

PEGADA HÍDRICA NA MINERAÇÃO: ANÁLISE DE APLICABILIDADE NA EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DA GIPSITA PERNAMBUCANA

João Paulo de Oliveira Santos¹

Soraya Giovanetti El-Deir²

Sidney Kal-Rais Pereira de Alencar³

Kardelan Arteiro da Silva⁴

Lidiane Almeida Pessoa⁵

RESUMO: As atividades de exploração e beneficiamento de minerais são reconhecidamente responsáveis por severas pressões sobre os ecossistemas em que estão inseridas, sendo assim necessário mensurar esses impactos através do uso de indicadores. Nos últimos anos, a Pegada Hídrica (PH) tem ganhado espaço como indicador de sustentabilidade, principalmente por medir a apropriação dos recursos hídricos por atividades antrópicas. Frente à carência de estudos que abordem a aplicação desse indicador para atividades minerais, o presente estudo objetivou avaliar a aplicabilidade do uso da PH para as etapas de exploração e beneficiamento de gipsita em Pernambuco, maior produtor brasileiro desse minério. A demanda de uso de água nessas etapas foi analisada *in loco*, identificando-se os processos responsáveis por consumir esse recurso em seus três modos de inserção na quantificação final da PH; a água azul, verde e cinza. Para as etapas analisadas, observou-se uma predominância do uso indireto da água; com destaque para a água verde embutida no uso de lenha da Caatinga e a água cinza proveniente da degradação da qualidade dos reservatórios da região pela liberação de particulados, ambas na etapa de beneficiamento. O consumo de água azul tanto na exploração, quanto no beneficiamento, é pouco representativo, visto que são processos realizados a seco.

¹ Engenheiro Agrônomo. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Doutorando em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa (PB), Brasil. E-mail: jpos@agro.adm.br

² Doutora em Oceanografia pela Universidade Federal de Pernambuco. Docente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da UFRPE e Colaboradora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil da UFPE, Recife (PE), Brasil.

³ Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental (PPEAMB) na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Pesquisador do Grupo de Gestão Ambiental de Pernambuco - GAMPE, Recife (PE), Brasil.

⁴ Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande. Mestrando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife (PE), Brasil.

⁵ Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife (PE), Brasil.

O uso da PH para esse segmento produtivo representa um importante mecanismo para quantificar a pressão antrópica sob os recursos hídricos locais, em uma região que tradicionalmente enfrenta problemas de escassez hídrica, assim, a quantificação desta é importante para traçar estratégias de sustentabilidade setorial.

PALAVRAS-CHAVE: Araripe Pernambucano; Gesso; Indicadores de sustentabilidade.

WATER FOOTPRINT IN MINERALIZATION: ANALYSIS OF THE APPLICABILITY IN THE EXTRACTION AND IMPROVEMENT OF PERNAMBUCO GYPSUM

ABSTRACT: Mineral exploitation and improvement impact ecosystems in which they are inserted. Their impacts should be measured through indexes. Recently, the water footprint has become a sustainability index, especially in the measurement of the appropriation of water resources by anthropic activities. Due to scanty studies on the application of the index for mineral activities, current study evaluates the applicability of the WF for the stages in the exploitation and improvement of gypsum from Pernambuco which is the biggest producer of the mineral. Water demand during the stages was analyzed in loco and the processes causing consumption were identified within its three modes of insertion in the final WF quantification: blue, green and grey water. Indirect use of water was predominant, with special reference to green water in the use of the Caatinga wood and gray water from quality degradation of the region's reservoirs due to the release of particles within the manufacturing process. The consumption of blue water in the exploitation and in manufacturing is only slightly representative since they feature a dry process. The use of WF for such production represents an important mechanism to quantify anthropic pressure under the local water resources in a region with water scarcity. Its quantification is important to work out strategies for the sector's sustainability.

KEY WORDS: Araripe Pernambucano; Gypsum; Sustainability indexes.

INTRODUÇÃO

O crescente aumento das populações humanas e atividades industriais têm levado ao consumo cada vez maior de recursos hídricos, associado muitas vezes à deterioração da qualidade desse insumo.

A mineração é uma grande consumidora local de água nas regiões onde ocorre, embora seja uma consumidora relativamente pequena de água se considerada a escala global e outras atividades produtivas, como, por exemplo, as atividades industriais (NORTHEY *et al.*, 2016).

Assim, estudos sobre a demanda hídrica desse segmento representam um campo significativo de pesquisa, podendo gerar resultados que revelem os múltiplos impactos sobre estes recursos, além de poderem nortear ações de sustentabilidade para essa atividade (NORTHEY *et al.*, 2014; XU *et al.*, 2018).

Entre os indicadores que mensuram o consumo de água em processos produtivos, há o destaque da Pegada Hídrica (PH). Desenvolvida por Hoekstra *et al.* (2011), a PH inicialmente foi aplicada para as atividades agrícolas, principalmente porque as necessidades de água para a agricultura geralmente são superiores às de outros produtos (ZHANG *et al.*, 2018).

A PH avalia três aspectos do uso da água: água azul, verde e cinza. A água azul contabiliza o consumo de águas superficiais ou subterrâneas e inclui a água evaporada, água incorporada no produto e fluxo de retorno perdido.

A água verde está ligada ao consumo de água da chuva que é armazenada no solo e é evaporada, transpirada ou incorporada pelas culturas (IBIDHI; SALEM, 2018).

Já a água cinza é definida como a quantidade de água doce que é necessária para assimilar a carga de poluentes liberada em um dado processo, baseando-se nas concentrações naturais dos compostos químicos avaliados e nos padrões legais de qualidade de água existentes (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Deve-se considerar que, diferente da água azul e verde, a água cinza não é uma quantidade real consumida, mas uma quantidade hipotética que é requerida para assimilar a poluição da água a certos níveis pré-definidos, representando assim o ônus econômico do uso da água (HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2008).

Trabalhos que contemplem a aplicação da PH na mineração ainda são escassos, destacando-se os estudos de Northey *et al.* (2014) e Northey *et al.* (2016) que estão voltados para a aplicação desse indicador para a produção de minerais metálicos, como cobre, ouro e níquel. Existem assim lacunas quanto à aplicação dessa ferramenta para outros minerais, com destaque para os não metálicos, como, por exemplo, a gipsita.

A gipsita é um sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que corresponde à principal matéria-prima natural para a produção de gesso, material com vastas aplicações na indústria de construção civil, além de diversos outros usos (RIVERO *et al.*, 2016).

O Brasil possui reservas significativas de gipsita, figurando como o maior produtor da América do Sul. As reservas nacionais estão localizadas no Norte, Nordeste e Centro-Oeste do país (SHIROMA *et al.*, 2016). O Estado de Pernambuco, embora só detenha 18% das reservas brasileiras desse minério, é responsável por 97% da produção nacional de gesso (SILVA, 2013), que está concentrada no Polo Gesseiro do Araripe, no extremo Oeste do Estado.

Nesse contexto, tomando como base a importância do setor de extração e beneficiamento de gipsita para o Estado de Pernambuco, bem como a carência de estudos quanto ao potencial de aplicação de indicadores de sustentabilidade nesse segmento, o presente trabalho objetivou avaliar a aplicabilidade da utilização da PH para essa cadeia produtiva.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O Araripe Pernambucano abrange uma área de 11.546,77 Km² que corresponde à microrregião do Sertão do Araripe, estando inserido na mesorregião do Sertão de Pernambuco.

Detentor das principais reservas pernambucanas de gipsita, o Araripe Pernambucano, notadamente os municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Trindade e Ouricuri compõem o Arranjo Produtivo Local (APL) do Polo Gesseiro do Araripe (Figura 1), região responsável pela produção anual de cerca de 4,5 milhões de toneladas de gesso, com tempo estimado de exploração das reservas locais em 600 anos, aproximadamente (SINDUGESSO, 2014).



Figura 1. Localização da Região do Araripe Pernambucano.

O início da exploração de gipsita em Pernambuco data do início da década de 1960, desde então o Estado assumiu e consolidou a posição de maior produtor nacional de gipsita e gesso (OLIVEIRA; SHINOHARA, 2014).

Embora na área de influência do Polo Gesseiro outras atividades econômicas sejam desenvolvidas, com destaque para o setor de serviços e a agricultura, a produção e comercialização do gesso representam a principal fonte geradora de receitas e de empregos do Araripe (SILVA *et al.*, 2013). Esse segmento é responsável por gerar 13,9 mil empregos diretos e 69 mil indiretos, com um faturamento de aproximadamente R\$ 1,4 bilhões (SINDUGESSO, 2014).

O gesso produzido no Araripe é direcionado para suprir a demanda nacional do produto, que encontra aplicação em diversas atividades que vão desde a indústria da construção civil até a de material ortopédico, dental, corretivos agrícolas e outras variadas aplicações (MELO *et al.*, 2017).

Para verificar a demanda do uso de água nas etapas de extração e beneficiamento da gipsita foram realizadas visitas *in loco* a uma empresa mineradora e a uma calcinadora. Tendo em vista que as empresas desses segmentos seguem

basicamente o mesmo modo de operação (técnicas de exploração e beneficiamento), essa amostra permite identificar com eficiência as etapas onde se faz necessário o aporte hídrico.

Realizou-se a análise do potencial de ocorrência dos três tipos de PH (azul, verde e cinza) em dois momentos distintos: extração e calcinação, buscando-se, assim, verificar com maior profundidade a aplicabilidade desse indicador.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PEGADA HÍDRICA NA ETAPA DE EXTRAÇÃO

A gipsita pernambucana é extraída em lavras a céu aberto, o que se deve ao fato que as jazidas apresentam capeamento não muito espesso (da ordem de 5,00 metros), favorecendo esse tipo de exploração (OLIVEIRA *et al.*, 2012), sendo formado por 6 etapas subsequentes (Figura 2).

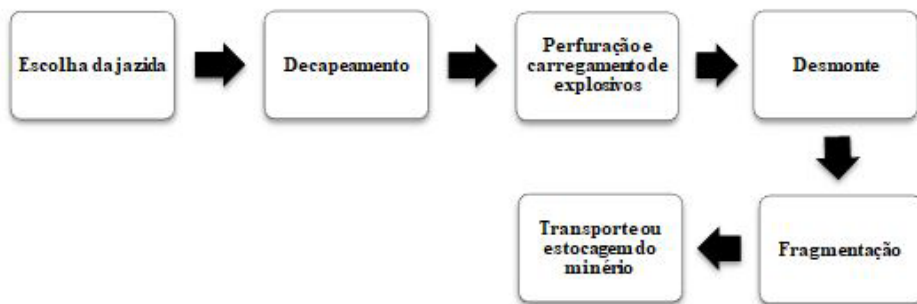


Figura 2. Fluxograma do processo de extração de gipsita no Araripe Pernambucano.

Como se pode observar para a gipsita, não há uma etapa de lavagem, como é comum para outros minérios, o que implica na não utilização de água azul. De fato, os processos usados para extração de minérios requerem quantidades menos significativas de água se comparados com a etapa de beneficiamento, com gastos concentrados em atividades como supressão de poeira, controle de incêndio ou resfriamento de equipamentos (NORTHEY *et al.*, 2016).

Para as condições de extração da gipsita no Araripe, a PH azul está assim restrita ao consumo de água para a limpeza de maquinário e, de forma indireta, para as necessidades de consumo dos trabalhadores.

A mensuração da água verde não se aplica a essa etapa, visto as peculiaridades desse processo. No tocante à água cinza, não se registra na exploração o lançamento significativo de efluentes, principalmente pelas características de extração desse minério. Caso contrário, essa situação implicaria na utilização de mecanismos como as barragens de rejeito, estruturas responsáveis para evitar os danos ambientais causados pelo descarte inadequado desse tipo de material, mas que não são uma solução definitiva para os problemas desse setor, especialmente pelo risco de vazamento (BURRITT; CHRIST, 2018).

De forma indireta, deve-se considerar o potencial de geração de águas cinza provenientes da produção do óleo diesel utilizado nas máquinas e na etapa de transporte da gipsita.

Ma *et al.* (2018a) observaram que, para a produção de energia elétrica a base de carvão na China, o transporte de material representou aproximadamente 60% da PH cinza da produção desse insumo, enquanto que a descarga direta de efluentes foi responsável por uma proporção desprezível na composição desse indicador.

Essa necessidade de se considerar as águas cinza provenientes do transporte de material também foi elencada por Gerbens-Leenes *et al.* (2018), que argumentam que a etapa de transporte exige energia de fontes que detêm uma PH embutida, precisando assim ser levada em conta no cálculo final.

Todavia, ao se considerar os pequenos trajetos realizados dentro da mina, percebe-se que esse cálculo deveria ser incorporado ao processo de beneficiamento, visto as maiores distâncias percorridas entre a área de exploração e as empresas calcinadoras. Ainda assim, seria uma mensuração indireta, que dentro do escopo final pode representar uma fatia insignificante, tomando como base a proximidade entre esses dois ambientes (MA *et al.*, 2018b).

3.2 PEGADA HÍDRICA NA ETAPA DE BENEFICIAMENTO

Após a chegada na calcinadora, a gipsita passa por uma série de etapas até a obtenção do produto final (Figura 3).

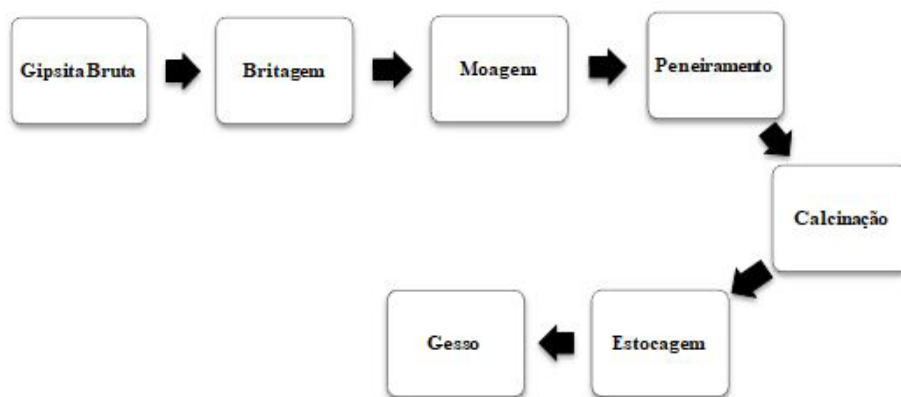


Figura 3. Fluxograma simplificado do processo de beneficiamento da gipsita no Araripe Pernambucano.

A maior parte do gesso produzido no Araripe advém da gipsita calcinada a seco sob pressão atmosférica, cuja principal finalidade é reduzir o teor de água do minério (BARBOSA *et al.*, 2014). Logo, verifica-se que o aporte direto de água não é requerido, tampouco recomendado nesse processo.

Deve-se considerar assim, que a maior parte da utilização de água azul se dá pela eventual limpeza de equipamentos, procedimento raro, visto o ritmo de trabalho dessa atividade. Gastos indiretos também podem ser observados com a manutenção das necessidades dos trabalhadores.

Após a obtenção do gesso em pó, parte do material é encaminhado para a fabricação de placas em ambientes anexos a calcinadora requerendo que o gesso seja hidratado para que, em contato com a água, forme uma pasta consistente e trabalhável (MENEZES; PÓVOAS, 2016).

A fabricação de placas é responsável por quase a totalidade da água consumida em uma empresa de calcinação que possua essa dupla atividade. Todavia, por ser uma atividade após a obtenção do produto em estudo, não poderia ter sua demanda por água azul incorporada à PH da produção do gesso.

Um fator chave na etapa de calcinação é a matriz energética, no Polo Gesseiro a lenha representa 96,6% dos insumos energéticos utilizados (HENRIQUES JÚNIOR, 2013).

Dessa forma, a quantificação da água necessária para a produção desse insumo se faz necessária, principalmente ao se considerar as condições de semiaridez

em que o polo está inserido. Para esse caso em específico, a água verde embutida na produção da lenha pode representar a maior fração da PH final, visto a grande quantidade demandada desse insumo.

Mekonnen *et al.* (2015), ao compararem a PH da geração de calor utilizando várias fontes de energia, observaram que a PH da lenha é imensamente superior a PH de outras fontes como o carvão, petróleo, gás e urânio. Mathioudakis *et al.* (2017) estimaram, para o eucalipto, uma pegada hídrica verde superior a $1200 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, evidenciando a grande demanda hídrica na cadeia de produtos madeireiros.

Entretanto, cabe destacar discussões como as levantadas por Launiainen *et al.* (2014), que argumentam que florestas naturais e seminaturais existiriam e utilizariam a água verde independentemente da gestão humana, bem como as florestas alimentadas pela chuva não usam mais água verde do que a disponível para a absorção de suas raízes, logo seriam sustentáveis no ponto de vista da pegada hídrica.

Todavia, ao se considerar o contexto do presente trabalho, a mensuração desse indicador para a lenha é extremamente recomendada, tanto pelo uso massivo de lenha de origem ilegal, contribuindo para a degradação da Caatinga e a redução de seus serviços ecossistêmicos, como pela busca de sustentabilidade produtiva em um ambiente em que água já é um fator limitante.

Como já mencionado anteriormente, a gipsita no Araripe é calcinada a seco, não sendo assim responsável pela emissão de efluentes líquidos. De forma indireta, deve ser considerada a PH cinza oriunda do uso de combustíveis fósseis na etapa de transporte e em alguns maquinários, bem como a fatia destes utilizada por algumas empresas como matriz energética na etapa de calcinação, embora represente uma parte muito pequena da matriz energética total.

A etapa de calcinação é responsável por emitir uma quantidade considerável de particulados na atmosfera, fato esse provocado pela maioria das empresas que não utilizam filtros em suas chaminés, fazendo com que o material particulado seja dissipado na atmosfera em forma de plumas, em que alguns casos, por ação dos ventos, podem chegar a quilômetros de seu local de origem (ARRUDA *et al.*, 2012). Em contato com a água, o óxido de enxofre (SO) presente nesses particulados sofre reações, resultando em gás sulfídrico e ácido sulfúrico (ARAÚJO; MARTINS *et al.*, 2012).

A PH cinza de etapas de produção, como é o caso do beneficiamento da gipsita, refere-se ao volume de água doce que é necessário para assimilar a carga de poluentes com base nos padrões de qualidade de água existentes (CAZCARRO *et al.*, 2016). A PH cinza é calculada a partir da carga do poluente crítico dividida pela diferença entre a concentração máxima permitida e a concentração natural para esse poluente (GERBENS-LEENES *et al.*, 2018).

O poluente crítico adotado varia de acordo com a atividade trabalhada e as características do processo produtivo, por exemplo, para as atividades agrícolas, utiliza-se o nitrogênio como padrão de qualidade de água doce (HU *et al.*, 2018).

Para o beneficiamento de gipsita, pode-se tomar como referência de poluente crítico os sulfatos, visto ser o componente mais representativo dentro dessa cadeia produtiva.

Estudos como os de Arruda *et al.* (2012) e Arruda *et al.* (2015) verificaram altos teores de sulfato nas águas de reservatórios na região do Polo Gesseiro, com concentração na maioria das vezes superior aos estabelecidos pela legislação brasileira, o que os referidos autores atribuem a solubilização nesses ambientes da poeira proveniente da produção de gesso.

Deve-se considerar ainda que a região de estudo é extremamente carente de recursos hídricos; logo, a perda da qualidade de água de suas fontes de abastecimento representa um problema socioambiental em potencial.

3.3 DESAFIOS PARA A APLICAÇÃO DESSE INDICADOR

A utilização da PH como indicador de sustentabilidade em diversas atividades produtivas vem crescendo no mundo (HOSSEINIAN; NEZAMOLESLAMI, 2018; IBIDHI; SALEM, 2018; MA *et al.*, 2018), embora sua utilização em atividades minerais ainda seja pouco estudada.

A sua aplicação para a produção de gesso no Araripe de Pernambuco se faz necessária frente aos graves problemas ambientais decorrentes dessa atividade, principalmente pela água ser um fator limitante nessa região.

Diversas etapas dentro da exploração e beneficiamento da gipsita apresentam demanda por água, seja de forma direta ou indireta (Quadro 1). Todavia, na etapa de

exploração essa demanda ocorre em menor grau, e na maioria das vezes de forma indireta, o que dificulta a mensuração desse indicador, notadamente pela falta de uma base de dados robusta.

Quadro 1. Etapas que apresentam consumo de água (azul, verde e cinza) nos processos de extração e beneficiamento da gipsita no Araripe Pernambucano

Processo	Tipo de Água	Abrangência	Etapas
Exploração	Água Azul	Direta	Limpeza de máquinas
		Indireta	Consumo dos funcionários
	Água Verde	NA	NA
	Água Cinza	Direta	NA
Beneficiamento	Água Azul	Direta	Limpeza de máquinas
		Indireta	Consumo dos funcionários
	Água Verde	Direta	NA
		Indireta	Uso de lenha
	Água Cinza	Direta	NA
		Indireta	Uso de combustíveis
Particulados			

*NA: Não aplicável

Diante dessa conjuntura, iniciativas de aplicação da PH nesse momento podem não ser tão efetivas quanto se fossem aplicadas durante o processo de beneficiamento, embora essa quantificação seja imprescindível para se calcular a PH total da produção de gesso.

Durante o beneficiamento, verifica-se uma maior quantidade de etapas que requerem um aporte hídrico, com especial destaque para o consumo de água verde derivada do uso de lenha e o potencial de geração de águas cinza pela liberação de particulados. Nesse processo, observa-se que está concentrada a maior parte da PH da produção de gesso, bem como os impactos ambientais associados.

Um dos grandes desafios ao se tentar quantificar a PH na produção de gesso diz respeito à crença que inexistente o consumo de água, por ser um processo a seco. Todavia, de forma indireta o consumo de água nesses processos pode ser extremamente representativo e deve ser mensurado.

A quantificação da água verde e cinza também pode cumprir um importante papel, pressionando a migração da atividade para uma matriz energética mais eficiente e sustentável e para a utilização de filtros visando minimizar as emissões de particulados.

Neste sentido, o presente estudo recomenda o aprofundamento de tais observações para o estabelecimento de políticas públicas que denotem sustentabilidade ao setor gesseiro.

4 CONCLUSÕES

A aplicação da PH da produção do gesso pernambucano representa uma medida da pressão imposta ao meio ambiente no Araripe Pernambucano, quantificando o comprometimento dos recursos hídricos locais em uma região que tradicionalmente enfrenta graves problemas quanto à disponibilidade de água.

Logo, a sua quantificação é importante para traçar estratégias de sustentabilidade nesse setor, determinando políticas públicas que norteiem a atividade para o uso parcimonioso dos recursos naturais, direta ou indiretamente.

De acordo com a demanda hídrica levantada, verificou-se que a maior parte do consumo de água se dá de forma indireta e na etapa de beneficiamento, embora seja necessário mensurar esse indicador desde o início da cadeia produtiva. A partir dos resultados obtidos, observou-se que esse indicador pode ser aplicado para a atividade produtiva em estudo, preenchendo lacunas até então não exploradas.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, S. M. S.; MARTINS, L. A. M. A Indústria Extrativa Mineral do Pólo Gesseiro do Araripe e seus Impactos Sócio-Ambientais. **Revista de Geografia**, v. 29, n. 1, p. 91-112, 2012.

ARRUDA, G. B.; CORREIA, K. V.; MENOR, E. A.; LINS, V. Contaminações em Sulfato e Cloretos em Águas de Superfície e Subsuperfície na Região de Araripina-PE.

Estudos Geológicos, v. 22, n. 2, p. 149-171, 2012.

ARRUDA, G. B.; CORREIA, K. V.; OLIVEIRA, T. R. S.; BRAINER NETO, J. E.; ARAÚJO, F. P.; CARNEIRO, K. W. F. S. Análise da Qualidade da Água do Riacho Moraes em Área Influenciada pela Produção de Gesso no Município de Araripina, PE - Brasil.

Revista de Geologia, v. 28, n. 1, p. 27-38, 2015.

BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A. Chemical, mechanical and morphological characterization of gypsum obtained at Araripe, PE, Brazil. **Cerâmica**, v. 60, n. 356, p. 501-508, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132014000400007>

BURRITT, R. L.; CHRIST, K. L. Water risk in mining: Analysis of the Samarco dam failure. **Journal of Cleaner Production**, v. 178, p. 196-205, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.042>

CAZCARRO, I.; DUARTE, R.; SÁNCHEZ-CHÓLIZ, J. Downscaling the grey water footprints of production and consumption. **Journal of Cleaner Production**, v. 132, p. 171-183, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.113>

GERBENS-LEENES, P. W.; HOEKSTRA, A. Y.; BOSMAN, R. The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass. **Water resources and industry**, v. 19, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2017.11.002>

HENRIQUES JUNIOR, M. F. **Potencial de financiamento de eficiência energética**: nos setores de cerâmica e gesso no Nordeste. Instituto Nacional de Tecnologia - INT/MCTI, 2013, 137p.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. **The water footprint assessment manual**. London: Water Footprint Network, 2011, 224p.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. **Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources**. Oxford: Blackwell Publishing, 2008, 220p.

HOSSEINIAN, S. M.; NEZAMOLESLAMI, R. Water footprint and virtual water assessment in cement industry: A case study in Iran. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 2454-2463, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.164>

HU, Y.; HUANG, Y.; TANG, J.; GAO, B.; YANG, M.; MENG, F.; CUI, S. Evaluating agricultural grey water footprint with modeled nitrogen emission data. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 138, p. 64-73, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.020>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades@**. 2017. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=26&search=pernambuco>. Acesso em: 29 nov. 2018.

IBIDHI, R.; SALEM, H. B. Water footprint and economic water productivity of sheep meat at farm scale in humid and semi-arid agro-ecological zones. **Small Ruminant Research**, v. 166, p. 101-108, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.06.003>

LAUNIAINEN, S.; FUTTER, M. N.; ELLISON, D.; CLARKE, N.; FINÉR, L.; HÖGBOM, L.; LAURÉN, A.; RING, E. Is the water footprint an appropriate tool for forestry and forest products: the fennoscandian case. **Ambio**, v. 43, n. 2, p. 244-256, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0380-z>

MA, X.; YANG, D.; SHEN, X.; ZHAI, Y.; ZHANG, R.; HONG, J. How much water is required for coal power generation: An analysis of grey and blue water footprints. **Science of The Total Environment**, v. 636, p. 547-557, 2018a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.309>

MA, X.; YE, L.; QI, C.; YANG, D.; SHEN, X.; HONG, J. Life cycle assessment and water footprint evaluation of crude steel production: A case study in China. **Journal of environmental management**, v. 224, p. 10-18, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.027>

MATHIOUDAKIS, V.; GERBENS-LEENES, P. W.; VAN DER MEER, T. H.; HOEKSTRA, A. Y. The water footprint of second-generation bioenergy: a comparison of biomass feedstocks and conversion techniques. **Journal of Cleaner Production**, v. 148, p. 571-582, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.032>

MEKONNEN, M. M.; GERBENS-LEENES, P. W.; HOEKSTRA, A. Y. The consumptive water footprint of electricity and heat: a global assessment. **Environmental Science: Water Research & Technology**, v. 1, n. 3, p. 285-297, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5EW00026B>

MELO, K. K. S.; LIMA, A. P. C.; SANTANA, M. D. C. C.; ANDRADE, V. D. C. P.; BRAGA, A. L. C.; CORREIA, K. V. Caracterização química e mineralógica dos resíduos da mineração de gipsita no Semiárido Pernambucano. **Holos**, v. 33, n. 6, p. 194-200, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2017.5626>

MENEZES, R.; PÓVOAS, Y. Influência de aditivo retardador de pega na reciclagem da pasta de gesso utilizada como revestimento interno de parede. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 1, p. 55-62, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.25286/rep.v2i1.392>

NORTHEY, S. A.; HAQUE, N.; LOVEL, R.; COOKSEY, M. A. Evaluating the application of water footprint methods to primary metal production systems. **Minerals Engineering**, v. 69, p. 65-80, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.07.006>

NORTHEY, S. A.; MUDD, G. M.; SAARIVUORI, E.; WESSMAN-JÄÄSKELÄINEN, H.; HAQUE, N. Water footprinting and mining: where are the limitations and opportunities?. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 1098-1116, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.024>

OLIVEIRA, F. M. C.; BORGES, L. E. P.; MELO, E. B.; BARROS, M. L. S. C. Características mineralógicas e cristalográficas da gipsita do Araripe. **Holos**, v. 5, p. 71-82, 2012. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2012.1140>

OLIVEIRA, M. A. C.; SHINOHARA, A. H. Experience with natural gas/LPG in the plasterer polo Araripe, PE, Brazil. **Cerâmica**, v. 60, n. 354, p. 243-253, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132014000200013>

RIVERO, A. J.; SATHRE, R.; NAVARRO, J. G. Life cycle energy and material flow implications of gypsum plasterboard recycling in the European Union. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 108, p. 171-181, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.01.014>

SHIROMA, L.; CAMARINI, G.; BERALDO, A. L. Effect of wood particle treatment on the properties of gypsum plaster pastes and composites. **Matéria**, v. 21, n. 4, p. 1032-1044, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160004.0095>

SILVA, J. A. A.; ROCHA, K. D.; FERREIRA, R. L. C.; TAVARES, J. A. Produtividade Volumétrica de Clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 10, p. 240-260, 2013.

SINDUSGESSO - Sindicato das Indústrias do Gesso do Estado de Pernambuco. **Polo Gesseiro**. 2014. Disponível em: http://www.sindusgesso.org.br/polo_gesseiro.asp. Acesso em: 29 nov. 2018.

XU, M.; LI, C.; WANG, X.; CAI, Y.; YUE, W. Optimal water utilization and allocation in industrial sectors based on water footprint accounting in Dalian City, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 176, p. 1283-1291, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.203>

ZHANG, F.; ZHAN, J.; LI, Z.; JIA, S.; CHEN, S. Impacts of urban transformation on water footprint and sustainable energy in Shanghai, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 190, p. 847-853, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.157>.

Recebido em: 08/01/2019

Aceito em: 01/11/2019