FORMAS DE POTÁSSIO EM SOLOS DO SUL DO BRASIL E SUA UTILIZAÇÃO POR MUDAS DE PINUS

POTASSIUM FORMS IN SOUTH BRAZILIAN SOILS AND THEIR USE BY PINUS SEEDLINGS

RESUMO

O potássio é um nutriente requerido em grandes quantidades pelas culturas. No solo, pode estar nas formas estrutural, não trocável, trocável e em solução. Todas elas se encontram em equilíbrio químico dinâmico com a solução do solo, sendo passível a liberação das reservas quando as formas mais prontamente disponíveis são removidas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição das formas de K em diferentes valores de pH, sob o cutivo de mudas de *Pinus taeda*. Foram utilizados cinco solos: Latossolo Bruno, Nitossolo Vermelho, Argissolo Amarelo e dois Cambissolos Húmicos, um destes proveniente de um plantio de pinus de quarta rotação. O experimento teve duração de seis meses. Os tratamentos consistiram na aplicação de 50 mg kg^{-1} de K, aplicação de calcário em quantidade para elevar o pH a 6,0, aplicação de calcário e K, além de um tratamento testemunha. A adubação potássica aumentou os teores de K nas diferentes formas no solo e na planta, porém não afetou o desenvolvimento inicial das mudas de pinus. A adição de calcário, combinada ou não com K, prejudicou o crescimento das mudas em algumas classes de solo. Não foi possível concluir sobre a contribuição do K não trocável na nutrição do pinus em função dos altos teores trocáveis iniciais.

Palavras-chave: solução; não-trocável; calagem.

ABSTRACT

Potassium is a nutrient required in large quantities by cultures. In soil, it can be in structural, non-exchangeable, exchangeable and solution forms. All of them are in dynamic chemical equilibrium with the soil solution, being able to release the reserves when the most readily available forms are removed. The objective of this work was to evaluate the distribution of K forms at different pH values, under *Pinus taeda* seedlings growth. Five soils were used: an Oxisol, a Alfisol, an Ultisol and two Inceptisols, being one from a fourth rotation pine plantation area. The experiment lasted six months. The treatments consisted in the application of 50 mg kg^{-1} of K, application of limestone in quantity to raise the pH to 6.0, application of limestone and K, and a control treatment. Potassium fertilization increased K levels in different soil and plant forms, but did not affect the initial development of pine seedlings. The addition of limestone, combined or not with K, impaired seedling growth in some soil classes. It was not possible to conclude about the contribution of non-exchangeable K in pine nutrition due to the high initial exchangeable contents.

Keywords: solution; non-exchangeable; liming.

INTRODUÇÃO

A dinâmica dos nutrientes em cultivos florestais ocorre de maneira diferente do observado em solos de cultivo agrícola por vários fatores, entre eles a duração do ciclo de cultivo, a profundidade explorada pelo sistema radicular e a ciclagem interna de nutrientes, que faz com que a planta não dependa exclusivamente do solo para suprir as suas necessidades (SMETHURST, 2010). Além disso, em alguns casos, não se obtém resposta à adubação pois os nutrientes estão sendo providos por outras fontes não prontamente disponíveis, como por exemplo, através do intemperismo dos minerais do solo.

Dentre todos os elementos que são passíveis de liberação a partir das reservas minerais se destaca o potássio (K), que é um elemento requerido em grandes quantidades, representando

mais de 170 kg ha^{-1} do nutriente exportado na colheita de árvores inteiras (SCHUMACHER et al., 2013).

Geralmente, os solos possuem baixa concentração de K na solução e predomínio da forma estrutural, ocorrendo intensa liberação das reservas em função do equilíbrio existente entre as formas do nutriente no solo, constituindo um importante fator de produtividade das culturas (MELO et al., 2009). Como exemplo, no trabalho de Alves et al. (2013), foram observadas correlações positivas e significativas entre os teores de K nas acículas de *Pinus taeda* e os teores não trocáveis de K extraídos com HNO_3 fervente, evidenciando a participação desta forma na nutrição das plantas. A absorção resulta em um processo contínuo de depleção das formas não trocáveis, especialmente quando os teores disponíveis são baixos (KAMINSKI et al., 2007).

As plantas vasculares, principalmente as árvores com sistema radicular profundo, atuam mais intensamente no processo de intemperismo dos minerais em comparação com plantas não-vasculares ou superfícies não-vegetadas (ANDREWS et al., 2008), especialmente quando o mineral possui na sua composição algum nutriente em falta nas formas disponíveis (BAKKER et al., 2004; BORTOLUZZI et al., 2005). O mesmo se aplica ao potássio, uma vez que diversos trabalhos demonstram o aumento do intemperismo de minerais micáceos quando sob influência radicular de espécies florestais (LEYVAL e BERTHELIN, 1991; CALVARUSO et al., 2006; WALLANDER, 2000).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a dinâmica das formas de potássio em diferentes solos, e sua contribuição na nutrição e produção de mudas de pinus.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas cinco diferentes classes de solo, de forma a representar diversas composições mineralógicas, sendo um Latossolo Bruno (LT), um Nitossolo Vermelho (NT),

um Argissolo Amarelo (AG) e dois Cambissolos Húmicos (CB), um deles proveniente de um plantio de pinus de quarta rotação (CP). Foram coletadas amostras nos diferentes horizontes compreendidos entre 0 a 30 cm de profundidade, através da abertura de trincheiras.

Após a coleta dos solos, foram realizadas análises químicas e físicas para a caracterização inicial (Tabela 1). Para a realização da análise química, as amostras foram peneiradas em peneira de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), secas em estufa à temperatura de 60°C, sendo determinados pH, C, e os teores trocáveis de K, Ca, Mg, Al e P seguindo os procedimentos conforme a metodologia descrita por Tedesco (1995). Foi ainda realizada a determinação K não trocável com solução fervente de HNO_3 1,0 mol L^{-1} (KNUDSEN et. al., 1986).

As amostras de solo coletadas foram secas ao ar, peneiradas (4 mm), homogeneizadas e acondicionadas em vasos de 4 dm^3 onde foi plantada uma muda de *Pinus taeda*, formando a unidade experimental. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação.

O experimento foi composto de quatro tratamentos: adubação potássica, aplicação de calcário, aplicação de calcário + adubação potássica (tratamento completo) e uma testemunha. O potássio foi aplicado na forma de KCl na concentração de 50 mg kg^{-1} e o calcário em quantidade suficiente para elevar o pH a 6,0 de acordo com o método SMP. Em todos os vasos foram adicionados 30 mg kg^{-1} de N na forma de uréia e 90 mg kg^{-1} de P na forma de fosfato de cálcio.

O delineamento estatístico foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e quatro repetições para cada solo, totalizando 80 unidades experimentais. O experimento foi conduzido durante seis meses.

Após o cultivo, foi realizada a medição da altura e diâmetro do colo de cada planta de pinus. Em seguida, a planta coletada foi separada em acículas, caule e raízes, e este material foi seco em estufa à 60ºC até peso constante para determinação a massa seca de raiz e parte aérea.

Posteriormente, as acículas foram moídas para a determinação dos teores de K, Ca e Mg através de digestão nitroperclórica (TEDESCO et al., 1995). A leitura de K foi posteriormente feita em fotômetro de chama, e as de Ca e Mg em espectrômetro de absorção atômica.

A análise química do solo foi realizada novamente após o cultivo. Além dos teores trocáveis, foram determinados os teores de K não-trocável e K em solução. A extração de K não trocável foi feita com solução fervente de HNO_3 1,0 mol L^{-1} (KNUDSEN et. al., 1986). A extração da solução do solo para determinação do K foi realizada adicionando água deionizada na amostra na proporção de 1:1, com posterior filtragem em recipiente de vácuo após período de contato de 12 horas (ERNANI e BARBER, 1993). A determinação dos teores de todas as formas de K foi realizada por leitura em fotômetro de chama.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste e Tukey à 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observados efeitos de tratamento no desenvolvimento das mudas apenas no LT e no AG, sendo que em ambos a calagem foi prejudicial (Tabela 2). Os efeitos sobre o crescimento das plantas nestes tratamentos foi visível, sendo que além do crescimento diminuído as plantas também apresentaram amarelecimento de acículas.

Todos os parâmetros avaliados no AG foram inferiores nos tratamentos com aplicação de calcário em relação aos demais. Para o LT, a massa seca da parte aérea das mudas foi inferior nos tratamentos com calcário, o diâmetro e a massa seca de raízes no tratamento TCK inferiores à testemunha, a altura no TC inferior ao TK.

De maneira geral, o pinus não foi afetado pela presença de Al no solo, pois não houve melhoria do crescimento com a calagem nem mesmo no CB e CP, que apresentaram altos teores (Tabela 1). O mesmo é válido para Ca e Mg, já que não houve resposta à adição de calcário

mesmo quando os teores eram muito baixos, como no caso do CP. A adição isolada de K não incrementou o desenvolvimento das plantas em nenhum dos solos, mesmo quando os teores eram muito baixos, como no caso do AG.

A calagem não é uma prática de uso generalizado nos povoamentos florestais no Brasil, sendo praticada mais no sentido de corrigir deficiências de Ca e Mg do que elevar o pH, já que o pinus é tolerante à acidez do solo (SMETHURST, 2010). Quando realizada, especialmente combinada com adubação completa, pode resultar em incrementos no crescimento inicial (LOPES et al., 1983) e também de plantas adultas de pinus (ROSBERG et al., 2006). Em trabalhos realizados em povoamentos de pinus, a calagem diminuiu os teores de Cu, Zn, Ni e Mn na solução do solo, sendo que o teor do último também decresceu nas acículas (DEROME e SAARSALMI, 1999; GRONFLATEN et al., 2005). O *P. taeda* parece ser uma espécie sensível à baixos teores de micronutrientes, podendo resultar em redução no crescimento em altura e volume do povoamento (VOGEL e JOKELA, 2011). No presente estudo, os sintomas possivelmente foram causados por deficiência de Mn, constatada pelos baixos teores encontrados nas acículas em comparação com as plantas que não apresentaram sintomas (dados não apresentados).

Embora o K seja um nutriente entre os mais limitantes (REISSMANN e WISNIEWSKI, 2004) e especialmente importante para espécies florestais, já que a formação da madeira depende do transporte de nutrientes através dos canais de K (SMETHRUST et al., 2010), a adubação potássica ou omissão do nutriente normalmente não afeta o crescimento de plantas do gênero Pinus (NADOLNY, 1990; VOGEL et al., 2005; PAIM, 2007). Segundo Crous et al. (2008), a aplicação de K pode resultar em aumento de volume apenas quando o teor foliar está acima do nível crítico.O fósforo é citado como o nutriente com maior efeito e resposta à fertilização (SIMÕES et al., 1970; FLOR, 1977; VOGEL et al., 2005).

O pH no solo após o cultivo foi maior nos tratamentos que receberam a calagem, resultando em diminuição dos teores de Al trocável (Tabela 3). Em alguns solos, o pH alcançou valores acima de 6,0, o que diminuiu a disponibilidade dos micronutrientes, como o Mn, que resultou nos prejuízos no crescimento observados na tabela 2.

Os teores de Ca e Mg após o cultivo também foram afetados pelos tratamentos (Tabela 3), sendo superiores nos tratamentos que receberam calagem, já que o calcário fornece esses dois nutrientes. Em povoamentos de pinus já estabelecidos, a aplicação de calcário aumentou os teores de Ca e Mg nas camadas superficiais do solo, mesmo com aplicação à lanço sem incorporação (BATISTA et al., 2015).

Para todos os solos estudados, os teores de K na solução do solo após o cultivo foram maiores nos tratamento com adição de K combinado com calcário em comparação com um ou mais tratamentos (Tabela 4). Como a calagem promove o aumento do número de cargas negativas livres no complexo de troca, era esperado que o teor de K na solução diminuísse, aumentando a quantidade adsorvida (K trocável) uma vez que as formas de K no solo estão em equilíbrio. Como os teores aumentaram, é possível que a competição do Ca e Mg adicionado com o calcário pelas cargas tenha mantido o K na solução, embora esse efeito seja considerado menor do que o do aumento das cargas. A diferença entre os solos pode ter ocorrido em função da diferença dos teores observada entre eles, pois no Nitossolo e no Argissolo foram observados valores maiores do que nos demais.

A adição de potássio, combinada ou não com a aplicação de calcário, aumentou os teores de K trocável no solo não rizosférico no NT, LT, CB e AG (Tabela 4). No CB, o aumento ocorreu apenas quando na aplicação de K combinada com calcário. Os resultados opostos observados nos diferentes solos podem ser efeito da diferença da concentração do nutriente nos solos, da passagem do K trocável para outras formas, ou da liberação de formas estruturais à medida que ocorreu a absorção.

A adubação potássica também influenciou os teores de K não trocáveis, de forma bastante variável entre os solos (Tabela 4). De maneira geral, o tratamento com calagem e potássio resultou em maiores valores de Knt em relação aos demais, nos dois Cambissolos e no Argissolo. A diferença no comportamento entre solos pode estar relacionada com a maior quantidade de argilominerais 2:1 nestes solos em relação ao Nitossolo e Latossolo. A liberação das formas não trocáveis de K está diretamente relacionada com a presença de minerais 2:1 (BRITZKE et al., 2012), dessa forma alterando a dinâmica do equilíbrio no solo.

De maneira geral, o tratamento que resultou nos maiores teores das diferentes formas de K foi o tratamento com calagem e potássio, sendo sempre superior à um ou mais tratamentos, em todos os solos, apesar da condição química inicial dos solos ser bastante variada. Em todos os solos houve redução das diferentes formas de K em relação aos teores iniciais (Tabela 1), mesmo nos tratamentos com adubação potássica.

As formas prontamente disponíveis de K em plantios de pinus tendem a manter um teor relativamente constante ao longo do tempo, pela combinação da liberação do nutriente pelo intemperismo de minerais e pela ciclagem rápida ocasionada por lixiviação do dossel da planta e da serapilheira (ABRÃO et al., 2015). Porém, se não houver reposição do K removido pelas plantas, as formas não trocáveis tendem a reduzir com os cultivos sucessivos (KAMINSKI et al., 2007).

De maneira geral, os teores de K, Ca e Mg nas acículas foram alterados pelos tratamentos (Tabela 5). Os teores de Ca e Mg foram superiores nos tratamentos com calagem em todos os solos. Os teores de K foram maiores nos tratamentos que receberam adubação potássica nos solos CB, AG e CP; no LT apenas o tratamento com calagem e potássio foi superior; e no NT apenas o tratamento com calagem foi inferior à testemunha e ao tratamento com calagem e potássio.

Os resultados diferem dos obtidos por Batista et al. (2015), que observou maiores teores de K nas acículas quando não foi feita a aplicação de calcário, justificando que o Ca e o Mg teriam efeito antagônico na absorção do K.

Em todos os solos, os teores de K na planta aumentaram em função da adubação potássica, entretanto esses teores não resultaram em incremento no crescimento das plantas, mesmo naquelas do tratamento TK, que não sofreram os efeitos negativos da calagem (Tabela 2).

O teor foliar de K considerado ideal para o bom desenvolvimento de plantas adultas de pinus é de 6,0 g kg^{-1} (SWITZER e NELSON, 1972; REISSMANN e WISNIEWSKI, 2004). Assim, mesmo nos tratamentos sem adição de K, as plantas mantiveram um teor adequado (Tabela 8), estando acima ou próximo dessa faixa em todos os solos. No trabalho de Batista et al. (2015), a adubação potássica elevou os teores de K tanto no solo quanto na planta, porém estes permaneceram abaixo do limite crítico mesmo com alto teor do nutriente no solo.

Para o Ca, o ideal é que o teor seja de pelo menos 1,6 g kg^{-1}, sendo adequada a faixa entre 1,0 e 5,0 g kg^{-1} (SWITZER e NELSON, 1972; ZÖTTL, 1973). O teor médio de Ca encontrado em árvores de diferentes idades no Brasil é de 3,1 g kg^{-1} (LUCIO et al., 2010), enquanto que nos Estados Unidos é de 1,8 g kg^{-1} (ALBAUGH et al., 2010), diferença justificada pela menor taxa de crescimento das plantas na América do Norte. No presente estudo, da mesma forma que observado para o K, os teores de Ca foliares no primeiro cultivo estavam adequados, embora próximos do limite inferior.

Para o Mg, Chaves & Corrêa (2005) encontraram, nas acículas de plantas de *P. caribeae* com adequado desenvolvimento, teores médios de 0,4 g kg^{-1}, sendo detectados sinais de deficiência apenas quando o teor atingiu 0,1 g kg^{-1}. Entretanto, valores nesta faixa não são comuns, sendo normalmente encontrados para *P. taeda* teores variando de 1,0 g kg^{-1} a 1,5 g kg^{-}

[1] (RUBILAR et al., 2005; VIERA e SCHUMACHER, 2009; ALBAUGH et al., 2010; LUCIO et al., 2010; LONDERO et al., 2011).

CONCLUSÕES

Nas condições de solo avaliadas, as plantas de pinus não apresentam incremento no crescimento inicial em resposta à adubação potássica e calagem.

As diferentes formas de K avaliadas se alteram em função dos tratamentos aplicados, sendo a resposta variável de acordo com as características do solo estudado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, S.F.; ROSA, S.F.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SECCO, D.; EBLING, A.A. Alterações químicas de um Cambissolo Húmico causadas por reflorestamento com Pinus taeda em área de campo natural. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 455-464, 2015.

ALBAUGH, J.M.; BLEVINS, L.; ALLEN, H.L.; ALBAUGH, T.J.; FOX, T.R.; STAPE, J.L.; RUBILAR, R.A. Characterization of foliar macro and micronutrient concentrations and ratios in loblolly pine plantations in the Southeastern United States. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 34, n. 2, 2010.

ALVES, M.J.F.; MELO, V.F.; REISSMANN, C.B. & KASEKER, J.F. Reserva mineral de potássio em Latossolo cultivado com Pinus taeda L. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1599- 1610, 2013.

ANDREWS, M.Y.; AGUE, J.J. & BERNER, R.A. Weathering of soil minerals by angiosperm and gymnosperm trees. **Mineralogical Magazine**, v. 72, p. 11-14, 2008.

BAKKER, M.R.; GEORGE, E.; TURPAULT, M.-P.; ZHANG, J.J. & ZELLER, B. Impact of Douglas-fir and Scots pine seedlings on plagioclase weathering under acidic conditions. **Plant and Soil**, v. 266, p. 247-259, 2004.

BATISTA, A.H.; MOTTA, A.C.V.; REISSMANN, C.B.; SCHNEIDER, T.; MARTINS, I.L.; HASHIMOTO, M. Liming and fertilization in Pinus taeda plantations with severe nutrient deficiency in savanna soils. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 37, n. 1, p. 117-125, 2015.

BORTOLUZZI, E.C.; SANTOS, D.R. dos; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L.C. & TESSIER, D. Alterações na mineralogia de um Argissolo do Rio Grande do Sul submetido à fertilização potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 327-335, 2005.

BRITZKE, D.; SILVA, L.S.; MOTERLE, D.F.; RHEINHEIMER, D.S.; BORTOLUZZI, E.C. A study of potassium dynamics and mineralogy in soils from subtropical Brazilian lowlands. **Journal of Soils and Sediments**, v. 12, p. 185-197, 2012.

CALVARUSO, C.; TURPAULT, M.P. & FREY-KLETT,P. Root-Associated Bacteria Contribute to Mineral Weathering and to Mineral Nutrition in Trees: a Budgeting Analysis. **Applied Environmental Microbiology**, v. 72, p. 1258–1266, 2006.

CHAVES, R.Q.; CORRÊA, G.F. Macronutrientes no sistema solo-Pinus caribaea em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte de plantas. **Revista Árvore**, v. 29, p. 691-700, 2005.

DEROME, J. & SAARSALMI, A. The efect of liming and correction fertilisation on heavy metal and macronutrient concentrations in soil solution in heavy-metal polluted scots pine stands. **Environmental Pollution**, v. 104, p. 249-259, 1999.

ERNANI, P.R. & BARBER, S.A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 41-46, 1993.

FLOR, H.M. Estudos sobre produção e forma do fuste de Pinus taeda L. numa área de ensaio de adubação na Fazenda Canguiri. **Revista Floresta**, v. 8, n. 1, p. 69-70, 1977.

GRONFLATEN, L.K.; AMUNDSEN, L.; FRANK, J. & STEINNES, E. Influence of liming and vitality fertilization on trace element concentrations in Scots pine Forest soil and plants. **Forest Ecology and Management**, v. 213, p. 261-271, 2005.

KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MOTERLE, D.F.; RHEINHEIMER, D.S. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1003-1010, 2007.

KNUDSEN, D.; PETERSON, G.A. & PRATT, P.F. Lithium, sodium and potassium. In: PAGE, A. L. (Ed.), Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, **American Society of Agronomy**. Madison, p. 225-246, 1986.

LEYVAL, C. & BERTHELIN, J. Weathering of a mica by roots and rhizospheric microorganisnms of pine. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, p. 100-106, 1991.

LONDERO, E.K.; SCHUMACHER, M.V.; SZYMCZAK, D.A. & VIERA, M. Exportação e reposição nutricional no primeiro desbate de um povoamento de Pinus taeda em área de segunda rotação. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 487-497, 2011.

LOPES, M.I.M.S.; GURGEL, M.A. de O.; GARRIDO, L.M. do A.G. & MELLO, F. de A.F. de. Adubação Mineral de Pinus oocarpa Schiede. **Anais da E.S.A. Luiz de Queiroz**, v. 40, p. 585-601, 1983.

LUCIO, A.D.C.; ROSSATO, R.A.R.; SCHUMACHER, M.V.; FORTES, F.O.; STORCK, L.; WITSCHORECK, R. Limites de precaução e de controle em análises nutricionais de espécies florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 529-537, 2010.

MELO, V.F.; CASTILHOS, R.M.V. & PINTO, L.F.S. Reserva mineral dos solo. In: MELO, V.F. & ALLEONI, L.R.F. (eds). **Química e Mineralogia do Solo**, Parte I, SBCS. p. 251-332, 2009.

NADOLNY, M.C. **Efeito da omissão de nutrientes no desenvolvimento e no estado nutricional de Pinus taeda L., durante a fase de viveiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 124 p. Curitiba, 1990.

PAIM, R.M. **Efeito do uso de lama de cal e cloreto de potássio no solo, estado nutricional e crescimento do Pinus taeda L., sobre Latossolo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 124 p. Curitiba, 2007.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Nutricional aspects of pine plantation. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Org). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 141-170.

ROSBERG, I.; FRANK, J. & STUANES, A.O. Effects of liming and fertilization on tree growth and nutrient cycling in a Scots pine ecosystem in Norway. **Forest Ecology and Management**, v. 237, p. 191-207, 2006.

RUBILAR, R.A.; ALLEN, H.L. & KELTING, D.L. Comparsion of biomass and nutrient content equations for successive rotations of loblolly pine plantations on an Upper Coastal Plain Site. **Biomass and Bioenergy**, v. 28, p. 548-564, 2005.

SCHUMACHER, M.V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F.N.; LOPES, V.G. Biomassa e nutrients no corte raso de um povoamento de Pinus taeda L. de 27 anos de idade em Cambará do Sul – RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 321-332, 2013.

SIMÕES, J.W.; MELLO, H.A.; MASCARENHAS SOBRINHO, J. & COUTO, H.T.Z. A adubação acelera o desenvolvimento inicial de plantações de Pinus caribaea var. bahamensis. **IPEF**, v. 1, p. 59-80, 1970.

SMETHURST, P.J. Forest fertilization: Trend in knowledge and practice compared to agriculture. **Plant Soil**, v. 335, p. 83-100, 2010.

SWITZER, G.L. & NELSON, L.E. Nutrient Accumulation and Cycling in Loblolly Pine (Pinus taeda L.) Plantation Ecosystems: The First Twenty Years. **Soil Science Society of America – Proceedings**, v. 36, p. 143-147, 1972.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

VIERA, M. & SCHUMACHER, M.V. Concentração e retranslocação de nutrientes em acículas de Pinus taeda L. **Ciência Florestal**, v. 19, p. 375-382, 2009.

VOGEL, H.L.M.; SCHUMACHER, M.V.; STORCK, L. & WITSCHORECK, R. Crescimento inicial de Pinus taeda L. relacionado a doses de N, P e K. **Ciência florestal**, v. 15, n. 2, p. 199-206, 2005.

VOGEL, J.G.; JOKELA, E.J. Micronutrient limitations in two managed Southern pine stands planted on Florida Spodosols. **Soil Science Society of America Journal**, v. 75, n. 3, 2011.

WALLANDER, H. Use of strontium isotopes and foliar K content to estimate weathering of biotite induced by pine seedling colonised by ectomycorrhizal fungi from two different soils. **Plant and Soil**, v. 222, p. 215-229, 2000.

ZÖTTL, H.W. Diagnosis of nutritional disturbances in forest stands. In: FAO-IUFRO. **International Symposium on Forest Fertilization**. 1973. p 75-95.

Tabela 1 – Caracterização química e física dos solos antes da implantação de experimento.

	Areia	Silte	Argila	pH	Al^{3+}	H+Al	Ca^{2+}	Mg^{2+}
	---------g kg^{-1}--------			KCl	--------$cmol_c$ dm^{-3}--------			
NT*	40	221	740	3,5	5,2	8,6	2,1	1,0
LT	46	247	707	3,4	6,2	10,3	3,6	1,3
CB	236	334	430	3,3	10,2	16,8	1,2	0,5
AG	457	287	256	3,4	2,9	4,8	2,9	1,3
CP	171	352	478	3,3	13,4	22,2	0,8	0,2
	Kt	Knt	P	C	MO	SB	T	V
	---------mg/kg--------			-----%-----				%
NT	98,0	217	5,7	25,9	4,5	3,3	11,9	27,7
LT	80,0	198	8,4	27,5	4,7	5,1	15,3	32,7
CB	76,0	366	10,3	37,7	6,5	1,8	18,6	9,7
AG	63,0	162	7,8	21,1	3,6	4,4	9,1	47,2
CP	126,0	789	11,4	27,9	4,8	1,3	5,2	5,2

*NT (Nitossolo); LT (Latossolo); CB (Cambissolo); AG (Argissolo); CP (Cambissolo após cultivo de pinus). Kt: potássio extraível; Knt: potássio não trocável; MO: matéria orgânica; SB: soma de bases; T: capacidade de toca de cátions; V: saturação por bases.

Tabela 2 – Altura, diâmetro de mudas e massa seca de raiz e parte aérea de mudas de pinus, nos tratamentos testemunha, aplicação de potássio, aplicação de calcário e calcário mais potássio avaliados para cada classe de solo.

	NT*		LT		CB		AG		CP	
					Altura de mudas					
Testemunha	57,5	a**	66,3	a	58,0	a	60,3	a	67,0	a
Potássio	60,8	a	68,0	a	59,0	a	60,3	a	59,8	a
Calcário	64,0	a	51,8	b	59,5	a	46,3	b	62,5	a
Calcário + K	59,8	a	62,5	ab	56,3	a	52,5	ab	68,0	a
					Diâmetro de mudas					
Testemunha	8,1	a	9,3	a	9,0	a	9,0	a	8,8	a
Potássio	8,8	a	8,5	ab	8,9	a	9,0	a	8,7	a
Calcário	8,2	a	8,2	ab	8,5	a	6,3	b	9,0	a
Calcário + K	8,6	a	7,1	b	7,9	a	6,1	b	8,4	a
					Massa seca de raiz					
Testemunha	7,2	a	9,2	a	8,9	a	8,6	a	9,1	a
Potássio	8,1	a	7,6	ab	9,1	a	8,3	a	10,1	a
Calcário	7,1	a	6,8	ab	7,5	a	4,0	b	9,9	a
Calcário + K	7,6	a	5,2	b	7,2	a	4,3	b	7,6	a
					Massa seca de parte aérea					
Testemunha	20,6	a	25,2	a	21,3	a	22,9	a	25,9	a
Potássio	20,6	a	25,3	a	24,5	a	23,7	a	25,0	a
Calcário	19,9	a	16,4	b	21,9	a	9,0	b	24,7	a
Calcário + K	18,6	a	18,0	b	19,3	a	9,8	b	22,2	a

*NT (Nitossolo); LT (Latossolo); CB (Cambissolo); AG (Argissolo); CP (Cambissolo após cultivo de pinus). **Números seguidos de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%).

Tabela 3 - Valores de pH e teores de Al, Ca e Mg ($cmol_c\ dm^{-3}$) no solo após cultivo de pinus nos tratamentos testemunha, aplicação de potássio (K), aplicação de calcário e calcário mais potássio avaliados para cada classe de solo.

	Testemunha		K		Calcário		Calc + K	
				pH				
NT*	4,8	b**	4,7	b	5,7	a	5,9	a
LT	5,4	b	4,9	c	6,1	a	6,1	a
CB	5,1	c	4,8	d	5,6	b	5,9	a
AG	5,8	b	5,5	b	6,4	a	6,7	a
CP	5,2	b	4,9	b	6,1	a	6,1	a
				Al ($cmolc\ dm^{-3}$)				
NT	1,1	a	1,6	a	0,0	b	0,0	b
LT	1,9	a	1,9	a	0,0	b	0,0	b
CB	5,6	a	5,5	a	0,0	b	0,0	b
AG	0,2	a	0,3	a	0,0	b	0,0	b
CP	7,4	a	7,0	a	0,0	b	0,0	b
				Ca ($cmol_c\ dm^{-3}$)				
NT*	1,38	b**	1,28	b	6,54	a	6,21	a
LT	2,09	c	2,09	c	7,77	b	8,38	a
CB	1,11	c	1,05	c	7,31	a	7,07	b
AG	1,87	b	1,85	b	5,29	a	5,42	a
CP	0,97	b	1,07	b	8,19	a	7,54	a
				Mg ($cmolc\ dm^{-3}$)				
NT	1,04	b	0,84	b	6,03	a	5,51	a
LT	1,36	b	1,40	b	6,47	a	7,28	a
CB	0,54	b	0,48	b	6,43	a	6,15	a
AG	1,28	b	1,23	b	4,33	a	4,04	a
CP	0,31	b	0,37	b	6,81	a	7,27	a

*NT (Nitossolo); LT (Latossolo); CB (Cambissolo); AG (Argissolo); CP (Cambissolo sob cultivo de pinus). **Números seguidos de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%).

Tabela 4 – Valores de K na solução, K trocável (Mehlich 1), e K não trocável (HNO3) no solo após cultivo de pinus nos tratamentos testemunha, aplicação de potássio, aplicação de calcário e calcário mais potássio avaliados para cada classe de solo.

	Testemunha		K		Calcário		Calc + K	
				K na solução (ppm)				
NT*	1,7	b**	3,3	ab	2,7	ab	4,4	a
LT	1,1	b	2,1	b	1,9	b	4,6	a
CB	1,5	b	1,1	b	1,6	b	3,6	a
AG	1,8	c	4,0	b	5,2	b	7,5	a
CP	1,3	b	1,9	b	2,3	b	3,8	a
				K Mehlich (ppm)				
NT*	49,3	b**	70,5	a	38,7	b	70,5	a
LT	33,7	b	54,2	a	28,7	b	56,3	a
CB	36,7	b	53,0	a	34,5	b	58,5	a
AG	30,5	b	45,0	a	32,0	b	48,7	a
CP	54,5	c	70,0	ab	59,0	bc	76,5	a
				K HNO3 (ppm)				
NT*	121	a**	165	a	115	a	158	a
LT	142	a	139	a	105	a	143	a
CB	182	ab	207	ab	175	b	215	a
AG	103	b	123	b	109	b	148	a
CP	457	b	469	ab	477	ab	496	a

*NT (Nitossolo); LT (Latossolo); CB (Cambissolo); AG (Argissolo); CP (Cambissolo sob cultivo de pinus). **Números seguidos de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%). Letras minúsculas comparam tratamentos e letras maiúsculas comparam solo rizosférico e não rizosférico, dentro de cada solo.

Tabela 6 - Teores de K, Ca e Mg nas acículas de pinus nos tratamentos testemunha, aplicação de potássio, aplicação de calcário e calcário mais potássio avaliados para cada classe de solo.

	NT*		LT		CB		AG		CP	
					K (mg kg^{-1})					
Testemunha	12,89	a**	6,46	c	6,15	b	5,72	b	6,31	b
Potássio	11,55	a	11,33	ab	9,42	a	9,05	a	9,45	a
Calcário	7,92	b	8,71	bc	5,77	b	5,69	b	6,10	b
Calcário + K	13,34	a	15,11	a	8,01	a	10,70	a	10,89	a
					Ca (mg kg-1)					
Testemunha	0,29	b	0,26	b	0,33	a	0,32	b	0,10	b
Potássio	0,46	b	0,52	b	0,41	a	0,20	b	0,36	b
Calcário	1,20	a	2,77	a	0,63	a	1,54	a	1,73	a
Calcário + K	1,62	a	2,38	a	0,64	a	1,56	a	1,92	a
					Mg (mg kg-1)					
Testemunha	1,04	b	1,24	b	1,05	b	1,34	b	0,58	b
Potássio	0,96	b	1,24	b	0,97	b	0,99	b	0,69	b
Calcário	2,65	a	3,53	a	2,12	a	2,51	a	1,86	a
Calcário + K	2,43	a	3,48	a	1,98	a	2,64	a	1,80	a

*NT (Nitossolo); LT (Latossolo); CB (Cambissolo); AG (Argissolo); CP (Cambissolo sob cultivo de pinus). **Números seguidos de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%).