

LAMAS DE CAL COMO CORRECTIVO DA ACIDEZ DO SOLO

António S. Fabres^{1*}, Daniela Ferreira¹, Cristina Marques¹

¹RAIZ, Instituto de Investigação da Floresta e Papel, Apartado 15, 3800 – 501 Eixo, Portugal
(sergio.fabres@portucelsoporcel.com, Telef. 234 920 130, Fax 234 931 359)

SUMÁRIO

Nas regiões Norte Litoral e Centro de Portugal, os solos florestais são na sua maioria ácidos e apresentam frequentemente níveis de cálcio insuficientes para o crescimento do eucalipto, levando à necessidade da prática de calagem. Este trabalho teve como objectivo comparar a eficiência das lamas de cal com um calcário comercial.

Foram seleccionados nove solos, com características físicas e químicas variáveis, para a realização de ensaios de incubação em laboratório (na capacidade de campo, 20°C). Os tratamentos foram constituídos por uma combinação factorial 9 x 6 x 2 (9 solos x 6 níveis de cada material x 2 materiais), com três repetições. As doses aplicadas foram 0, 500, 1000, 1500, 2000 e 2500 kg Ca/ha.

As lamas de cal foram mais eficientes do que o calcário comercial, apresentando maior valor neutralizante e velocidade de reacção no solo. Para seis dos nove solos estudados, doses entre 1500 e 2500 kg de lamas de cal/ha, equivalentes a 500 e 1000 kg Ca/ha, foram suficientes para elevar o pH do solo a 6, valor adequado para a maioria das culturas. As doses óptimas de calcário comercial foram 1.5 a 2 vezes superiores ao das lamas de cal.

PALAVRAS-CHAVE: calagem, correctivo da acidez do solo, lamas de cal, solos florestais

ABSTRACT

Higher eucalypt productivities are obtained in the coastal north and centre regions of Portugal, where forest soils are commonly acid and have deficient levels of calcium for eucalypt growth, leading to the practice of liming. This study aimed to evaluate the efficiency of lime mud on soil against a commercial lime, especially on soil pH and nutrient availability due to differences in the materials composition.

Nine soils were selected to carry out incubation tests in lab conditions. Six doses of the two materials were applied (0, 500, 1000, 1500, 2000 and 2500 kg Ca/ha) and soils were monitored during 30 days of incubation (each with three replications), with water near field capacity, at 20°C.

Lime mud proved to be more efficient than commercial lime. For six out of nine soils, doses of 1500 to 2500 kg of lime mud/ha (500 to 1000 kg Ca/ha) were sufficient to raise the soil's pH to optimum level. Commercial lime doses were 1.5 to 2 times higher than the determined for lime mud, revealing different reaction and neutralizing power between materials. Nutrient availability was affected by changes in soil pH.

KEYWORDS: forest soils, lime mud, liming, soil amendment

INTRODUÇÃO

O grupo Portucel Soporcel gere aproximadamente 120 000 ha de povoamentos de eucalipto para produção de pasta e papel, distribuídos praticamente por todo o território nacional. A resposta das plantas à adubação varia entre regiões do país, em função de diferentes taxas de crescimento e disponibilidade de nutrientes no solo. De um modo geral, o azoto e o fósforo têm sido os nutrientes

mais relevantes, verificando-se praticamente sempre ganhos à aplicação de fósforo na fase de instalação dos povoamentos e de azoto na fase de manutenção. Respostas expressivas à aplicação de fertilizantes boratados têm sido obtidas principalmente no interior de Portugal. Para potássio e cálcio, os estudos realizados até o presente momento sugerem haver respostas significativas apenas em condições de solos com fertilidade natural muito baixa nestes elementos, tais como alguns Arenossolos dos Vales do Tejo e Sado, e alguns Leptossolos e Umbrissolos das regiões Centro-Litoral e Norte de Portugal [1, 2]. Esta situação poderá ser agravada, principalmente para o cálcio, quando na exploração dos povoamentos a casca é retirada conjuntamente com a madeira, já que é na casca que se acumula em média 44% do total de cálcio absorvido pelas plantas [3].

A aplicação de calcários é uma prática importante para repor o cálcio extraído do solo pela exploração florestal, elevar o pH, neutralizar o excesso de formas activas de ferro e alumínio e assim melhorar a eficiência das adubações. Dada a sua composição química e física, alguns resíduos podem ser usados como fertilizantes e/ou correctivos do solo, particularmente lamas primárias e secundárias, lamas de cal, cinzas da combustão de biomassa e casca de eucalipto proveniente da exploração florestal. As lamas de cal provenientes do processo industrial têm características potenciais para servirem de correctivo da acidez do solo, sendo possivelmente um substituto dos fertilizantes calcários comerciais.

Este trabalho teve como objectivo comparar a eficiência das lamas de cal com um calcário comercial, medida pela capacidade de elevar o pH do solo, aumentar os níveis de cálcio e magnésio e melhorar a disponibilidade de outros nutrientes essenciais para o crescimento das plantas e a produção vegetal.

PARTE EXPERIMENTAL

O produto comercial utilizado foi um calcário dolomítico com 80% de carbonato de cálcio (CaCO_3) e 6% de magnésio. As lamas de cal testadas são geradas durante o processo industrial de produção de pasta celulósica pelo processo Kraft (Fig. 1). Trata-se de um material mineral constituído essencialmente de CaCO_3 , produzido no processo de reaproveitamento dos produtos químicos utilizados no cozimento da madeira, mais especificamente na fase de caustificação. Em determinadas circunstâncias (paragem programada ou não da produção, ritmos de produção distintos entre áreas processuais, entre outros), parte do CaCO_3 calcinado no forno de cal para recuperação do CaO resulta em excesso, gerando a oportunidade de utilização deste subproduto para outros fins. As lamas de cal, que se encontram em suspensão aquosa, são depois lavadas e secas até um teor de humidade normalmente entre 20 e 30 %. Contém elevado teor de carbonato de cálcio (cerca de 97%), granulometria muito fina e elevada reactividade no solo.

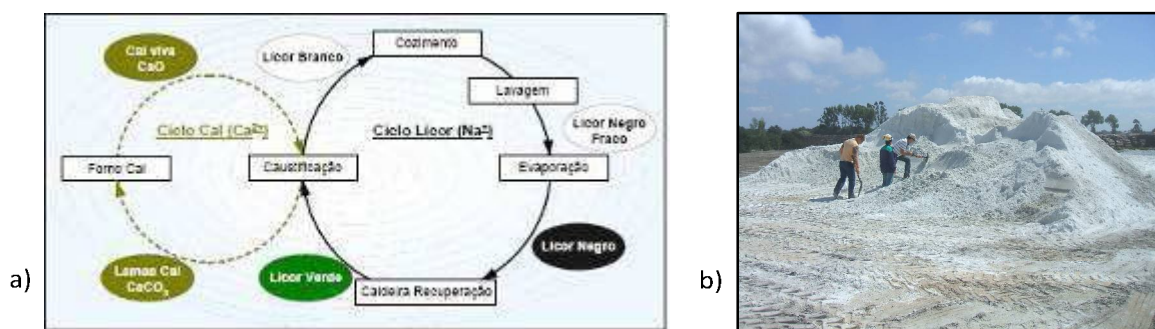


Figura 1. a) Esquema do “reaproveitamento de produtos químicos” utilizados no processo de cozimento de aparas de madeira para a produção de pasta; b) recolha das lamas de cal para a realização do estudo.

Foram seleccionados nove solos típicos da região Centro Litoral de Portugal, com características físicas e químicas distintas (Tabela 1), e recolhidas amostras da camada superficial (0 a 25 cm). Em laboratório, os solos foram crivados num crivo de 2 mm para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA).

As amostras de solo receberam doses crescentes dos dois materiais correctivos, utilizando-se o método da curva de incubação em laboratório (Fig. 2). As seis doses aplicadas foram equivalentes a 0; 500;

1000; 1500; 2000 e 2500 kg de Ca/ha (Tabela 2), sendo os tratamentos constituídos por uma combinação factorial 9 x 2 x 6 (9 solos x 2 materiais calcários x 6 doses), com três repetições, totalizando 324 unidades experimentais. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Os solos foram incubados com um nível de humidade próximo da capacidade de campo e sob temperatura de 20°C. Durante o período de incubação, foi sendo adicionada água para manter os solos com as condições iniciais de humidade, permitindo a ocorrência de reacção entre os solos e os materiais aplicados.

Tabela 1. Características físicas e químicas das amostras de solo (classe textural e respectivas granulometrias (areia, limo e argila) [4], pH em água [5], matéria orgânica [5], N total [6], P por Egner-Riehm [5] e complexo de troca por acetato de amónio (K, Ca, Mg e Na e grau de saturação em bases (GSB_e) [7]).

Ensaio	Classe textural	Areia ----- (%)	Limo (%)	Argila ----- (%)	pH _{H2O}	MO --- (%)	N --- (%)	P --- (mg/kg)	K ----- (cmol/kg)	Ca ----- (cmol/kg)	Mg ----- (cmol/kg)	Na ----- (cmol/kg)	GSB _e ----- (%)
SNF206VV	Franco-Limoso	34	45	21	4.4	8.5	4.1	3.1	0.19	0.10	0.37	0.22	43.4
SNF206FF	Franco-Limoso	38	42	20	4.7	7.9	2.7	2.8	0.20	0.14	0.25	0.24	45.5
SNF206VA	Franco-Argilo- Limoso	72	6	22	5.0	0.9	0.2	0.4	0.08	0.10	0.27	0.07	39.5
SNF206I	Franco	56	25	19	4.8	0.9	0.2	0.4	0.12	0.13	0.21	0.13	35.6
SNF206M	Arenoso	92	2	6	6.1	1.6	0.7	24.0	0.24	3.07	0.27	0.16	98.9
SNF206D	Franco Arenoso	74	16	10	4.9	3.2	0.6	1.9	0.10	0.64	0.35	0.27	51.1
SNF206SC	Franco	52	29	19	5.5	4.4	1.5	21.1	1.28	1.00	0.74	0.47	93.3
SNF206P	Franco	62	22	16	5.4	3.7	0.8	0.9	0.37	0.56	0.62	0.25	55.0
SNF206VSR	Franco-Limoso	46	33	21	4.6	6.0	1.6	13.0	0.12	0.09	0.16	0.06	16.7

Tabela 2. Doses dos dois materiais correctivos aplicadas nos solos, para a construção das curvas de incubação em laboratório, expressas em quantidade de produto e em quantidade de cálcio por hectare.

Doses	Lamas de cal		Calcário dolomítico comercial	
	kg de lamas de cal/ha	Kg de Ca/ha	kg de calcário/ha	Kg de Ca/ha
Controlo	0	0	0	0
Dose 1	1300	500	1560	500
Dose 2	2600	1000	3120	1000
Dose 3	3900	1500	4680	1500
Dose 4	5200	2000	6240	2000
Dose 5	6500	2500	7800	2500

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor neutralizante das lamas de cal foi significativamente superior ao calcário de referência, cujas doses óptimas (neste trabalho, as doses necessárias para elevar o pH a 6) foram variáveis entre solos, reflexo do poder tampão de cada solo. Para dois terços dos solos estudados, as doses necessárias para elevar o pH a 6 variaram entre 1250 e 2500 kg de lamas de cal/ha. Para os restantes solos, as doses óptimas variaram entre 3750 e 6250 kg de lamas de cal/ha. Em termos comparativos, a velocidade de reacção e o valor neutralizante das lamas de cal foram bastante superiores ao calcário dolomítico utilizado como correctivo de referência, uma vez que as doses de calcário requeridas para elevar o pH do solo a 6 foram 1.5 a 2 vezes maiores do que as doses de lamas de cal (Fig. 3). Considerando a dose máxima aplicada de ambos os materiais, a variação dos valores de pH entre os diversos solos foi de 5.8 a 8.0 para as lamas de cal e de 5.3 a 7.2 para o calcário convencional.

Em termos de velocidade de reacção, as lamas de cal reagiram mais rapidamente do que o calcário dolomítico, elevando e estabilizando o pH do solo praticamente na primeira semana de incubação, enquanto o calcário dolomítico reagiu mais lentamente estabilizando os valores de pH do solo aos 30 dias de incubação, para a generalidade dos solos estudados (Fig. 4). Estas diferenças na velocidade de reacção provavelmente são explicadas pela maior superfície específica das lamas de cal (granulometria extremamente fina) e presença de compostos químicos mais reactivos, como hidróxido de cálcio e hidróxido de sódio.

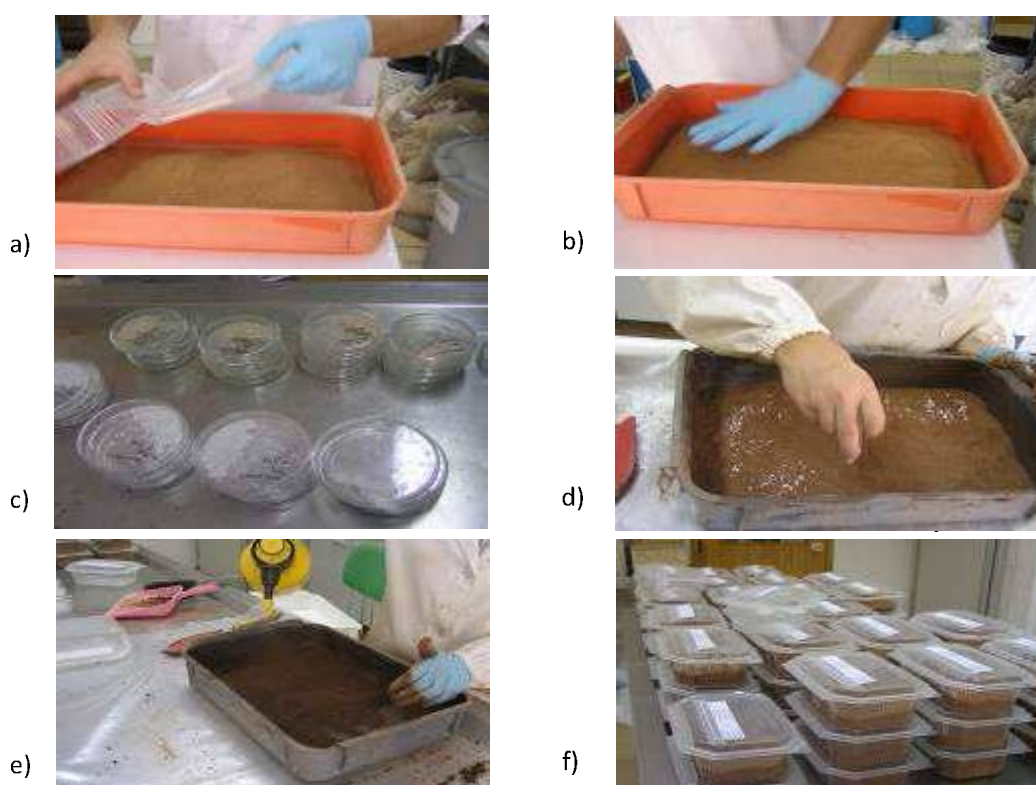


Figura 2. Aspectos da preparação da incubação das amostras de solo com as lamas de cal e ocalcário comercial: a) colocação do solo, depois de pesado, no tabuleiro de plástico; b) espalhamento do solo no tabuleiro, para receber o material correctivo; c) diferentes doses de cada material, previamente pesadas; d) aplicação e homogeneização de uma das doses de lamas de cal com uma das amostras de solo e) humedecimento da amostra de solo depois da aplicação do material; f) amostras de solo para incubação.

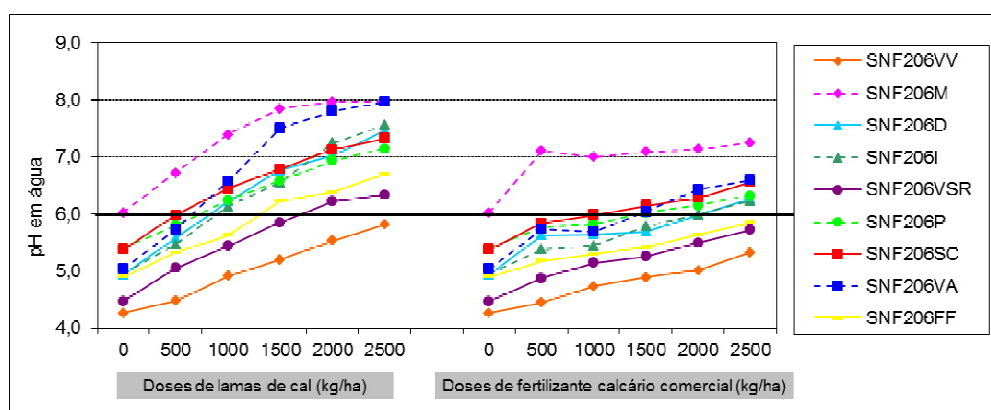


Figura 3. Curvas de evolução do pH do solo para nove locais, em função de diferentes doses de lamas de cal e calcário dolomítico aplicadas, obtidas após 30 dias de incubação em laboratório.

Para além do pH, outros parâmetros do solo foram modificados positivamente pela aplicação de ambos os materiais correctivos, destacando-se a elevação da percentagem de saturação em bases do complexo de troca do solo, a redução dos teores de alumínio trocável, o aumento da capacidade de troca catiónica e a elevação dos teores de cálcio do solo, cujos efeitos foram mais pronunciados quando os solos receberam aplicação de lamas de cal (Figs. 5 e 6). Comparando os materiais utilizados, em termos de elevação dos níveis de Ca do solo, as lamas de cal foram mais eficazes elevando em média o teor de Ca de 1.06 para 7.24 cmol_c/kg, enquanto o calcário comercial elevou para 3.23 cmol_c/kg. Isto vem confirmar a maior reactividade e poder neutralizante das lamas de cal, como já referido.

Não houve alteração dos teores de potássio com as doses aplicadas de ambos os materiais calcários, para qualquer dos solos, diminuindo apenas a sua concentração relativa no complexo de troca do solo, uma vez que os teores de cálcio e magnésio aumentaram, aparentemente sem deslocar o potássio do complexo de troca, passando a ocupar predominantemente os sítios de adsorção gerados pela expansão da capacidade de troca catiónica dos solos, propiciados pela elevação do pH. Uma elevação significativa dos teores de magnésio nos solos ocorreu apenas com a aplicação do calcário dolomítico, uma vez que este tem cerca de 6% de Mg, enquanto as lamas de cal têm apenas 0.6% (Fig. 6).

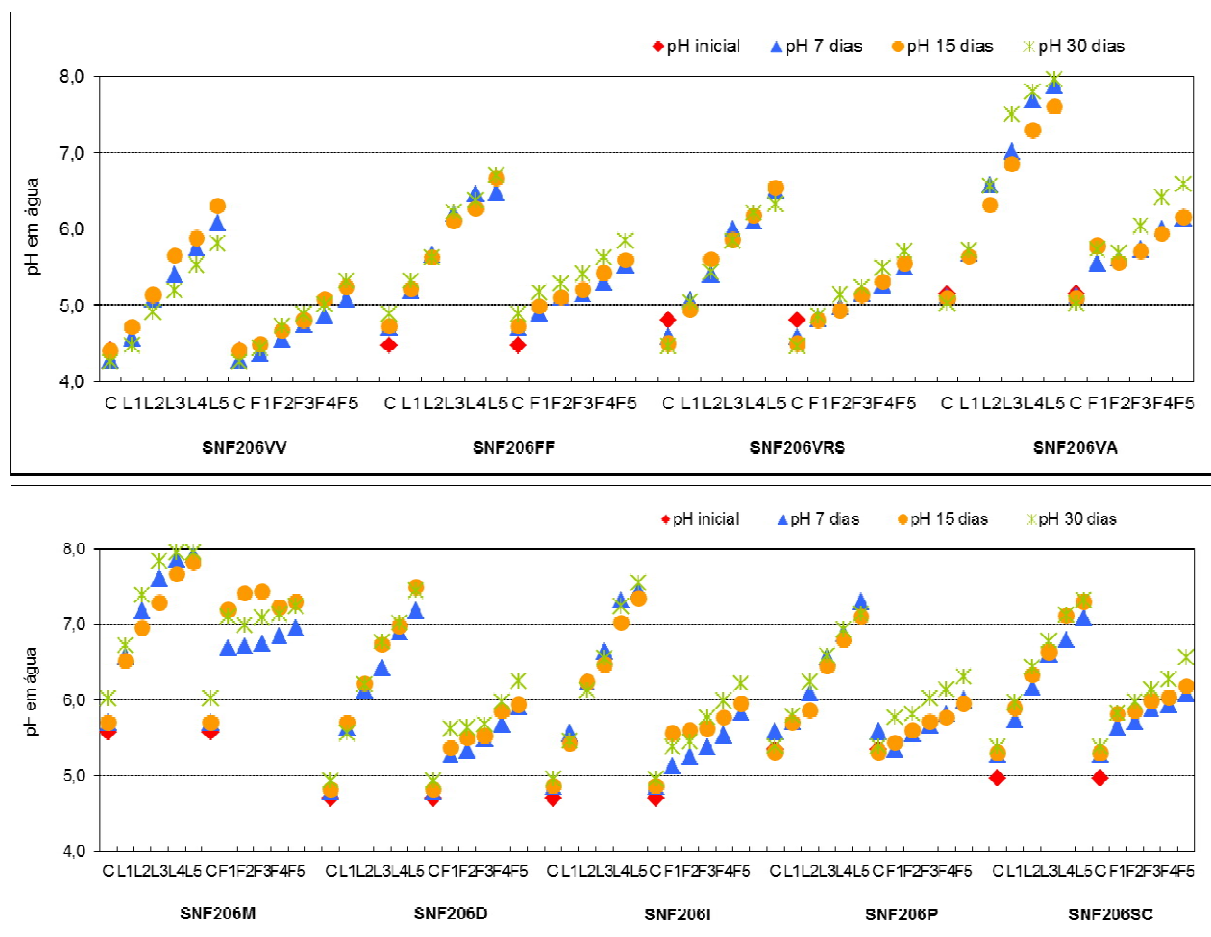


Figura 4. Evolução do pH do solo de nove locais distintos, durante o período de incubação com diferentes doses de lamas de cal (L1 a L5) e calcário dolomítico (F1 a F5). As doses aplicadas foram equivalentes a 0, 500, 1000, 1500, 2000 e 2500 kg de Ca/ha, e a medição do pH foi feita aos 7, 15 e 30 dias de incubação. A letra C representa o tratamento controlo e corresponde à dose zero de ambos os materiais.

Um outro efeito benéfico da prática de calagem é o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo, embora possa haver redução da solubilidade/disponibilidade de alguns micronutrientes, como Fe, Mn, Cu e Zn, com a elevação dos valores de pH do solo. Normalmente, a faixa óptima de pH situa-se entre 6 e 6.5 para a maioria das plantas cultivadas. Neste trabalho, o efeito da aplicação de lamas de cal sobre a disponibilidade de nutrientes no solo e sobre a redução da solubilidade do alumínio e de outros metais no solo praticamente reproduziu o efeito clássico da calagem referido na literatura, mostrando que as doses de lamas que propiciaram valores de pH entre 6 e 6.5, correspondentes a 1000 e 1500 kg de Ca/ha, constituem o intervalo de doses óptimas para a média dos solos estudados (Fig. 7).

A aplicação no solo de materiais contendo elevadas concentrações de sódio pode causar problemas de natureza química – como por exemplo desequilíbrios iónicos entre nutrientes e salinização do solo (se o pH subir acima de 8), com consequências negativas para o crescimento das plantas (deficiências nutricionais e plasmólise) – e problemas relacionados com propriedades físicas do solo, como a

dispersão das argilas, a diminuição da porosidade, a compactação e a redução da estabilidade de agregados do solo, dificultando assim o crescimento e a respiração das raízes. Os solos halomórficos, encontrados na natureza normalmente em condições de clima árido, caracterizam-se por terem valores de pH acima de 8,5 e percentagem de saturação de sódio no complexo de troca do solo (PST) acima de 15%, valores críticos indicados por Varennes (2003) [8] e Casanellas *et al.* (1994) [9].

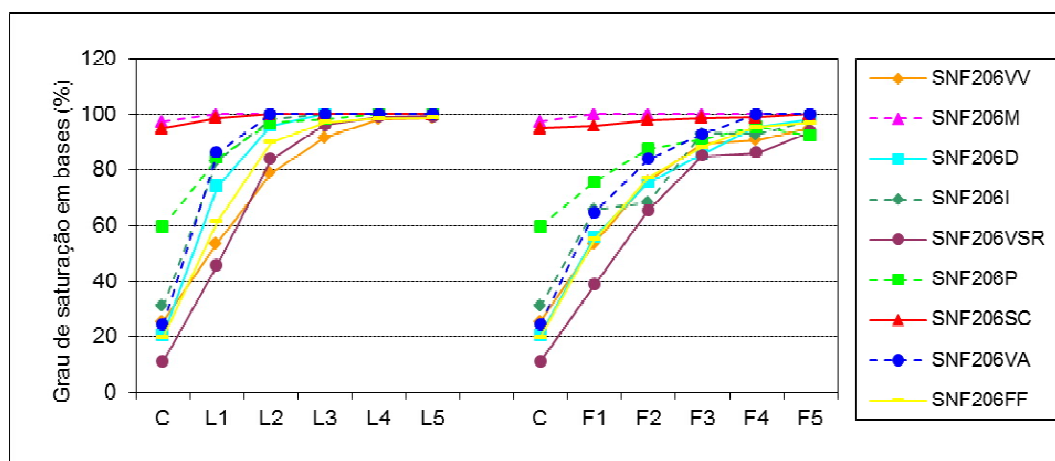


Figura 5. Elevação da percentagem de saturação em bases do complexo de troca do solo em função das doses de lamas de cal e calcário aplicadas, para os nove solos estudados. As doses de cada material foram equivalentes a 0; 500; 1000; 1500; 2000 e 2500 kg de Ca/ha (C – sem qualquer aplicação; L1 a L5 – 5 níveis de Ca via lamas de cal e F1 a F5 – 5 níveis de Ca via calcário dolomítico comercial).

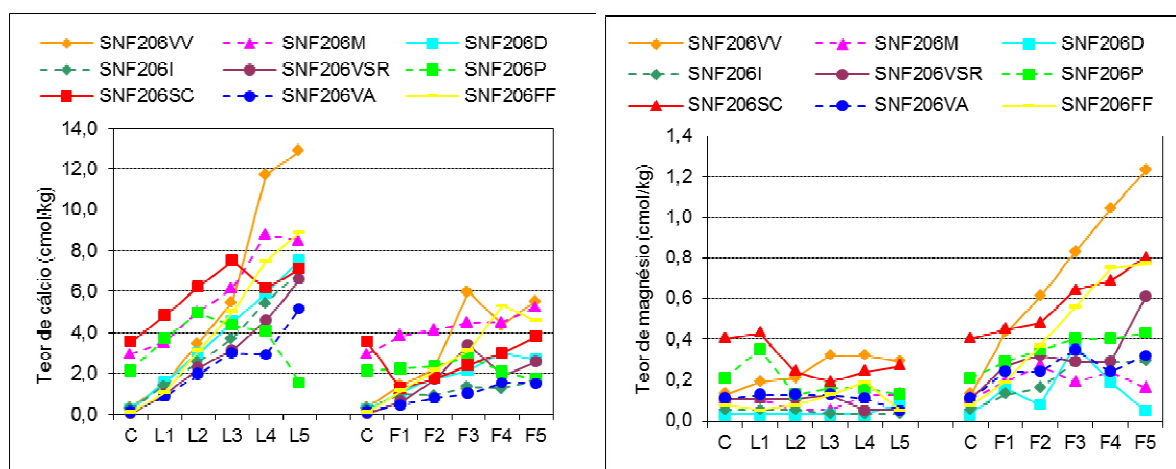


Figura 6. Elevação do cálcio e magnésio de troca do solo em função das doses de lamas de cal e calcário aplicadas, para os nove solos estudados. As doses de cada material foram equivalentes a 0; 500; 1000; 1500; 2000 e 2500 kg de Ca/ha (C – sem qualquer aplicação; L1 a L5 – 5 níveis de Ca via lamas de cal e F1 a F5 – 5 níveis de Ca via calcário dolomítico comercial).

A presença de sódio nas lamas de cal tem origem no processo de produção de pasta, em que o sódio, nas formas químicas NaOH e Na₂S, faz parte da composição do licor branco utilizado no cozimento da madeira. Depois do processo de recuperação dos produtos químicos utilizados no cozimento da madeira (queima do licor verde na caldeira de recuperação) e passagem pela caustificação, ainda permanece cerca de 1% de sódio junto com o carbonato de cálcio. Nesta faixa de concentração, embora tenha ocorrido um ligeiro aumento de sódio no complexo de troca dos solos estudados, não foi observado efeito significativo das lamas de cal na elevação da percentagem de saturação de sódio no complexo de troca do solo (Fig. 8), não afectando portanto o equilíbrio iónico do solo. Isto ocorreu porque os teores de cálcio e magnésio também aumentaram e o complexo de troca expandiu-se pela elevação do pH, fazendo com que a quantidade relativa de sódio no complexo de troca não

aumentasse, não se verificando portanto uma passagem excessiva de sódio para o complexo de troca dos solos estudados.

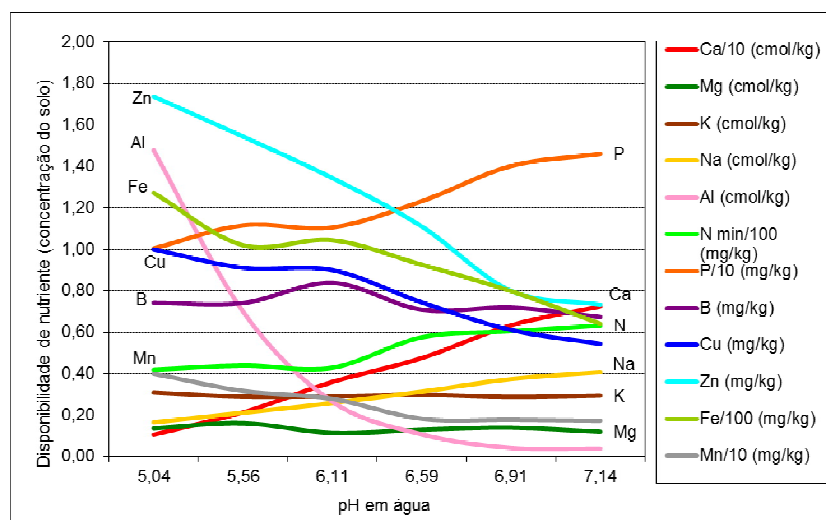


Figura 7. Efeito do pH do solo sobre a disponibilidade de nutrientes e alumínio em função da aplicação de diferentes doses de lamas de cal, para a média dos nove solos estudados. As doses de lamas de cal foram equivalentes a 0; 500; 1000; 1500; 2000 e 2500 kg de Ca/ha.

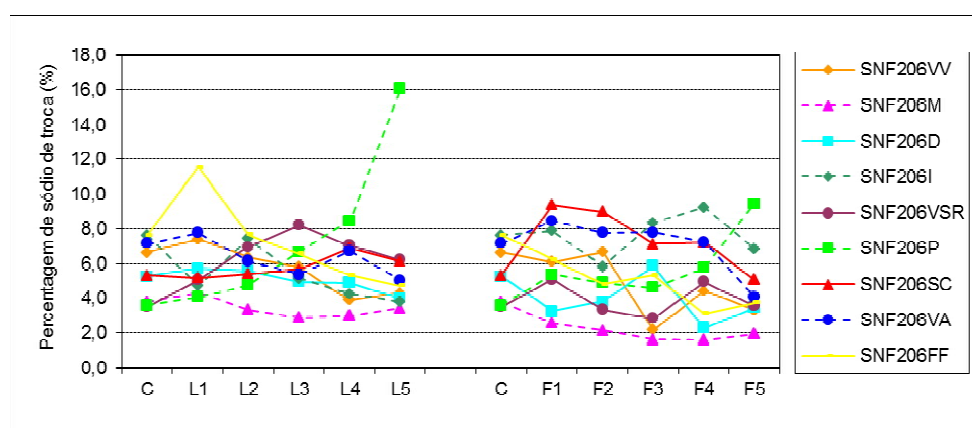


Figura 8. Percentagem de saturação de sódio no complexo de troca do solo em função da aplicação de diferentes doses de lamas de cal e calcário dolomítico comercial. As doses de cada material foram equivalentes a 0; 500; 1000; 1500; 2000 e 2500 kg de Ca/ha (C – sem qualquer aplicação; L1 a L5 – 5 níveis de Ca via CalCel e F1 a F5 – 5 níveis de Ca via calcário dolomítico comercial).

A única exceção foi verificada no solo SNF206P, para a dose mais elevada, em que o nível de saturação de sódio no complexo de troca atingiu 16%. Entretanto, a dose óptima recomendada para este solo é o equivalente a 1000 kg de Ca/ha, dose portanto bastante abaixo do nível em que se verificou a alteração mais profunda no complexo de troca deste solo, e que proporcionou um nível de cerca de 5% de sódio no complexo de troca, valor considerado normal na literatura [8, 10], num estudo semelhante em laboratório, também em Portugal, não verificaram aumento na percentagem de saturação de sódio acima do seu valor crítico com a aplicação de diferentes resíduos industriais. De modo similar, diversos autores testando a aplicação de lamas de cal provenientes do processo de produção de pasta em solos do Brasil [11-13] também verificaram que este resíduo alcalino é mais eficiente na correcção do solo do que os fertilizantes calcários comerciais. Em nenhum desses trabalhos, as doses necessárias para elevar o pH a 6 atingiram o limite crítico de saturação de sódio nos solos estudados, o que corrobora os resultados aqui apresentados. Na verdade, o solo do ensaio SNF206P pode ser enquadrado como um verdadeiro *outlier*, uma vez que não se conseguiu explicar com base na textura ou outros parâmetros relacionados com o seu poder tampão, o seu comportamento

atípico relativamente aos restantes solos estudados.

CONCLUSÕES

A eficiência agronómica das lamas de cal foi superior à do calcário comercial testado neste trabalho, apresentando maior valor neutralizante e melhores índices de disponibilidades de nutrientes nos solos estudados. As doses de lamas de cal requeridas para elevar o pH do solo a 6 foram 1.5 a 2 vezes menores do que as doses de calcário comercial. Para dois terços dos solos estudados, as doses necessárias para elevar o pH a 6 variaram entre 1250 e 2500 kg de lamas de cal/ha. Para os restantes solos, as doses óptimas variaram entre 3750 e 6250 kg de lamas de cal/ha. Para além da correcção do pH e de constituir uma fonte efectiva de suprimento de Ca para as plantas (importante para solos ácidos), o efeito das lamas de cal sobre a disponibilidade de outros nutrientes no solo foi positivo, mostrando uma melhoria significativa da disponibilidade de nutrientes no solo, nas doses correspondentes às faixas de pH consideradas adequadas para o crescimento das plantas (5.5 a 6.5). Os níveis mais altos de sódio existentes nas lamas de cal não causaram desequilíbrio iónico no solo.

As lamas de cal podem ser utilizadas para correcção da acidez de solos e como fonte de cálcio para a generalidade das culturas agrícolas e plantações florestais, desde que as dosagens sejam ajustadas em função das características do solo associadas ao seu poder-tampão e das necessidades nutricionais da cultura.

REFERÊNCIAS

1. D. Ferreira, A.S. Fabres, J.L. Ribeiro, Ganhos de produtividade floresta pela implementação das práticas de adubação de fundo e de manutenção em plantações de *Eucalyptus globulus* em Portugal. *Relatório técnico-científico, RAIZ, grupo Portucel Soporcel*, 35pp (2004).
2. A.S. Fabres, Aspectos nutricionais de *Eucalyptus globulus* em Portugal. 1º Simpósio Iberoamericano de *Eucalyptus globulus*, Montevideo, Uruguai (30-31 Outubro de 2003).
3. J.L. Ribeiro, A.S. Fabres, D. Ferreira, Validação do modelo de produção de biomassa e absorção de nutrientes para *E. globulus* (NUTRIGLOBUS). *Relatório técnico-científico, RAIZ, grupo Portucel Soporcel*, 52pp (2005).
4. A.A. Silva, Determinação da textura do solo. Método da pipeta. *Pedologia*, **2**:129-139 (1967).
5. LQRS, 1977. Sector Fertilidade do solo, Doc 2. Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa, Portugal.
6. J.M. Bremner, Nitrogen – Total, in: D.L. Sparks (ed) *Methods of soil analysis, part 3, Chemical Methods*. SSSA Book Series 5, Madison, Wisconsin, EUA (1996).
7. L.P.V. Reeuwijk, Procedures for soil analysis. 6th Edition. International Soil Reference and Information Centre, FAO, Wageningen, the Netherlands (2002).
8. A. Varennes, *Produtividade dos Solos e Ambiente*. Escolar Editora, 490pp (2003).
9. J.P. Casanellas, M.L.A. Reguerín, C.R. Laburu, Salinización y sodification – solos de regadio, in *Edafologia para la agricultura y el medio ambiente*, Ediciones Multi-Presa, Madrid, Espanha (1994).
10. F. Cabral, H.M. Ribeiro, L. Hilário, L. Machado, E. Vascocelos, Use of pulp mill inorganic wastes as alternative liming materials, *Bioresource Technology*, **99**:8294-8298 (2008).
11. J.C. Medeiros, J.A. Albuquerque, A.L. Mafra, J. Grah, Calagem superficial com resíduo alcalino da indústria de papel e celulose em um solo altamente tamponado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **33**(Nov/Dez) (2009).
12. J.C. Corrêa, L.T. Bull, C.A.C. Crusciol, R. Marcelino, M. Manuad, Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. *Pesquisa agropecuária brasileira*, **42**(9):1307-1317 (2007).
13. R.S. Lourenço, Curvas de neutralização de solo com lama de cal comparada com CaCO₃ p.a. e calcário. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n.º 35 (1997).