

Composição química e potencialidade do uso de resíduo de extração de pedra ametista como fertilizante agrícola

Chemical composition and potential of use amethyst stone extraction residue as an agricultural fertilizer

Eliane Pereira dos Santos¹, Mariele Fioreze² e Marco Eliandro Benatti³

¹ Prof.^a Dr.^a, Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), campus Frederico Westphalen, RS, Brasil

² Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEAmb) da UFSM

³ Químico Industrial, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), campus Frederico Westphalen, RS, Brasil

Resumo

O município de Ametista do Sul, região norte do RS, tem como principal atividade econômica a prática de extração de pedra ametista. A garimpagem ocorre no sistema subterrâneo, resultando em toneladas de resíduos sólidos (rejeitos) que são, em sua maioria, depositados nas encostas de morro sem nenhum cuidado ou critério. Esse trabalho objetivou determinar a composição química de tais rejeitos, a fim de avaliar o potencial uso destes como fertilizantes agrícolas, através de incorporação ao solo. Foram realizadas determinações básicas, segundo ROLAS, para os parâmetros pH, matéria orgânica, nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio e magnésio. As coletas foram realizadas em oito distintos pontos de amostragem levando em consideração as diferenças existentes entre os resíduos da mineração. Os resultados indicaram o caráter mineral dos resíduos, principalmente devido aos baixos teores de matéria orgânica e nitrogênio, sendo que para estes dois parâmetros os rejeitos não são indicados para adubação. Já para os macro nutrientes P, K, Ca e Mg, o resíduo demonstrou possuir bons teores, sendo sugerido o uso destes como fertilizantes agrícolas através de incorporação no solo.

Palavras-chave: Adubação, macro nutrientes, mineração, rejeito, rochagem.

Abstract

Ametista do Sul, northern RS, whose main economic activity practice amethyst stone extraction. The mining takes place in the underground system, resulting in tons of solid waste (tailings) which are mostly deposited in the hillsides without any care or discretion. This study aimed to determine the chemical composition of wastes, in order to evaluate the potential use of these as agricultural fertilizer, by incorporation into the soil. Basic determinations were performed according ROLAS, for the parameters pH, organic matter, nitrogen, potassium, phosphorus, calcium and magnesium. Samples were collected in eight different sampling points, taking into account the differences between mining wastes. The results indicated the mineral character of waste, due to low levels of organic matter and nitrogen, and for these two parameters waste is not suitable for fertilization. As for macronutrients P, K, Ca and Mg, the residue has demonstrated good yields, being in high concentration, these being suggested the use as agricultural fertilizer by soil incorporation.

Keywords: Fertilization, macronutrients, mining, reject, rock for crops.

1 Introdução

O Rio Grande do Sul (RS) se caracteriza por ser o maior produtor de pedra ametista e ágata do Brasil. O estado é responsável por cerca de 50% do volume total de gemas produzidas e 25% do total de exportações, totalizando a produção de aproximadamente 400 ton/mês dos dois minerais (SOUZA, 1996; MULINARI, 2011).

Em relação a pedra ametista, as principais jazidas se localizam na região do Alto Uruguai, norte do RS, nos municípios de Iraí, Frederico Westphalen, Alpestre, Rodeio Bonito, Planalto e, principalmente, Ametista do Sul, sendo esse último o maior explorador de gemas do estado (HARTMANN e SILVA, 2010). Na região, há a ocorrência de aproximadamente de 300 garimpos em uma área de 300 km², onde a extração de ametista é realizada diretamente na rocha inalterada, em galerias horizontais subterrâneas que atingem em média 50 a 100 metros de comprimento (MARKOSKI, 2006).

A ocorrência da pedra ametista tem relação com os derrames basálticos que deram origem aos solos da região. A ametista do RS ocorre na forma cristalizada no interior de geodos nos basaltos da formação Serra Geral, Bacia do Paraná (MARKOSKI, 2006). A formação desses geodos mineralizados se deu através da liberação de gases aprisionados pela lava em solidificação, que resultou na formação de cavidades nas rochas (geodos), preenchidos por mineralizações silicosas (PAGNOSSIN, 2007).

No município de Ametista do Sul, RS, a extração de pedra ametista se tornou a principal atividade econômica. Neste município, os trabalhos de garimpagem ocorrem no sistema subterrâneo, onde podem ser encontradas a pedra preciosa, o geodo, a calcita e a gipsita (DNPM, 1998). A pedra ametista resultante da extração é enviada para beneficiamento, tendo os mais diversos destinos e finalidades, enquanto que o rejeito é geralmente deixado nas encostas próximas às minas de extração, sem quaisquer cuidados ou critérios (PEREZ, 2001). Segundo Retore (2005), a abertura de galerias subterrâneas para extração da ametista é realizada através do desmonte da rocha, com uso de pólvora e dinamite, resultando em toneladas de fragmentos de basalto alterados que são jogados nas encostas de morros.

Os rejeitos dos garimpos podem ser provenientes de dois tipos de basalto com graus de alteração diferentes. O primeiro, chamado cascalho, consiste num material durável, que não apresenta desagregação sob ação do intemperismo, enquanto que a laje, que se configura como a rocha hospedeira da mineralização (geodos de ametista), se transforma em solo, sob as mesmas condições do cascalho, num período de 6 a 12 meses (RETORE, 2005).

A prática da mineração provoca um conjunto de efeitos não desejados, chamados de externalidades. Dentre estes, os conflitos de uso do solo, a depreciação de imóveis circunvizinhos e a geração de áreas degradadas (ARAÚJO, 2011). Também se caracteriza como uma externalidade a acumulação dos rejeito, principalmente quando ocorre em encostas de morros, o que traz comprometimento ao ambiente principalmente devido ao assoreamento das drenagens (MARKOSKI, 2006). Nesse sentido, se torna importante a realização de pesquisas visando à determinação da composição química de tais resíduos e estudo de possíveis destinações ou reaproveitamentos. Como exemplos de estudos já realizados, pode ser citada a avaliação do comportamento mecânico de rejeitos de extração de pedra ametista para pavimentação (RETORE, 2005) e a caracterização química dos rejeitos de extração por meio de EDX-RF (WASTOWSKI et al., 2012).

Outra alternativa que vem sendo estudada consiste na rochagem (*rock for crops*), que se configura como a incorporação das rochas moídas no solo. Essa prática visa à remineralização dos solos, por meio da inserção dos macro e micro nutrientes presentes nas rochas em área agrícolas (AGUIAR, 2013). Principalmente na Europa já se observa uma tendência de mudança das diretrizes, até então voltadas para o controle da deposição dos resíduos de extração mineral em aterros, por novas estratégias voltadas para a redução do volume e reciclagem dos resíduos gerados, contexto em que a rochagem se mostra como alternativa promissora (BARATA e ANGÉLICA, 2012).

Uma vez que a região norte do RS se configura como importante polo de mineração, e que ainda não há destinação adequada para a totalidade dos resíduos sólidos produzidos por esta atividade, este trabalho teve por objetivo determinar a composição química de rejeitos de mina de extração de pedra

ametista, principalmente em termos de quantificação de alguns nutrientes, a fim de avaliar a potencialidade do uso destes como fertilizantes agrícolas.

2 Material e métodos

2.1 Caracterização da área em estudo e coleta das amostras

O trabalho foi desenvolvido em uma mina de extração de pedra ametista, localizada no município de Ametista do Sul, região norte do RS, situado entre as coordenadas 27°15'04" - 27°22'36" Sul e 53°07'21" - 53°16'39" Oeste.

Conforme já mencionado, o município de Ametista do Sul se caracteriza por ser o principal polo de extração de pedra ametista do estado. Porém, devido à intensidade com que a atividade extrativista ocorre e a falta de alternativas rentáveis e ambientalmente eficazes, são observados problemas relacionados ao manejo e destinação dos resíduos sólidos gerados, os quais acabam em grande parte sendo depositados em encostas de morros (Figura 1).



Figura 1 – Resíduos resultantes da extração de pedra ametista dispostos em encostas de morro, em Ametista do Sul, RS.
Fonte: os autores.

Para a definição dos locais de amostragem de rejeitos de extração de pedra ametista, algumas considerações foram feitas a fim de contemplar a totalidade de rejeitos existentes, sendo estas: a) resíduos desintegrados em partículas menores (pó da extração); b) resíduos que não foram retirados do interior da mina; c) resíduos que foram retirados do interior da mina e ficaram expostos a ação do tempo; d) resíduos de local onde não há mais produção de ametista (área desativada), e; e) resíduos de local onde ainda há produção de ametista (área em atividade). Levando em conta estes critérios, foram definidos 08 locais de amostragem, a citar:

- P1: interior de mina de extração em atividade, distante do local de perfuração;
- P2: interior de mina de extração em atividade, próximo ao local de perfuração;
- P3: interior de mina de extração em atividade, pó de perfuração;
- P4: interior de mina desativada;
- P5: parte externa de mina desativada, resíduo exposto há 50-60 dias;
- P6: parte externa de mina desativada, resíduo exposto há 180 dias;
- P7: parte externa de mina em atividade, resíduo exposto há 50-60 dias; e
- P8: parte externa de mina em atividade, resíduo exposto há 365 dias.

As amostras foram coletadas conforme os locais pré-definidos, e armazenadas em sacos plásticos, sendo posteriormente encaminhadas ao Laboratório de Solos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), *campus* Frederico Westphalen.

2.2 Determinação da composição química de resíduos de extração de pedra ametista

Para a avaliação da composição química das amostras, foram utilizados os procedimentos de análise de solo adotados pela ROLAS (Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina), devido a inexistência de métodos de referência para análise química de tais rejeitos.

Foi utilizado o método de análise básica de macro nutrientes, que, diferentemente dos métodos de determinação total, indica a quantidade disponível para as plantas. Os parâmetros determinados foram pH, matéria orgânica (MO), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). As metodologias adotadas podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Procedimentos adotados para determinação da composição química de amostras de resíduos de extração de pedra ametista, conforme método de análise básica

Parâmetro	Procedimento
pH	Sonda multiparâmetros: utilizados 10 mL de resíduos adicionados em 10 mL de água destiladas, sob agitação de 0,5 h.
MO	Colorimetria a 660 nm.
N	Destilação com NaOH e H ₂ SO ₄ .
P	Colorimetria a 660 nm.
K	Fotometria de chama.
Ca	Espectrometria de Absorção Atômica com chama.
Mg	Espectrometria de Absorção Atômica com chama.

A preparação das amostras para execução das análises básicas envolveu processo de secagem em estufa por 48 horas a temperatura de 45-50 °C, sendo após realizada a degradação do material em moinho de martelo, visando à homogeneização granulométrica através do uso de peneira de 2 mm de diâmetro (EMBRAPA, 2011). Após essa etapa, as amostras foram submetidas às determinações químicas, sendo utilizadas aproximadamente 200 g do material.

Os resultados médios referentes as determinações realizadas com resíduos das partes interna e externa da mina de extração foram comparados pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade de erro, a fim de poderem ser avaliadas possíveis semelhanças ou singularidades entre estes.

3 Resultados e discussão

Na Tabela 2 podem ser observados os resultados da determinação da composição química dos resíduos de extração de pedra ametista. As Tabelas 3 e 4 demonstram as faixas de interpretação dos parâmetros avaliados, de acordo com o Manual de Adubação e Calagem elaborado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS, 2004).

Os valores de pH estiveram próximos à 7,5, apresentando condição levemente básicas. De acordo com o Manual de Adubação e Calagem (SBCS, 2004), valores de pH em água acima de 6,0 são considerados altos, sendo que nessa faixa de pH geralmente a saturação por bases (V%) é elevada (> 80%), ocasionando maior retenção de cátions como K, Ca e Mg. O pH têm influência sobre a solubilidade de nutrientes no solo e também sobre a absorção destes pelas plantas, sendo indicado pela Embrapa (2009) valores ótimos em solo para cultivo variando entre 5,5 a 6,8, os quais são menores que os apresentados pelos resíduos avaliados neste estudo. Por sua vez, a saturação por bases, que apresenta elevada correlação com os valores de pH, é considerada um ótimo indicador das condições gerais de fertilidade, sendo classificados como solos eutróficos (férteis) aqueles que apresentam valores de V% superiores a 50% (SALAMI et al., 2014; SILVA et al., 2007; EMBRAPA, 2010).

Tabela 2 – Composição química de resíduos de extração de pedra ametista, realizada através de análise básica

Amostra	pH	N	MO		P		K		Ca		Mg	
			%	mg dm ⁻³	%	mg dm ⁻³	%	cmol _c dm ⁻³	%	cmol _c dm ⁻³	%	
Interior da mina	P1	≅ 7,5	< LD ¹	0,6	80,0	0,012	876,0	0,066	28,8	0,43	2,3	0,02
	P2	≅ 7,5	< LD	0,8	81,0	0,012	491,0	0,037	30,6	0,46	2,5	0,02
	P3	≅ 7,5	< LD	0,6	144,0	0,022	228,0	0,017	26,0	0,39	3,0	0,03
	P4	≅ 7,5	< LD	0,4	121,0	0,018	450,0	0,034	26,0	0,39	3,0	0,03
	Média	7,50	-	0,60a²	106,50a	0,02	511,25a	0,04	27,85a	0,42	2,70a	0,03
Exterior da mina	P5	≅ 7,5	< LD	0,1a	144,0a	0,022	162,0a	0,012	21,9a	0,33	1,1a	0,01
	P6	≅ 7,5	< LD	0,1a	133,0a	0,020	71,0a	0,005	45,0a	0,68	11,3a	0,10
	P7	≅ 7,5	< LD	0,8a	60,0a	0,009	512,0a	0,038	25,8a	0,39	1,9a	0,02
	P8	≅ 7,5	< LD	0,1a	127,0a	0,019	74,0a	0,005	43,0a	0,64	2,1a	0,02
	Média	7,50	-	0,28a	116,00a	0,02	204,75a	0,02	33,93a	0,51	4,10a	0,04

¹ Menor que o limite de detecção (0,017% m/m).

² Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 3 – Faixas de interpretação dos teores de fósforo (P), potássio (K) e pH

P (mg dm ⁻³)	K (mg dm ⁻³)	pH	Interpretação
≤ 7,0	≤ 20,0	≤ 5,0	Muito baixo
7,1 – 14,0	21,0 – 40,0	5,1 – 5,4	Baixo
14,1 – 21,0	41,0 – 60,0	5,5 – 6,0	Médio
21,1 – 42,0	61,0 – 120	> 6,0	Alto
> 42,0	> 120,0	-	Muito alto

Fonte: SBCS (2004)

Em relação a P, todas as amostras se encontram nas faixas de interpretação muito alta, conforme o Manual de Adubação e Calagem (SBCS, 2004), com concentrações variando de 60 mg dm⁻³ (P7) a 144 mg dm⁻³ (P3 e P5). Os teores de P podem contribuir com a nutrição das plantas principalmente no caso de o resíduo ser incorporado em solos ricos em matéria orgânica pois, conforme Tisdale et al. (1993), a matéria orgânica rica em substâncias húmicas possui a capacidade de aumentar a solubilidade e, em consequência, a disponibilidade do P para a nutrição das plantas, principalmente devido à formação de complexos fosfoúmicos e a ocorrência de troca do fosfato pelo íon humato.

Para K, também todas as amostras apresentaram concentrações elevadas, sendo que P6 e P8 apresentaram teores altos (71 e 74 mg dm⁻³, respectivamente) enquanto que as demais amostras apresentaram teores muito altos (maiores que 120 mg dm⁻³). Em solos, a passagem de K da forma trocável para a não trocável pode acontecer de forma rápida, o que pode acarretar em perdas por lixiviação das formas inicialmente não disponíveis em ocorrência da tendência natural de equilíbrio do solo (ROSOLEM et al., 2006), fato que demonstra a importância do correto fornecimento do nutriente a fim de evitar o esgotamento das reservas naturais do solo (WERLE et al., 2008). Além disso, o K tem importância vital para a nutrição das plantas, sendo ligado à ocorrência de processos como a fotossíntese, translocação e balanço iônico (OLIVEIRA et al., 2004).

Tabela 4 – Faixas de interpretação dos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e matéria orgânica (MO)

Ca (cmol _c dm ⁻³)	Mg (cmol _c dm ⁻³)	MO (%)	Interpretação
≤ 2,0	≤ 0,5	≤ 2,5	Baixo
2,1 – 4,0	0,6 – 1,0	2,6 – 5,0	Médio
> 4,0	> 1,0	> 5,0	Alto

Fonte: SBCS (2004).

Constatou-se nos resíduos de extração de pedra ametista teores de MO inferiores ao considerado baixo pelo Manual de Adubação e Calagem (SBCS, 2004). Os teores verificados variaram de 0,1% (P5, P6 e P8) a 0,8% (P2 e P7). Como consequência do baixo teor de MO, os teores de nitrogênio também são muito baixos, estando todas as amostras abaixo do limite de detecção do procedimento de determinação adotado (0,017%). Assim, pode-se admitir o caráter mineral do resíduo em estudo. Os baixos teores de MO são indicativos de que o tempo de exposição ainda não foi suficiente para a ação dos microrganismos sobre a rocha, que propiciam a formação e aumento dos teores de MO devido aos mecanismos naturais de formação do solo.

Quanto ao parâmetro Ca, as amostras apresentaram teores altos (maiores que 4,0 cmol_c dm⁻³), havendo variação entre 21,9 cmol_c dm⁻³ (P5) e 45,0 cmol_c dm⁻³ (P6). Para Mg, igualmente os resultados evidenciaram concentrações altas (maiores que 1 cmol_c dm⁻³), variando de 1,1 cmol_c dm⁻³ (P5) a 11,3 cmol_c dm⁻³ (P6). Em termos de fertilidade dos solos, a relação Ca:Mg é considerada importante devido à ocorrência de competição entre os dois nutrientes pelos sítios de adsorção no solo e consequente prejuízo ao desenvolvimento das plantas (MOREIRA et al., 1999). Salvador et al. (2011), em estudo investigativo da influência da aplicação de diferentes relações Ca:Mg, verificaram que a relação 3:1 na solução do solo é adequada para manter o equilíbrio de Ca, Mg e K no teor foliar da soja, relação esta que é próxima principalmente da evidenciada nos resíduos do P6. Estudo similar foi conduzido por Hernandez e Silveira (1998), que verificaram que o aumento da relação Ca:Mg contribui com a redução da produção de material seco da parte aérea de culturas de milho, além de contribuírem com o incremento das concentrações de Ca no tecido foliar.

Observou-se que os resíduos da parte externa da mina de extração, expostos a ação do tempo, mantiveram bons teores de P, K, Ca e Mg, não sendo constatadas diminuições nas concentrações, provavelmente em decorrência da não desagregação natural do resíduo mesmo sob ação do intemperismo.

Estudos demonstram a potencialidade de utilização de resíduos de mineração como fertilizantes. Aguiar (2013), em estudo sobre o uso de resíduos sólidos da mineração de esmeraldas (Itabira e Nova Era, MG) como fertilizantes em áreas agrícolas, obteve concentrações superiores às observadas neste estudo para Ca (4,37%), K (3,14%) e Mg (19,17%) e similares para P (0,02%), tendo o autor observado que ao aplicar o resíduo em solos agrícolas ocorreu aumento dos elementos Mg e K, com elevação da saturação por bases e redução do percentual da saturação de alumínio. O autor também realizou a aplicação do resíduo em solo plantado com milho, concluindo que o mesmo proporcionou melhor produção de matéria seca da parte aérea e matéria seca do peso das espigas. Segundo o autor, esse resíduo poderia ser utilizado diariamente nos solos, na forma de pó de rocha, para suprir os minerais que disponibilizam os nutrientes necessários aos cultivos agrícolas.

Outro estudo semelhante foi realizado por Knapik (2005), que determinou a composição química de rochas basálticas de Santa Catarina, evidenciando os compostos SiO₂ (53,62%), AlO₃ (13,47%), K₂O (1,17%), MgO (4,83%), CaO (9,00%), P₂O₅ (0,20%), S (139 mg L⁻¹), TiO₂ (1,19%), Fe₂O₃ (11,20%), Cu (71 mg L⁻¹) e Zn (93 mg L⁻¹). Os resíduos estudados são utilizados na forma de rocha moída blendada com esterco de equinos, na adubação de mudas de *Mimosa scabrella* BENTH (bracatinga) e *Prunus sellowii* KOEHNE (pessegueiro-bravo) em viveiros. O autor observou que as mudas produzidas no substrato com basalto moído acumularam mais Ca, Mg, B, Cu e Fe nas folhas.

Wastowski et al. (2012), em estudo sobre a caracterização química de rejeitos de extração de pedra ametista através do uso de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (EDX-

RF), utilizando amostras também provenientes do município de Ametista do Sul, RS, observaram, segundo análise total, elevadas concentrações dos macro nutrientes Ca ($12,46 \pm 2,29 \text{ mg kg}^{-1}$), K ($1,98 \pm 0,51 \text{ mg kg}^{-1}$) e P ($2,29 \pm 0,39 \text{ mg kg}^{-1}$). Segundo os autores, essas concentrações são indicativas da potencialidade de uso desses resíduos para a agricultura, uma vez que esses elementos são fundamentais para o desenvolvimento das plantas.

Em decorrência dos elevados teores de nutrientes evidenciados, os resíduos sólidos resultantes da extração de pedra ametista têm potencialidade para contribuir com a adubação do solo e nutrição das plantas em se tratando dos nutrientes minerais P, K, Ca e Mg. Porém, o caráter mineral do resíduo, refletido nas baixas concentrações de MO e N, dificulta que este seja usado como forma de reposição de carbono e nutrientes orgânicos, sendo nesse caso necessária a utilização de outras fontes para adubação e reposição.

4 Conclusões

A determinação da composição química revelou o caráter mineral dos resíduos sólidos resultantes da atividade de extração de pedra ametista, com elevados teores de Ca, Mg, P e K e baixos teores de MO e N.

Logos períodos de exposição não contribuíram com o incremento de MO e N nos resíduos provenientes da área externa da mina, não sendo visualizadas diferenças significativas entre os resíduos do interior e do exterior da mina de extração.

Os resíduos avaliados podem contribuir com a adubação dos solos, principalmente em áreas ricas em matéria orgânica devido à contribuição das substâncias húmicas na solubilidade e disponibilidade de alguns nutrientes.

Referências

- AGUIAR, A. de P. **Uso do resíduo da mineralização de esmeraldas da Província Esmeraldífera de Nova Era em solo agrícola**. Dissertação de Mestrado. Minas Gerais: Instituto de Geociências/UFMG; 2013. 98 p.
- ARAÚJO, J. M. de M. **Impactos socioambientais da mineração de brita no município de Jaboatão dos Guararapes**. Dissertação de Mestrado. Recife: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral/UFPE; 2011. 85 p.
- BARATA, M. S.; ANGÉLICA, R. S. Caracterização dos resíduos caulínicos das indústrias de mineração de caulim da amazônia como matéria-prima para produção de pozolanas de alta reatividade. *Cerâmica*, 2012; 58; 36-42.
- DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Ametista do Alto Uruguai: aproveitamento e perspectiva de desenvolvimento**. Brasília: Divisão de Minas e Controle Ambiental da Mineração – DMCAM, 1998.
- EMBRAPA. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Solos, 26 p., 2010.
- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2. ed., 2009.

- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Guilherme Kangussú Donagema *et al.* (org.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230 p., 2011.
- HARTMANN, L.; SILVA, J. T. da. **Tecnologias no Setor de Gemas, Joias e Mineração**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2010.
- HERNANDEZ, R. J. M.; SILVEIRA, R. I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Scientia Agricola**, 1998; 55(1).
- KNAPIK, J. G. **Utilização do pó de basalto como alternativa à adubação convencional na produção de mudas de *Mimosa scabrella* BENTH e *Prunus sellowii* KOEHNE**. Dissertação de Mestrado. Curitiba: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal/UFPR; 2005. 163 p.
- MARKOSKI, P. R. **Avaliação de imagens do sensor ASTER para caracterização e mapeamento de rejeitos de garimpos de ametistas**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento/UFRGS; 2006. 70 p.
- MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G. de; EVANGELISTA, A. R. Influência da relação cálcio:magnésio do corretivo na nodulação, produção e composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 1999; 34(2); 249-255.
- MULINARI, M. **Análise do processo de produção da extração de pedras preciosas visando alternativas rentáveis e ambientalmente eficazes**. Dissertação de Mestrado. Santa Maria: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/UFSM; 2011. 80 p.
- OLIVEIRA, R. H.; ROSOLEM, C. A.; TRIGUEIRO, R. M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2004; 28; 439-445.
- PAGNOSSIN, E. M. **A atividade mineira em Ametista do Sul/RS, e a incidência de silicose em garimpeiros**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFSM; 2007. 117 p.
- PEREZ, B. G. **As rochas e os minerais industriais como elementos de desenvolvimento sustentável**. Brasília, Centro de Tecnologia Mineral. Série Rochas e Minerais Industriais – SRMI, 2001.
- RETORE, T. S. **Comportamento mecânico de agregados de basaltos alterados para pavimentação, rejeitos de garimpo de ametista**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/UFRGS; 2005. 127 p.
- ROSOLEM, C. A.; SANTOS, F. P.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2006; 41; 1033-1040.
- SALAMI, B.; HIGUCHI, P.; SILVA, A. C. da; FERREIRA, T. de S.; MARCON, A. K.; BUZZI Jr., F.; BENTO, M. A. Influência de variáveis ambientais na dinâmica do componente arbóreo em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Lages, SC. **Scientia Forestalis**, 2014; 42(102); 197-207.
- SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, 2011; 9(1); 27-32.

- SBCS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre, 2004.
- SILVA, R. C.; PEREIRA, J. M.; ARAÚJO, Q. R.; PIRES, A. J. V.; DEL REI, A. J. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um Chernossolo com diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2007; 31(1); 101-107.
- SOUZA, J. C. **Industrialização de ametista no Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado. Porto Alegre: Escola de Engenharia/UFRGS; 1996. 191 p.
- TISDALE, S.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. H. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan Publishing Company, 1993. 634p
- WASTOWSKI, A. D.; SCHMITT, C.; BRONDANI, E. B.; ROSA, G. M. da; VOLPATTO, F. **Caracterização química do resíduo sólido gerado na extração de pedra ametista por espectrometria de fluorescência de raios-x por energia dispersiva**. In: 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. Bento Gonçalves, RS, 7 p., 2012.
- WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2008; 32; 2297-2305.