

PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES POR LEGUMINOSAS, EM RESPOSTA À COMPACTAÇÃO DO SOLO¹

Ramon Costa Alvarenga²
Liovando Marciano da Costa³
Waldemar Moura Filho³
Adair José Regazzi⁴

1. INTRODUÇÃO

As propriedades do solo e os processos afetados pela compactação são fatores responsáveis pelo aumento da resistência mecânica, pela destruição da continuidade dos poros e alteração do fluxo de água e calor. O crescimento das plantas e a disponibilidade de nutrientes para elas são afetados pela compactação, na medida em que há interferência nos mecanismos de fluxo de massa e difusão, responsáveis pelo transporte de nutrientes até as raízes, uma vez que eles são dependentes da estrutura do solo (2, 5).

O crescimento radicular sofre restrições na camada compactada, o que, por sua vez, vai reduzir grandemente a absorção, pela planta, daqueles nutrientes menos móveis como P e K, especialmente em solos com baixos níveis desses nutrientes. Assim, TROUSE e HUMBERT (11)

¹ Parte da tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, pelo primeiro autor, como um dos requisitos para a obtenção do título de "Doctor Scientiae" em Solos e Nutrição de Plantas.

Aceito para publicação em 18.02.1997.

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-Milho e Sorgo) Cx. P. 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG.

³ Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. 36571-000 Viçosa, MG.

⁴ Departamento de Matemática da Universidade Federal de Viçosa. 36571-000 Viçosa, MG.

verificaram que raízes de cana-de-açúcar, deformadas pela compactação, alteram a composição de nutrientes na planta. Entretanto, estes autores não identificaram se a redução na eficiência de absorção ocorreu totalmente em virtude da limitação de área de contato das raízes no solo ou se foi, também, parcialmente por causa da redução da função fisiológica das raízes.

ALVARENGA (1) observou que, à medida que se aumentou o nível de compactação, as leguminosas crotalária juncea, feijão-de-porco e feijão-bravo-do-ceará tiveram os seus sistemas radiculares significativamente reduzidos dentro da camada compactada e abaixo dela e apresentaram um acúmulo de raízes no anel superior do vaso. O mata-pasto sobressaiu-se como a espécie com maior potencial para crescer em camadas compactadas de solo, ao passo que o feijão-de-porco e o feijão-bravo-do-ceará foram as mais prejudicadas.

Embora haja tendência de redução tanto no crescimento de plantas quanto na absorção de nutrientes, isto é uma resposta que vai depender do tipo de planta e das condições físicas, químicas e biológicas do solo nas quais ela está crescendo. Segundo BORGES *et alii* (2) e DOLAN *et alii* (5), os mecanismos de fluxo de massa e difusão, responsáveis pelo transporte de nutrientes até as raízes, são processos dependentes da tortuosidade dos poros, densidade aparente, textura e conteúdo de água no solo. BORGES *et alii* (3), estudando o crescimento de variedades de soja em vasos com camada intermediária de solo compactada, observaram que algumas delas apresentavam ganhos em produção de matéria seca da parte aérea e de acúmulo de P, K e Mg, quando se fazia uma leve compactação do solo ($1,0 \text{ kg dm}^{-3}$). Este comportamento foi atribuído à disponibilidade de água e à proximidade dos nutrientes do sistema radicular, causadas pelo aumento do conteúdo volumétrico de água e de solo explorado pelas raízes. Para maiores níveis de compactação, a tendência era de decréscimo da produção de matéria seca e de acúmulo de nutrientes.

O plantio de milho (8) e de azevém (6), realizado imediatamente após o tratamento de compactação, foi mais afetado que aquele feito nos anos subseqüentes. No primeiro, houve redução tanto na produção de matéria seca da parte aérea quanto no nitrogênio nela acumulado.

A compactação causada pelas rodas do trator ocasionou redução de 40% na produção de matéria seca da ervilha (7). As plantas nesta condição apresentavam-se amareladas, com teores de N, de P e de K reduzidos em 52%, 59% e 65%, respectivamente, ao passo que os teores de Ca, de Mg e de S não foram reduzidos de maneira significativa.

Em experimento com vasos, utilizando uma camada intermediária de solo com níveis crescentes de compactação, SILVA *et alii* (9), estudando gramíneas forrageiras, e BORGES *et alii* (2), estudando

espécies de eucalipto, verificaram redução em peso da parte aérea, em virtude do aumento da compactação. No caso das gramíneas, a braquiária brizanta e o tobiatã não se mostraram sensíveis à compactação, ao passo que o andropogon, o colônio e o capim-gordura exibiram redução significativa na produção de matéria seca da parte aérea. Para essas gramíneas não se observou redução significativa no teor de nutrientes na parte aérea. No caso do eucalipto, a redução no acúmulo de N foi acentuada.

Comparando os efeitos da compactação superficial, até 30 cm, com os da compactação subsuperficial, abaixo de 30 cm, DOLAN *et alii* (5) verificaram que o milho reduzia a absorção de P em maior extensão quando a compactação era de superfície. Em média, a absorção de P e de K foi reduzida em 22% para os tratamento de compactação.

Este trabalho teve por objetivo estudar os efeitos de níveis crescentes de compactação do solo sobre a produção de biomassa aérea de leguminosas e o acúmulo de nutrientes nesta biomassa.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação, em vasos compostos pela sobreposição de três anéis de PVC, que constituíam a unidade experimental (UE), preenchidos com solo, observando-se que o intermediário apresentava diferentes níveis de compactação. O solo utilizado foi uma amostra do horizonte A de um Latossolo Vermelho-Amarelo, álico, argiloso, do município de Viçosa, MG. Detalhes do processo de correção e adubação, da compactação, da caracterização das amostras compactadas, do isolamento da interface solo - PVC com caulim e da montagem dos anéis, para constituírem a UE, podem ser vistos em ALVARENGA (1). O solo dos anéis superior e inferior do vaso apresentava densidade aparente de $1,0 \text{ kg dm}^{-3}$ e no intermediário a densidade foi de 1,0, 1,1, 1,2, 1,3 e $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$, conforme o tratamento.

Foram utilizadas cinco espécies de leguminosas: crotalária juncea (*Crotalaria juncea L.*), guandu (*Cajanus cajan (L.) Millps*), feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis M. e Benth*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes (L.) DC*) e mata-pasto ou fedegoso (*Senna occidentalis L.*). O plantio de cada leguminosa foi realizado utilizando-se quatro sementes/UE. Nove dias após a emergência das plântulas, foi feito um desbaste, deixando apenas duas plântulas/UE.

Após a emergência, semanalmente, foi feita uma adubação nitrogenada com $30 \text{ mg de N por dm}^3$ de solo, utilizando-se o sulfato de amônio. As irrigações foram realizadas no anel superior, no intermediário e no prato do vaso, duas vezes ao dia.

Trinta e quatro dias após o plantio, a parte aérea das plantas foi colhida e nela determinaram-se a matéria seca e a concentração de nutrientes. O peso de matéria seca foi obtido após secagem das plantas, em estufa de circulação forçada, a 70°C, por 72 horas. Os teores totais de N, P, K, Ca e Mg foram determinados a partir de uma amostra por unidade experimental, de material seco e moído. Amostra de 0,2 g desse material foi mineralizada via digestão nítrico-perclórica (3 ml de ácido nítrico: 2 ml de ácido perclórico). No extrato, os teores de Ca e de Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, os de K, por fotometria de emissão de chama e os de P, colorimetricamente, pelo método do ácido ascórbico, modificado por BRAGA e DEFELIPO (4), e o nitrogênio, pelo método de Kjeldahl.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com vinte e cinco tratamentos e cinco repetições, em que os tratamentos constituíram um fatorial 5x5 (5 leguminosas e 5 níveis de compactação). As médias do fator qualitativo (leguminosas) foram comparadas pelo teste de Student-Newman-Keuls (10), a 5% de probabilidade, e o estudo do fator quantitativo (níveis de compactação) foi feito por meio de análise de regressão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de matéria seca e a imobilização de nutrientes pela parte aérea seguem a mesma tendência (Quadro 1). O feijão-de-porco acumulou as maiores quantidades de matéria seca e de nutrientes na parte aérea, seguido pelo feijão-bravo-do-ceará, pelo guandu, pela crotalária juncea e pelo mata-pasto.

O ajuste de equações de regressão linear simples para feijão-bravo-do-ceará e feijão-de-porco (Figura 1) mostra que essas espécies tiveram a produção de matéria seca reduzida a partir do menor nível de compactação.

A maior declividade da curva para o feijão-de-porco indica que as raízes dessa espécie são mais sensíveis a aumentos na compactação. Algumas modificações morfológicas das raízes dessas leguminosas são indícios claros de que as limitações ao crescimento radicular podem também afetar a produção de biomassa aérea. Sabe-se que as raízes, em presença de camadas compactadas de solo, apresentam-se com modificações morfológicas e fisiológicas que afetam de maneira marcante o desenvolvimento das plantas, por alterar a composição de nutrientes (2, 5, 11). Por essas razões, pode-se dizer que a redução e, ou, alteração das funções fisiológicas das raízes, associadas ao menor volume de solo explorado por elas, sob condições de compactação, proporcionaram

QUADRO 1 - Matéria seca e conteúdo de nutrientes da parte aérea das leguminosas cultivadas em vasos com diferentes níveis de compactação na camada intermediária do solo (*)

Leguminosas (**)	MS mg vaso ⁻¹	CCa	CMg	CK mg vaso ⁻¹	CP	CN
Densidade aparente 1,0 kg dm⁻³						
F. porco	13,39 A	292,71 A	29,68 A	363,37 A	18,46 A	689,78 A
F. b. ceará	10,70 B	249,30 B	22,03 B	215,42 B	19,93 A	451,63 B
Guandu	1,69 C	29,52 C	3,65 C	50,49 C	5,75 B	81,16 C
C. juncea	1,81 C	26,48 C	4,73 C	49,66 C	3,04 B	85,75 C
M. pasto	1,30 C	43,70 C	3,70 C	32,53 C	5,19 B	71,93 C
Densidade aparente 1,1 kg dm⁻³						
F. porco	12,68 A	275,44 A	28,43 A	358,77 A	16,87 A	725,04 A
F. b. ceará	9,90 B	238,37 B	18,99 B	206,71 B	17,93 A	348,60 B
Guandu	1,62 C	28,01 C	3,35 C	43,29 C	5,46 B	95,19 C
C. juncea	1,84 C	27,06 C	4,90 C	49,29 C	3,64 B	78,81 D
M. pasto	1,31 C	44,23 C	3,63 C	32,96 C	5,04 B	70,62 E
Densidade aparente 1,2 kg dm⁻³						
F. porco	12,80 A	264,55 A	27,68 A	329,47 A	14,33 A	631,41 A
F. b. ceará	9,70 B	224,49 B	19,25 B	196,62 B	13,26 A	315,31 B
Guandu	1,70 C	29,67 C	3,61 C	47,05 C	5,49 B	98,21 C
C. juncea	1,64 C	24,82 C	4,40 C	41,63 C	3,30 B	85,57 D
M. pasto	1,25 C	38,22 C	3,49 C	32,43 C	4,34 B	79,41 E
Densidade aparente 1,3 kg dm⁻³						
F. porco	10,80 A	221,67 A	24,38 A	265,07 A	11,23 A	635,77 A
F. b. ceará	8,52 B	194,62 B	17,45 B	168,10 B	11,12 A	375,29 B
Guandu	1,32 C	21,80 C	2,69 C	33,64 C	4,59 B	69,93 C
C. juncea	1,18 C	15,01 C	2,87 C	26,72 C	2,06 B	51,91 E
M. pasto	1,18 C	38,25 C	3,20 C	29,44 C	4,30 B	57,36 D
Densidade aparente 1,4 kg dm⁻³						
F. porco	9,90 A	194,32 A	24,21 A	201,28 A	11,23 A	507,60 A
F. b. ceará	8,08 B	169,85 B	17,76 B	137,00 B	12,93 A	390,28 B
Guandu	1,20 C	16,36 C	2,34 C	28,10 C	3,31 B	63,17 E
C. juncea	1,37 C	13,94 C	3,02 C	30,50 C	3,24 B	77,15 C
M. pasto	1,26 C	34,28 C	3,65 C	31,39 C	4,55 B	68,55 D

(*) Para uma mesma densidade aparente, médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Student-Newman-Keuls, a 5% de probabilidade.

(**) F. porco = Feijão-de-porco; F. b. ceará = Feijão-bravo-do-ccará; C. juncea = Crotalária juncea; M. pasto = Mata-pasto.

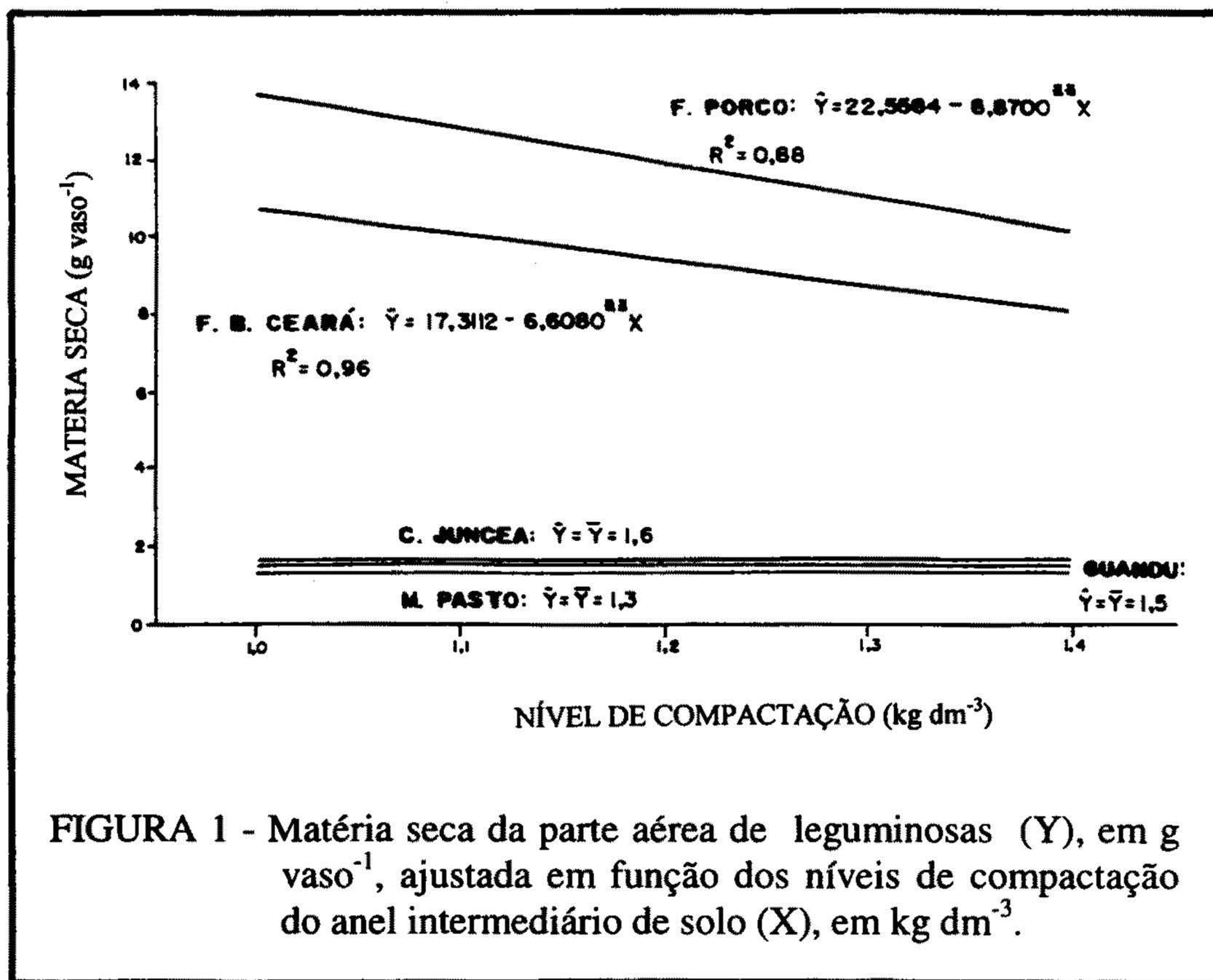
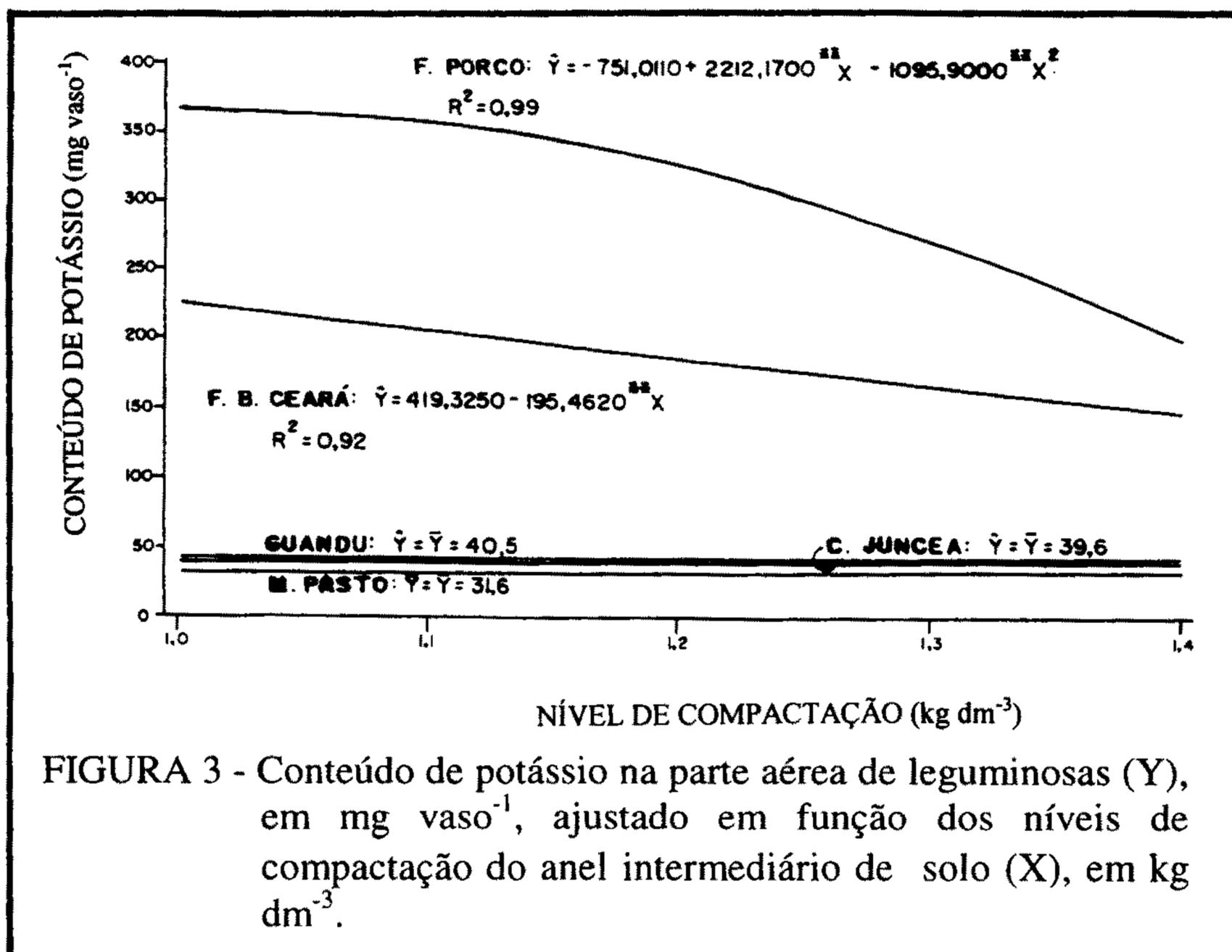
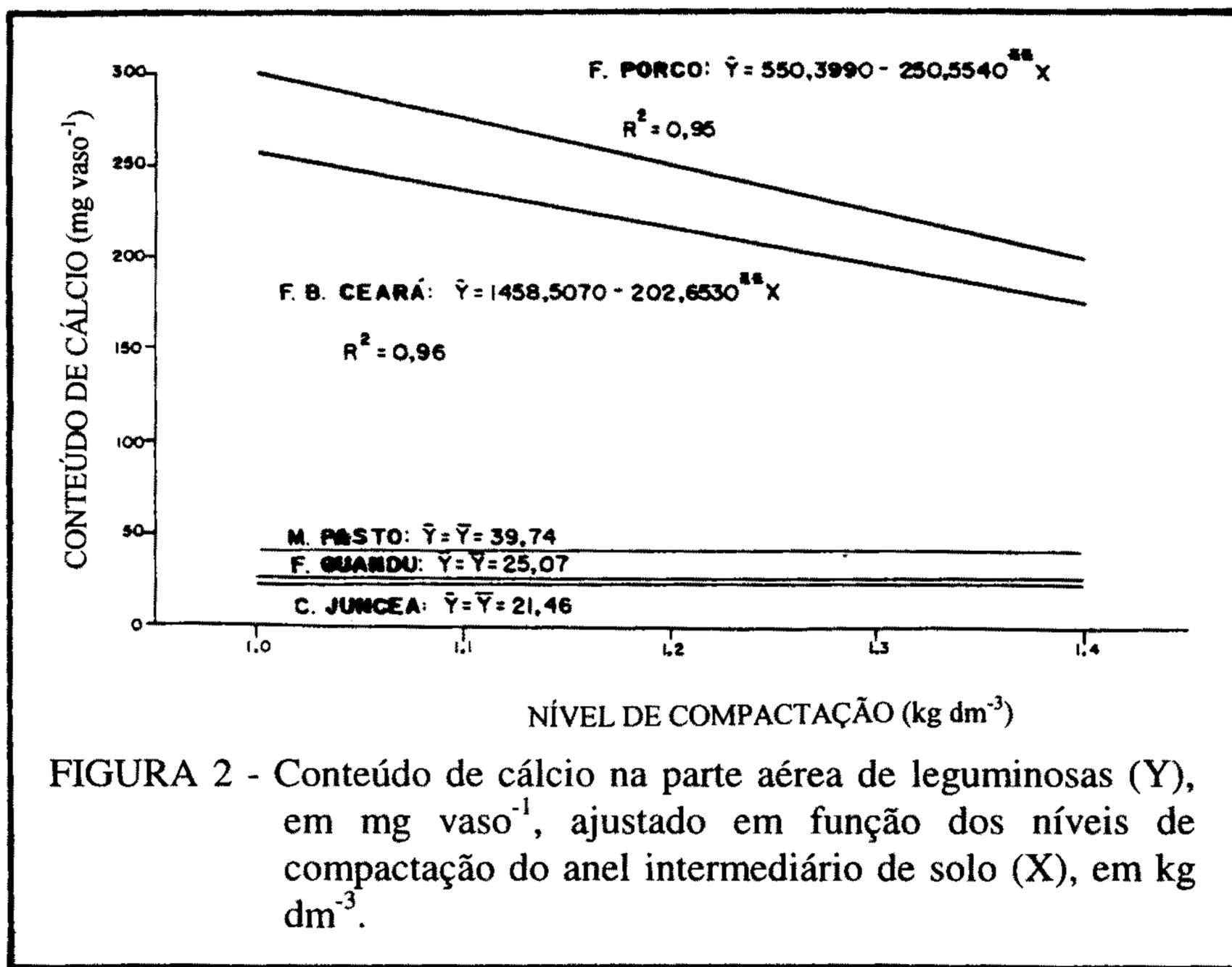


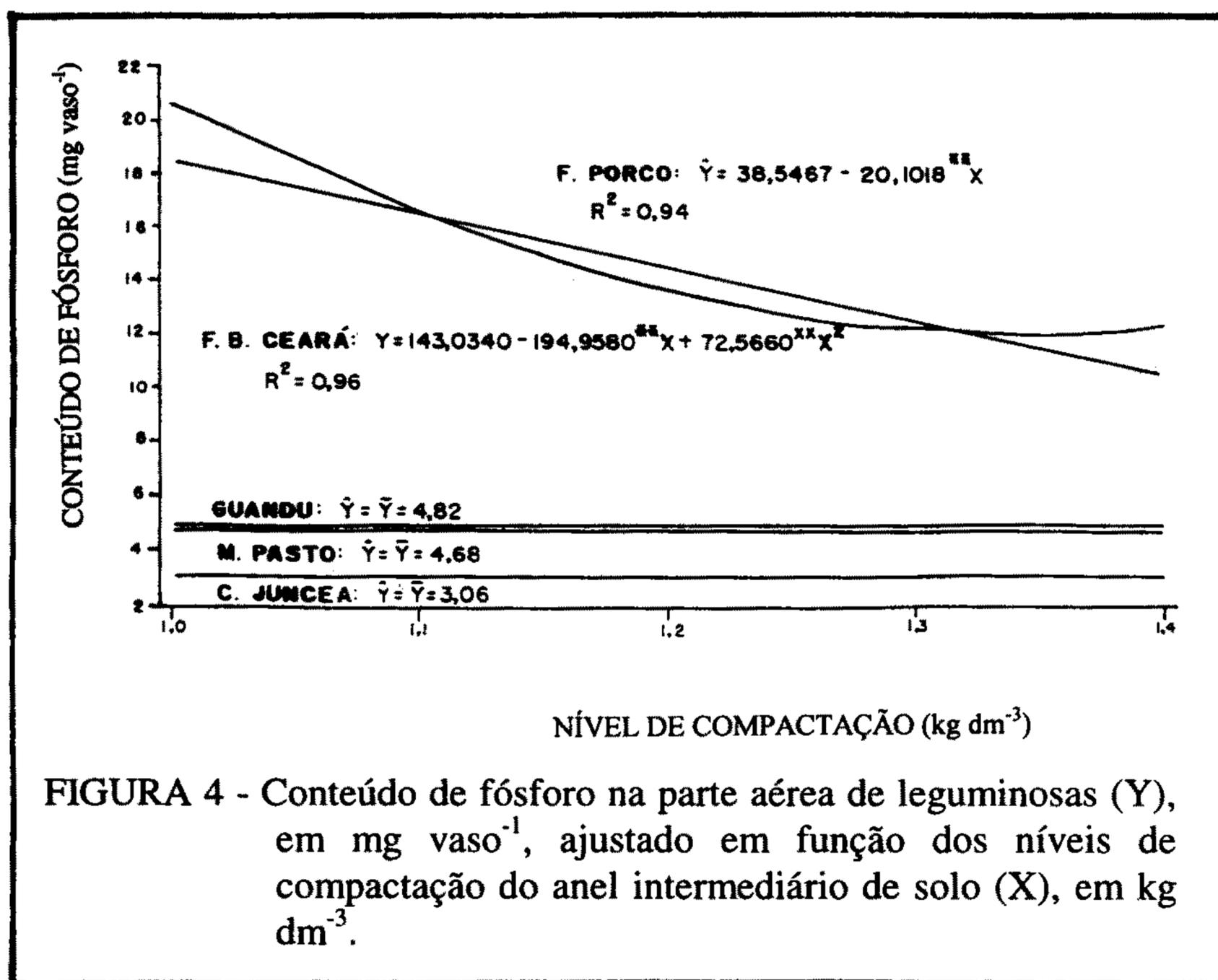
FIGURA 1 - Matéria seca da parte aérea de leguminosas (Y), em g vaso⁻¹, ajustada em função dos níveis de compactação do anel intermediário de solo (X), em kg dm⁻³.

nutrição deficiente das plantas, de modo que elas não conseguiram manter o mesmo padrão de crescimento observado para o menor nível de compactação do solo. Resultados semelhantes foram observados por BORGES *et alii* (3) com a cultura da soja.

O incremento em compactação do solo afetou de maneira significativa o acúmulo de nutrientes na parte aérea das leguminosas, especialmente para o caso do feijão-de-porco e do feijão-bravo-do-ceará. O ajuste a equações de regressão linear de diferentes graus, para o conteúdo de cálcio, potássio e fósforo (Figuras 2, 3 e 4, respectivamente) na biomassa aérea, para essas duas leguminosas, mostra comportamento diferente delas na absorção desses nutrientes.

Para o cálcio, observa-se que os seus conteúdos foram reduzidos linearmente na biomassa do feijão-de-porco e do feijão-bravo-do-ceará, em decorrência de acréscimos na densidade do solo. O feijão-de-porco apresentou decréscimo, para esse nutriente, ligeiramente mais acentuado que para o feijão-bravo-do-ceará. Esse comportamento foi semelhante ao observado para a produção de matéria seca da parte aérea. O inverso também é verdadeiro, ou seja, a produção de biomassa depende da nutrição da planta. Desse modo, parece claro que esse quadro é dependente das condições de solo, impostas pela compactação.





Acréscimos na compactação do solo reduzem o crescimento e a função fisiológica das raízes, e, desse modo, elas se tornam menos eficientes na absorção de nutrientes. O transporte de nutrientes é, também, prejudicado pela compactação, e assim o nutriente vai atingir o ponto de absorção mais lentamente. Em consequência, as plantas crescem menos, pelas menores quantidades de nutrientes absorvidos.

No caso do potássio, a redução de seus níveis em plantas de feijão-de-porco mostra comportamento quadrático. Já o conteúdo de fósforo nessa leguminosa decresceu linearmente com o aumento da compactação. O feijão-bravo-do-ceará teve o seu conteúdo em potássio reduzido de maneira linear, ao passo que o de fósforo foi acentuadamente reduzido até a densidade de 1,34 kg dm⁻³ (ponto de mínimo), a partir do qual o seu conteúdo na parte aérea foi aproximadamente constante dentro do intervalo estudado.

Como não existiu interação significativa entre leguminosa e níveis de compactação para os conteúdos de magnésio e de nitrogênio, os seus resultados são discutidos pela média das leguminosas. Nos dois casos, o ajuste dos dados a equações de regressão linear simples indica que os conteúdos desses nutrientes foram reduzidos por aumentos crescentes na compactação do solo (Figuras 5 e 6, respectivamente).

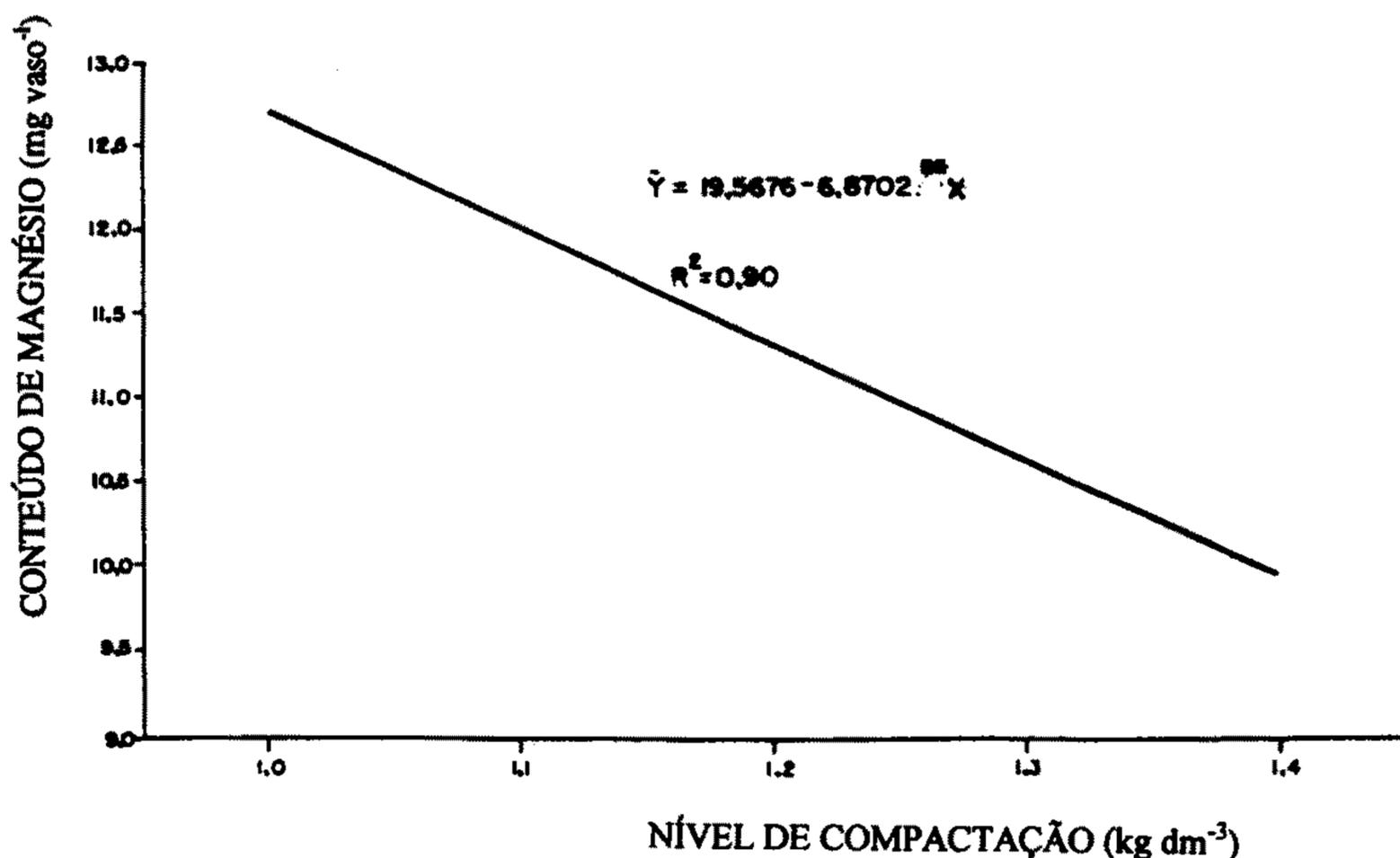


FIGURA 5 - Conteúdo de magnésio, média na parte aérea de leguminosas (Y), em mg vaso⁻¹, ajustados em função dos níveis de compactação do anel intermediário de solo (X), em kg dm⁻³.

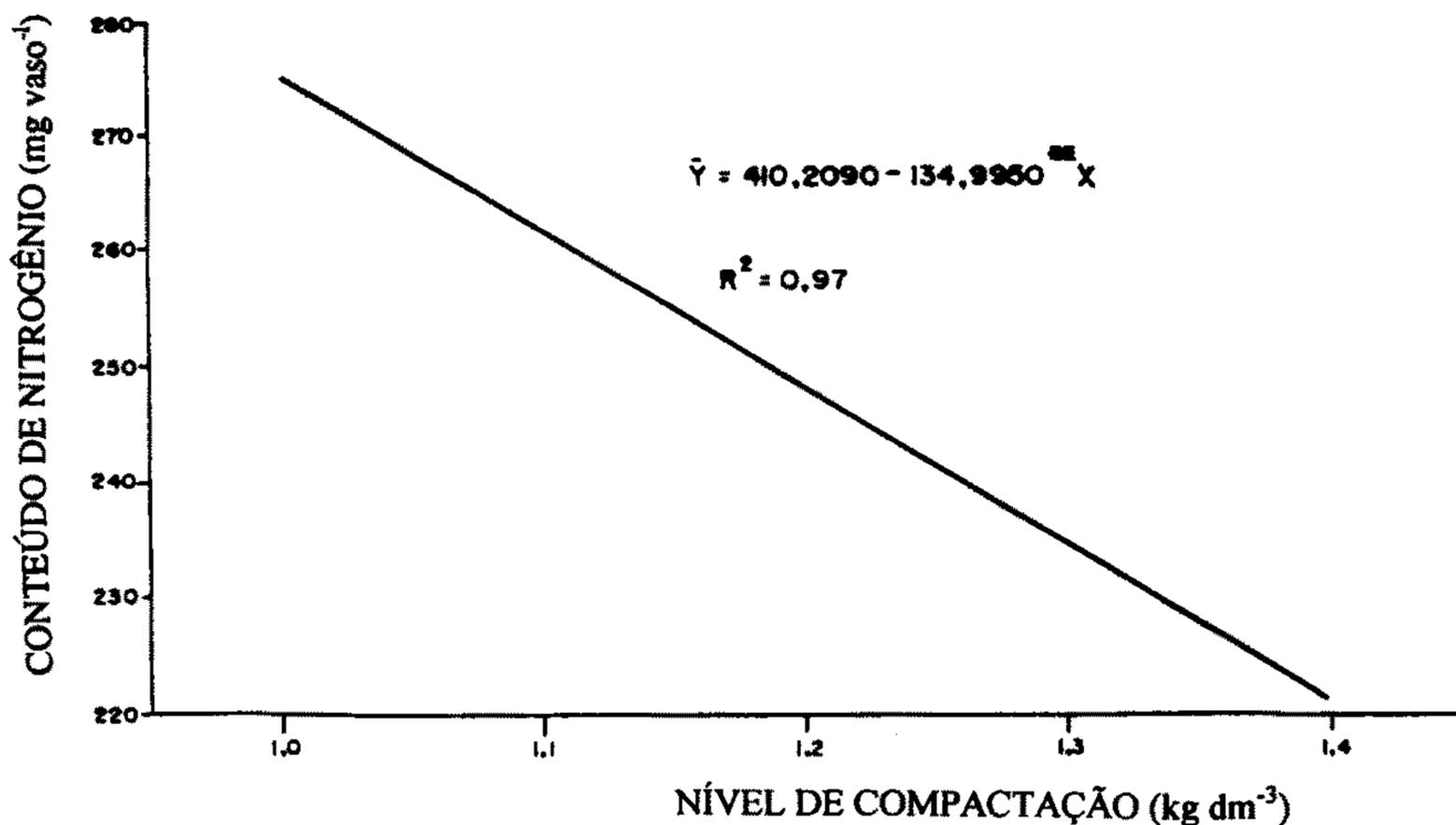


FIGURA 6 - Conteúdo de nitrogênio, média na parte aérea de leguminosas (Y), em mg vaso⁻¹, ajustados em função dos níveis de compactação do anel intermediário de solo (X), em kg dm⁻³.

Esses resultados são semelhantes aos mostrados para produção de matéria seca e conteúdo de outros nutrientes, de tal modo que as justificativas dadas naqueles casos podem ser consideradas as mesmas para o Mg e o N.

4. RESUMO

Este trabalho foi realizado para avaliar a produção de biomassa aérea e a imobilização de nutrientes nesta biomassa quando leguminosas foram cultivadas em vasos com camada intermediária de solo compactada. Foram testadas a crotalaria juncea (*Crotalaria juncea L.*), o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes (L.) DC*), o guandu (*Cajanus cajan (L.) Millps*), o feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis M. e Benth*) e o mata-pasto (*Senna occidentalis L.*). Adotaram-se cinco níveis de compactação do anel intermediário do vaso, que corresponderam a valores da densidade aparente de 1,0, 1,1, 1,2, 1,3 e 1,4 kg dm⁻³. O feijão-de-porco e o feijão-bravo-do-ceará foram mais afetados pela compactação, apresentando decréscimos na produção de biomassa aérea e no conteúdo de Ca, K e P, à medida que a densidade do solo aumentou. Os conteúdos de Mg e de N nas leguminosas reduziram linearmente quando se aumentou a compactação.

5. SUMMARY

(LEGUMINOUS PLANT GROWTH AND NUTRIENT UPTAKE IN RESPONSE TO SOIL COMPACTION)

This work was conducted to evaluate biomass production and immobilization of nutrients in it when leguminous plants were cultivated in pots containing an intermediate layer of compacted soil. Plants tested were crotalaria (*Crotalaria juncea L.*), jack bean (*Canavalia ensiformes (L.) DC*), pigeon pea (*Cajanus cajan (L.) Millps*), feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis M. e Benth*) and mata-pasto (*Senna occidentalis L.*). Five levels of compaction were adopted for the intermediate layer of the pot corresponding to bulk density values of 1.0, 1.1, 1.2, 1.3 and 1.4 kg dm⁻³. Jack bean and feijão-bravo-do-ceará were the most affected by compaction, showing a decrease in the production of shoot biomass and in the contents of Ca, K and P as soil resistance to penetration increased. Contents of Mg and N in leguminous plants decreased linearly as compaction increased.

6. LITERATURA CITADA

1. ALVARENGA, R.C. *Potencialidades de adubos verdes para conservação e recuperação de solos*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1993. 112 p.(Tese D.S.).
2. BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; COSTA., L.M. & NEVES, J.C.L. Respostas de mudas de eucalipto a camadas compactadas de solo. *Revista Árvore*, 10: 181-195, 1986.
3. BORGES, E.N.; NOVAIS,R.F.; REGAZZI,A.J.; FERNANDES, B. & BARROS, N.F. Respostas de variedades de soja à compactação de solo. *Revista Ceres*, 35: 553-568, 1988.
4. BRAGA ,J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, 21: 73-85, 1974.
5. DOLAN, M.S.; DOWLY, R.H.; VOORHEES, W.B.; JOHNSON, J.F. & BIDWELL - SCHRADER, A.M. Corn phosphorus and potassium uptake in response to soil compaction. *Agronomy Journal*, 84: 639-642, 1992.
6. DOUGLAS, J.T. & CRAWFORD, C.E. Wheel-induced soil compaction effects on ryegrass production and nitrogen uptake. *Grass and Forage Science*, 46: 405-416, 1991.
7. GRATH, T. & HAKANSSON, I. Effects of soil compaction on development and nutrient uptake of peas. *Swedish Journal Agriculture Research*, 22:13-17, 1992.
8. LOWERY, B. & SCHULER, R.T. Temporal effects of subsoil compaction on soil strength and plant growth. *Soil Science Society American Journal*, 55: 216-223, 1991.
9. SILVA, G.P.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Respostas de espécies de gramíneas forrageiras a camadas compactadas de solo. *Revista Ceres*, 39: 31-43, 1992.
10. STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. *Principles and procedures of statistics*. 2 ed. New York, Mc Graw-Hill Book Company, 1980. 438p.
11. TROUSE JR., A.C. & HUMBERT, R.P. Some effects of soil compaction on the development of sugar cane roots. *Soil Science*, 91: 208-217, 1961.