de elementos-traço presentes no ambiente de forma natural. Além disso, os rejeitos de minério contêm alto teor de elementos-traço, destacando o As que, lançado nas drenagens ou estocado às margens de riachos, faz com que haja elevado comprometimento ambiental da água e do solo (Silva, 2007).

Os riscos ambientais, correspondendo a 11,3% (n = 88) das citações, estão associados à presença de As no ambiente, podendo-se destacar a contaminação da flora. As raízes que são a primeira parte da planta a ser exposta ao ametal são capazes de absorver do solo, acarretando assim na inibição do seu crescimento e comprometendo a sua competência reprodutiva. Outro risco é a poluição do ar em decorrência da poeira emitida pela atividade minerária; contaminação do solo e corpos hídricos (Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 1992).

O risco à saúde, totalizando 9,7% (n=76) das citações está relacionado à interferência do As na qualidade de vida e bem-estar das pessoas. Salienta-se que o acentuado teor deste elemento pode acarretar em problemas respiratórios; contaminação do sangue através da ingestão de alimentos contaminados que podem ser consumidos *in natura* (Farias, 2002). Katzung (2003), salienta que ao ter contato com o As, o ser humano tem grande possibilidade de ser contaminado por ele, resultando em doenças, tais como a conjuntivite, distúrbios no sistema nervoso, câncer de pele, gangrena nos membros, dentre outras.

Apesar da contaminação ambiental decorrente da presença de elementos-traço, salienta-se a existência de técnicas para a remoção destes, tais como a biorremediação e a fitorremediação.

3.6 Técnicas de remoção de arsênio mais citadas nos artigos analisados

A contaminação por elementos-traço, principalmente pelo As, tem sido causa de preocupação nos últimos anos, devido a intensa exploração dos recursos minerais, que geram toneladas de resíduos contendo elementos contaminantes prejudiciais aos ecossistemas e à saúde. Entretanto, mesmo diante dos impactos ambientais e à saúde registrados nos últimos anos, as técnicas de remoção destes elementos ainda são escassas e, frequentemente, possuem alto custo de implantação (Souza, 2007).

Constatou-se que as técnicas de remoção de As foram citadas em apenas 58 artigos. A técnica de fitorremediação destacou-se, correspondendo a 43,1% dos artigos analisados; a

biorremediação obteve 19% das citações e a remediação foi citada em 8,6% dos trabalhos. O grupo definido como “outros” compreende às técnicas que obtiveram citações inferiores a 4%, tais como biolixiviação, biomineralização, fitoestabilização, entre outras (Tabela 5).

Tabela 5 – Principais técnicas de remoção de arsênio citadas (n= 58) nos artigos analisados retirados do banco de dados *Web of Science*

Técnica	Frequência	Percentual
Fitorremediação	25	43,1%
Biorremediação	11	19%
Remediação	5	8,6%
Outros	17	29,3%
Total	58	100

Fonte: Dados de pesquisa, 2018

A fitorremediação, citada em 43,1% dos artigos, corresponde a um processo que visa a descontaminação do solo e água através das plantas (Pires, 2003). A vegetação desempenha um papel fundamental na descontaminação do solo, impedindo que os elementos-traço sejam dispersados para ambientes aquáticos, ar e/ou plantas. Dentre as espécies vegetais capazes de realizar a fitorremediação destacam-se o amendoim forrageiro (*Arachis pintoï*), feijão guandu (*Cajanus cajan L.*), eucalipto (*Eucalyptus grandis Hill*), braquiária (*Brachiaria decumbens*), entre outras (Melo, 2006; Antunes, 2007).

Dentre os processos de fitorremediação, salienta-se a fitoextração, no qual a planta consegue absorver, transferir e acumular o contaminante na parte aérea. Contudo, para que a translocação ocorra, é necessário que o contaminante esteja disponível na parte aérea da planta e que esta possua taxas relevantes de acumulação, independentemente do teor de contaminação do solo ou água. A planta deve ser também resistente à pragas e ao contaminante para garantir a eficiência da fitoextração (Antunes, 2007). Destaca-se também a técnica de fitoestabilização, processo no qual as plantas promovem a fixação do contaminante no solo, impossibilitando a sua dispersão para outros meios (Melo, 2006).

Segundo Melo (2006), a técnica de fitorremediação é uma das mais utilizadas, pois, além de natural, possui valor acessível de implantação e manejo; proporciona benefícios na estrutura do solo, protegendo-o de erosões; promove aumento na taxa de fertilidade do solo e melhoramento na estética do ambiente.

A técnica de biorremediação, citada em 19% dos artigos analisados, consiste na utilização de plantas ou microrganismos específicos capazes de diminuir ou retirar elementos-traço do ambiente contaminado. A biorremediação é indicada nas situações nas quais o ambiente está contaminado por moléculas orgânicas de alto grau de toxicidade e de degradação complexa. Trata-se de uma técnica vantajosa e eficaz, devido a eficiência biológica das espécies utilizadas nesta técnica (Gaylarde, Bellinaso & Manfio, 2005).

A técnica de remediação foi citada em 8,6% dos artigos analisados, constituindo na redução dos níveis de contaminação de um meio podendo ser aplicáveis “*in situ*”, ou seja, no local contaminado e “*ex situ*”, isto é, em laboratório, sendo que estas são, respectivamente, mais e menos vantajosas, em relação ao custo (Tavares, 2013).

Dentre as técnicas de remediação destacam-se “*Pump and Treat*” na qual realiza-se o bombeamento de águas subterrâneas a fim de remover a contaminação, “aeração” que retira substâncias voláteis e semi-voláteis através da infiltração de ar no meio, e as “barreiras reativas permeáveis (BRPs)”. As BRPs consistem na instalação de uma estrutura permeável que intercepta o fluxo de água contaminada, podendo ser preenchida com diferentes materiais selecionados especialmente para se tratar os diversos tipos de contaminantes. À medida que a água passa pelo material permeável (meio poroso, membrana etc.), os contaminantes são retirados, quer seja por adsorção, precipitação ou degradação, diminuindo a taxa de contaminação do meio (Oliveira, 2001).

Após a análise dos artigos publicados, nota-se que diversas técnicas de remoção estão sendo desenvolvidas e aprimoradas. Entretanto, percebe-se que o número de trabalhos que mencionam essas técnicas, ainda é baixo, indicando que os métodos utilizados para a remoção de As ainda não são completamente praticáveis em áreas contaminadas por este elemento.

4. Conclusão

A extração minerária é uma atividade importante para o desenvolvimento econômico e social de uma região, contudo, é precursora de diversos impactos ambientais negativos advindos da presença de elementos-traço que ocorrem de forma natural, tais como o As.

Desse modo, esta pesquisa visou avaliar a evolução espaço-temporal dos trabalhos científicos publicados e indexados no banco de dados *Web of Science* relacionados à presença de As em atividades minerárias. Notou-se que houve crescimento no número de publicações entre os anos de 1982 e 2017 sobre esta temática. Além disso, foi possível observar que a

Holanda, os EUA e a Inglaterra, foram os países que apresentaram maior número de publicações.

Dentre as formas de contaminação verificadas, os elementos-traço que apresentaram maior frequência de citações nos artigos analisados foram o Pb, As, Cu, Zn e Cd. Já em relação às matrizes analisadas, água e/ou sedimentos e/ou alimentos e/ou plantas obtiveram o maior percentual, seguidos pela água e os sedimentos. Ressalta-se que os impactos negativos mais mencionados foram a contaminação, que pode ocorrer em solo, ar ou corpo hídrico; o risco ambiental (perda da flora e fauna) e riscos à saúde humana (doenças respiratórias e cancerígenas, dentre outras).

Em relação às culturas agrícolas, os cereais foram os mais mencionados, podendo-se destacar o arroz e o milho. Por fim, dentre as formas de atividades de contaminação, a mineração foi a mais citada, o que já era esperado em decorrência das palavras-chave utilizadas na pesquisa.

As técnicas de análises mais citadas foram a espectrometria de fluorescência atômica, a espectrometria de absorção atômica e difração de raios-X. Com respeito às técnicas de remediação aquelas com maior número de citações foram a fitorremediação seguida pela biorremediação e remediação.

Apesar do crescimento do número de pesquisas relacionadas à atividade minerária ao longo dos anos, recomenda-se a expansão por pesquisas científicas quanto a presença de diversos elementos-traço em atividades minerárias. Além disso, mostra-se fundamental a realização de investimentos em pesquisas médicas no intuito de identificar e caracterizar os danos causados à saúde que possam ser desencadeados por meio do consumo de alimentos ou água contaminados por As ou outros elementos-traço.

Ademais, recomenda-se um aumento nas pesquisas direcionadas às técnicas de remediação a fim de mitigar a contaminação de solo e água pelo As, uma vez que os métodos empregados atualmente têm sido em um número pequeno, conforme análise dos artigos científicos pesquisados.

Referências

Albers, A. P. F; Melchiades, F. G.; Machado, R.; Baldo, J. B. & Boschi, A. O. (2002) Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. **Revista Cerâmica**. v. 48, n. 305, p. 34-37.

Andreoli, C. V. (2006) **Biossólidos: alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: Abes, 417p.

Anjos, V. E. (2006) Especiação de cobre e arsênio no Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR.

Antunes, A. S. (2007) **Potencial da braquiária (*Brachiaria decumbens Stapf*) na fitorremediação de solos contaminados com arsênio**. Dissertação, Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.

Appolinário, F. (2006) **Metodologia da ciência: filosofia e prática da pesquisa**. São Paulo: Pioneira.

Barra, C. M.; Santelli, R. E.; Abrão, J. J. & Guardia, M. L. (2000) Especiação De Arsênio - Uma Revisão. **Revista Química Nova**. v. 23, n. 1, p. 58-70.

Brand, M. A; Anzaldo, J. & Moreschi, J. C. (2006) Novos produtos para o tratamento preservante da madeira: perspectivas da pesquisa e utilização. **Revista Floresta**. v. 36, n. 1, p. 129-138.

Barbetta, P. A. (1998) **Estatística Aplicada às Ciências Sociais**. Florianópolis: Editora da UFSC.

Barros, J. F. C. & Calado, J. G. A. (2005) **Cultura do milho**. Évora: Universidade de Évora.

Borba, R. P.; Figueiredo, B. R. & Cavalcanti, J. A. (2004) Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). **Revista Escola de Minas**, v. 57, n. 1, p. 45-51.

Branco, P. M. (2008) **Dicionário de Mineralogia e gemologia**. São Paulo: Editora Oficina de Textos.

Chapula, C. A. M. (1998) O papel da infometria e da ciênciometria e sua perspectiva nacional e internacional, Brasília. **Ciência da Informação**, v. 27, n.2, p. 134-140, maio/ago 1998. Acesso em 21 abril, em <http://www.scielo.br/pdf/%0D/ci/v27n2/macias.pdf>.

Companhia de Tecnologia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). (2014) **Arsênio**. Ficha de Informação Toxicológica. São Paulo: CETESB. Acesso em 14 fevereiro, em <https://drive.google.com/file/d/14wHjpEmnfNNjEZkEth86QkrRRMqKsmNq/view>.

Correia, C. P. R. (2016) **Mineralizações de Antimônio em Trás-os-Montes** – O caso de estudo da mina do Sítio da Coitadinha. Dissertação (Mestrado em Geologia). Departamento Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Dedavid, B. A.; Gomes, G. I. & Machado, G. (2007) **Microscopia Eletrônica de Varredura: aplicações e preparação de amostras**. Porto Alegre: EDIPUCRS.

Dellamatrice, P. M. & Monteiro, R. T. R. (2014) Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 18, n. 12, p. 1296-1301.

Erickson, B. E. (2002) Analyzing the ignored environmental contaminants. **Environmental Science & Technology**, 36: 140A-145A, 2002.

Farias, C. E. G. (2002) **Mineração e meio ambiente no Brasil**. Relatório (Relatório preparado para o CGEE). Acesso em 23 fevereiro, em http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/minera.pdf.

Figueiredo, R.; Borba, R. P. & Angélica, R. S. (2006) Arsênio no Brasil e exposição humana. **Revista Geologia Médica no Brasil**, CPRM, p. 64-70, Rio de Janeiro.

Fleck, L.; Tavares, M. H. F. & Eyng, E. (2013) Adsorventes Naturais Como Controladores de Poluentes Aquáticos: uma revisão. **Revista Eixo**. v. 2, n. 1, p. 39-52.

Gaylarde, C. C.; Bellinaso, M. L. & Manfio, G. P. (2005) Aspectos Biológicos e Técnicas de Biorremediação de Xenobióticos. **Revista Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**. n. 34, p. 36-43.

Gonçalves, J. A. C. (2011) **A contaminação natural por arsênio em solos e águas subterrâneas na área urbana de Ouro Preto (MG)**. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais). Universidade Federal de Ouro Preto.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). (1992) **Curso de Geologia de Engenharia aplicada a problemas ambientais**. São Paulo, v.3, 291 p.

Katzung, B. G. (2003) **Farmacologia básica e clínica**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

Klein, C. & Dutrow, B. (2012) **Manual de Ciências dos Minerais**. 23. ed. Porto Alegre: Bookman.

Krug, F. J.; Nóbrega, J. A. & Oliveira, P. V. (2004) **Espectroscopia de Absorção Atômica**. Apostila UFJF. Acesso em 5 fevereiro, em <http://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/AAS-geral-parte-1-revisada.pdf>.

Licht, O. A. B.; Mello, C. S. B. & Silva, C. R. (2007) **Prospecção Geoquímica Depósitos Minerais Metálicos, Não-Metálicos, Óleo e Gás**. Rio de Janeiro: CPRM.

Mallagoli, E. D. M.; Manizini, F. F. & Plicas, L. M. A. (2013) Teores elevados de metais potencialmente tóxicos em amostras de fertilizantes. **Fórum Ambiental de Alta Paulista**. v. 9, n. 11, p. 19-35.

Marsh, T. L.; Saxman, P.; Cole, J. & Tiedje, J. (2000) Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism Analysis Program, a Web-Based Research Tool for Microbial Community Analysis. **Revista American Society for Microbiology**. v. 66, n. 9, p. 3616-3620.

Massahud, R. T. L. R. (2008) **Avaliação de risco a arsênio, chumbo e cádmio na região aurífera delita, Cuba**. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Lavras.

Melo, R. F. (2006) **Potencial de Espécies Vegetais para fitorremediação de um solo contaminado por arsênio**. Tese (Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa.

Moreira, F. M. S. & Siqueira, J. O. (2006) **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. atualizada e ampliada. Lavras: Editora UFLA.

Morgano, M. A.; Queiroz, S. C. N. & Ferreira, M. M. C. (1999) Determinação dos teores de minerais em sucos de frutas por espectrometria de emissão óptica em plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 19, n. 3, p. 344-348.

Oliveira, E. (2001) Barreiras reativas. **Boletim Informativo da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas**. n. 115. Acesso em 14 maio, em <http://www.abas.org/abasinforma/115/paginas/20.htm>.

Pataca, L. C.; Bortoleto, G. & Bueno, M. I. (2005) Determinação de arsênio em águas contaminadas usando fluorescência de raios-x por energia dispersiva. **Revista Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 579-582.

Peixoto, C. M. (2013) **Determinação dos valores de referência de qualidade de solo para U e Th no Estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais). Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear. Belo Horizonte.

Pires, F. R.; Souza, C. M.; Silva, A. A.; Procópio, S. O. & Ferreira, L. R. (2003) Fitorremediação de Solos Contaminados com Herbicidas. **Revista Planta Daninha**. v. 21, n. 2, p. 335-341.

Pozebon, D.; Dressler, V. L. & Curtius, A. J. (1999) Análise de cabelo: uma revisão dos procedimentos para a determinação de elementos traço e aplicações. **Revista Química Nova**. v. 22, n. 6, p. 838-846.

Prodanov, C. C. & Freitas, E. C. (2013) **Metodologia do trabalho científico-recurso eletrônico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. Ed. Novo Hamburgo: Feevale.

Rodrigues, A. S. L. & Malafaia, G. (2008) Efeitos da Exposição ao Arsênio na Saúde Humana. **Revista Saúde.Com**. v4, n. 2, p. 148-159.

Rosa, R. T. D. L. (1999) **Arsênio e Metais Associados na Região Aurífera do Piririca, Vale do Ribeira, São Paulo, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geociências, Área de Metalogênese). Universidade Estadual de Campinas.

Scarpelli, W. (2003) Arsênio do Minério de Manganês de Serra do Navio. **Revista Novos Cadernos NAEA**. v. 6, n. 1, p. 101-133.

Silva, J. P. S. (2007) Impactos Ambientais Causados Por Mineração. **Revista Espaço da Sophia**, n. 8, ano 1. Acesso em 14 maio, em <http://www.registro.unesp.br/sites/museu/basededados/arquivos/00000429.pdf>.

Silva, S. R.; Procópio, S. O.; Queiroz, T. F. N. & Dias, L. E. (2004) Caracterização de rejeito de mineração de ouro para avaliação de solubilização de metais pesados e arsênio e revegetação local. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. vol. 28, n.1, p.189-196. Acesso em 12 maio, em http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832004000100018&script=sci_abstract&tlng=pt.

Silva Junior, A. J. G. (2001) Antimoniato de meglumina. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**. v. 34, n. 1, p. 103-105.

Souza, A. P. B.; Pedrosa, A. S.; Pinheiro, I. F. S. & Santos, M. L. S. (2010) Avaliação de impactos ambientais através da percepção de trabalhadores de uma empresa mineradora: um estudo de caso no município de Pedra Lavrada – PB. **Qualit@s Revista Eletrônica**, v. 9, n. 2, 10 p.

Souza, E. A. (2007) **Potencial de cianobactérias para a biorremediação de águas e solos contaminados por arsênio**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Botânica). Universidade Federal de Viçosa.

Tavares, S. R. L. (2013) Técnicas de remediação. In: TAVARES, S. R. L. (Org.). **Remediação de solos e águas contaminadas: conceitos básicos e fundamentos**. São Paulo: Clube de Autores. p. 59-90.

Vanti, N. A. P. (2002) Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento, Brasília, **Ciência da Informação**, v. 31, n. 2, p. 152-162, maio/ago 2002. Acesso em 18 maio, em <http://www.scielo.br/pdf/ci/v31n2/12918.pdf>.

Yamamoto, J. K. & Landim, P. M. B. (2013) **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos.

Zaparolli, D. (2009) **Europa deve elevar exigência ambiental**. Jornal Valor Econômico, cad. F, p. 4, 29/09/2009. Acesso em 02 maio, em <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000333.pdf>.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Gabriela Aparecida Ferreira – 30%

Guilherme Henrique Rodrigues de Assis – 30%

Juni Cordeiro – 10%

Cristina Donizeti Bernardes – 10%

Maria Auxiliadora Lage – 10%

José Luiz Cordeiro – 10%