



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

Recebido: 24/02/2014

Aprovado: 25/04/2014

<sup>1</sup>Roberto Schoproni Bichueti

<sup>2</sup>Lucia Rejane da Rosa Gama Madruga

<sup>3</sup>Clandia Maffini Gomes

<sup>4</sup>Luciana Aparecida Barbieri da Rosa

### RESUMO

A água é considerada um recurso estratégico para o desenvolvimento de uma mineração mais sustentável. É consenso, entre os envolvidos na mineração, que há uma dualidade na relação entre água e mina. Se, por um lado, esse é um bem natural extremamente necessário em diversas atividades dessa indústria, por outro é 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 à temática nos últimos dez anos. Desenvolveu-se um estudo bibliométrico, utilizando a base de dados Web of Science, relacionando os termos “água” (*water*) e “mineração” (*mining*), no período de 2003 a 2012. Foram identificados os estudos mais relevantes, por meio do levantamento dos dez estudos mais citados ao longo deste período. Foram verificadas 9.957 publicações, com artigos científicos representando 75% do total. Ressalta-se a relevância da temática da sustentabilidade nos estudos que envolvem água e mineração.

**Palavras chave:** sustentabilidade, água, mineração, bibliometria.

---

<sup>1</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Administração - PPGA/UFSM  
Professor Substituto no Departamento de Ciências Administrativa – UFSM  
E-mail: [robertobichueti@hotmail.com](mailto:robertobichueti@hotmail.com)

<sup>2</sup> Doutora na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil  
Professora na Universidade Federal de Santa Maria - UFSM  
E-mail: [luciagm@ufsm.br](mailto:luciagm@ufsm.br)

<sup>3</sup> Doutora na Universidade de São Paulo, USP, Brasil.  
Coordenadora do Curso de Doutorado na Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Brasil  
E-mail: [clandiamg@gmail.com](mailto:clandiamg@gmail.com)

<sup>4</sup> Mestrado na Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Brasil.  
Professora na Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Brasil.  
E-mail: [lucianaaparecidabarbieri@yahoo.com.br](mailto:lucianaaparecidabarbieri@yahoo.com.br)



## USE OF WATER IN MINING: AN ANALYSIS OF PRODUCTION INTERNATIONAL SCIENTIFIC

### 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 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

## EL USO DEL AGUA EN LA MINERÍA: UN ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL

### RESUMEN

El agua es considerada un recurso estratégico en busca de una minería sostenible. El consenso entre los involucrados en la minería de la dualidad de la relación agua-mina, en la medida en que es extremadamente necesaria en diversas actividades de la industria, sin embargo, es la fuente de muchas preocupaciones. Dada la importancia del uso del agua en la actividad del sector minero, este estudio tiene como objetivo identificar las principales características de producción científica internacional relacionada a esta temática en los últimos diez años. Se desarrolló un estudio bibliométrico, a través de La base de datos Web of Science, relacionando los términos "agua" (water) y "Minería"

(mining), en el periodo de 2003 y 2012. Fueron identificados, los estudios más relevantes en esta temática, por medio de investigación de los diez estudios más citados a lo largo de este período, fueron identificados. 9.957 publicaciones, siendo los artículos científicos 75% estas. Resalta la relevancia de la temática de sostenibilidad en los estudios relacionados con el agua y la minería. Es evidente que los principales estudios revisados tienen por objeto contribuir a una actividad minera más eficiente y sostenible.

**Palabras-clave:** Sostenibilidad, Agua, Minería; Bibliometría.



## 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 em que as operações estão localizadas, com o subseqüente 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 as etapas de fechamento e pós-fechamento das minas.

Nesse sentido, é consenso entre os envolvidos na mineração a dualidade quando se fala da relação existente entre água e mina. Se, de um lado, o recurso é extremamente necessário em diversas atividades e processos dessa indústria, de outro representa a origem de muitos problemas e preocupações.

A mineração ocorre, frequentemente, em nível freático e pode interferir diretamente nas águas superficiais e subterrâneas, produzindo efeitos hidrológicos (em termos qualitativos e quantitativos), ambientais e econômicos importantes, que podem se estender por muito tempo após o cessar das atividades (ANA & IBRAM, 2006). A água se caracteriza, portanto, como um elemento-chave na busca de uma mineração mais sustentável. 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).

Os bens minerais têm grande importância para a vida moderna, com produtos que são base para diversas indústrias e representam importante papel na economia (DNPM, 2009). No entanto, 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, em especial relacionadas à erosão; o uso da água, desde a quantidade consumida até descargas residuais; e os impactos no ar, tendo em vista a poluição

ocasionada pela transformação dos bens minerais (Azapagic, 2004; Hilson & Murck, 2000; Mclellan, Corder, Giurco, & Green, 2009). A questão da água merece destaque, uma vez que é considerada recurso essencial para a atividade mineradora 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. Apesar de ser classificada como um recurso renovável, de acordo com Barbieri (2007), a água apresenta sinais de deterioração em quase todas as partes do planeta, com prognósticos alarmantes em relação à qualidade e à quantidade disponíveis, sendo de senso comum afirmar que esse 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 essa 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*). Para identificar os estudos mais relevantes nesta temática foi feito um levantamento dos dez 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 o uso sustentável da água, uma vez que se coloca em pauta um dos bens mais importantes, se não o primordial, para a vida na Terra.

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 – faz com que essa questão seja ainda mais desafiadora (Caetano, 2009). A preocupação com a questão da água não se limita à sua disponibilidade, mas também a qualidade é motivo de avaliação. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (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. O acesso ao saneamento básico também contribui para o problema, uma vez 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, pelo menos, a Conferência de Estocolmo, em 1972, sendo considerada, desde então, como um dos recursos naturais que mais despertam preocupação entre os pesquisadores (Silva, Botelho, Leite, & Lourenço, 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

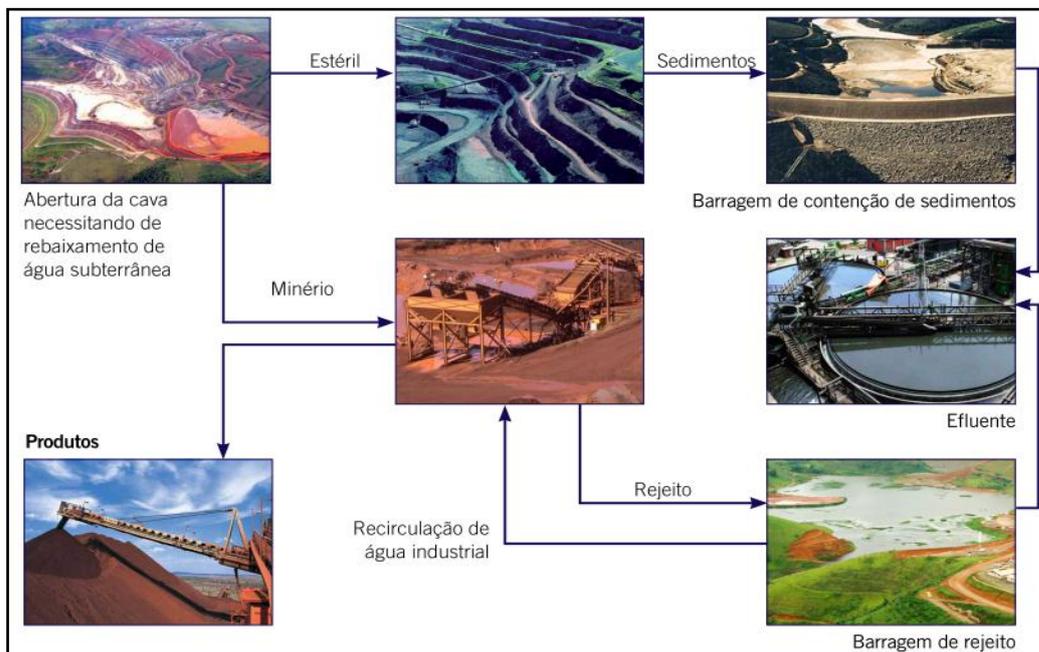
atividades humanas aos limites da capacidade da natureza (ANA & IBRAM, 2006).

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 elas, 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 & IBRAM, 2006).

Segundo a ANA e o IBRAM (ANA & IBRAM, 2006), a indústria mineral está entre as maiores usuárias de água no Brasil, com diversas peculiaridades. Suas atividades compreendem desde empreendimentos de grande porte, com elevado impacto ambiental, com modernas e eficientes gestões, até pequenos garimpeiros, que exploram minas de pequeno porte, com precários controles e planejamentos ambientais (ANA & IBRAM, 2006). De acordo com Gunson, Klein, Veiga e Dunbar (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, pode requerer, de acordo com os autores, em média de 1,9 a 3,0 m<sup>3</sup> de água por tonelada de minério (Gunson et al. 2011). A Figura 1 exemplifica um ciclo operacional em mina a céu aberto, com importantes interações com a água.



Figura 1 – Ciclo de operação da mineração a céu aberto



Fonte: IBRAM, 2012/

Durante o ciclo operacional da mineração a céu aberto, as interações com a água perpassam diversas etapas da produção. Observa-se, inicialmente, a necessidade do rebaixamento da água subterrânea no processo de abertura da cava, com formação de barragens de contenção de sedimentos e depósito de rejeitos, e de tratamento de efluentes. Ressalta-se ainda a recirculação de água industrial, prática observada na maioria das empresas mineradoras de grande porte, segundo Gunson et al. (2011). 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 efluentes líquidos. Durante a vida útil da mina, há geração 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 depois do encerramento das atividades nas minas. Assim, é necessário o adequado isolamento da área para que seja evitado o contato com a água, tanto pluvial quanto de escoamento superficial (ANA &

IBRAM, 2006; Franks, Boger, Côte, & Mulligan, 2011).

Em relação aos efluentes líquidos, dependendo das condições litológicas e mineralógicas e do processo de drenagem empregado, pode-se obter um material de excelente qualidade, próprio para irrigação ou uso industrial. Porém, quando há problemas de acidez, ocorrência de metais pesados, elevada salinidade, entre outros problemas de contaminação, a água deve ser acumulada em barragens de evaporação ou adequadamente tratada para se conseguir um nível de qualidade aceitável para descarga. Nesse caso, deve-se observar aspectos como a temperatura da água, a quantidade de sólidos em suspensão e, em especial por se tratar de um dos maiores problemas, o nível de acidez, 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 & IBRAM, 2006).

Se forem aplicadas as tecnologias adequadas de drenagem, 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 & IBRAM, 2006).

Nesse sentido, destaca-se a importância do controle da qualidade de águas na mineração, com a gestão desse recurso por meio de métodos de prevenção, correção e tratamentos ativos e passivos. O êxito e a viabilidade da atividade da mineração dependem fortemente da sua interação com a água, exigindo conhecimento do contexto hidrológico para uma adequada interação, tanto nas fases de exploração, operação, fechamento e pós-fechamento das minas quanto no tratamento dos minérios (ANA & 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 o 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 e os procedimentos adotados no desenvolvimento da pesquisa. Este estudo consiste em uma pesquisa bibliométrica quantitativa para identificar as principais características da produção científica internacional relacionada aos temas “água” e “mineração” nos últimos dez anos.

De acordo com Silva (2004), a bibliometria tem o objetivo de analisar a atividade científica ou técnica pelo estudo quantitativo das publicações. Um estudo bibliométrico consiste na aplicação de métodos estatísticos sobre um

conjunto de referências bibliográficas, ajudando a conhecer o estágio de evolução em que a pesquisa em determinada área se encontra (Rostaing, 1997; Macedo, Casa Nova & Almeida, 2009).

Os dados para realização desta pesquisa foram coletados através do Web of Science do Institute for Scientific Information (ISI), que consiste em uma base multidisciplinar, com mais de 12.000 periódicos e 148.000 anais de conferências nas áreas de ciências, ciências sociais, artes e humanidades, entre os mais citados em suas respectivas áreas (CAPES, 2011; Web of Science, 2013). Foi utilizado o mecanismo de busca disponível com as palavras-chave “água” (*water*) e “mineração” (*mining*). O período de consulta foi restrito aos artigos publicados de 2003 a 2012, totalizando 10 anos.

Os resultados foram analisados em torno de suas principais características, tais como tipos de produção, 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, foram analisados o número de citações e o impacto dos estudos, utilizando 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 número de anos que se deseja obter informações (Banks, 2006). De acordo com o autor, a classificação pelo índice m é realizada de acordo com a Tabela 1.



**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, que engloba uma comunidade pequena.
$0,5 < m \leq 2$	O tópico/ combinação provavelmente pode ser um <i>hot topic</i> 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.

Com a caracterização do estudo, pode-se avançar em direção aos resultados da pesquisa.

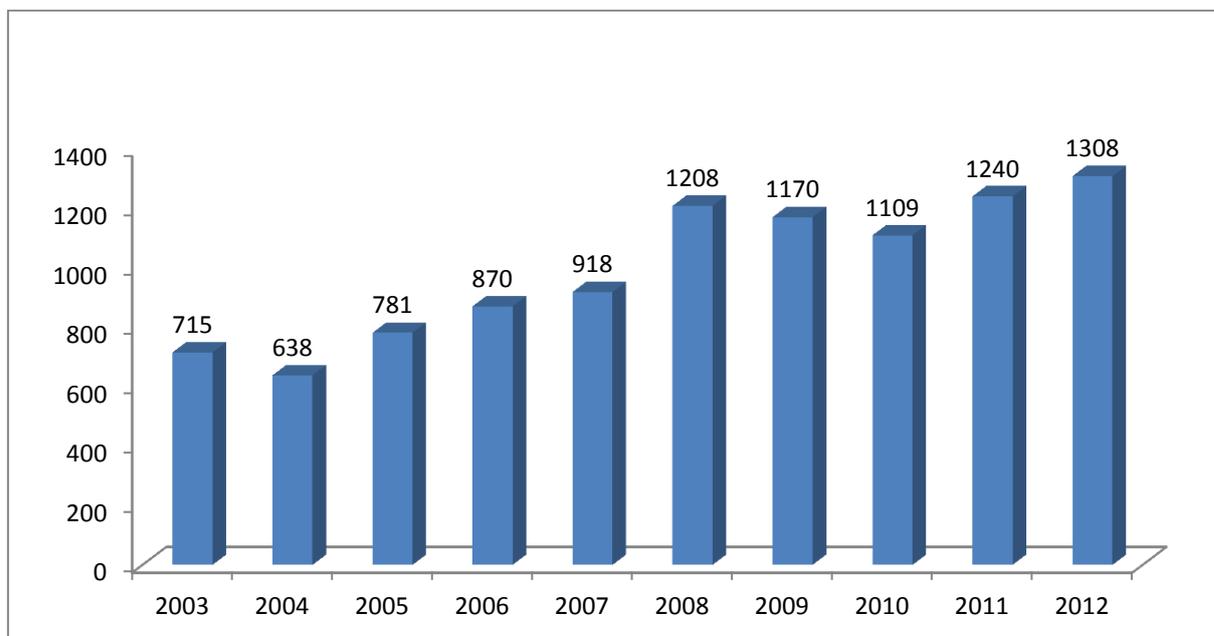
#### 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados referem-se ao levantamento das principais características da produção científica no período compreendido entre os anos de 2003 e 2012. Em seguida, é apresentada a análise das citações dos artigos compreendidos nesta pesquisa.

#### 4.1 CARACTERÍSTICAS DAS PUBLICAÇÕES

A consulta realizada na base Web of Science resultou em 9.957 publicações relacionadas aos tópicos 'água' e 'mineração'. Ao longo do período de dez anos, a produção científica associada a essas temáticas apresentou um crescimento significativo, passando de 715 publicações no ano de 2003 para 1.308 estudos em 2012, conforme apresentado na Figura 2. Nesse período, pode-se destacar a produção científica do ano de 2008, com significativo crescimento em relação 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, cerca de 75% do total, são artigos, conforme evidenciado na Tabela 2. Destaque também para *papers*, publicados em anais de congressos.

**Tabela 2 – Classificação da produção quanto ao tipo de estudo**

	Tipo de produção	Publicações <sup>1</sup>	%
1º	Artigos	7.448	74,80
2º	<i>Papers</i> em anais	2.800	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

Fonte: Dados da pesquisa – Web of Science.

Nota: <sup>1</sup> Os estudos podem ser classificados em mais de uma categoria  
Tendo em vista que artigos e *papers* em anais são predominantes entre as publicações, torna-se importante destacar os títulos das principais fontes de estudos. A Tabela 3 apresenta os nomes dos periódicos e anais de congressos com os maiores números de publicações na temática.



**Tabela 3 – Principais fontes de estudos**

	Título das fontes	Publicações
1°	Applied Geochemistry	303
2°	Science of the Total Environment	233
3°	Advanced Materials Research	210
4°	Environmental Science Technology	167
5°	Environmental Geology	159
6°	Journal of Hazardous Materials	150
7°	Water Air and Soil Pollution	143
8°	Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication Series	123
9°	Mine Water and the Environment Proceedings	118
10°	Geochimica et Cosmochimica Acta	115
11°	Mine Water and the Environment	114
12°	Journal of Geochemical Exploration	109
13°	Environmental Monitoring and Assessment	106
14°	Environmental Earth Sciences	101
15°	Chemosphere	93
16°	Environmental Pollution	91
17°	Water Research	86
18°	Proceedings of the Society of Photo Optical Instrumentation Engineers Spie	80
19°	Chemical Geology	78
20°	Minerals Engineering	65
21°	Environmental Geochemistry and Health	63
22°	Proceedings and Monographs in Engineering Water and Earth Sciences	63
23°	International Journal of Coal Geology	60
24°	Journal of Environmental Quality	57
25°	Applied Mechanics and Materials	55

Fonte: Dados da pesquisa – Web of Science.

Entre os cinco *journals* em destaque, três têm o escopo voltado para 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 nas temáticas e a quantidade de publicações a eles associada. Conforme descrito na Tabela 4, o autor Nieto, J. M. é o que tem maior produção na área. Como diversos autores figuram entre os 25 principais nomes, é possível notar que há uma pequena concentração da produção científica, com quantidade relativamente equivalente de publicações.



**Tabela 4 – Principais autores das publicações**

Autor	Publicações	Autor	Publicações
1º Nieto, J. M.	49	14º Gammons, C. H.	23
2º Ayora, C.	36	15º Soares, A. M. V. M.	23
3º Bussiere, B.	31	16º Aubertin, M.	22
4º Onstott, T. C.	31	17º Benzaazoua, M.	22
5º Johnson, D. B.	30	18º Casiot, C.	22
6º Younger, P. L.	30	19º Grande, J. A.	22
7º Craw, D.	28	20º Dold, B.	21
8º Feng, X. B.	26	21º Hallberg, K. B.	21
9º Blowes, D. W.	25	22º Li, J.	21
10º Wu, Q.	25	23º De la Torre, M. L.	20
11º Yanful, E. K.	24	24º Olias, M.	20
12º Zhang, Y.	24	25º Sarmiento, A. M.	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. Há 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. Essa relação considera o país de origem de todos os coautores dos estudos.

**Tabela 5 – Principais países de origem das publicações**

País	Publicações	País	Publicações
1º Estados Unidos	2.106	14º Portugal	217
2º China	1.383	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 mostram 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 nesse idioma.



**Tabela 6 – Principais idiomas das publicações**

	Idioma	Publicações	%
1º	Inglês	9.712	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.

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

Fonte: Dados da pesquisa – Web of Science.

Apesar de o Brasil de figurar entre os 12 principais países com publicações, nenhuma instituição de ensino ou de pesquisa brasileira foi relacionada entre as 25 em destaque. As universidades brasileiras melhor classificadas nesse *ranking* são a Universidade Federal do Rio de Janeiro e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, posicionadas nas 122ª e 123ª colocações, respectivamente, com 21 publicações cada.



Entre as agências financiadoras de pesquisas, as cinco organizações que mais se destacam estão listadas na Tabela 8.

**Tabela 8 – Agências financiadoras**

	Agência financiadora	Publicações
1º	National Natural Science Foundation of China	137
2º	Natural Sciences And Engineering Research Council of Canada	129
3º	National Science Foundation	61
4º	Spanish Government	33
5º	Chinese Academy of Sciences	29

Fonte: Dados da pesquisa – Web of Science.

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

**Tabela 9 – Principais áreas de pesquisa**

	Áreas de pesquisa	Publicações
1º	Ciência ambiental e ecologia ( <i>environmental sciences ecology</i> )	3.563
2º	Engenharia ( <i>engineering</i> )	2.475
3º	Geologia ( <i>geology</i> )	1.576
4º	Recursos hídricos ( <i>water resources</i> )	1.484
5º	Mineração, processamento mineral ( <i>mining, mineral processing</i> )	927
6º	Geoquímica, geofísica ( <i>geochemistry, geophysics</i> )	903
7º	Química ( <i>chemistry</i> )	552
8º	Agricultura ( <i>agriculture</i> )	431
9º	Água doce marinha, biologia ( <i>marine freshwater, biology</i> )	426
10º	Ciência dos materiais ( <i>materials science</i> )	365
11º	Mineralogia ( <i>mineralogy</i> )	362
12º	Energia, combustíveis ( <i>energy, fuels</i> )	344
13º	Ciências da computação ( <i>computer science</i> )	299
14º	Metalurgia, engenharia metalúrgica ( <i>metallurgy, metallurgical engineering</i> )	284
15º	Toxicologia ( <i>toxicology</i> )	270
16º	Meteorologia, ciências atmosféricas ( <i>meteorology atmospheric science</i> )	252
17º	Biotecnologia aplicada à microbiologia ( <i>biotechnology applied microbiology</i> )	208
18º	Saúde ocupacional pública ( <i>public environmental occupational health</i> )	196
19º	Microbiologia ( <i>microbiology</i> )	175
20º	Física ( <i>physics</i> )	164
21º	Oceanografia ( <i>oceanography</i> )	161
22º	Bioquímica, biologia molecular ( <i>biochemistry, molecular biology</i> )	128
23º	Teledeteção ( <i>remote sensing</i> )	119
24º	Ciências das plantas ( <i>plant sciences</i> )	117
25º	Ciências tecnológicas e outros tópicos ( <i>science technology, other topics</i> )	117

Fonte: Dados da pesquisa – Web of Science.

Como demonstrado na Tabela 9, a área de pesquisa com o maior número de publicações é ciência ambiental e ecologia (*environmental sciences ecology*), associada aos aspectos ambientais, o que corrobora com as evidências de uma maior aproximação desses estudos com a temática da sustentabilidade. Em seguida, aparecem no *ranking* as áreas temáticas engenharia (*engineering*), geologia

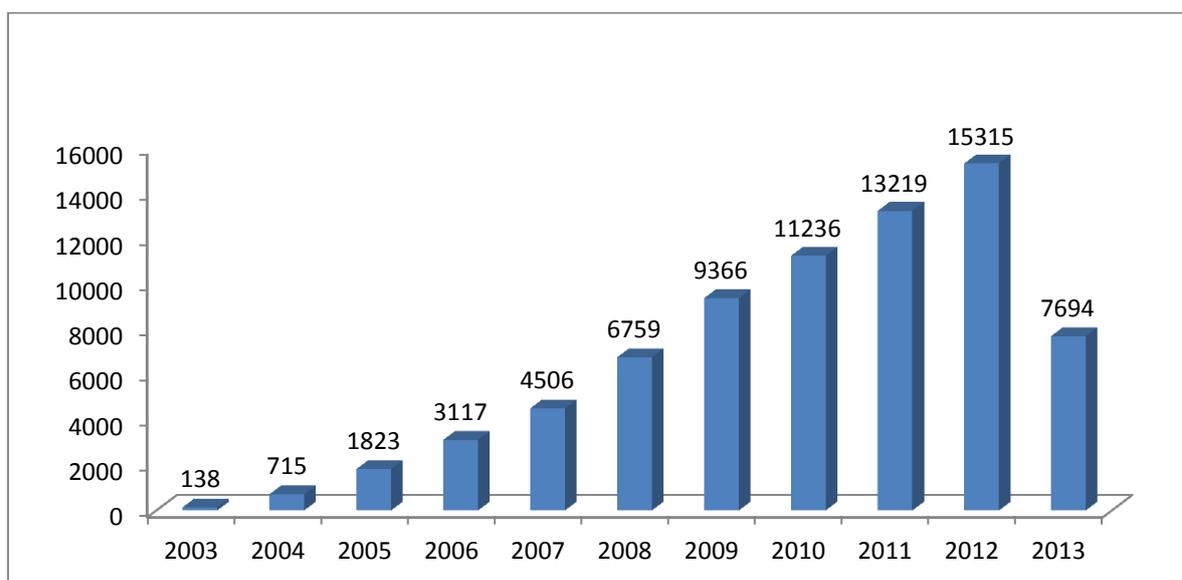


(*geology*), recursos hídricos (*water resources*) e mineração, processamento mineral (*mining, mineral processing*) que, em sua maioria, estão relacionadas aos aspectos técnicos de mineração. Por fim, evidencia-se a multidisciplinariedade das pesquisas associadas a 'água' e 'mineração', uma vez que abrangem diferentes campos de conhecimento, com análises sob 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', foi feita a identificação de características das citações destes trabalhos. É apresentada na Figura 3 a evolução das citações ao longo dos anos de análise.

Figura 3 – Citações das publicações, 2003-2013<sup>1</sup>



Fonte: Dados da pesquisa – Web of Science.

Nota: <sup>1</sup>Os valores referem-se à consulta em 24/07/2013.

Pode-se observar, portanto, a crescente evolução das citações dos artigos analisados. A queda no número de citações em 2013 se deve ao fato da consulta ocorrer no mês de julho do referido ano, de modo que o total de citações não está consolidado. Segundo os dados da pesquisa, a média é de 6.157,44 citações por ano.

A seguir, são apresentadas as principais características do impacto desse conjunto de publicações (Tabela 10). 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, há 59.003 citações dessas publicações. Foram identificadas citações em 47.158 artigos diferentes, sendo que em 43.196 desses artigos não houve ocorrência de autocitação.

Tabela 10 – Característica das citações

Característica <sup>1</sup>	Número
Número de publicações	9.957
Total de citações	73.889
Total de citações, excluindo autocitações	59.003
Número de artigos que citam as publicações	47.158
Número de artigos que citam as publicações, excluindo autocitação	43.196



Média de citações por publicação	7,42
Índice h-b	77
Índice m	7,7

Fonte: Dados da pesquisa – Web of Science.

Nota: <sup>1</sup>Os valores referem-se à consulta em 24/07/2013.

Os resultados evidenciam a relevância da publicação científica associada aos tópicos ‘água’ e ‘mineração’, podendo ser considerado, de acordo com Banks (2006), um *hot topic*, pela análise do índice h-b e do índice m do conjunto de publicações. Segundo o autor, um conjunto de publicações com índice-m > 2 pode ser descrito como um tópico exclusivo, com consequências de alcance em diversas áreas do conhecimento e efeitos de aplicação ou características únicas.

Por fim, são apresentados os dez estudos com os índices de citação mais elevados entre as publicações relacionadas. A Tabela 11 descreve as principais características dessas publicações e o número de citações observadas.

**Tabela 11 – Artigos mais citados**

Publicações	Número de citações
Bruijnzeel, L.A. (2004). Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? <i>Agriculture Ecosystems &amp; Environment</i> , 104(1), 185-228.	274
Johnson, D.B & Hallberg, K.B. Acid mine drainage remediation options: a review. <i>Science of the Total Environment</i> . 338(1-2), 3-14.	242
Bertin, G. & Averbeck, D. (2006) Cadmium: cellular effects, modifications of biomolecules, modulation of DNA repair and genotoxic consequences (a review). <i>Biochimie</i> , 88 (11), 1549-1559.	234
Wong, M.H. (2003). Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. <i>Chemosphere</i> . 50(6), 775-78.	231
Cho, M.; Chung, H.; Choi, W.; Yoon J. (2004). Linear correlation between inactivation of E-coli and OH radical concentration in TiO <sub>2</sub> photocatalytic disinfection. <i>Water Research</i> , 38(4), 1069-1077.	204
Waychunas, G.A.; Kim, C.S. & Banfield, J.F (2005). Nanoparticulate iron oxide minerals in soils and sediments: unique properties and contaminant scavenging mechanisms. <i>Journal of Nanoparticle Research</i> . 7(4-5), 409-433.	190
Walling, D.E. & Fang, D. (2003). Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. <i>Global and Planetary Change</i> . 39(1-2), 111-126.	190
Borja, A.; Muxika, I. & Franco, J. (2003). The application of a Marine Biotic Index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. <i>Marine Pollution Bulletin</i> . 46(7), 835-845.	160
Taeymans, D.; Wood, J.; Ashby, P.; Blank, I.; Studer, A.; Stadler, R. H.; Gond é, P.; Eijck, P. V.; Lalljie, S.; Lingnert ,H.; Lindblom, M.; Matissek, R.; Müller, D.; Tallmadge, D.; O'Brien, J.; Thompson, S. Silvani, D.; Whitmore, T. (2004) A review of acrylamide: An industry perspective on research, analysis, formation and control. <i>Critical Reviews In Food Science And Nutrition</i> . 44(5), 323-347.	157
Johnson, D.B. & Hallberg, K. B. (2003). The microbiology of acidic mine waters. <i>Research In Microbiology</i> . 154(7), 466-473.	156

Fonte: Dados da pesquisa – Web of Science.

Conforme observado na Tabela 11, o artigo de Bruijnzeel, L. A., denominado *Hydrological*

*functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?*, é o mais citado no período de



2003-2013 entre os que associam os termos 'água' e 'mineração'. Entre os autores dos dez artigos mais citados, apenas Johnson, D. B. tem dois artigos na relação, figurando também entre os principais autores nas temáticas relacionadas, como mostrou a Tabela 4.

Importante ressaltar também que os *journals* Science of the Total Environment, Chemosphere e Water Research estão entre os periódicos com maior número de artigos (Tabela 3), bem como com artigos entre os dez mais citados.

Os artigos mais citados abordam, em sua maioria, a questão água/ mineração do ponto de vista técnico/ operacional. Além disso, a maioria dos artigos mais citados não trata especificamente das temáticas analisadas, abordando-a de maneira indireta. Destaca-se, sobretudo, a ausência de estudos de maior impacto que tratem dessa temática do ponto de vista da gestão empresarial.

Por fim, 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, mostrando a relevância da temática da sustentabilidade nesses estudos. Assim, fica claro que os principais estudos, entre os tópicos pesquisados, visam contribuir para uma atividade mineral mais eficiente e sustentável.

### 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve por objetivo identificar as principais características da produção científica internacional relacionada aos termos 'água' e 'mineração' no período de 2003 a 2012. Para isso, foi desenvolvido um estudo bibliométrico, com base nos dados da Web of Science, relacionando os tópicos citados, com 9.957 publicações identificadas. Entre elas, destacam-se artigos científicos, que correspondem a 75% do total.

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 os que têm o maior número de publicações. Entre as instituições, U. S. Geological Survey e Chinese Academy of Sciences são as 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*), o que mostra a preocupação com aspectos ambientais relacionados à temática da água na mineração.

A análise das citações em publicações mostra que a combinação de tópicos 'água' e 'mineração' é considerada um *hot topic*, com um índice de impacto elevado e considerada um tópico exclusivo, com alcance em diversas áreas do conhecimento ou características únicas.

Como limitações deste estudo, considera-se o fato de ter sido feito em apenas uma base de dados. Sugere-se, portanto, a realização de outras pesquisas com maior amplitude. Além disso, por meio da busca realizada, foram considerados todos os estudos que tratam das temáticas analisadas, independentemente do grau de abordagem dos temas de interesse.

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 desse campo de conhecimento. Possibilitou, ainda, a identificação de estudos associados à sustentabilidade na temática abordada, com vistas a uma atividade mineradora sustentável.

### REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas – ANA; Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM. (2006). *A gestão dos recursos hídricos e a mineração*. Brasília: ANA, 334 p.
- Azapagic, A. (2004). Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. *Journal of Cleaner Production*, 12(6), 639-662, ago.
- Banks, M. G. (2006). An extension of the Hirsch index: indexing scientific topics and compounds. *Scientometrics*, 69, 161-168. Retrieved from <http://www.arxiv.org/abs/physics/0604216>. Acesso em jul. 2013.
- Barbieri, J. C. (2007). *Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*. 2.ed. ver. e ampl. São Paulo: Saraiva.



- Caetano, L. C. (2009). *Perfil da água mineral*. Brasília-DF. Retrieved from [http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano\\_duo\\_decenal/a\\_mineracao\\_brasileira/P31\\_RT57\\_Perfil\\_da\\_xgua\\_Mineral.pdf](http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P31_RT57_Perfil_da_xgua_Mineral.pdf). Acesso em 10 jun. 2013.
- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES (2011). *Web of Science lança nova versão de base de dados*. Retrieved from <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. (2009). *Economia mineral do Brasil*. Antonio Fernando da Silva Rodrigues (coord.). Brasília-DF: DNPM.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2009). *A água nossa de cada dia*. Brasília. Retrieved from <http://www.embrapa.br/embrapa/imprensa/artigos/2009/a-agua-nossa-de-cada-dia>. Acesso em 28 jun. 2011.
- Fennel, J. (2012). Total water management: a necessary paradigm for sustainability. In *Water in Mining 2012 – 3rd International Congress on Water Management in the Mining Industry*. Santiago, Chile; Anais... GECAMIN – Conferences for Mining e Centre for Water in the Minerals Industry.
- Franks, D. M., Boger, D. V., Côte, C. M., & Mulligan, D. R. (2011). Sustainable development principles for the disposal of mining and mineral processing wastes. *Resources Policy*, 36(2), p. 114-122.
- Gunson, A. J., Klein, B., Veiga, M., & Dunbar, S. (2012). Reducing mine water requirements. *Journal of Cleaner Production*, 21(1), 71-82. Jan.
- Hilson, G. & Murck, B. (2000). Sustainable development in the mining industry: clarifying the corporate perspective. *Resources Policy*, 26, 227–238.
- Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(46), 16569-16572.
- Macedo, M. A. S.; Casa Nova, S. P. & Almeida, K. (2009). Mapeamento e análise bibliométrica da utilização da análise envoltória de dados (DEA) em estudos das áreas de contabilidade e administração. *Contabilidade, Gestão e Governança*. 12(3), 87-101.
- McLellan, B. C., Corder, G. D., Giurco, D., & Green S. (2009). Incorporating sustainable development in the design of mineral processing operations – Review and analysis of current approaches. *Journal of Cleaner Production*, 17, 1414-1425.
- Rostaing, H. (1997). *La bibliométrie et ses techniques*. Toulouse: Sciences de la Société. Marseille: Centre de Recherche Rétrospective de Marseille.
- Silva, M. R. (2004). 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.
- Silva, S. S., Botelho, D. O., Leite, E. T., & Lourenço, C. D. S. (2008). 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.
- Tundisi, J. G. (2003). Recursos Hídricos: o futuro dos recursos. *Revista Multiciência*. 1(1), 1-15.
- Web of Science. (2013). *Web of Science*. Retrieved from [http://wokinfo.com/media/mtrp/wok5\\_wos\\_qrc\\_pt.pdf](http://wokinfo.com/media/mtrp/wok5_wos_qrc_pt.pdf). Acesso em 24 jul. 2013.