AVALIAÇÃO DE HORIZONTES AMIGDALÓIDES COM ZEÓLITAS DE PEDREIRA DE BASALTO COMO REMINERALIZADOR DE SOLOS

Claudete Gindri Ramos – e-mail: claudeterms@brturbo.com.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul -PPGE3M – UFRGS
Av. Bento Gonçalves, 9500 - Setor 6, Bairro Agronomia
91501-970 – Porto Alegre - RS

Fagner Tafarel Campos de Sá – e-mail: fagnercampos17@hotmail.com
Centro Universitário La Salle – UNILASALLE

Adilson Celimar Dalmora – e-mail: adilsondalmora@hotmail.com
Centro Universitário La Salle – UNILASALLE

Ivo André Homrich Schneider – e-mail: ivo.andre@ufrgs.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul -PPGE3M – UFRGS

Rubens Müller Kautzmann – e-mail: rubens.kautzmann@unilasalle.edu.br
Centro Universitário La Salle – UNILASALLE

Resumo: *A remineralização de solos através do uso de pó de rocha vulcânica é uma alternativa que pode contribuir na melhora da fertilidade dos solos, com resultados na sustentabilidade das atividades de mineração e agrícola. O objetivo do presente trabalho foi estudar a aplicação de um remineralizador produzido de estrato de basalto amigdalóide preenchido com zeólitas provenientes de uma pedreira localizada em Estância Velha, RS. O experimento está sendo desenvolvido em área de plantio de eucaliptos, em solo ácido e pobre em nutrientes. A metodologia do trabalho consistiu na caracterização física, química e mineralógica da rocha; na avaliação agronômica do solo; e em um delineamento experimental envolvendo diversas condições de adubação/rochagem para o crescimento de eucaliptos. Os resultados mostraram que o remineralizador apresenta minerais do grupo das zeólitas e características químicas e mineralógicas com potencial de proporcionar melhorias no solo. Contudo, na plantação, a simples adição do pó de rocha não se mostrou efetiva, com valores inferiores ao da adubação química. Os melhores resultados foram obtidos em um tratamento misto de rochagem e adubação química.*

Palavras-chave: *remineralizador de solos, agricultura sustentável, rocha vulcânica, eucaliptos*

EVALUATION OF A AMYGLAID LEVEL FILLED WITH ZEOLITE FROM A BASALT QUARRY AS A SOIL REMINERALIZER

Abstract: *The remineralization of soils through the volcanic rock powder use is an alternative that can contribute to the improvement of soil fertility, with results in the sustainability of mining and agriculture. The objective of this work was to study the application of remineralizer produced by amyglaid basalt layer filled with zeolites from a quarry located in Estância Velha, RS. The experiment is being developed in eucalyptus plantation area in nutrient poor and acid soil. The work methodology consisted of physical, chemical and mineralogical characterization of the rock; agronomic evaluation of the soil; and an experimental design involving several conditions of fertilization/stonemeal for the growth of eucalyptus. The results showed that the rock powder presents minerals from the group of the zeolites and chemical and mineralogical characteristics with potential to propose improvements of the soil. However, at the planting, the simple rock powder addition has not been effective, with values below the chemical fertilization. The best results were obtained with a mixed treatment of stonemeal and chemical fertilization.*

Keywords: *soil remineralizer, sustainable agriculture, volcanic rock, eucalyptus*

1. INTRODUÇÃO

Na legislação de fertilizantes, a Lei Nº 12.890/2013 estabelece o produto agronômico remineralizador como "material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo" (BRASIL, 2013).

A remineralização de solos, também conhecida como rochagem, consiste na reposição de macro e micronutrientes ao solo através da aplicação de pó de rochas (THEODORO *et al*., 2010; LEONARDOS *et al.* 1976). A remineralização de solos através do uso de pó de rocha vulcânica é uma alternativa que pode contribuir na melhora da fertilidade dos solos, com expectativa de reduzir a necessidade de adubos químicos solúveis, reduzindo os custos dos agricultores e os impactos gerados pelo consumo excessivo de tais fertilizantes. A rochagem parte do princípio de que as rochas têm uma maior disponibilidade de macro e micronutrientes às plantas (RAMOS *et al*., 2015).

Em regiões tropicais, com intensos períodos e volumes de chuvas, os nutrientes de adubos solúveis são facilmente lixiviados, com baixo tempo de permanência ou retenção nos solos, implicando na necessidade de reposição de fertilizantes a cada cultivo. Por sua vez, os remineralizadores, apesar da menor concentração de nutrientes, mas com menor solubilidade, mantém a disponibilidade de nutrientes por mais tempo (THEODORO & ALMEIDA, 2013).

Diversas pesquisas têm sido realizadas sobre a incorporação de rochas vulcânicas cominuídas aos solos agrícolas e/ou na recuperação de áreas degradadas. Esta técnica é estudada há algumas décadas mostrando bons resultados no Brasil e em vários países, como; EUA, Grã-Bretanha, Alemanha, Noruega, Israel, Austrália e África do Sul (VAN STRAATEN, 2007). Em geral estes materiais minerais apresentam composições química e mineralógica que, quando adicionados aos solos em quantidades adequadas, favorecem o processo de remineralização (RAMOS *et al*., 2015).

Nas pedreiras de produção de agregados que mineram rochas da Formação Serra Geral, principalmente os basaltos na base da sequência de derrames, são encontradas zonas vesiculares onde se concentram minerais do grupo das zeólitas. A presença de vesículas contendo zeólitas torna a rocha inapropriada à produção de agregados para uso em concreto cimento e concreto asfáltico, por acarretar prejuízos à qualidade mecânica destes concretos. Por isto, estes materiais são descartados ou

comercializados como aterro ou na manutenção de estradas não pavimentadas. Por outro lado, as zeólitas são conhecidas por suas qualidades agronômicas, e quando incorporadas ao solo, contribuem com o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo e na disponibilidade de macro e micronutrientes às plantas (BANDEIRA *et al.*, 2013).

O presente trabalho apresenta os resultados da primeira etapa do estudo de aplicação de rocha vulcânica com presença de zeólitas, como remineralizador de solo, em plantio de eucaliptos. Os objetivos desta etapa compreenderam a seleção e caracterização do remineralizador e do solo da área experimental, a definição de critérios de tratamentos agronômicos, os resultados de análises de solos e desenvolvimento das mudas após dois meses de plantio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Seleção e caracterização do remineralizador

O remineralizador aplicado no experimento foi proveniente da pedreira de basalto da INCOPEL Indústria e Comércio de Pedras Ltda, Estância Velha – RS, no local de coordenadas 485.959 S; 6.722.047 W, datum WGS 84. Trata-se de material selecionado de zona de capeamento vesicular de alto grau de alteração com presença de minerais zeolíticos, com espessura média de 6 m, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 – Aspecto da face do local de extração da amostra de rocha. As vesículas de cor branca são preenchidas predominantemente por minerais do grupo das zeólitas.

A amostra mãe, identificada como I3BV, totalizando 20 t foi lavrada, britada e selecionada por peneiramento, gerando material com textura na faixa de pedrisco a pó grosseiro. O remineralizador cominuído apresentou aspecto terroso de coloração castanho escuro, com consistência friável (desagregado com a força dos dedos). Para o local do experimento foram transportadas 10 t do remineralizador que foi disposto em pilha coberta por lona. Desta pilha foi coletada uma amostra composta por 10 subamostras, totalizando 20 kg, a qual foi encaminhada às análises de caracterização que compreenderam: granulometria, umidade, composição química, composição mineralógica e qualidade agronômica.

A análise granulométrica foi realizada por peneiramento manual a seco em malhas de 2 mm, 1 mm, 0,60 mm, 0,30 mm e 0,15 mm.

A umidade do material armazenado foi determinada por secagem em estufa por 24 h a 105ºC (EMPRAPA, 1997).

A composição química foi realizada em alíquota do reminealizador submetida à digestão ácida pelo método adaptado de Querol et al. (1997), utilizando ácido fluorídrico, nítrico e perclórico. A alíquota digerida foi enviada para análise de elementos majoritários por espectrometria de emissão

atômica por plasma indutivamente acoplado (ICP-AES), e de elementos-traço (minoritários) por espectrometria de massa por plasma indutivamente acoplado (ICP-MS).

A mineralogia foi avaliada através de Difração de raios-X. Para a avaliação da disponibilidade de nutrientes e qualidade agronômica do remineralizador uma alíquota foi submetida à análise de fertilidade de solos.

2.2. Avaliação agronômica do solo do experimento

O experimento em plantio de eucaliptos foi instalado nas terras da Fazenda Barbosa no município de Triunfo - RS, coordenadas 443.351 S; 6.703.936 W, SAD 69. A área total de instalação do experimento foi de 0,56 ha.

Com a finalidade de determinar a necessidade de adubação do solo, a gleba do experimento foi amostrada de forma aleatória e estratificada pelo tipo de cobertura do solo: com cobertura de vegetação (gramíneas) e sem cobertura; e para duas profundidades: 20 cm (para determinação da adubação) e de 20-50 cm (para avaliar a condição do desenvolvimento da planta). Foram coletadas 28 amostras, sendo 10 amostras de pontos sem gramíneas e 10 amostras com cobertura de gramíneas, a uma profundidade de 20 cm e 8 amostras do perfil de 20-50 cm, que resultaram em quatro amostras compostas. Para a amostragem utilizou-se trado holandês com haste de 1 m.

Após 4 meses da aplicação dos tratamentos e 2 meses após o plantio, foi realizada nova amostragem do solo para cada tratamento experimental. Cada amostra foi composta por 3 subamostras coletadas nas linhas de plantio, com profundidade de 20 cm, utilizando trado holandês.

As análises de qualidade agronômica dos solos foram realizadas antes e após a intervenção da preparação e adubação dos solos.

2.3. Preparo do solo e delineamento experimental

O preparo do solo para receber os tratamentos contou com etapa de revolvimento com uso de pé-de-pato em linhas paralelas (Figura 2). Estas foram condicionadas às linhas do plantio anterior, não destocadas. Ressalta-se que não houve qualquer supressão de vegetação, em estabelecimento na área de plantação, como em área vizinha ao experimento, como também da limpeza da serapilheira.

Figura 2 – Linhas preparadas com revolvimento do solo com pé-de-pato.

O experimento contempla seis tratamentos com três repetições cada, visando comparar a adubação química recomendada e a aplicação de remineralizador. Os tratamentos do experimento foram:

1) Sem adubação.
2) Adubação do produtor.
3) Adubação recomendada.
4) Rochagem com remineralizador.
5) Adubação mista: 50% recomendada e 50% remineralizador.
6) Rochagem e adubação orgânica c/ cama de aviário.

A escolha dos tratamentos buscou comparar as possíveis práticas de plantio do eucalipto, desde a condição de menor fertilidade (sem adubação), à adubação recomendada por critérios agronômicos, tomando como base a qualidade do solo expressa no laudo agronômico.

Conforme o Manual de Adubação e de Calagem: para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (SBCS, 2004) a análise agronômica do solo amostrado, mostrou tratar-se de solo com baixa qualidade de disponibilidade de nutrientes. Os critérios de adubação estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Adubações e rochagem dos tratamentos do experimento de plantio de eucaliptos.

Tratamento		CaO (t/ha)	N KNO_3 (kg/ha)	K KNO_3 (kg/ha)	P_2O_5 SFS (kg/ha)	I3BV (t/ha)
Sem adubação	1	-	-	-	-	-
Adubação do produtor	2	-	2	20	20	
Adubação Recomendada	3	6	230	230	666,6	-
Rochagem	4	-	-	-	-	12
Adubação Mista	5	3	115	115	280	6
Rochagem e Ad. Org.	6	-	900*	-	-	12

* cama de aviário

2.3.1. Plantio sem tratamento (Tratamento 1)

Este tratamento consistiu no uso do solo sem adição de adubos ou de pó de rocha. Conforme o Manual de Adubação e de Calagem, para o plantio de eucaliptos o solo apresenta deficiência em CaO, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

2.3.2. Adubação do Produtor (Tratamento 2)

O produtor que abriga o experimento tem obtido resultados satisfatórios com a adubação direta, próximo à cova, aplicando NPK de forma empírica. Um punhado de fertilizante por cova na ocasião do plantio. Como não realiza a calagem como padrão, esta não foi feita neste tratamento.

Os valores de adubação estimados como padrão do produtor foram:

N e K: 20 kg KNO_3 /ha.

P: 20 kg P_2O_5 /ha.

Obs. No tratamento 2.1 ocorreu aplicação excessiva de P e K.

2.3.3. Adubação Recomendada (Tratamento 3)

A adubação recomendada foi realizada conforme o Manual de Adubação e de Calagem (SBCS, 2004), observando a qualidade do solo. Foi especificada a calagem de 6 t de calcário (PRNT 100%)/ha, mas foi aplicado 6 t PRNT 70,1%/ha. A adubação de potássio NPK (nitrogênio, fosfato e potássio) foi especificada em: 230 kg NO_3/ha, 216 kg KNO_3/ha (compreendendo a soma de adubação no plantio, cobertura e reposição e 666,6 kg de superfosfato simples/ha. Observou-se que no tratamento 3.1 ocorreu aplicação excessiva de P e K.

2.3.4. Rochagem com remineralizador (Tratamento 4)

Os cálculos do suprimento de macronutrientes pelo remineralizador I3BV, com base na disponibilidade agronômica, implicam no aporte de quantidades impraticáveis. Para a aplicação de remineralizador adotou-se, como critério empírico, o dobro do valor exigido para a calagem, ou seja, 12 t remineralizador/ha, condição ainda competitiva, no caso de substituição do calcário. A expectativa é que o remineralizador potencialize condições sinérgicas de disponibilidade e condicionamento do solo.

Como a rochagem foi aplicada na linha, esta relação foi de 10,8 kg de remineralizador por m na linha.

2.3.5. Adubação Mista (Tratamento 5)

Para avaliar o efeito sinérgico, principalmente no aumento da CTC que o remineralizador pode conferir à adubação, este tratamento utilizou apenas a metade da recomendação de adubação e metade da aplicação de rochagem.

2.3.6. Rochagem com remineralizador e adubação orgânica (Tratamento 6)

Tratando-se de material mineral, o remineralizador não possui aporte de N. Tratando-se de solo ácido com baixo conteúdo de matéria orgânica (MO) o suprimento de N através da adubação orgânica, utilizando cama de aviário, foi utilizado com a melhor condição de uso do remineralizador como aporte mineral à adubação orgânica.

Estimando que a cama de aviário de frango possui 3,2% de N contido (3-4 lotes), a adubação recomendada foi de 937 kg/ha.

2.4. Plantio e avaliação de desenvolvimento das mudas de eucalipto

O plantio foi feito em malha de 2m x 3m em linhas de aproximadamente 40 m, totalizando 13 plantas por linha. Os 6 tipos de tratamentos com 3 repetições somam 18 tratamentos implantados.

Foram plantadas mudas de clones de eucaliptos fornecidas pelo produtor com tamanho médio de 15 cm. Quando do plantio foi tomado o cuidado de plantar mudas com padrão de tamanho e qualidade semelhante nas linhas centrais ou linhas de controle. A avaliação do desenvolvimento das mudas foi realizada por medições da altura, com fita métrica, e diâmetro na altura de 5 cm com paquímetro. A escolha das mudas a serem monitoradas foi por sorteio. As mudas mortas e não replantadas foram substituídas por mudas vizinhas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização do Remineralizador

A análise granulométrica do remineralizador destorroado mostra a predominância das frações de areia grossa, tendo mais de 60% da massa retida na peneira 0,6 mm. A fração fina menor que 0,15 mm (pó) representou menos de 20% da massa. A umidade de armazenamento do remineralizador utilizado na aplicação de rochagem foi determinada em 12%, o que explica a propensão a formação de torrões e capacidade de retenção de umidade. No entanto, não houve dificuldade de espelhamento do remineralizador, com a aplicação feita a lanço.

A análise mineralógica por Difração de Raios-X (Tabela 2) apresenta os resultados qualitativos dos minerais predominantes na amostra analisada. Ressalva-se que as composições químicas apresentadas são aquelas utilizadas na literatura.

Tabela 2 – Mineralogia qualitativa da amostra do remineralizador com zeólita I3BV por análise de espectro de DRX.

Mineral	Composição padrão	Classe Mineral	Predominância
Escolecita	$CaAl_2Si_3O_{10}{\cdot}6H_2O$	Zeólita	Baixa
Laumontita	$Ca_4Al_8Si_{16}O_{48}{\cdot}14H_2O$	Zeólita	Média
Calcita	$CaCO_3$	Carbonato	Média
Hematita	Fe_2O_3	Óxido	Média
Ankerita	$Ca(Fe^{+2},Mg)(CO_3)_2$	Carbonato	Média
Albita	$Na(Si_3Al)O_8$	Feldspato	Alta
Quartzo	SiO_2	Sílica	Alta

O processo de disponibilidade e mobilidade dos elementos químicos, majoritários e traços, presentes no remineralizador depende do grau de intemperismo, dissolução e hidrólise, que seus minerais irão sofrer. A predominância do quartzo, feldspato plagioclásio (série da albita) e de minerais do grupo das zeólitas era esperada, como também a presença de calcita, por ocorrência regional. A calcita, os plagioclásios e as zeólitas são minerais facilmente dissolvidos, e propensos à alteração em minerais secundários argilosos, propiciando a liberação dos elementos majoritários: alumínio (Al) silício (Si), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe) e sódio (Na).

Por sua vez, a presença significativa de hematita indica o elevado grau de alteração (intemperismo) do material rochoso utilizado para produzir o remineralizador, lavrado da camada próxima a superfície.

Os minerais que preenchem as vesículas são carbonatos e zeólitas. A calcita e ankerita, são fases de carbonatos e liberam o Ca e Fe promovendo o caráter alcalino do remineralizador. Já a escolecita e laumontita são zeólitas que conferem aumento da CTC, ou seja, armazenamento de nutrientes metálicos e também do nitrogênio. O Projeto Agrominerais da Bacia do Paraná da CPRM/Porto Alegre estudou a seletividade teórica das zeólitas presentes nos basaltos amigdalóides do RS. Neste estudo, segundo Bandeira et al (2013), a ocorrência da escolecita é identificada, a qual se atribui CTC 500 cmol, dm^{-3}, tamanho máximo dos poros de 2,5 à 4,1 Å e cátions compatíveis a troca: Ca, Na, Mg, Fe e K. A laumontita do Grupo da heulandita (DEER; HOWIE; ZUSSMANN, 1978) pode trocar cátions de Ca, Na, K e NH_4^+ (BANDEIRA, et al, 2013).

Os principais elementos constituintes dos minerais são confirmados pelos resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Composição química dos elementos majoritários e elementos-traços do remineralizador.

Elemento	mg/kg	Elemento	mg/kg	Elemento	mg/kg	Elemento	mg/kg
Al	71346,9	Rb	77,7	Pr	7,5	Cs	1,0
Fe	63023,4	Ce	65,5	Th	6,6	Sn	0,8
Ca	34290,2	S	62,4	Nb	6,2	Ho	0,8

Na	24503,0	Cu	42,5	Sm	5,9	Mo	0,7
K	21175,4	La	31,8	Gd	5,6	Sb	0,7
Mg	18389,9	Cr	30,8	As	5,5	Tb	0,7
Ti	6290,5	Nd	29,9	Dy	4,8	W	0,7
Mn	1050,5	Co	27,7	Hf	3,3	Se	0,6
P	1045,3	Y	24,9	Er	2,7	Cd	0,6
Ba	646,9	Sc	21,7	Yb	2,4	Tm	0,6
Sr	238,5	Ni	20,4	Be	1,4	Lu	0,6
V	166,7	Li	16,2	Eu	1,3	Ta	0,6
Zr	118,6	Ga	16,0	U	1,2	Tl	0,6
Zn	112,6	Pb	15,6	Ge	1,1	Bi	0,6

Confirmando a composição mineralógica de aluminossilicatos e do óxido e carbonato de ferro, o alumínio e o ferro são os elementos mais abundantes na amostra. O silício não foi analisado. O alumínio mostra a predominância de minerais aluminossilicatos, onde a presença da sílica também é esperada na mesma proporção do alumínio. O ferro da hematita indica o alto grau de alteração da rocha. O Fe também tem presença significativa como carbonato (Ankerita). A destacada presença de elementos nutrientes pode ser analisada juntamente com os resultados da análise agronômica do remineralizador (Tabela 4).

Entre os micronutrientes o manganês apresenta concentração expressiva de 1.050 ppm, enquanto zinco e cobre na faixa de 118 a 42 ppm, respectivamente. Quanto aos elementos com potencial de toxicidade ao solo, o bário (Ba) apresenta a concentração expressiva de 647 ppm, enquanto elementos como chumbo (Pb) e arsênio (As) estão presentes nas concentrações de 16 ppm e 6 ppm. O presente trabalho não estudou ainda a análise da liberação de substâncias tóxicas. Estudos realizados em rochas vulcânicas sem presença constatada de zeólitas (RAMOS, et al., 2015) não detectaram a disponibilidade de elementos tóxicos nos lixiviados com água pura e pH neutro, nem nos lixiviados com ácidos orgânicos fracos em pH ácido (< 3).

A disponibilidade de nutrientes avaliada através da análise agronômica de solos permite algumas correlações entre as fases minerais propensas a alterações e disponibilidade de elementos nutrientes. Quando comparado a um solo, o remineralizador apresenta alta qualidade agronômica, com caráter alcalino e alta capacidade de troca catiônica. Apresenta também significativa disponibilidade de P e K, mas ainda, muito inferior aos níveis de disponibilidade dos adubos químicos de P e K.

Tabela 4 – Análise agronômica da amostra de remineralizador empregada no experimento.

Disponibilidade agronômica	I3BV
P mg/dm^3	> 100
K mg/dc	80,0
Al ^{tr} cmol/dm^3	0,0
Ca ^{tr} cmol/dm^3	24,1
Mg ^{tr} cmol/dm^3	4,6
% Sat. / CTC	98
S mg/dm^3	6,1
Zn mg/dm^3	1,0
Cu mg/dm^3	1,3
B mg/dm^3	0,1

Mn mg/dm^3	8
% argila	7
pH	8,5
CTC cmol/dm^3	29,5
MO %	0,7

Apesar da alta concentração de alumínio e a presença de minerais aluminossilicáticos propensos a alteração como as zeólitas e o feldspato plagioclásio, a análise de solo não indica a presença do alumínio tóxico para as plantas, na sua forma iônica dissolvida (Al^{+3}) (ALLEONI & MELO, 2009). Da mesma forma a disponibilidade de Ca e Mg, superiores ao encontrado em solos, podem ser correlacionadas aos carbonatos majoritários encontrados na análise mineralógica. Destaca-se também a grande disponibilidade de Mn e Cu.

3.2. Análise dos resultados dos tratamentos após 2 meses de plantio

O solo onde o experimento está sendo realizado (Tabela 5) apresenta textura argilosa, com valores superiores a 40% de argila na profundidade de 20 cm e maior que 35% no horizonte até 50 cm. Apenas a disponibilidade de enxofre e dos micronutrientes Cu, B, Mn e Zn atinge valores de altos a médios na interpretação da qualidade do solo segundo o Manual de Adubação e de Calagem (SBCS, 2004). Os macro nutrientes K, P, Ca e Mg, como também a CTC e o pH, apresentam valores baixos a muito baixos. Trata-se, portanto, de solo com alta deficiência em nutrientes e necessidade de correção.

Após 4 meses das adubações dos tratamentos e 2 meses do plantio, foi realizada amostragem do solo, cujos resultados estão na Tabela 5.

Tabela 5 - Análise agronômica dos solos dos tratamentos em plantio de eucaliptos.

Atributos dos Solos	Tratamentos						
	Inicial 0-20 cm	1	2	3	4	5	6
P (mg/dm^3)	3,1	1,9	2,4	1,7	2,9	3,6	1,8
K (mg/dm^3)	37	29,3	26,3	29,7	27	34,3	37
Al^{tr} (cmol/dm^3)	4,8	3,3	3,3	3,7	3,2	3,6	3,3
Ca^{tr} (cmol/dm^3)	0,7	0,5	0,5	0,5	0,8	0,5	0,7
Mg^{tr} (cmol/dm^3)	0,35	0,3	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3
S (mg/dm^3)	14	13,7	22,3	23,7	18	30	15
Zn (mg/dm^3)^3	0,65	0,6	0,5	0,5	0,7	0,4	0,7
Cu (mg/dm^3)	0,65	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6
B (mg/dm^3)	0,65	0,6	0,7	0,8	0,6	0,6	0,7
Mn (mg/dm^3)	8,5	5,3	5,3	4	6,3	4,3	7
% Argila	44,5	35,3	33,7	39	40,7	34,7	35,3
pH H_2O	4,05	3,8	3,8	3,7	3,9	3,6	3,8

CTC (cmol/dm^3)	14,1	16,3	18,9	23,4	19,8	27,2	24,2
MO %	2,4	2,1	1,8	2,1	2,1	2,3	2,2

1 - Sem adubação, 2 - Adubação do produtor, 3 - Adubação Recomendada 4 – Rochagem, 5 - Adubação Mista, 6 - Rochagem e Adubação Orgânica.

De maneira geral os resultados revelam que os solos de todos os tratamentos apresentam baixas condições de sucesso agronômico, com acidez elevada e baixos valores de fertilidade. As intensas chuvas que ocorreram durante o processo de adubação e após o plantio devem ter influenciado nestes resultados. Observando os macro nutrientes P e K, os resultados indicam diminuição da disponibilidade em relação a condição anterior ao plantio.

Para o P os maiores valores, mas ainda baixos, ocorreram nos tratamentos com aplicação de remineralizador e de adubação mista. No entanto, o tratamento com remineralizador e adubação com cama de aviário não confirma a influência da rochagem na elevação do P. Chama atenção, o baixo valor de P justamente no tratamento de rochagem orgânica.

Da mesma forma para o K os maiores valores foram encontrados nos tratamentos de adubação mista e, neste caso, do tratamento de remineralizador com cama de aviário. No entanto, os valores encontrados nos tratamentos sem adubação e adubação recomendada apresentaram os mesmos níveis de K.

Repete-se também para a CTC valores mais elevados para os tratamentos de adubação mista e de rochagem orgânica, porém menor para o tratamento de rochagem.

Após dois meses do plantio e de severas chuvas, inclusive de granizo, o que obrigou o replantio de 95 mudas, realizou-se a primeira medição das dimensões das mudas. Adotou-se a medição de 6 mudas das linhas centrais por tratamento. Os resultados dos valores médios para os 18 tratamentos estão apresentados na Tabela 6.

Ao contrário dos resultados de análise de solo, onde não foi possível observar grandes variações de condições de fertilidade, os resultados das medições mostram diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 6 – Valores médios das medições das plantas de eucalipto.

Tratamentos	Altura	Diâmetro
Sem Adubação - 1	68.13	0,80
Adubação do produtor - 2	88,64	1,13
Adubação Recomendada - 3	104,63	1,21
Rochagem - 4	57,67	0,64
Adubação Mista - 5	107,56	1,33
Rochagem e Ad. Org. - 6	76,39	0,87

Nesta primeira etapa de plantio o resultado do tratamento de rochagem apresentou os menores valores de desenvolvimento das mudas. Por sua vez, o melhor resultado da avaliação foi no tratamento de adubação mista. O tratamento com adubação recomendada também apresentou desenvolvimento muito bom. Por sua vez, a aplicação do remineralizador e adubação com cama de aviário, tratamento de rochagem orgânica, mostrou baixa eficiência, superando apenas o tratamento sem adubação.

4. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Estes primeiros resultados revelam qualidades potenciais do remineralizador e resultados interessantes no desenvolvimento das mudas, necessários a condução do experimento.

A composição química e análise mineralógica por difração de Raios-X comparada a análise agronômica dos solos mostra a significativa disponibilidade de macro nutrientes P, K, Ca e Mg, uma boa capacidade de troca catiônica (CTC) e alcalinidade. Aspecto importante é a inexistência de alumínio trocável, possivelmente devido a sua imobilização na formação dos argilominerais secundários.

Os resultados de análise de solo e desenvolvimento das mudas revelaram que:

1) Nos tratamentos onde houve incorporação do remineralizador observou-se valores pouco maiores de disponibilidade de P (fósforo), K (potássio) e Ca (cálcio) que a média dos tratamentos. Destes, a melhor condição foi do tratamento misto, consorciando a adubação química com o remineralizador.
2) As medições das mudas de controle também revelaram o melhor desenvolvimento das plantas do tratamento misto, semelhante ao observado no tratamento da adubação recomendada.
3) As condições climáticas de chuvas intensas, ocorridas durante e depois das etapas de adubação e plantio, maximizaram a lixiviação dos nutrientes, ao que é atribuído a condição deficiente do solo e as pequenas variações de qualidade agronômica entre os tratamentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao produtor rural Sr. Gilberto Freitas de Sá pelo interesse, cedência da área de plantio, insumos e apoio em todas as etapas do experimento; à INCOPEL Indústria e Comércio de Pedras Ltda pelo fornecimento do remineralizador e apoio financeiro; ao CNPq que viabilizou a pesquisa através de recursos da Chamada Universal/2014; ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) pelo apoio técnico; e ao MSc. Eng. Agrônomo Zeferino Chielle, da FEPAGRO Vale do Taquari, pela inestimável orientação agronômica.

REFERÊNCIAS

ALLEONI, L. R. F., MELO, V. F. **Química e Mineralogia do Solo**. SBCS, Viçosa, 2009.

BANDEIRA, J.B.; MARTINAZZO, R.; BERGMANN, M.; SILVEIRA, C.A.P.; BAMBERG, A.L.; GRECCO, M.F. Seletividade Teórica dos Basaltos Amigdaloides à Zeolitas do RS para os Cátions NH^{4+}, K^{+}, Ca^{+2} e Mg^{+2}. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, Poços de Caldas. **Anais**... Poços de Caldas, 2013. p. 246-254

BRASIL - Lei nº 12.890, de 10 de Dezembro de 2013. **Inclui os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado a agricultura**. Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília-DF, 11 de Dezembro de 2013. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm. Acesso em: 24 mai. 2016.

DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSMAN, J. **An Introduction to the Rock-Forming Minerals**. London: Longman, 1978.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Ministério da Agricultura e do abastecimento: Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

LEONARDOS, O. H., FYFE, W. S. & KRONBERG, B. I. Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos. In: 29 CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Belo Horizonte. **Anais**...Belo Horizonte, 1976. p. 137-145

QUEROL, X., WHATELEY, M.K.G., FERNANDEZ-TURIEL, J.L., TUNCALI, E. Geological controls on the mineralogy and geochemistry of the Beypazari lignite. **International Journal Coal Geology,** Turkey, v. 33, p. 255–271, 1997.

RAMOS, C.G.; QUEROL, X.; OLIVEIRA, M.L.S.; PIRES, K.; KAUTZMANN, R.M.; OLIVEIRA, L.F.S. A preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer. **Science of the Total Environment**, p. 371-380, 2015.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina** / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10. ed.– Porto Alegre, 2004. 400 p.

THEODORO, S.H. & ALMEIDA, E. Agrominerais e a construção da soberania em insumos agrícolas no Brasil. **Agriculturas,** v. 10, n. 1, p. 22-28, 2013.

THEODORO, S.H., LEONARDOS, O.H. & ALMEIDA, E. de. Mecanismos para Disponibilização de Nutrientes Minerais a Partir de Processos Biológicos; In: Congresso Brasileiro de Rochagem, I. **Anais**..., Planaltina: EMBRAPA, 2010.

VAN STRAATEN, P. Potassium. In: van STRAATEN, P. **Agrogeology:** the use of rocks for crops. Canadá: Enviroquest Ltd., 2007. p. 165-200.