

Ensaio em colunas de solo para estudo da influência dos resíduos finos de rochas ornamentais na qualidade da água

Soil column test to study the influence of dimension stone fine wastes on water quality

Mirna Aparecida Neves^{1*} , Lorainy Viana Domingues¹, Arthur Dias Pessoa², Diego Lang Burak¹, Juliana Di Giorgio Giannotti¹

RESUMO

A geração de resíduos finos provenientes do processo de beneficiamento de rochas ornamentais cresce na mesma proporção da produção de chapas para a construção civil. A adoção de medidas preventivas, remediadoras e punitivas está atrelada ao conhecimento do verdadeiro potencial que esses materiais têm para causar impactos negativos ao ambiente. O objetivo deste trabalho foi simular, em laboratório, possíveis alterações na qualidade da água de recarga de aquíferos provocadas pela disposição inadequada desses resíduos. Foram realizados testes de percolação de água em colunas de solo recoberto por resíduos com diferentes taxas de umidade: resíduos sem tratamento, saídos diretamente do tear (TE); resíduos que passaram por filtro prensa (FP) para redução de umidade e resíduos secos em leito de secagem (LS). A água de percolação foi analisada para avaliar alterações em comparação com um branco ou testemunha. Não foram detectadas alterações significativas no pH da água percolada em nenhum dos casos estudados. Porém, no tratamento TE houve alterações em vários parâmetros de qualidade. A água percolada através do resíduo FP se assemelhou àquela do TE em alguns parâmetros e à do LS em outros. Conclui-se que os resíduos saídos diretamente da boca do tear possuem alto potencial de degradação da qualidade da água, mas a redução de umidade é eficaz para reduzir os riscos ambientais. O uso de LS pode ser um método tão eficaz quanto o FP, se conduzido de forma adequada e respeitando as normas legais.

Palavras-chave: lama abrasiva; poluição da água; leito de secagem; filtro-prensa.

ABSTRACT

The generation of fine wastes from cutting of ornamental stones grows at the same rate of plate production for civil construction. The adoption of safe, remediating and punitive measures are linked to the knowledge of the actual potentiality that these materials have for causing negative impacts to the environment. The aim of this work was to simulate, in laboratory, possible alterations in the recharging groundwater quality provoked by the improper disposal of these wastes. We conducted tests of percolating water through soil columns covered by wastes with different humidity rates: wastes without treatment, outgoing directly from the looms (TE); wastes that passed by filter press for humidity reducing (FP) and wastes dried in a drying pond (LS). Percolated water was analyzed to evaluate alterations of its quality in relation to a blank (B) or control. Significant changes did not occur in pH-values of percolated water in any of the cases studied. However, many water quality parameters were changed during TE treatment. The water percolated through FP residues was similar to that of the looms in relation to some parameters and with the LS wastes, in others. We concluded that the wastes that just left the loom have high potential for changing water quality, but the reduction of waste's humidity is efficient for minimizing environmental risks. The use of drying bed could be as efficient as the filter press, if conducted in a proper form and according to legal regulations.

Keywords: abrasive slurry; water pollution; drying ponds; filter press.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um importante produtor e exportador de rochas ornamentais para a construção civil. De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2016), apesar da retração no faturamento registrada em 2016, o período de janeiro a maio do mesmo ano

registrou cerca de 472 milhões de dólares e aproximadamente 1 milhão de toneladas de material exportado, com variação respectivamente negativa de 5,38% e positiva de 12,10% frente ao mesmo período de 2015. O estado do Espírito Santo, responsável por 75% dessa produção, tem destaque no cenário internacional (SARDOU FILHO *et al.*, 2013); fato que traz

¹Universidade Federal do Espírito Santo - Vitória (ES), Brasil.

²Poço Fundo Solução em Abastecimento de Água - Serra (ES), Brasil.

*Autora correspondente: mirnaan@gmail.com

Recebido: 22/12/2012 - Aceito: 02/08/2017 - Reg. ABES: 173846

consigo a necessidade de estudos que busquem minimizar os impactos ambientais negativos inerentes à lavra e ao beneficiamento de rochas.

No processo de beneficiamento de rochas ornamentais são geradas grandes quantidades de resíduos finos, conhecidos como “lama abrasiva”. A serragem dos blocos rochosos é feita comumente por teares dotados de lâminas de aço que se movimentam sobre o bloco para segmentá-lo em chapas. Sobre as lâminas circula uma polpa (lama abrasiva) composta por granalha de aço (grãos milimétricos facetados), cal e água (BRAGA *et al.*, 2010). O atrito entre lâmina, granalha e rocha diminui o poder abrasivo da lama, a qual precisa ser descartada. Parte do bloco rochoso, ao ser serrado, é pulverizado e passa a fazer parte da lama. Quando 1 m³ de bloco de mármore é serrado em placas de 2 cm de espessura, a proporção de partículas de rocha que é agregada à lama abrasiva é de aproximadamente 25% (ÇELIK & SABAH, 2008). No Brasil, a produção de resíduo no processo de serragem tende a ser maior, podendo compor cerca de um terço em peso seco ou dois terços em peso úmido do bloco (BRAGA *et al.*, 2010). Outro sistema de serragem de blocos utiliza o tear de fios diamantados, que difere do primeiro tipo pela não utilização de granalha, gerando uma lama composta essencialmente por pó de rocha, cal e água. Porém, esse sistema não é o mais utilizado atualmente, devido aos custos envolvidos na mudança do processo produtivo.

Embora o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA) estabeleça, em sua Instrução Normativa nº 12 (IEMA, 2007), as normas para disposição da lama abrasiva em aterros industriais, esses resíduos ainda têm sido descartados ou armazenados de forma inadequada, resultando em impactos ambientais indesejáveis (MANHÃES & HOLANDA, 2008).

Considera-se importante, portanto, investigar o potencial de impactos negativos que esses materiais podem representar à qualidade ambiental. A disposição inadequada da lama costuma ser feita de várias maneiras: com alto teor de umidade (lama *in natura*, da forma como sai diretamente do tear), com umidade reduzida em leito de secagem

ou após passar por um filtro prensa. Ensaios laboratoriais utilizando colunas de solo já foram conduzidos para verificar as alterações que os resíduos finos de rochas ornamentais podem causar à qualidade da água e do solo. Bertossi *et al.* (2012) testaram a aplicação de altas doses de resíduo em colunas de solos ácidos, verificando que o resíduo fornece metais para o solo e altera seu pH para níveis aceitáveis. Porém, o aumento da condutividade elétrica observado na água de percolação indica a existência de riscos ambientais (BERTOSSO *et al.*, 2011).

Os trabalhos citados foram bastante elucidativos no que se refere ao comportamento das características da água e do solo sob aplicação dos resíduos de rocha visando à correção de pH ou ao enriquecimento mineral. Porém, ainda não foram simuladas situações de disposição inadequada, diretamente sobre o solo sem proteção, da forma como comumente se observa em uma das maiores regiões produtoras de rochas ornamentais do Brasil. Nesse sentido, considera-se importante avaliar a influência dos diferentes tipos de resíduos finos gerados, especialmente quanto ao teor de umidade, fator fundamental para sua gestão, conforme apontado pela Instrução Normativa nº 12 do IEMA.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência de resíduos finos de rochas ornamentais na água que percola por uma camada de resíduo sobreposta a um substrato-solo. Os resíduos estudados, gerados pelo processo que ainda é o mais usual (tear com lâminas de aço), possuem diferentes taxas de umidade e seu estudo visou à simulação da disposição dos diferentes tipos de rejeito em contato direto com o solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os resíduos foram coletados em uma empresa de beneficiamento de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo. Foram coletadas amostras em triplicata em três locais da planta de beneficiamento: diretamente da boca do tear (TE), logo após passar pelo filtro prensa (FP) e no leito de secagem (LS) (Figura 1).

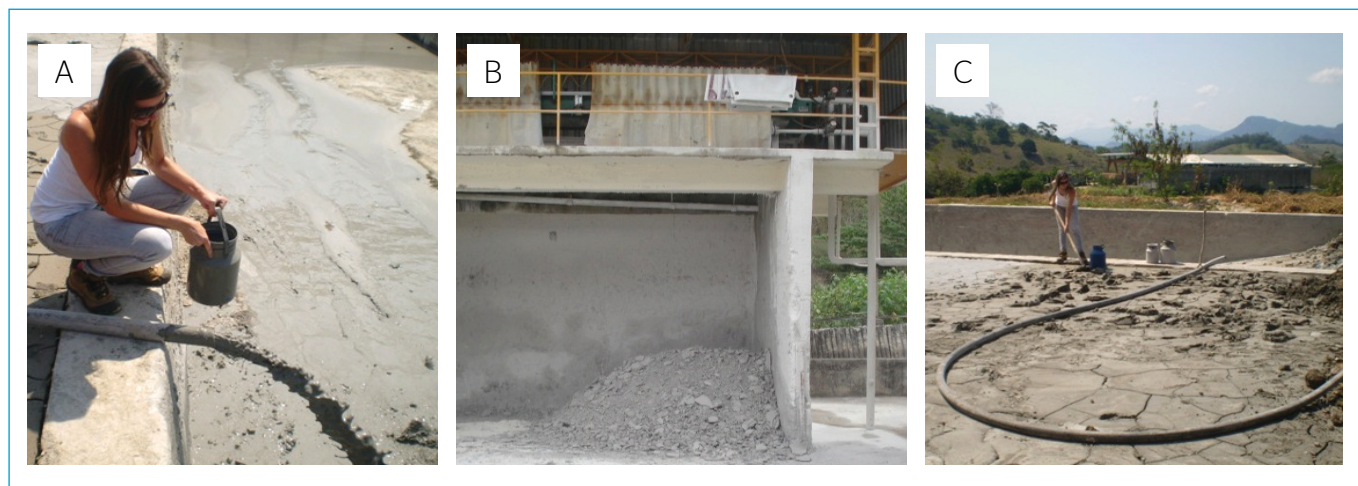


Figura 1 - Locais de coleta dos resíduos (A) na mangueira de saída de lama do tear (para o tratamento TE); (B) após tratamento em filtro prensa (para o tratamento FP) e (C) no leito de secagem (para o tratamento LS).

O teor de umidade foi determinado em laboratório, em triplicatas de cada tipo de material coletado, por meio de pesagem inicial, secagem em estufa e pesagem posterior até a obtenção de medidas de massa constantes (Tabela 1). Uma alíquota de cada amostra foi seca, triturada, homogeneizada e quarteada para análise química por espectrometria de fluorescência de raios X (Tabela 2).

O solo utilizado no experimento foi coletado no município de Alegre, situado a cerca de 60 km de Cachoeiro de Itapemirim, sul do estado do Espírito Santo. Seus atributos químicos indicam solo ácido, com deficiência em Ca e Mg e alto teor de Fe (Tabela 3), características tipicamente encontradas nos solos capixabas.

Tabela 1 - Teor de umidade dos resíduos finos de rocha ornamental usados no experimento.

Local de coleta	Boca do tear	Filtro prensa	Leito de secagem
Umidade (%) (média±DP)	58,2±1,4	24,6±0,5	29,9±0,9

DP: desvio padrão.

Tabela 2 - Composição química do resíduo fino de rocha ornamental usado no experimento.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI
(%)										
52,5	10,7	9,8	3,4	3,6	2,2	8,4	0,1	0,6	0,3	8,2

LOI: perda ao fogo.

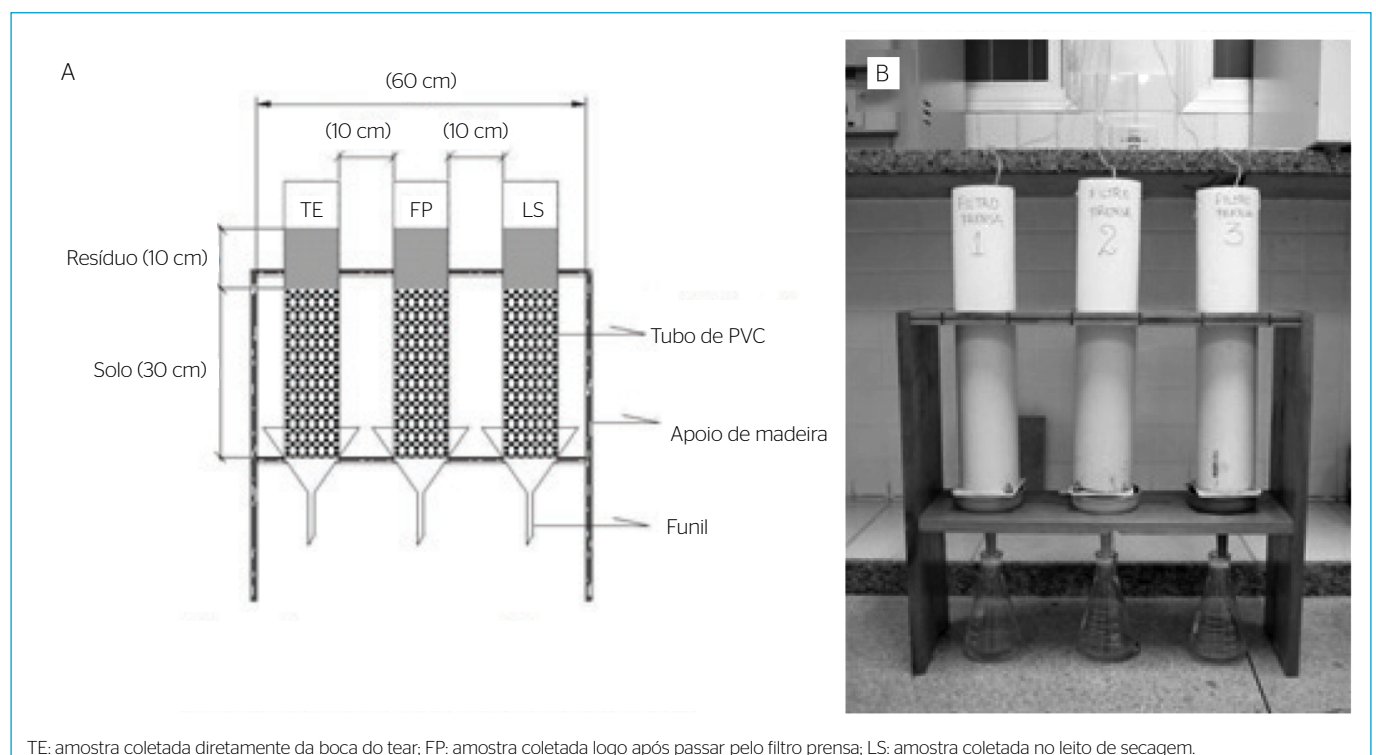
Tabela 3 - Características químicas do solo utilizado no experimento.

pH _{H₂O}	Ca	Mg	Al	K	Na	Fe	Mn	P	Cu	Zn
(cmol _c .dm ⁻³)			(mg.dm ⁻³)							
4,7	0,3	0,1	1,1	19,0	0,0	73,0	6,0	2,0	0,3	0,4

As colunas de solo utilizadas neste trabalho foram montadas em laboratório, seguindo instruções de Lewis & Sjöstrom (2010). O aparelho é composto de um apoio de madeira com espaço para três tubos de PVC com 10 cm de diâmetro e 40 cm de altura (Figura 2). Na parte inferior dos tubos, foram acoplados ralos para permitir a passagem da água de percolação e impedir a passagem do solo. As paredes dos tubos foram revestidas com uma camada de areia grossa (aderida às paredes com cola à prova d'água), buscando evitar a formação de caminhos preferenciais para o fluxo. Na extremidade inferior dos tubos (sobre o ralo), foi colocada uma manta de lã de vidro e, sobre ela, 30 cm de solo. Sobre o solo, foram colocados 10 cm de resíduo, e logo após, novamente a manta de lã de vidro para evitar a formação de depressões causadas pelo fluxo da água.

Para manter a densidade do material de preenchimento dos tubos semelhante em todos os tratamentos e repetições, as amostras de solo foram depositadas aos poucos e adensadas manualmente de forma similar em todos os tubos, para tornar o material o mais homogêneo possível e evitar a formação de camadas ou caminhos preferenciais para o fluxo.

Antes de colocar o resíduo, a coluna de solo foi saturada de baixo para cima, evitando a formação de bolhas de ar durante a passagem da água de percolação. A saturação foi alcançada colocando-se a coluna de solo dentro de um recipiente contendo água, por aproximadamente 72 horas. Os tubos foram, então, colocados no apoio e deixados em repouso por mais 72 horas para o escoamento do excesso de água retida nos poros. Logo após, depositou-se uma camada de



TE: amostra coletada diretamente da boca do tear; FP: amostra coletada logo após passar pelo filtro prensa; LS: amostra coletada no leito de secagem.

Figura 2 - (A) Projeto do permeâmetro e (B) aparato montado em laboratório para realização do experimento de percolação.

resíduo sobre o solo e iniciou-se a percolação de água durante sete dias. O ambiente climatizado do laboratório garantiu o controle da temperatura ambiente em 22°C.

Foram realizados três experimentos simultaneamente, correspondentes a três repetições, para cada um dos três tipos de resíduo coletados. Cada tipo de resíduo depositado sobre o solo constitui um tratamento experimental e, além desses, foi montado um experimento testemunha (ou branco), onde os tubos foram preenchidos apenas com solo. Assim, foram testados quatro tratamentos:

- tratamento 1: resíduo coletado na boca do TE;
- tratamento 2: resíduo coletado no FP;
- tratamento 3: resíduo coletado no LS;
- tratamento 4: solo puro ou branco (B).

A água de percolação foi coletada abaixo dos tubos em Erlenmeyers com capacidade de 500 mL. Foram coletadas amostras desse percolato durante todo o experimento, realizando-se medidas de pH e da condutividade elétrica (CE) por meio de medidor multiparâmetro. As medidas foram realizadas a cada quatro horas no período diurno durante sete dias, totalizando 28 observações. No caso do experimento com TE, que é mais fluido devido ao maior teor de umidade, o tempo de percolação foi menor e o intervalo entre as medidas foi ampliado para 12 horas.

Assim que os valores de pH e CE atingiram valores relativamente constantes, foi coletada uma amostra final para análises de alcalinidade e metais dissolvidos. A alcalinidade foi medida por titulometria conforme a Norma Brasileira 13736 (ABNT, 1996). Para a análise de metais, uma alíquota de cada amostra foi filtrada em filtro de 45 µm, acidificada com ácido nítrico e refrigerada a 4°C, conforme a Norma Brasileira 9898 (ABNT, 1987). Nessas amostras, foram determinadas as concentrações de: Ca, Mg, K, Zn, Fe, Mn e Cu por espectrometria de absorção atômica.

Na análise estatística dos dados, utilizou-se o *software* R (R CORE TEAM, 2015) para comparação das médias por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Os parâmetros de qualidade da água de percolação foram avaliados com base nos valores máximos permitidos (VMP) para água subterrânea determinados pela Resolução nº 396/08 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH medido na água percolada através da camada de resíduo e do substrato-solo variou entre 6,5 e 8,5 (Figura 3), valores que podem ser considerados comuns em águas naturais (HEM, 1985). Nos tratamentos TE (Figura 3A) e FP (Figura 3B), o pH atingiu valores mais altos

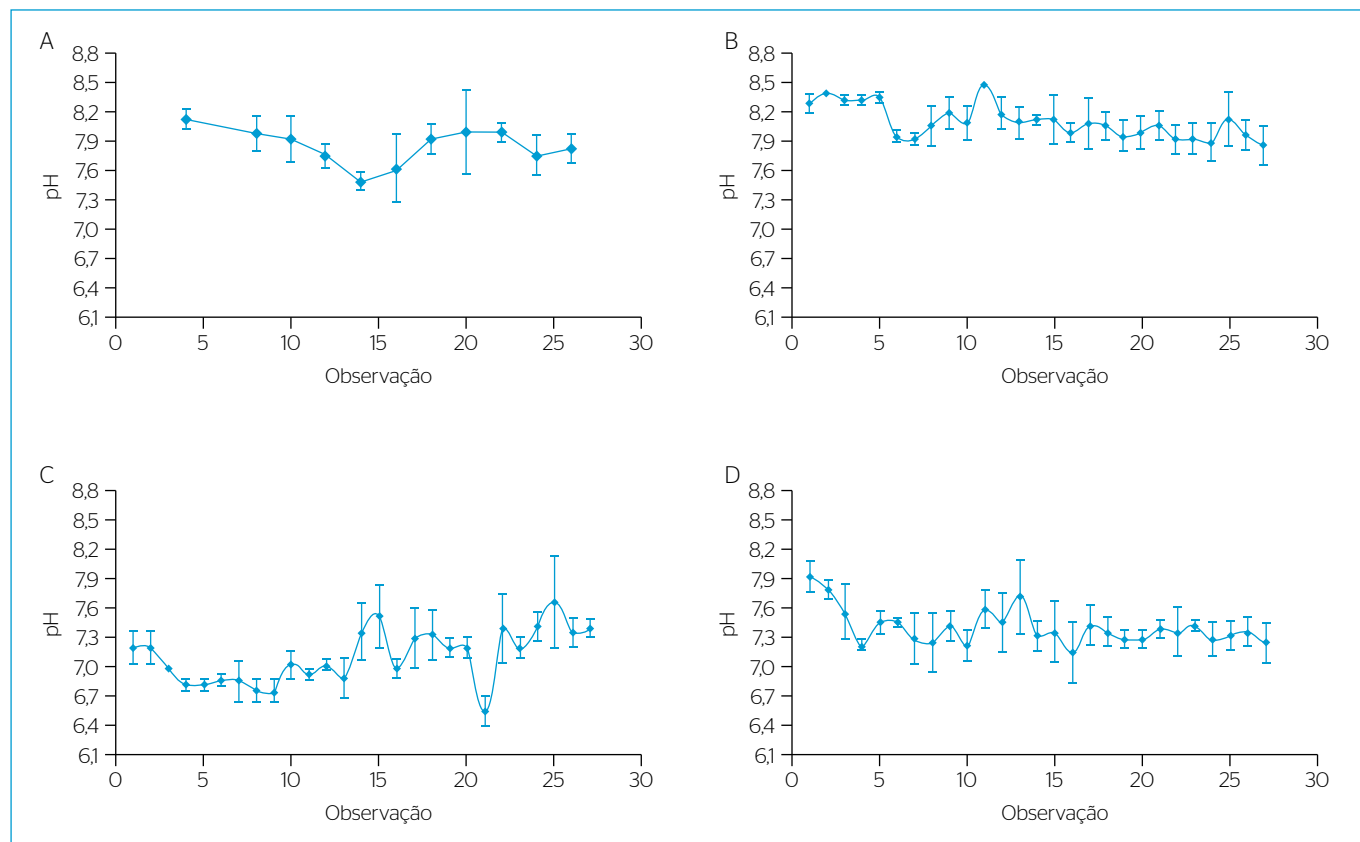


Figura 3 - Comportamento do pH ao longo do tempo nos tratamentos (A) com resíduos do tear; (B) com resíduos do filtro prensa; (C) com resíduos do leito de secagem; e (D) no solo puro ou testemunha.

do que nos demais tratamentos. O tratamento que utilizou resíduos do LS (Figura 3C) foi o que apresentou características mais próximas às da testemunha (solo puro) (Figura 3D). Esses dados corroboram assertivas anteriores (NEVES *et al.*, 2013), mostrando que o pH elevado não é o principal problema dos resíduos finos de rochas ornamentais. Embora níveis de pH corrosivo tenham sido medidos em resíduos recém-gerados (FREITAS; RAYMUNDO; JESUS, 2012), os valores tendem a cair provavelmente em decorrência de interações com o CO₂ atmosférico. Também em conformidade com Neves *et al.* (2013), é possível afirmar que a redução de umidade dos resíduos por meio do FP ou em LS fornece resultados semelhantes no que diz respeito à atenuação do pH.

Em todos os tratamentos houve aumento inicial da CE e decaimento posterior, indicando a lixiviação do material percolado (Figura 4). No tratamento TE, a estabilização começou com valores em torno de 400 mS.cm⁻¹, mostrando tendência de estabilização nesse patamar. Nos tratamentos FP e LS, inicialmente a CE subiu, respectivamente, para perto de 850 e 650 mS.cm⁻¹ e, em seguida, decresceu tendendo à estabilização na faixa dos 100 mS.cm⁻¹. Os valores-pico da CE foram medidos na testemunha ou solo puro (em torno de 950 mS.cm⁻¹), mas esses valores decresceram rapidamente (chegando a 72±1,15 mS.cm⁻¹),

enquanto nos tratamentos FP e LS foram necessários entre 3 e 4 dias para se obter níveis relativamente estáveis de 112±4,51 e 108±6,51 mS.cm⁻¹, respectivamente. Esses dados mostram que os resíduos forneceram substâncias para a água percolada através da camada de resíduo e do substrato-solo. O resíduo TE elevou os valores normais da CE em até quatro vezes. Por outro lado, os resíduos com umidade reduzida por tratamento em FP ou em LS não alteraram a CE da água de percolação para níveis divergentes daqueles comumente encontrados em águas naturais (HEM, 1985). Portanto, ambos os métodos de secagem podem ser considerados igualmente eficazes na atenuação ou diminuição de riscos ambientais.

As análises de alcalinidade, sólidos totais dissolvidos (STD) e metais dissolvidos foram realizadas apenas ao final do experimento, quando foram consideradas as condições observadas como próximas do equilíbrio, conforme indicado pela relativa estabilização do pH e da CE.

Os valores de alcalinidade e STD foram maiores no tratamento TE (Figura 5), sendo que os demais tratamentos não apresentaram diferença significativa comparativamente à testemunha. A concentração de STD na água do tratamento FP foi maior do que no LS, mas ainda permaneceu menor do que no TE. Em todos os tratamentos, os STD permaneceram com valores muito aquém do VMP para águas

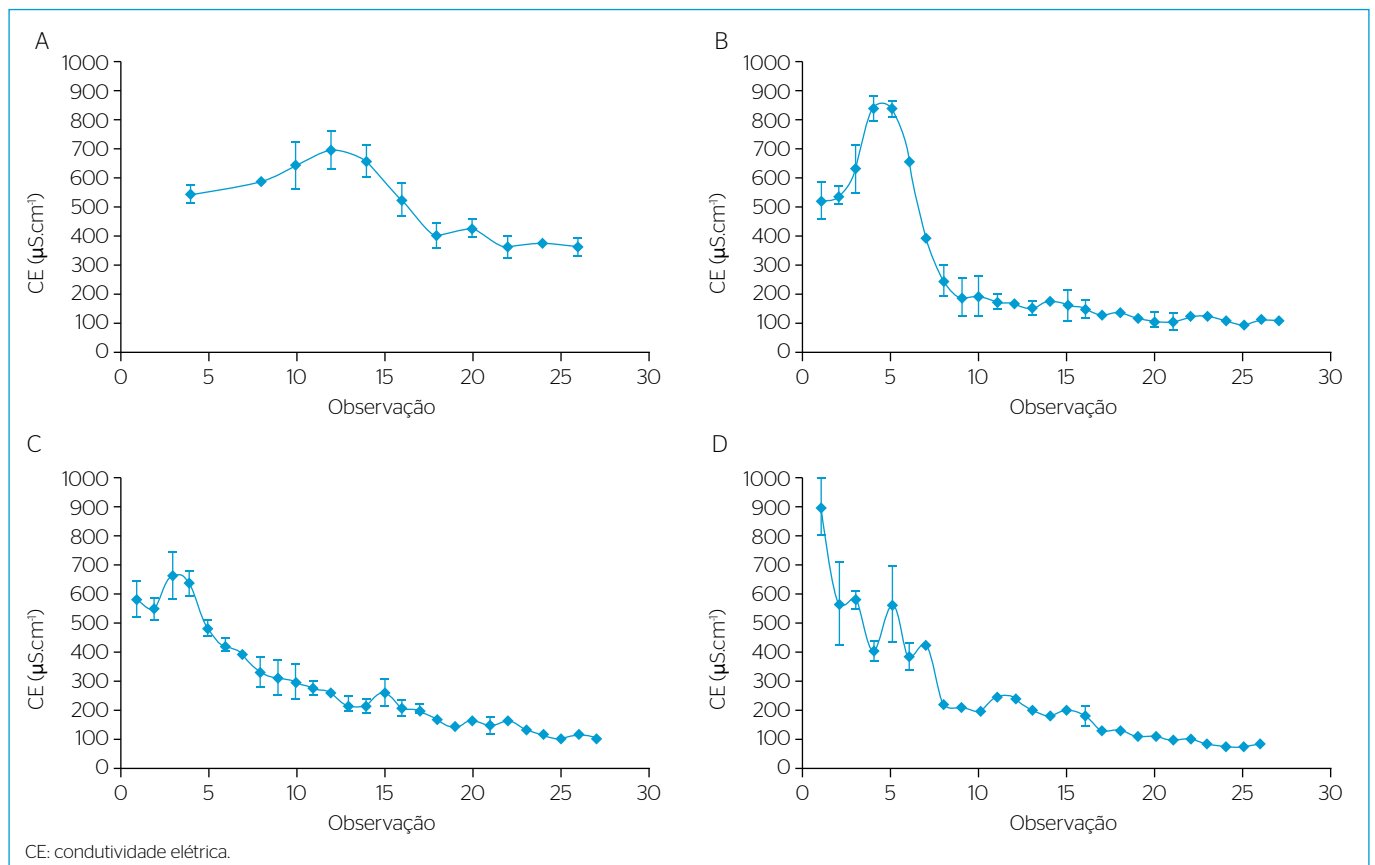


Figura 4 - Comportamento da condutividade elétrica ao longo do tempo nos tratamentos (A) com resíduos do tear; (B) com resíduos do filtro prensa; (C) com resíduos do leito de secagem; e (D) no solo puro ou testemunha.

subterrâneas em seu uso mais restritivo, que é de 1.000 mg.L⁻¹, conforme a Resolução nº 396/08 do CONAMA (BRASIL, 2008).

Os metais essenciais analisados, isto é, aqueles que ocorrem de forma mais abundante na água, como Ca, Mg e K, apresentaram tendência semelhante aos parâmetros descritos anteriormente (Figura 6). O tratamento TE apresentou sempre os maiores valores, indicando que o resíduo que sai diretamente da boca do tear influencia na água percolada de forma significativa, tornando-a mais enriquecida nesses metais. No caso do Ca, diferença significativa também foi observada no resíduo do FP, mas o acréscimo foi pequeno (0,05 mg.L⁻¹). Chama atenção o aumento da concentração de K na água de percolação, que sobe

cerca de três vezes no tratamento TE, comparativamente à testemunha. Essa constatação é importante para estudos de rochagem, que constitui a prática agrícola de incorporação de rochas e/ou minerais ao solo, sendo a calagem e a fosfatagem natural, casos particulares dessa prática (FYFE; LEONARDOS; THEODORO, 2006; THEODORO & LEONARDOS, 2006). Com a adição de pó de rocha ao solo, a água, através do intemperismo químico, agirá sobre o material rochoso, decompondo-o lentamente e liberando, gradualmente, os elementos químicos (SILVEROL & MACHADO FILHO, 2007). De acordo com Lapido-Loureiro et al. (2009), o contato da rocha com microrganismos e/ou subprodutos derivados do metabolismo microbiano pode causar a

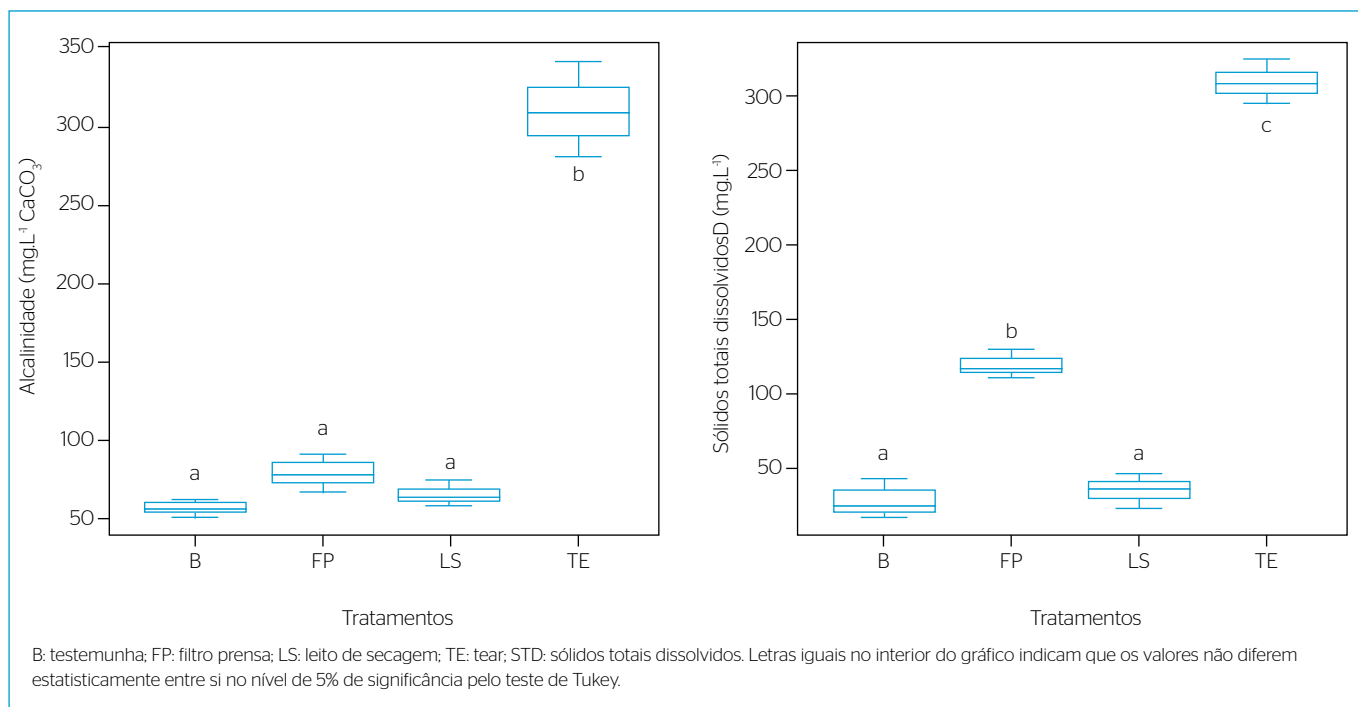


Figura 5 - Valores de alcalinidade e de sólidos totais dissolvidos nos diferentes tratamentos e na testemunha.

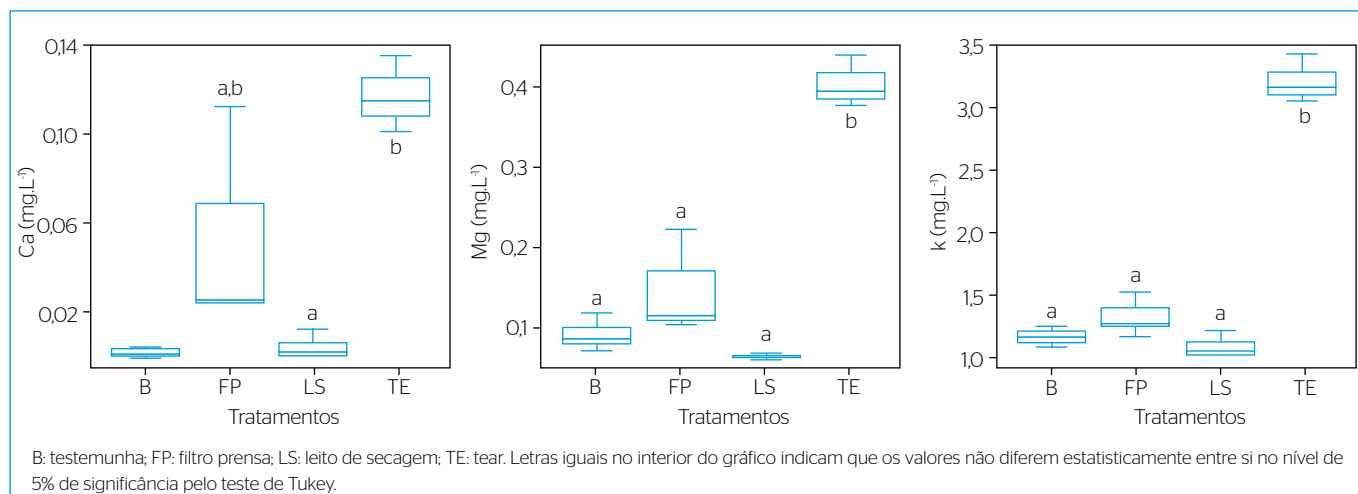


Figura 6 - Concentração de Ca, Mg e K medidos na água de percolação nos diferentes tratamentos e na testemunha.

biossolubilização de elementos químicos. Neste sentido, Machado *et al.* (2016) relatam efeitos positivos da liberação de K a partir de resíduos de rochas ornamentais por meio de tratamento com ácidos orgânicos.

A prática da rochagem está condicionada a um rígido controle de contaminantes que possam estar presentes nos materiais utilizados. Nessa categoria entram os metais traços (Fe, Mn, Cu e Zn), que constituem micronutrientes naturais presentes no solo, mas que podem representar risco de contaminação ambiental caso ocorram em teores acima de valores considerados seguros.

No experimento ora apresentado, a concentração de Fe medida na água percolada foi significativamente mais elevada no tratamento TE

(5,89 mg.L⁻¹), enquanto os demais tratamentos (LS e FP) não diferiram da testemunha (Figura 7). Em todos os tratamentos, os teores de Fe ficaram acima do VMP da Resolução do CONAMA nº 396/08 (BRASIL, 2008) para águas subterrâneas em sua exigência mais permissiva, que é de 5,0 mg.L⁻¹. Nos usos mais restritivos, o VMP para o Fe é de 0,3 mg.L⁻¹. No caso do Mn, os teores também foram maiores no TE e no FP, que ficaram no mesmo patamar (1,4 e 1,2 mg.L⁻¹). O VMP para o Mn é de 0,05 ou, no máximo, 0,2 mg.L⁻¹. Por outro lado, não houve diferença significativa entre os teores de Cu e Zn na água de percolação em nenhum dos casos estudados e todos os teores medidos ficaram abaixo do VMP no uso mais restritivo de águas subterrâneas conforme o CONAMA (respectivamente 0,2 e 2,0 mg.L⁻¹).

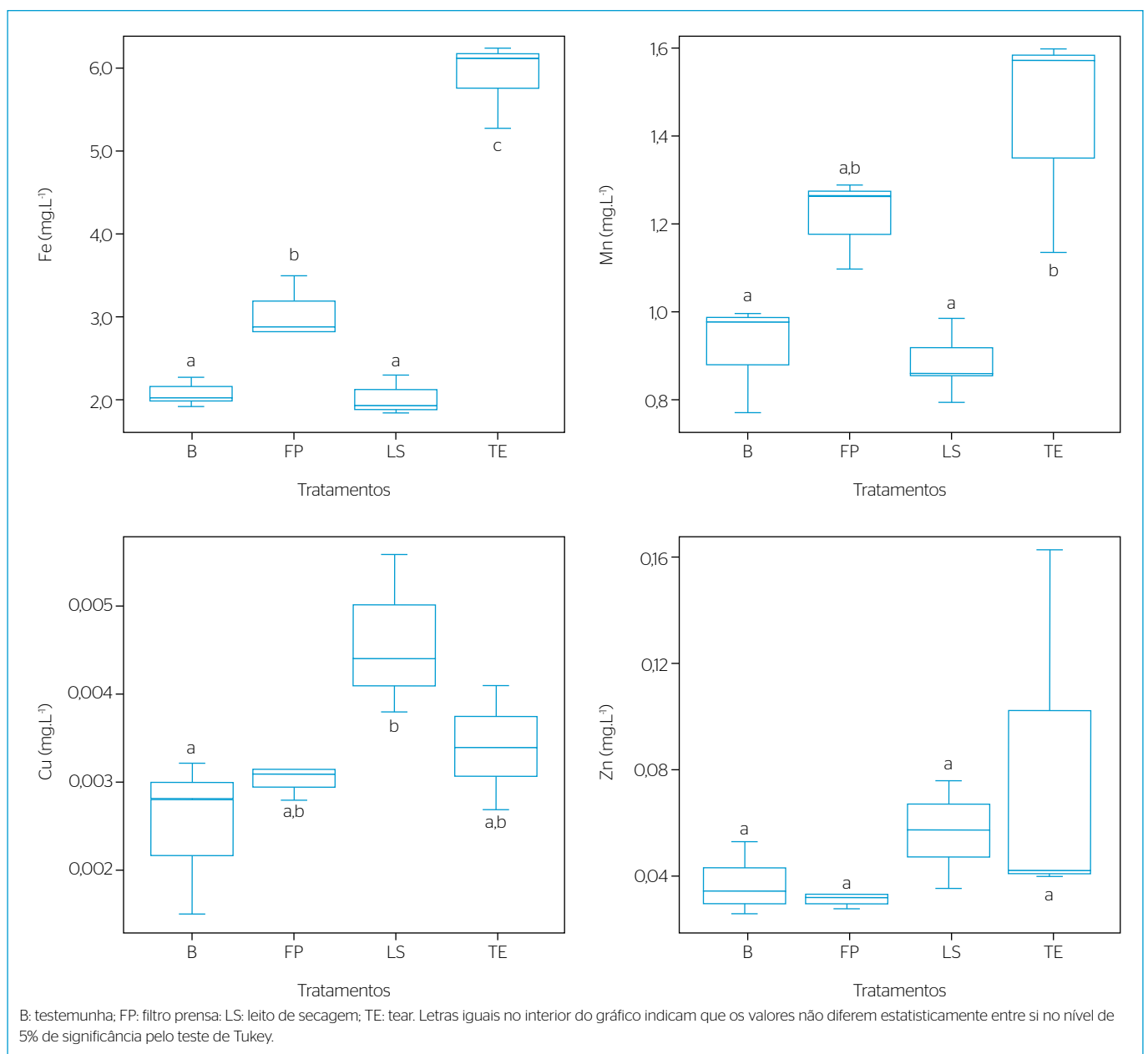


Figura 7 - Concentração de Fe, Mn, Cu e Zn medidos na água de percolação nos diferentes tratamentos e na testemunha.

O uso seguro de resíduos deve passar pelo conhecimento de sua composição e das possibilidades de interação dos eluatos com o ambiente. Para tanto, é possível utilizar o sistema de classificação proposto pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), publicado na Norma Brasileira 10004 (ABNT, 2004). Essa classificação define três categorias de resíduos: os perigosos (Classe I), que representam riscos ao ambiente e à saúde humana por possuírem características perigosas ou por liberarem elementos ou substâncias perigosas para o ambiente; os não inertes (Classe II-A) que, embora não sejam perigosos, liberam substâncias acima de valores máximos permitidos; e os inertes (Classe II-B), que não liberam elementos ou substâncias químicas para o ambiente ou o fazem dentro de níveis permitidos.

Alguns trabalhos realizaram a classificação dos resíduos finos provenientes do processamento de rochas ornamentais conforme o sistema da ABNT (e.g., MANHÃES & HOLANDA, 2008; BRAGA et al., 2010). Embora as conclusões não sejam unívocas, possivelmente devido ao caráter heterogêneo desses resíduos, a maior parte dos trabalhos consultados classifica-os como não inertes (Classe II-A).

Analisando-se as diferentes etapas de beneficiamento, percebe-se que o uso de insumos potencialmente perigosos ocorre na etapa de polimento das chapas, quando são usadas resinas, abrasivos e corantes para conferir brilho e cor ao material final. Dessa forma, a separação dos resíduos de corte e polimento é considerada aqui um procedimento importante para assegurar a geração de um resíduo com menor poder

de impactos negativos ao ambiente. Agrega-se a esse, o fato de que o maior volume de resíduo é gerado no processo de corte.

CONCLUSÕES

O resíduo fino gerado no beneficiamento de rochas ornamentais, independentemente de seu teor de umidade, não altera o pH da água percolada através dele e de um substrato-solo de forma a ultrapassar os limites considerados normais para águas subterrâneas. O resíduo *in natura*, da forma como sai do tear, fornece substâncias para a água que percola através dele e de um substrato-solo, aumentando a CE, STD, alcalinidade e os teores de Ca, Mg, K, Fe e Mn. O resíduo tratado em FP fornece Ca e Mn para a água de percolação em níveis semelhantes aos do resíduo TE. Além disso, o resíduo FP libera STD e Fe para a água de percolação acima dos teores medidos no eluato do LS.

Tanto o FP quanto o LS são métodos eficazes para atenuar a liberação de elementos e substâncias que podem ser nocivas ao ambiente e não há diferença significativa entre esses tratamentos. É possível que o tempo de exposição às condições atmosféricas seja o fator responsável pela menor liberação de substâncias para a água a partir do resíduo disposto em LS. Contudo, é importante ressaltar a necessidade de revolvimento do material e locação adequada do depósito, sem descartar as medidas de proteção preconizadas pelo órgão ambiental.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). (2016) *Balanco das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais no Período de Janeiro-Maio de 2016*. Informe 6/2016. ABIROCHAS. Disponível em: <<http://www.abirochas.com.br>>. Acesso em: 9 jul. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (1987) *Classificação 9898 - Preservação e técnica de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores*. Rio de Janeiro: ABNT.
- _____. (1996) *Classificação 13736: Água. Determinação de Alcalinidade. Método potenciométrico e titulométrico*. Rio de Janeiro: ABNT.
- _____. (2004). *NBR 10004: Resíduos Sólidos - classificação*. Rio de Janeiro: ABNT.
- BERTOSSI, A.P.A.; CARDOSO, M.S.N.; PRADO, A.C.A.; POLIDORO, J.C.; GARCIA, G.O.; NEVES, M.A. (2011) Influência de resíduo de serragem de mármore na condutividade hidráulica do solo e na qualidade da água. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 34, n. 1, p. 123-134.
- BERTOSSI, A.P.A.; NEVES, M.A.; CARDOSO, M.S.N.; PRADO, A.C.A.; DAMASCENO, C.A.; POLIDORO, J.C. (2012) Influência da utilização do resíduo fino de beneficiamento de rochas ornamentais silicáticas na qualidade do solo e da água. *Geociências*, v. 31, n. 2, p. 185-195.
- BRAGA, F.S.; BUZZI, D.C.; COUTO, M.C.L.; LANGE, L.C. (2010) Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 15, p. 237-244.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2008) *Resolução nº 396, de 3 abril de 2008*. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2016.
- ÇELIK, M.Y.; SABAH, E. (2008) Geological and technical characterization of Iscehisar (Afyon-Turkey) marble deposits and the impact of marble waste on environmental pollution. *Journal of Environmental Management*, v. 87, p. 106-116. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.004>

- FREITAS, J.J.G. de; RAYMUNDO, V.; JESUS, H.C. (2012) Características químicas dos resíduos de serragem segregados de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 42, n. 3, p. 615-624. <http://dx.doi.org/10.5327/Z0375-75362012000300014>
- FYFE, W.; LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.C.H. (2006) Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, n. 4, p. 715-720. <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652006000400007>
- HEM, J.D. (1985) *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. 3. ed. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2254. 263 p.
- INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (IEMA). (2007) *Instrução a Normativa do IEMA nº 12 de 03 de dezembro de 2007*. Vitória: IEMA. Disponível em: <<http://www.meioambiente.es.gov.br/>>. Acesso em: 25 jul. 2016.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.; NASCIMENTO, M.; NEUMANN, R.; RIZZO, A.C. (2009) *Tecnologias de Aplicação de Glauconita como Fonte de Potássio na Agricultura: o caso brasileiro e a experiência indiana*. Brasília: CETEM. (Comunicação Técnica CT2009-156-00). 8 p.
- LEWIS, J.; SJÖSTROM, J. (2010) Optimizing the experimental design of soil columns in saturated and unsaturated transport experiments. *Journal of Contaminant Hydrology*, v. 115, n. 1-4, p. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2010.04.001>
- MACHADO, R.V.; ANDRADE, F.V.; PASSOS, R.R.; RIBEIRO, R.C.C.; MENDONÇA, E.S.; MESQUITA, L.F. (2016) Characterization of ornamental rock residue and potassium liberation via organic acid application. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, p. 113. <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcS20150153>
- MANHÃES, J.P.V.T.; HOLANDA, J.N.F. (2008) Caracterização e classificação de resíduo sólido "pó de rocha granítica" gerado na indústria de rochas ornamentais. *Química Nova*, v. 31, p. 1301-1304. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422008000600005>
- NEVES, M.A.; NADAI, C.P.D.; FONSECA, A.B.; PRADO, A.C.A.; GIANNOTTI, J.G.; RAYMUNDO, V. (2013) pH e umidade dos resíduos finos de beneficiamento de rochas ornamentais. *REM: Revista Escola de Minas*, v. 66, p. 239-244. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672013000200016>
- R CORE TEAM. (2015) *R: a language and environment for statistical computing*. Viena: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 26 abr. 2018.
- SARDOU FILHO, R.; MATOS, G.M.M.; MENDES, V.A.; IZA, E.R.H.F. (2013) *Atlas de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo*. Brasília: CPRM. 1 Atlas (1 DVD).
- SILVEROL, A.C.; MACHADO FILHO, L. (2007) Utilização de pó de granito e manto de alteração de piroxenito para fertilização de solos. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 2, n. 1, p. 703-707.
- THEODORO, S.H.; LEONARDOS, O.H. (2006) The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 78, p. 721-730. <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652006000400008>