

Eixo Temático: Inovação e Sustentabilidade em Diferentes Setores

O USO DA ÁGUA NA MINERAÇÃO: UMA ANÁLISE DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA INTERNACIONAL

Roberto Schoproni Bichueti, Clandia Maffini Gomes, Lucia Rejane da Rosa Gama Madruga, João Fernando Zamberlan, Jordana Marques Kneipp e Luciana Aparecida Barbieri da Rosa

RESUMO

A água é considerada um recurso estratégico em busca de uma mineração mais sustentável. É consenso entre os envolvidos na mineração a dualidade da relação água-mina, na medida em que é extremamente necessária em diversas atividades dessa indústria, entretanto representa a origem de muitas preocupações. Tendo em vista a relevância do uso da água na atividade do setor mineral, este estudo tem como objetivo identificar as principais características da produção científica internacional relacionada a esta temática nos últimos dez anos. Desenvolveu-se um estudo bibliométrico, por meio da base de dados *Web of Science*, relacionando os termos “Água” (*water*) e “Mineração” (*mining*), no período entre 2003 e 2012. Foram identificados, ainda, os estudos mais relevantes nesta temática, por meio do levantamento dos dez estudos mais citados ao longo deste período. Foram verificadas 9.957 publicações, sendo os artigos científicos 75% destas. Ressalta-se a relevância da temática da sustentabilidade nos estudos que envolvem a água e a mineração. Evidenciou-se que os principais estudos dos tópicos pesquisados visam contribuir para uma atividade mineral mais eficiente e sustentável.

Palavras-chave: Sustentabilidade Água, Mineração, Bibliometria.

ABSTRACT

Water is considered a strategic resource in pursuit of a sustainable mining. There is a duality of the relation water-mine among the people involved in the mining: Water in is highly needed in several activities of this industry, but is the source of many concerns. Given the importance of water use in the mineral sector, this study aims to identify the main features of the international scientific production related to this subject in the last ten years. It was developed a bibliometric study, through the database *Web of Science*, listing the terms "water" and "Mining", in the period between 2003 and 2012. It was identified the most relevant studies on this topic, listing the ten most cited studies over this period. It was found 9.957 publications, being 75% of these scientific papers. We emphasize the relevance of sustainability issues in studies involving water and mining. It is evident that the main topics of the studies aim to contribute to a more efficient and sustainable mineral activity.

Keywords: Sustainability, Water; Mining, Bibliometrics.

1. Introdução

A água é considerada um recurso estratégico para a mineração. A viabilidade técnica e econômica de uma lavra está condicionada ao conhecimento do contexto hidrológico no qual as operações estão localizadas e ao subsequente desenho das atuações hidrológico-minerais. A interação água-mineração não se esgota na fase de exploração da jazida, mas perpassa todos os processos de operação, tratamento e beneficiamento do minério, bem como nas etapas de fechamento e pós-fechamento das minas.

Neste sentido, é consenso entre os envolvidos na mineração a dualidade existente quando se fala da relação água-mina. Se, de um lado, este recurso é extremamente necessário em diversas atividades e processos dessa indústria, de outro representa a origem de muitos problemas e preocupações. Isto porque a mineração ocorre, frequentemente, em nível freático e pode interferir diretamente nas águas superficiais, produzindo efeitos hidrológicos, ambientais e econômicos importantes, que podem se estender por muito tempo após o cessar das atividades (ANA e IBRAM, 2006).

A água se caracteriza, portanto, como um elemento chave na busca de uma mineração mais sustentável. Sabe-se que, apesar da representatividade do setor mineral no contexto econômico, o desenvolvimento sustentável representa um grande desafio, em termos sociais e ambientais, tendo em vista a natureza das atividades da indústria mineral (AZAPAGIC, 2004). É destacada a importância dos bens minerais para a vida moderna, já que possuem uma função socialmente ampla e necessária, com produtos que constituem a base para diversas indústrias e representam importante papel na economia (DNPM, 2009), entretanto, são conhecidos os impactos ambientais e as questões sociais envolvidas nessa atividade. Discussões acerca da extração de recursos não renováveis, mudanças na paisagem ambiental e questões envolvendo a saúde e as condições laborais dos trabalhadores são alguns dos impasses abordados. Em termos ambientais, podem ser citados alguns exemplos como a interferência nos solos, com mudanças em sua composição e erosão, nas águas, relacionada à quantidade de água consumida e às descargas residuais nos corpos hídricos, e no ar, tendo em vista a poluição ocasionada pela transformação dos bens minerais (AZAPAGIC, 2004; HILSON e MURCK, 2000; MCLELLAN et al., 2009).

A questão da água merece destaque, na medida em que é considerado recurso essencial para a atividade mineradora, conforme já evidenciado, e, principalmente, por ser considerada fundamental para a manutenção da vida na Terra. Segundo Tundisi (2003), a disponibilidade de água doce de boa qualidade está ligada diretamente ao desenvolvimento econômico, à qualidade de vida das populações e à manutenção dos ciclos no planeta. Embora classificada como um recurso renovável, de acordo com Barbieri (2007) a água dá sinais de deterioração em quase todas as partes do planeta, com prognósticos alarmantes em relação à qualidade e à quantidade, sendo de senso comum afirmar que este será o recurso mais escasso do século XXI.

Assim, tendo em vista a relevância do uso da água na atividade do setor mineral, especialmente por se tratar de um importante fator em busca de uma mineração mais sustentável, este estudo tem como objetivo identificar as principais características da produção científica internacional relacionada a esta temática nos últimos dez anos. Para tanto, desenvolveu-se um estudo bibliométrico, por meio da base de dados *Web of Science*, relacionando os termos “Água” (*water*) e

“Mineração” (*mining*). Por fim, procurou-se identificar os estudos mais relevantes nesta temática, por meio do levantamento dos dez estudos mais citados ao longo deste período.

Para alcançar o objetivo proposto, o estudo se inicia com o aporte teórico referente à gestão do uso da água no setor mineral. Em seguida, apresenta-se o método do estudo. Por fim, são descritos os resultados obtidos na análise da produção científica internacional envolvendo as temáticas do estudo.

2. Gestão do uso da água no setor mineral

Por se tratar de um recurso vital para a humanidade, é de fundamental importância a relação da água com a sustentabilidade. Está em pauta, no caso, um dos bens mais importantes, se não o primordial, para a vida na terra. Segundo Tundisi (2003), a disponibilidade de água doce de boa qualidade está ligada diretamente ao desenvolvimento econômico, à qualidade de vida das populações e à manutenção dos ciclos no planeta.

Sabe-se que, as reservas mundiais de água doce são limitadas, representando somente 2,4% do total disponível. Levando em consideração que 79% destes são encontradas sob a forma de geleiras, 20,96% são subterrâneas e 0,04% encontram-se sob a forma de rios e lagos, a situação torna-se ainda mais preocupante (DNPM, 2009). Aliado a isto, está o crescimento populacional, que traz consigo o aumento da demanda por alimentos, água, energia e recursos minerais, além de contribuir para o aumento da poluição e da degradação ambiental, fazendo com que esta questão seja ainda mais desafiadora (MME, 2009).

Segundo Almeida (2007), uma parcela de 5% a 20% da captação de água para uso industrial ou doméstico não é sustentável no longo prazo, uma vez que a água é obtida por transferência de bacia hidrográfica ou retirada dos lençóis freáticos em quantidades superiores à da reposição natural. Para o autor, em um futuro muito próximo, a água representará para o setor privado e a economia global o que o petróleo representa hoje. Isto porque, a competição pelo acesso à água aumentará, bem como o seu custo (ALMEIDA, 2007)

A água é utilizada nas mais diversas atividades e é fundamental, também, para o desenvolvimento econômico. Entre os usos mais frequentes, segundo Tundisi (2003), destacam-se o uso doméstico, a irrigação, uso industrial e a hidroelectricidade. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Ambiental e Agropecuária - EMBRAPA (2009), a produção de alimentos, mais especificamente o setor agrícola, é responsável, em média, por 65% do consumo de água doce no país.

O setor industrial também necessita de quantidades elevadas de água no processo produtivo de diversos produtos essenciais para sociedade. Pode-se exemplificar esta utilização, segundo Miranda (2004), nos seguintes produtos: a produção de 1t de aço consome 280t de água; a manufatura de 1kg de papel pode requerer 700kg de água; 1kg de produto têxtil necessita de 150 litros (L) de água; a fabricação de um automóvel necessita de 50 vezes o seu peso em água; e o processo de preparação de um frango congelado consome até 26L de água.

A preocupação com a questão da água não se limita a sua disponibilidade, mas a qualidade dela também é motivo de avaliação. Segundo a EMBRAPA (2009), nas cidades, de um modo geral, os problemas com o abastecimento estão diretamente relacionados ao crescimento da demanda, ao desperdício e à urbanização descontrolada. Além disto, o saneamento básico contribui para o problema, já que 90% dos esgotos domésticos e 70% dos efluentes industriais são jogados sem

tratamento nos rios, açudes e águas litorâneas, contribuindo para o elevado nível de degradação (EMBRAPA, 2009).

A gestão da água vem sendo debatida desde a Conferência de Estocolmo, em 1972, sendo considerada pelos pesquisadores como um dos recursos naturais que mais tem despertado preocupação entre os pesquisadores (SILVA et al., 2008). A Agenda 21, produto da Conferência sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em 1992 no Rio de Janeiro, destaca a importância da manutenção da oferta de água de boa qualidade para a população de todo o planeta, além da preservação das propriedades hidrológicas, biológicas e químicas dos ecossistemas, com a necessária adaptação das atividades humanas aos limites da capacidade da natureza (ANA E IBRAM, 2006).

Por se tratar de um recurso estratégico para a mineração, existem algumas iniciativas que sinalizam para uma maior aproximação entre o setor mineral e a gestão sustentável do uso da água. Entre essas, destaca-se a atuação do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) e da Agência Nacional de Águas (ANA), que em nível nacional, trabalham na sensibilização do setor em busca do uso eficiente da água nas atividades minerais (ANA e IBRAM, 2006).

Segundo a ANA e o IBRAM (ANA e IBRAM, 2006), pode-se afirmar que a indústria mineral está entre as maiores usuárias de água do Brasil e apresenta diversas peculiaridades. Isto porque, suas atividades compreendem desde empreendimentos de grande porte, com elevado impacto ambiental, mas que contam com modernas e eficientes gestões sobre tais impactos, até pequenos garimpeiros, que exploram minas de pequeno porte com precários controles e planejamentos ambientais (ANA e IBRAM, 2006).

De acordo com Gunson et al. (2011), pode-se destacar, ainda, o elevado consumo de água nas operações de moagem, peneiramento, eliminação da poeira, lavagem, bem como reagente de mistura. O processo de flotação, método de separação comumente utilizado na mineração, de acordo com os autores, pode requerer, em média, de 1,9 a 3,0m³ de água por tonelada de minério (GUNSON et al. 2011). A Figura 1, a seguir, exemplifica um ciclo operacional em mina a céu aberto, e apresenta importantes interações com a água.

Durante o ciclo operacional da mineração a céu aberto, pode-se observar que as interações com a água perpassam por diversas etapas da produção. Observa-se, inicialmente, a necessidade do rebaixamento da água subterrânea no processo de abertura da cava, as barragens de contenção de sedimentos e de rejeitos, o tratamento de efluentes e o tratamento de efluentes. Ressalta-se, ainda, a recirculação de água industrial, que segundo Gunson et al. (2011), é uma prática observada na maioria das empresas mineradoras de grande porte. Em minas mais modernas, pode-se observar a reutilização de toda a água envolvida no processo (GUNSON et al. 2011).

Outros problemas hidrológicos na mineração podem ocorrer em relação aos resíduos sólidos e os efluentes líquidos. Em relação aos resíduos sólidos, o problema está associado à geração de rejeitos, composto principalmente de material estéril ou de baixo teor, que não são aproveitados e formam as chamadas pilhas de rejeitos, ou pilhas de estéril. Tais materiais são considerados fontes potenciais de contaminação hídrica, que podem perdurar por muito tempo, mesmo após o encerramento das atividades nas minas. Nesse sentido, é necessário o adequado isolamento da área, de forma que seja evitado o contato com a água, tanto das chuvas quanto do escoamento superficial (ANA e IBRAM, 2006; FRANKS et al., 2011).

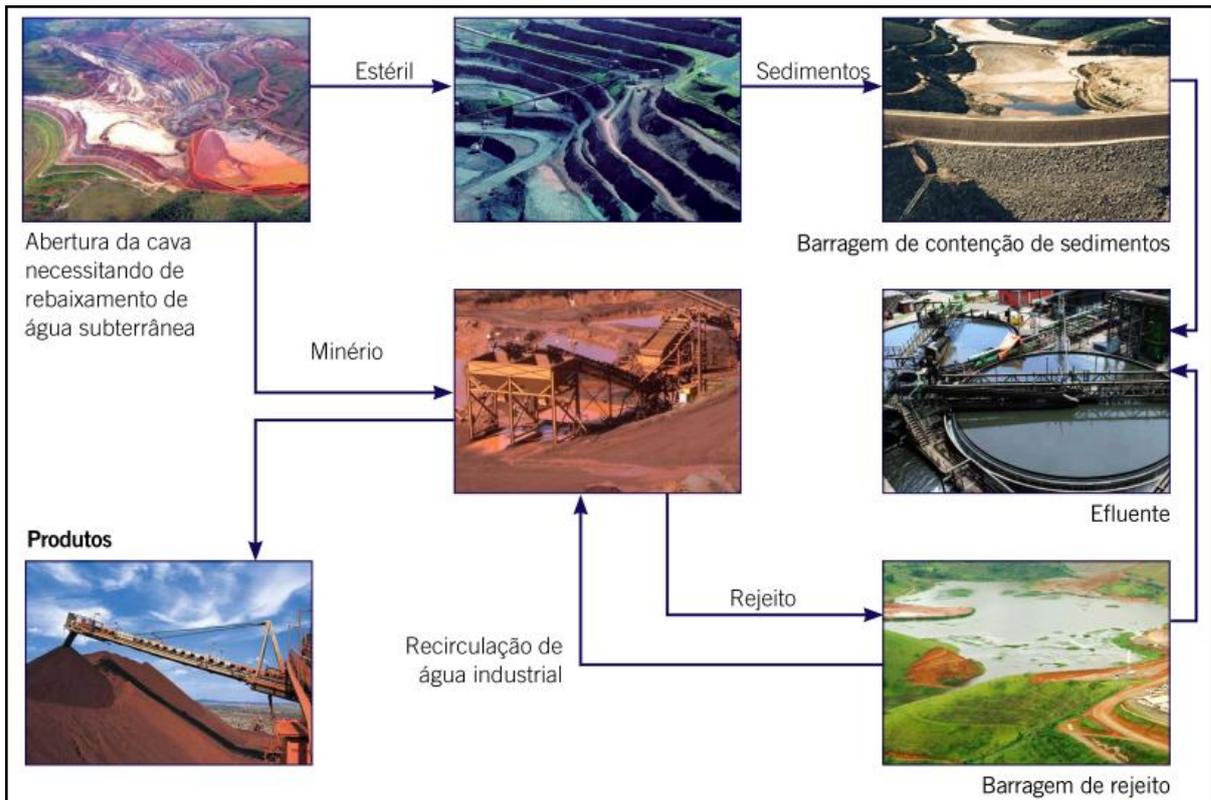


Figura 1 – Ciclo de operação da mineração a céu aberto

Fonte: IBRAM, 2012, p.9

Em relação aos efluentes líquidos, dependendo das condições litológicas e mineralógicas e do processo de drenagem empregado, pode-se obter um efluente de excelente qualidade, próprios para a irrigação ou o uso industrial. Porém, quando se apresentam problemas de acidez, ocorrência de metais pesados, elevada salinidade, entre outros problemas associados à contaminação, a água deve ser acumulada em barragens de evaporação ou adequadamente tratada para conseguir um nível de qualidade aceitável para descarga. Nesse caso devem-se observar aspectos como a temperatura da água, a quantidade de sólidos em suspensão e, em especial um dos maiores problemas, o nível de acidez da água, que pode afetar de forma importante a qualidade das águas. A acidez é provocada pela chamada drenagem ácida de mina, que ocorre quando as águas ácidas se formam no interior das cavas das minas ou em contato com as pilhas de estéril ou rejeitos (ANA e IBRAM, 2006).

Em relação à drenagem da água, se forem aplicadas as tecnologias adequadas, a água de mina pode se tornar um importante ativo integrado à gestão do uso da água. Entre as técnicas mais indicadas, está a Drenagem Preventiva de Avanço (DPA), que consiste na adequada retirada de água do aquífero para áreas distantes da lavra, evitando assim, a contaminação decorrente das operações (ANA e IBRAM, 2006).

Neste sentido, destaca-se a importância do controle da qualidade das águas na mineração, com a efetiva gestão deste recurso, por meio de métodos de prevenção, correção e tratamentos ativos e passivos. Assim, o êxito e a viabilidade da atividade

da mineração dependem fortemente da sua interação com a água, exigindo conhecimento do contexto hidrológico e adequada interação, tanto nas fases de exploração, operação, fechamento e pós-fechamento das minas, bem como no tratamento dos minérios (ANA e IBRAM, 2006).

Segundo Fennel (2012), a gestão do uso da água é um dos maiores desafios para o desenvolvimento seguro e econômico na mineração. Para autor, é necessária uma abordagem integrada e holística da gestão da água, levando em consideração aspectos científicos, de engenharia e regulatórios, para garantir o desenvolvimento sustentável e o aproveitamento das oportunidades de inovação na gestão do uso da água.

3. Método do estudo

Este capítulo tem por objetivo descrever o método do estudo e os procedimentos adotados no desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente, destaca-se que este estudo consiste de uma pesquisa bibliométrica, quantitativa, que tem por objetivo identificar as principais características da produção científica internacional relacionada aos temas “água” e “mineração”, nos últimos dez anos. Neste sentido, desenvolveu-se uma busca na base de dados *Web of Science*, compreendendo o período de publicações entre 2003 a 2012.

De acordo com Silva (2004), a bibliometria tem o objetivo de analisar a atividade científica ou técnica por meio do estudo quantitativo das publicações. Nesse sentido, um estudo bibliométrico consiste na aplicação dos métodos estatísticos sobre o conjunto de referências bibliográficas e ajuda a conhecer o estágio de evolução em que a pesquisa em determinada área se encontra (ROSTAINING, 1997; MACEDO, CASA NOVA e ALMEIDA, 2009)

Os dados para realização desta pesquisa foram coletados através da base *Web of Science* do *Institute for Scientific Information (ISI)*. Esta fonte de dados consiste em uma base multidisciplinar que possui mais de 12.000 periódicos e 148.000 anais de conferências nas áreas de ciências, ciências sociais, artes e humanidades, entre aqueles mais citados em suas respectivas áreas. (CAPES, 2011; WEB OF SCIENCE, 2013).

Neste sentido, utilizou-se o mecanismo de busca disponível na *Web of Science* e realizou-se a busca utilizando as palavras-chave “Água” (water) e “Mineração” (mining). O período de consulta foi restrito do ano 2003 a 2012, totalizando 10 anos. Os resultados foram analisados em torno de suas principais características, tais como os tipos da produção, os principais autores, instituições, países e agências financiadoras. Analisou-se, ainda, o ano, as fontes dos dados, as áreas temáticas e o idioma das publicações.

Por fim, realizou-se a análise do número de citações e o impacto destes estudos. Para tanto, utilizou-se o índice-h-b e o índice m. O índice-h foi proposto por Hirsch (2005) como forma de caracterizar a produção científica de um pesquisador. Posteriormente, Banks (2006) propôs o índice h-b, uma extensão do índice h, obtido por meio do número de citações de um tópico (ou combinação de tópicos) em determinado período, listados em ordem decrescente de citações. O índice h-b é expresso pelo número de publicações que obtiveram um número de citações igual ou maior à sua posição no ranking.

O índice m, por sua vez, é calculado por meio da divisão do índice h-b pelo período de anos que se deseja obter informações (BANKS, 2006). De acordo com o autor, é realizada a seguinte classificação, de acordo com o índice m, conforme exposto na Tabela 1, a seguir

Tabela 1 – Classificação da publicação de acordo com o índice m

Índice m	Tópico ou combinação de tópicos
$0 < m \leq 0,5$	O tópico/combinação pode ser de interesse para pesquisadores em um campo específico de pesquisa, o qual engloba uma comunidade pequena.
$0,5 < m \leq 2$	O tópico/combinação provavelmente pode ser um “hot topic” como área de pesquisa, onde a comunidade é muito grande ou o tópico/combinação apresenta características muito interessantes.
$m \geq 2$	É um tópico/combinação exclusivo, onde as consequências têm um alcance não apenas na sua própria área de pesquisa. É provável que seja um tópico/combinação com efeitos de aplicação ou características únicas.

Fonte: Baseado em Banks 2006

A partir da caracterização do estudo, pode-se avançar em direção aos resultados da pesquisa.

4. Análise dos resultados

Conforme proposto no objetivo deste estudo, esta seção apresenta as principais características da produção científica internacional relacionada aos tópicos ‘Água’ (*water*) e ‘Mineração’ (*mining*). Os resultados apresentados referem-se, inicialmente, ao levantamento das principais características da produção científica no período compreendido entre os anos de 2003 e 2012, por meio da pesquisa realizada na base de dados *Web of Science*. Em seguida, é apresentada análise das citações dos artigos compreendidos nesta pesquisa.

4.1 Características das publicações

A Consulta realizada na base *Web of Science* resultou em um levantamento de 9.957 publicações que relacionam os tópicos ‘água’ e ‘mineração’. Ao longo do período de dez anos, a produção científica associada a estas temáticas apresentou um crescimento significativo, passando de 715 publicações no ano de 2003, para 1.308 estudos em 2013, conforme apresentado na Figura 2, a seguir. Neste período, pode-se destacar a produção científica do ano de 2008, que apresentou um crescimento significativo, comparado ao ano anterior.

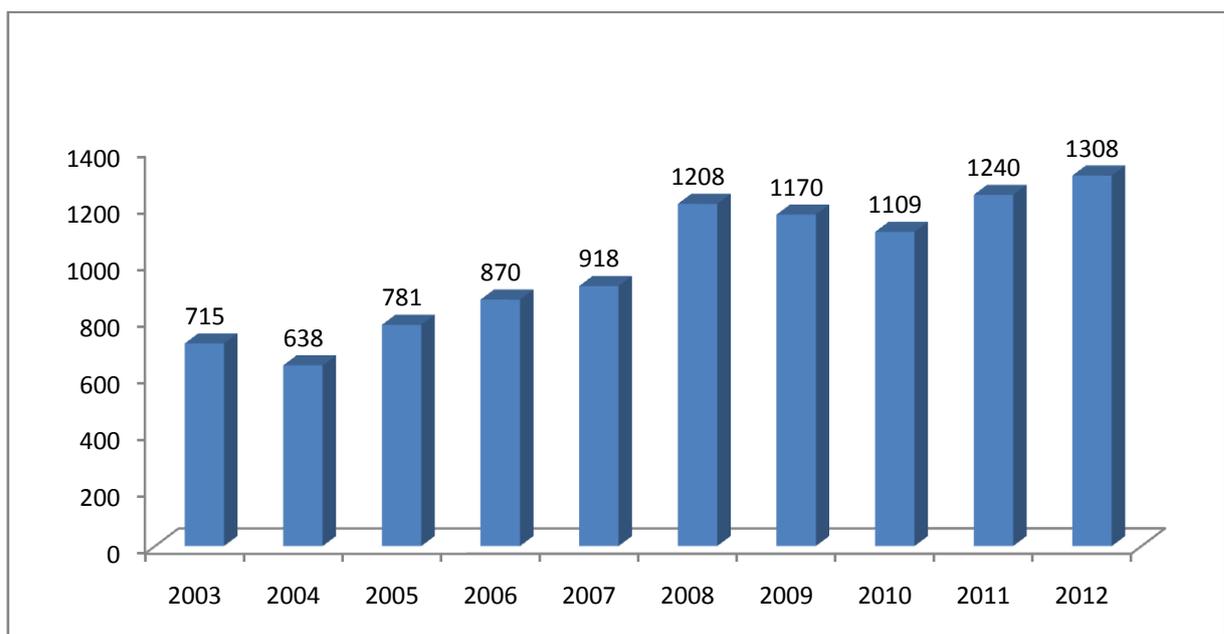


Figura 2 – Evolução da produção científica ao longo dos anos.

Fonte: Dados da pesquisa – *Web of Science*.

Ressalta-se que grande parte dos estudos são artigos, representando aproximadamente 75% destes, conforme evidenciado na Tabela 2. Destacam-se, ainda, os *papers* publicados em anais de congressos e as revisões (*reviews*). Pode-se afirmar que a maior parte destas publicações é considerada produção científica.

Tabela 2 – Classificação da produção quanto ao tipo de estudo

	Tipo de produção	Publicações¹	%
1º	Artigos	7448	74,80%
2º	<i>Papers</i> em anais	2800	28,12%
3º	Revisões (<i>reviews</i>)	328	3,29%
4º	Resumos de reuniões	49	0,49%
5º	Materiais editoriais	23	0,23%
6º	Capítulos de livro	13	0,13%
7º	Correções	12	0,12%
8º	Notícias	9	0,09%
9º	Biografias	2	0,02%
10º	Cartas	2	0,02%

¹ Os estudos podem ser classificados em mais de uma categoria

Fonte: Dados da pesquisa – *Web of Science*.

Tendo em vista que os artigos e os *papers* em anais são predominantes entre as publicações, torna-se importante destacar os títulos das principais fontes de estudos. Nesse sentido, a Tabela 3 apresenta os nomes dos periódicos e anais de congressos com os maiores números de publicações nesta temática.

Tabela 3 – Principais fontes de estudos

	Título das fontes	Publicações
1º	<i>Appliedgeochemistry</i>	303
2º	<i>Science of the total environment</i>	233
3º	<i>Advancedmaterialsresearch</i>	210
4º	<i>Environmental sciencetechnology</i>	167
5º	<i>Environmental geology</i>	159
6º	<i>Journalofhazardousmaterials</i>	150
7º	<i>Water air and soil pollution</i>	143
8º	<i>Australasian institute of mining and metallurgy publication series</i>	123
9º	<i>Mine water and the environment proceedings</i>	118
10º	<i>Geochimica et cosmochimica acta</i>	115
11º	<i>Mine water and the environment</i>	114
12º	<i>Journalofgeochemicalexploration</i>	109
13º	<i>Environmental monitoringandassessment</i>	106
14º	<i>Environmental earthsciences</i>	101
15º	<i>Chemosphere</i>	93
16º	<i>Environmental pollution</i>	91
17º	<i>Waterresearch</i>	86
18º	<i>Proceedings of the society of photo optical instrumentation engineers spie</i>	80
19º	<i>Chemicalgeology</i>	78
20º	<i>Mineralsengineering</i>	65
21º	<i>Environmental geochemistryandhealth</i>	63
22º	<i>Proceedings and monographs in engineering water and earth sciences</i>	63
23º	<i>International journal of coal geology</i>	60
24º	<i>Journalofenvironmentalquality</i>	57

Fonte: Dados da pesquisa – *Web of Science*.

Conforme observado, destacam-se entre as principais fontes os seguintes *Journals*: ‘*Appliedgeochemistry*’, ‘*Science ofthe total environment*’, ‘*Advancedmaterialsresearch*’, ‘*Environmental sciencetechnology*’, ‘*Environmental geology*’. Ressalta-se que, entre os cinco *journals* em destaque, três destes possuem o seu escopo voltado para as questões ambientais, o que evidencia a aproximação da sustentabilidade com as questões que envolvem a água e a mineração.

Foram evidenciados, ainda, os principais autores dos estudos nestas temáticas e a quantidade de publicações a eles associada. Conforme descrito na Tabela 4, a seguir, o autor ‘NIETO, J. M.’ se destaca entre aqueles que possuem maior produção nesta área. Pôde-se evidenciar ainda uma pequena concentração da produção científica, na medida em diversos autores figuram entre os 25 principais nomes, com quantidade relativamente equivalente de publicações.

Tabela 4 – Principais autores das publicações

Autor		Publicações	Autor		Publicações
1º	NIETO JM	49	14º	GAMMONS CH	23
2º	AYORA C	36	15º	SOARES AMVM	23
3º	BUSSIERE B	31	16º	AUBERTIN M	22
4º	ONSTOTT TC	31	17º	BENZA AZOUA M	22
5º	JOHNSON DB	30	18º	CASIOT C	22
6º	YOUNGER PL	30	19º	GRANDE JA	22
7º	CRAW D	28	20º	DOLD B	21
8º	FENG XB	26	21º	HALLBERG KB	21
9º	BLOWES DW	25	22º	LI J	21
10º	WU Q	25	23º	DE LA TORRE ML	20
11º	YANFUL EK	24	24º	OLIAS M	20
12º	ZHANG Y	24	25º	SARMIENTO AM	20
13º	ELBAZ-POULICHET F	23			

Fonte: Dados da pesquisa – *Web of Science*.

A identificação dos países de origem da produção científica envolvendo as temáticas ‘água’ e ‘mineração’ está apresentada na Tabela 5, a seguir. Pode-se observar a predominância dos estudos oriundos dos Estados Unidos e da China, seguidos de Canadá, Alemanha e Austrália. Ressalta-se a presença do Brasil neste *ranking*, ocupando a 12ª posição entre os países com maior número de publicações.

Tabela 5 – Principais países de origem das publicações

País		Publicações	País		Publicações
1º	Estados Unidos	2106	14º	Portugal	217
2º	China	1383	15º	Japão	216
3º	Canadá	882	16º	Turquia	185
4º	Alemanha	708	17º	Coreia do Sul	180
5º	Austrália	639	18º	Rússia	160
6º	Espanha	618	19º	República Checa	141
7º	Inglaterra	424	20º	Suécia	133
8º	França	371	21º	Holanda	125
9º	Polônia	318	22º	Chile	123
10º	Índia	311	23º	Suíça	120
11º	África do Sul	293	24º	Iran	112

12º	Brasil	270	25º	Nova Zelândia	106
13º	Itália	225			

Fonte: Dados da pesquisa – *Web of Science*.

Os resultados da pesquisa evidenciam que, apesar da multiplicidade de países, existe elevada predominância do idioma inglês nas publicações internacionais. Conforme se observa na Tabela 6, 98% dos estudos listados na pesquisa são disponibilizados neste idioma.

Tabela 6 – Principais idiomas das publicações

	Idioma	Publicações	%
1º	Inglês	9712	98%
2º	Polonês	63	0,6%
3º	Espanhol	40	0,4%
4º	Português	33	0,3%
5º	Chinês	32	0,3%

Fonte: Dados da pesquisa – *Web of Science*.

São destacadas, ainda, as principais instituições de acordo com o número de publicações que abordas as temáticas estudadas. De acordo com a Tabela 7, as instituições que predominam na produção científica relacionada à 'água' e 'mineração' são as seguintes: *U.S. Geological Survey, Chinese Academy of Sciences, China University of Mining And Technology, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Helmholtz Centre for Environmental Research*.

Tabela 7 – Principais instituições de acordo com o número de publicações

	Instituição	Publicações
1º	<i>U.S. Geological Survey</i>	240
2º	<i>Chinese Academy of Sciences</i>	203
3º	<i>China University of Mining And Technology</i>	158
4º	<i>Consejo Superior de Investigaciones Científicas</i>	117
5º	<i>Helmholtz Centre for Environmental Research</i>	112
6º	<i>Russian Academy of Sciences</i>	95
7º	<i>Universidad de Huelva</i>	94
8º	<i>University of Saskatchewan</i>	75
9º	<i>Universidade de Aveiro</i>	72
10º	<i>University of Waterloo</i>	71
11º	<i>The University of British Columbia</i>	67
12º	<i>University of Alberta</i>	64
13º	<i>US Environmental Protection Agency</i>	64
14º	<i>Shandong University of Science and Technology</i>	55
15º	<i>China University of Geosciences</i>	54
16º	<i>University of California, Berkeley</i>	54
17º	<i>West Virginia University</i>	54
18º	<i>Council for Scientific and Industrial Research</i>	49
19º	<i>University of Western Ontario</i>	49
20º	<i>Queen's University</i>	48
21º	<i>Brandenburg Technical University Cottbus</i>	47
22º	<i>Colorado School of Mines</i>	46
23º	<i>The Ohio State University</i>	46
24º	<i>The University of Queensland</i>	46
25º	<i>Henan Polytechnic University</i>	45

Fonte: Dados da pesquisa – *Web of Science*.

Cabe ressaltar que, apesar o Brasil de figurar entre os 12 principais países com publicações nesta temática, nenhuma instituição de ensino ou pesquisa brasileira foi relacionada entre as 25 instituições em destaque. De acordo com a pesquisa, as universidades brasileiras melhor classificadas neste ranking são a *Universidade Federal do Rio de Janeiro* e a *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, posicionadas nas na 122ª e 123ª colocações, com 21 publicações cada. Entre as agências financiadoras das pesquisas, destacam-se as cinco organizações listadas na Tabela 8, a seguir.

Tabela 8 – Agências financiadoras

	Agência Financiadora	Publicações
1º	<i>National Natural Science Foundation Of China</i>	137
2º	<i>Natural Sciences And Engineering Research Council Of Canada</i>	129
3º	<i>National Science Foundation</i>	61
4º	<i>Spanish Government</i>	33
5º	<i>ChineseAcademyOfSciences</i>	29

Fonte: Dados da pesquisa – *Web of Science*.

Por fim, são apresentadas as áreas de pesquisa das publicações relacionadas com os termos ‘água’ e ‘mineração’. A Tabela 9, a seguir, apresenta as 25 áreas em destaque nos resultados obtidos neste levantamento.

Tabela 9 – Principais áreas de pesquisa

	Áreas de pesquisa	Publicações
1º	<i>Ciência Ambiental e Ecologia (Environmental SciencesEcology)</i>	3563
2º	<i>Engenharia (Engineering)</i>	2475
3º	<i>Geologia (Geology)</i>	1576
4º	<i>Recursos Hídricos (WaterResources)</i>	1484
5º	<i>Mineração, Processamento Mineral (Mining, Mineral Processing)</i>	927
6º	<i>Geoquímica, Geofísica (Geochemistry, Geophysics)</i>	903
7º	<i>Química (Chemistry)</i>	552
8º	<i>Agricultura (Agriculture)</i>	431
9º	<i>Água Doce marinha, Biologia (Marine Freshwater, Biology)</i>	426
10º	<i>Ciência dos Materiais (Materials Science)</i>	365
11º	<i>Mineralogia (Mineralogy)</i>	362
12º	<i>Energia, Combustíveis (Energy, Fuels)</i>	344
13º	<i>Ciências da Computação (Computer Science)</i>	299
14º	<i>Metalurgia, Engenharia Metalúrgica (Metallurgy, MetallurgicalEngineering)</i>	284
15º	<i>Toxicologia (Toxicology)</i>	270
16º	<i>Meteorologia, Ciências atmosféricas (MeteorologyAtmospheric Science)</i>	252
17º	<i>Biotecnologia aplicada à Microbiologia (BiotechnologyAppliedMicrobiology)</i>	208
18º	<i>Saúde ocupacional pública (Public Environmental Occupational Health)</i>	196
19º	<i>Microbiologia (Microbiology)</i>	175
20º	<i>Física (Physics)</i>	164
21º	<i>Oceanografia (Oceanography)</i>	161
22º	<i>Bioquímica, Biologia Molecular (Biochemistry, Molecular Biology)</i>	128
23º	<i>Teledetecção (Remote Sensing)</i>	119
24º	<i>Ciências das plantas (PlantSciences)</i>	117
25º	<i>Ciências tecnológicas e outros tópicos (Science Technology OtherTopics)</i>	117

Fonte: Dados da pesquisa – *Web of Science*.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 9, pode-se perceber que a área de pesquisa com o maior número de publicações, 'Ciência Ambiental e Ecologia' (*Environmental Sciences Ecology*), está associada aos aspectos ambientais, o que corrobora com o as evidências de uma maior aproximação destes estudos com a temática da sustentabilidade. Destacam-se, em seguida, as áreas temáticas 'Engenharia' (*Engineering*), 'Geologia' (*Geology*), 'Recursos Hídricos' (*Water Resources*) e 'Mineração, Processamento Mineral' (*Mining, Mineral Processing*), que em sua maioria estão relacionadas aos aspectos técnicos dos associados à mineração. Por fim, evidencia-se a multidisciplinariedade das pesquisas associadas à 'água' e 'mineração', na medida em que abrangem diferentes campos de conhecimento e analisam o fenômeno de diversas perspectivas.

4.2 Identificação dos artigos mais citados

A partir do levantamento e da caracterização das 9.957 publicações resultantes da pesquisa com os termos 'água' e 'mineração', procedeu-se a identificação das características das citações destes trabalhos. Inicialmente, é apresentada, na Figura 3, a evolução das citações das referidas publicações ao longo dos últimos anos.

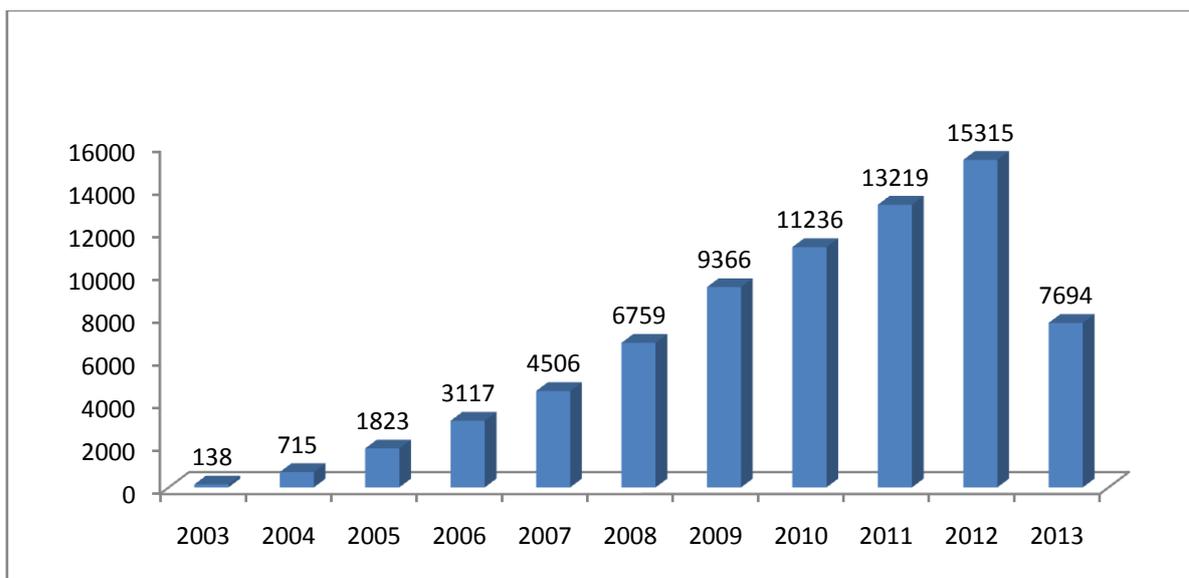


Figura 3 – Citações destas publicações ao longo dos últimos anos

Pode-se observar, portanto, a crescente evolução das citações dos artigos resultantes desta pesquisa. O número inferior de citações em 2013 se deve ao fato desta consulta ocorrer no mês de julho do referido ano, e com isto, o número total de citações neste ano não estão consolidados. Destaca-se ainda, segundo os dados da pesquisa, que a número médio de citações por ano é equivalente a 6.157,44 citações/ano.

Em seguida, são apresentadas as principais características do impacto deste conjunto de publicações, conforme descrito na Tabela 9. Observa-se que as 9.957 publicações relacionadas aos tópicos 'água' e 'mineração' foram citadas 73.889 vezes. Excluindo autocitações, ou seja, quando as citações são realizadas pelos próprios autores, tem-se o número de 59.003 citações destas publicações. Foram

identificadas citações em 47.158 artigos diferentes, sendo que, destes, 43.196 artigos não há a ocorrência de autocitação.

Tabela 10 – Característica das citações

Característica ¹	
Número de publicações	9.957
Total de citações	73.889
Total de citações, excluindo 'autocitações'	59.003
Numero de artigos que citam estas publicações	47.158
Numero de artigos que citam estas publicações, excluindo 'autocitação'	43.196
Média de citações por publicação	7,42
Índice h-b	77
Índice m	7,7

¹Os valores referem-se à consulta em 24/07/2013

Fonte: Dados da pesquisa – *Web of Science*.

Destaca-se, ainda, o índice h-b e o índice m deste conjunto de publicações. Os referidos resultados evidenciam a relevância da publicação científica associada aos tópicos 'água' e 'mineração', na medida em que pode ser considerada, de acordo com Banks (2006), um *hot topic*. Segundo o autor, um conjunto de publicações que possui índice-m > 2 pode ser descrito como um tópico exclusivo, com conseqüências de alcance em diversas áreas do conhecimento e efeitos de aplicação ou características únicas.

Por fim, são apresentados os estudos com maiores índices de citação entre as publicações relacionadas. A Tabela 11, a seguir, descreve as principais características destas dez publicações e o número de citações observadas. Conforme observado na Tabela 12, o artigo de 'Bruijnzeel, LA.', denominado '*Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?*' é considerado o artigo mais citado, no período de 2003- 2013, entre os artigos que associam os termos 'água' e 'mineração'. Destaca-se que, entre os autores dos dez artigos mais citados, apenas 'Johnson, DB', que possui dois artigos nesta relação, está presente na Tabela 4, que aponta os principais autores nas temáticas relacionadas. Ressalta-se, ainda, os *journals* '*Science Of The Total Environment*', '*Chemosphere*', e '*Water Research*', que estão entre os periódicos com maior número de artigos (Tabela 3), bem como possuem artigos que estão entre os dez mais citados.

Tabela 11 – Artigos mais citados

Publicações	Número de Citações
Bruijnzeel, LA. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? <i>Agriculture Ecosystems & Environment</i> , v.104, n 1, pp. 185-228. 2004	274
Johnson, DB; Hallberg, KB. Acid mine drainage remediation options: a review. <i>Science Of The Total Environment</i> . V. 338 N. 1-2 pp 3-14.	242
Bertin, G.; Averbeck, D. Cadmium: cellular effects, modifications of biomolecules, modulation of DNA repair and genotoxic consequences (a review). <i>Biochimie</i> . V.88 N.11 pp. 1549-1559. 2006	234
Wong, MH. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. <i>Chemosphere</i> . V.50, N6, pp. 775-78. 2003	231

Cho, M; Chung, H; Choi, W; et al. Linear correlation between inactivation of E-coli and OH radical concentration in TiO ₂ photocatalytic disinfection. <i>Water Research</i> . V.38 N.4 pp.1069-1077. 2004	204
Waychunas, GA; Kim, CS; Banfield, JF. Nanoparticulate iron oxide minerals in soils and sediments: unique properties and contaminant scavenging mechanisms. <i>Journal Of Nanoparticle Research</i> . V. 7 N. 4-5 pp. 409-433. 2005	190
Walling, DE; Fang, D. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. <i>Global And Planetary Change</i> . V. 39, N. 1-2, pp. 111-126. 2003	190
Borja, A; Muxika, I; Franco, J. The application of a Marine Biotic Index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. <i>Marine Pollution Bulletin</i> . V.46 N.7, pp. 835-845. 2003	160
Taeymans, D; Wood, J; Ashby, P; et al. A review of acrylamide: An industry perspective on research, analysis, formation and control. <i>Critical Reviews In Food Science And Nutrition</i> . V. 44, N.5, pp. 323-347. 2004	157
Johnson, DB; Hallberg, KB. The microbiology of acidic mine waters. <i>Research In Microbiology</i> . V.154 N. 7, pp. 466-473. 2003	156

Fonte: Dados da pesquisa – *Web of Science*.

Destaca-se que os artigos mais citados abordam, em sua maioria, a questão água-mineração do ponto de vista técnico, contemplando aspectos de engenharia, geologia e biologia. Destaca-se, neste sentido, a ausência de estudos de maior impacto que tratem desta temática do ponto de vista da gestão empresarial.

Por fim, cabe ressaltar a relevância da temática da sustentabilidade nos estudos que envolvem a água e a mineração. Entre os artigos mais citados, destacam-se os assuntos que buscam a análise, o controle e a minimização dos impactos provocados pela mineração, nos corpos d'água e nos solos. Dessa forma, evidencia-se que os principais estudos dos tópicos pesquisados visam contribuir para uma atividade mineral mais eficiente e sustentável.

5. Considerações finais

O presente estudo teve por objetivo identificar as principais características da produção científica internacional relacionada aos termos “água” e “mineração” nos últimos dez anos. Neste sentido, foi desenvolvido um estudo bibliométrico, por meio da base de dados *Web of Science*, relacionando os tópicos citados, identificando 9.957 publicações, das quais destacam-se os artigos científicos, que correspondem a 75% destas.

Entre os principais resultados pode-se destacar o crescimento da produção associada ao tema nos últimos anos. Os periódicos *Applied Geochemistry* e *Science of the Total Environment*, se destacam entre aqueles que possuem o maior número de publicações. Entre as instituições, *U.S. Geological Survey* e *Chinese Academy of Sciences* são aquelas que obtiveram maior representatividade. O autor com maior número de estudos que envolvem as temáticas de água de mineração é 'NIETO J.M.', com 49 publicações.

Em sua maioria, os estudos são oriundos dos Estados Unidos e Canadá e estão associados às áreas de pesquisa 'Ciência Ambiental e Ecologia' (*Environmental Sciences Ecology*), 'Engenharia' (*Engineering*) e 'Geologia' (*Geology*). Nesse sentido, evidencia-se a preocupação com aspectos ambientais relacionados à temática da água na mineração.

Destaca-se, por fim, que ao analisar as citações das publicações relacionadas, observa-se que esta combinação de tópicos (água e mineração) é considerada um 'hot topic', na medida em que possui um índice de impacto elevado e que pode ser considerado um tópico exclusivo, com alcance em diversas áreas do conhecimento ou características únicas.

Como limitações deste estudo, considera-se o fato deste ter sido operacionalizado em apenas uma base de dados. Sugere-se, portanto, a realização de outras incursões de pesquisa maior amplitude.

Ressalta-se, por fim, que os resultados desta pesquisa são relevantes, portanto, para a construção do conhecimento científico sobre a temática abordada. A pesquisa bibliométrica permitiu ampliar a compreensão dos temas e abordagens utilizadas na construção deste campo de conhecimento. Possibilitou, ainda, a identificação dos estudos associados à sustentabilidade na temática abordada, com vistas a uma mineração mais eficiente e sustentável.

Bibliografia

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL) – ANA; INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. *A gestão dos recursos hídricos e a mineração*. Brasília: ANA, 2006. 334 p.

ALMEIDA, F. *Os desafios da sustentabilidade: uma ruptura urgente*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

AZAPAGIC, A. Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 12, n. 6, p.639-662, ago. 2004.

BANKS, M. G. An extension of the Hirsch index: indexing scientific topics and compounds. *Scientometrics*, v.69 pp. 161-168. 2006. Disponível em <<http://www.arxiv.org/abs/physics/0604216>> Acesso em Jul. 2013.

BARBIERI, J. C. *Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*. 2.ed. ver. e ampl. São Paulo: Saraiva, 2007.

CAPES 2012. *Web of Science lança nova versão de base de dados*. 2001. Disponível em <<http://www.capes.gov.br/36-noticias/4484-web-of-science-lanca-nova-versao-de-base-de-dados>>. Acesso em: 24 jul. 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. *Economia mineral do Brasil*. Antonio Fernando da Silva Rodrigues (coord.). Brasília-DF: DNPM, 2009.

EMBRAPA, *A água nossa de cada dia*. Brasília, 2009. Disponível em <<http://www.embrapa.br/embrapa/imprensa/artigos/2009/a-agua-nossa-de-cada-dia>> Acesso em 28 jun. 2011. 2009.

FENNEL, J. Total water management: a necessary paradigm for sustainability. In: *Water in Mining 2012 – 3rd International Congress on Water Management in the*

Mining Industry.. 2012. Santiago, Chile; *Anais...* GECAMIN - Conferences for mining e Centre for Water in the Minerals Industry. 2012.

FRANKS, D. M. et al. Sustainable development principles for the disposal of mining and mineral processing wastes. *Resources Policy*. V. 36 n. 2, p. 114-122. 2011

GUNSON, A. J. et al. Reducing mine water requirements. *Journal of Cleaner Production*. v.21 n. 1 p. 71-82. Jan. 2012.

HILSON, G.; MURCK, B. Sustainable development in the mining industry: clarifying the corporate perspective. *Resources Policy*. v. 26 p. 227–238. 2000.

HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 102, n. 46, p. 16569-16572, 2005.

MACEDO, M. A. S.; CASA NOVA, S. P.; ALMEIDA, K. Mapeamento e análise bibliométrica da utilização da análise envoltória de dados (DEA) em estudos das áreas de contabilidade e administração. *Contabilidade, Gestão e Governança*. v. 12, n. 3, pp. 87 – 101. 2009.

MCLELLAN, B.C. et al. Incorporating sustainable development in the design of mineral processing operations – Review and analysis of current approaches. *Journal of Cleaner Production*. v. 17 p. 1414–1425. 2009.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. *Perfil da água mineral*. Lucio Carramillo Caetano (consultor). Brasília-DF: MME, 2009.

MIRANDA, E. E. de. *A água na natureza e na vida dos homens*. Aparecida (SP): Ideias e Letras, 2004. 141p.

ROSTAING, H. *La bibliométrie et ses techniques*. Toulouse: Sciences de la Société; Marseille: Centre de Recherche Rétrospective de Marseille, 1997.

SILVA, M. R. Análise bibliométrica da produção científica docente do programa de pós-graduação em educação especial/UFSCar: 1998-2003. *Dissertação* (Mestrado em Educação Especial) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

SILVA, S. S. et al. Influência de diferentes perspectivas ambientais sobre a política de cobrança pelo uso da água no Brasil. In: XXXII ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO. 2008. Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração. 2008.

TUNDISI, J. G. Recursos Hídricos: o futuro dos recursos. *Revista Multiciência*. v. 1 out. 2003.

WEB OF SCIENCE. *Web of Science*. 2013. Disponível em http://wokinfo.com/media/mtrp/wok5_wos_qrc_pt.pdf. Acesso em 24 jul. 2013.

