

RESPOSTA DE MUDAS DE MARACUJÁ-AMARELO (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) CULTIVADAS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA, A DIFERENTES NÍVEIS DE ALUMÍNIO¹

Rejane M. N. Mendonça²

Ana F. da S. Coelho²

Hermínia E. P. Martinez³

Paulo C. R. Fontes³

Paulo R. G. Pereira³

1. INTRODUÇÃO

A maioria das espécies vegetais cultivadas apresentam grande sensibilidade ao estresse causado pelo alumínio, sendo este um elemento encontrado em grande quantidade nos solos, em razão de sua participação na constituição dos minerais primários. Diversos trabalhos têm demonstrado que os efeitos tóxicos do alumínio tomam-se mais marcantes quando o pH da solução do solo encontra-se por volta de 4,5 (18, 22). Uma vez que o baixo pH e a alta concentração de alumínio são condições encontradas na maioria dos solos agricultáveis, torna-se fundamental o conhecimento do comportamento das culturas sob tais circunstâncias.

A literatura mundial registra grande número de publicações abordando os mais variados aspectos da toxidez de alumínio e da tolerância das plantas a este elemento (2, 5, 15, 16, 19, 20, 21), mas é escassa com relação ao comportamento do maracujazeiro, espécie cultivada na maioria

¹ Aceito para publicação em 26.01.1999.

² Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa. 36571-000 Viçosa, MG.

³ Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa.

das regiões brasileiras (13), perante o estresse provocado pelo excesso de alumínio.

A redução do crescimento das plantas devido ao estresse causado pela toxidez de alumínio, em solos ácidos, é considerada por diversos autores como um dos fatores que mais limitam a produção nesses solos. Os efeitos tóxicos observados nas culturas são similares aos provocados pela deficiência de outros elementos e, portanto, não podem ser considerados específicos. Entretanto, as injúrias nas raízes são os sintomas característicos de toxidez de alumínio (6).

Dentre os principais efeitos fisiológicos, decorrentes da ação tóxica do referido elemento, podem ser citados: interferência na divisão celular em células radiculares; diminuição da respiração radicular; interferência em algumas enzimas que governam a disposição dos polissacarídeos nas paredes celulares e progressiva rigidez destas (pela formação de enlaces peptídicos cruzados); interferência na absorção, transporte e utilização dos elementos Ca, Mg, P e K, assim como da água (9, 24). Apesar de estes fenômenos serem observados em plantas sob estresse causado pela toxidez de alumínio, ainda é muito difícil explicar os mecanismos da toxidez. Esta dificuldade é decorrente, dentre outros fatores, das diferentes respostas apresentadas por cada espécie vegetal.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o crescimento de mudas de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.), cultivadas em solução nutritiva, ante diferentes níveis de alumínio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em condições de casa de vegetação no Departamento de Fitotecnia da UFV, Viçosa-MG, no período de 4 de março a 17 de junho de 1995.

Sementes de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) foram colocadas para germinar em bandejas de polietileno contendo areia de quartzo lavada. A irrigação foi realizada com solução nutritiva de HOAGLAND e ARNON (11), meia-força, até as mudas completarem 4 cm de comprimento. Posteriormente, foram colocadas em vasos com a mesma solução meia-força, para aclimatação durante uma

semana. Neste período, a solução recebeu aeração contínua, e o pH foi mantido na faixa de 5,5 a 6,0.

Após essa aclimatação, as plantas foram submetidas aos tratamentos, adicionados à solução nutritiva com a seguinte formulação em mmol/L: 11 N-NO₃⁻, 0,1 P-H₂PO₄⁻ (reduzido a 1/10), 6 K⁺, 3,5 Ca²⁺, 1,12 Mg²⁺, 1,2 S-SO₄²⁻ e em µmol/L: 38 B, 0,6 Cu, 20 Mn, 0,5 MO, 5,5 Zn, 40 Fe EDTA, sendo esta reduzida a 1/4 de força. Os tratamentos foram constituídos de cinco níveis de alumínio (0, 5, 15, 30 e 45 mg.L⁻¹). Efetuou-se a troca da solução nutritiva, quando a concentração de fósforo atingiu 50% da concentração inicial. O pH da solução foi mantido em 4,2 ± 2.

Os tratamentos foram distribuídos em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo cada unidade experimental constituída de recipientes de 10 L com duas plantas.

Antes de serem aplicados os tratamentos, as plantas foram submetidas a medições de comprimento da haste principal (CHP) e de raízes (CRA), contagem do número de folhas (NF), comprimento do internódio (CI), diâmetro de raiz (DR) e número de gavinhas (NG). Posteriormente, essas características foram avaliadas semanalmente. O CHP foi medido a partir do colo até o ápice da parte aérea, o CI foi medido no 2º internódio (sentido basípeto), e o DR foi medido a 5 cm do colo da planta.

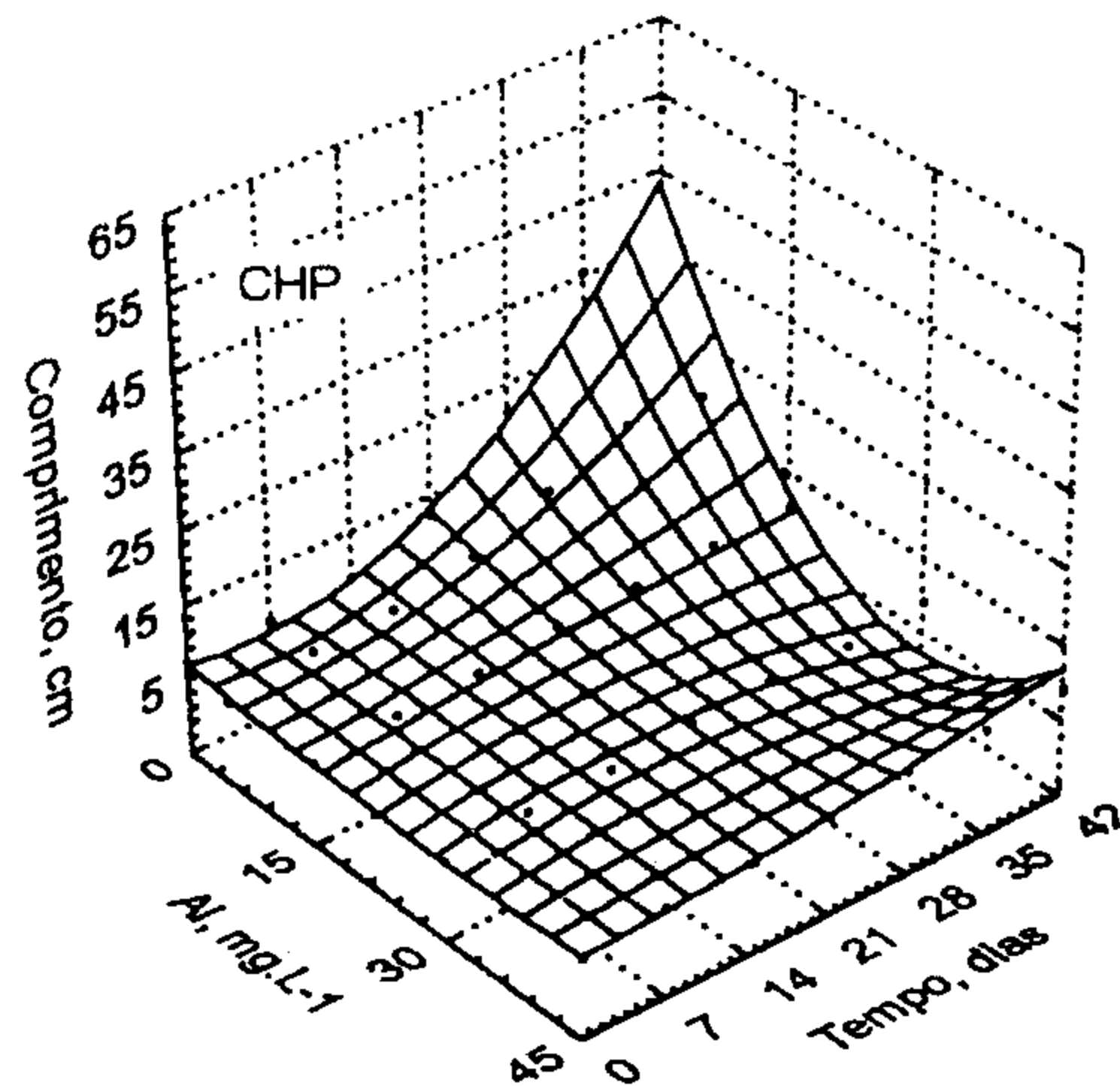
O ensaio foi colhido aos 42 dias após a aplicação dos tratamentos, separando-se raízes, caule e folhas. As raízes foram lavadas com água deionizada para remoção do excesso de solução nutritiva. As amostras foram pesadas para a obtenção do peso de matéria fresca, sendo determinada a área foliar, com o medidor LI-3100. Após essas determinações, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para estufa de circulação de ar forçada, a 70-75°C, por um período de aproximadamente 72 horas. Em seguida, efetuou-se nova pesagem para obtenção do peso de matéria seca. O material foi moído e digerido para determinação de alumínio, pelo método do Aluminon, e de fósforo, pelo método colorimétrico de redução do molibdato, pela vitamina C.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se diminuição progressiva em CHP e CRA com o aumento das doses de alumínio nas plantas cultivadas, sendo esta redução mais expressiva a partir dos 21 dias, em CHP e 14 em CRA (Figura 1). Diversos trabalhos têm relatado declínio significativo no crescimento de algumas plantas, em poucos dias, quando foram submetidas a baixas concentrações

$$Y = 6,9045 - 0,1036A + 0,0019A^2 - 0,2718D + 0,0271D^2 + 0,0401AD - 0,0007A^2D - 0,0024AD^2 + 0,00004A^2D^2$$

$$R^2_{aj} = 82,23$$



$$Y = 18,6886 - 0,0362A + 0,0013A^2 + 0,7977D - 0,0566AD + 0,0009A^2D$$

$$R^2_{aj} = 80,54$$

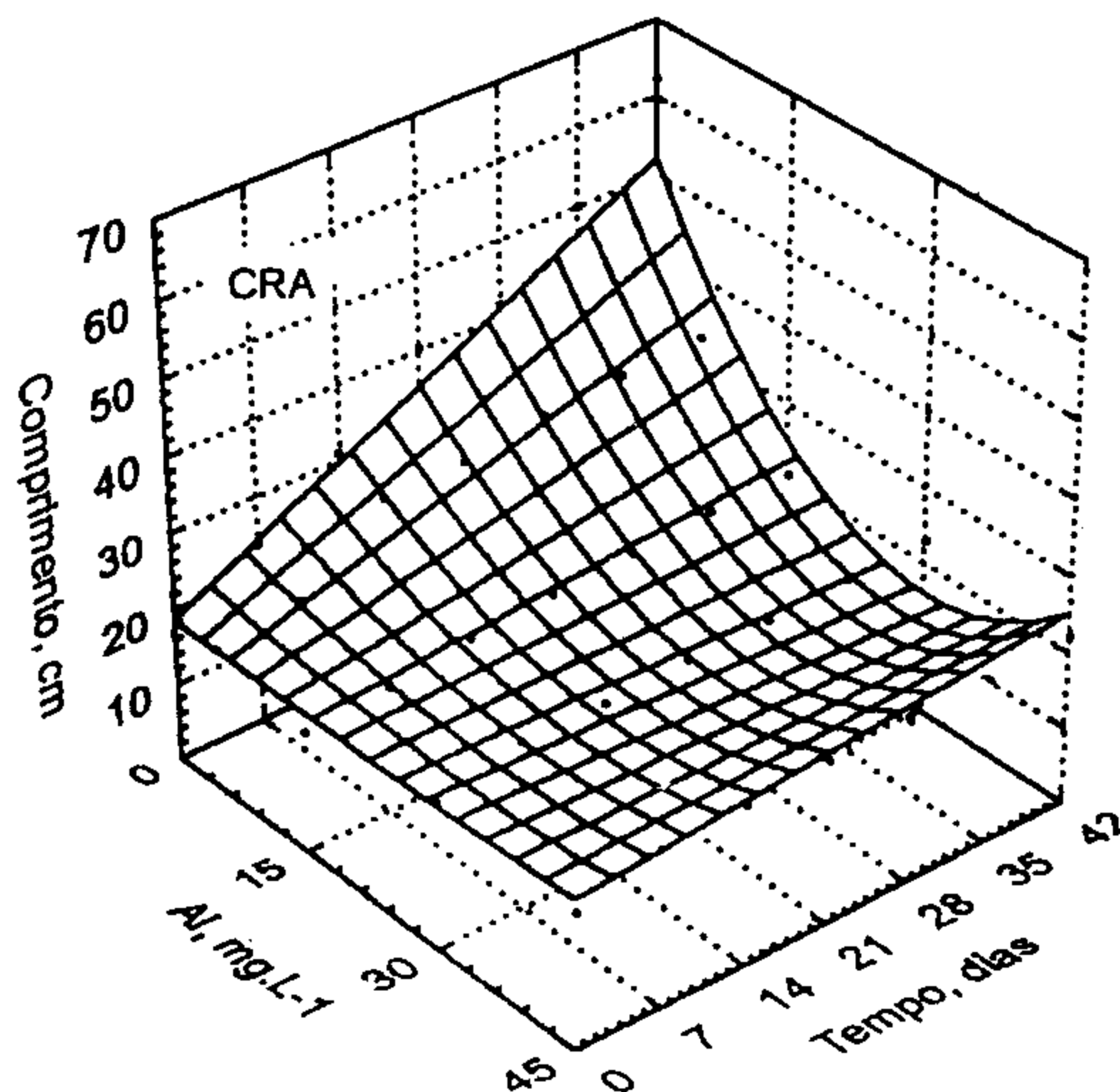
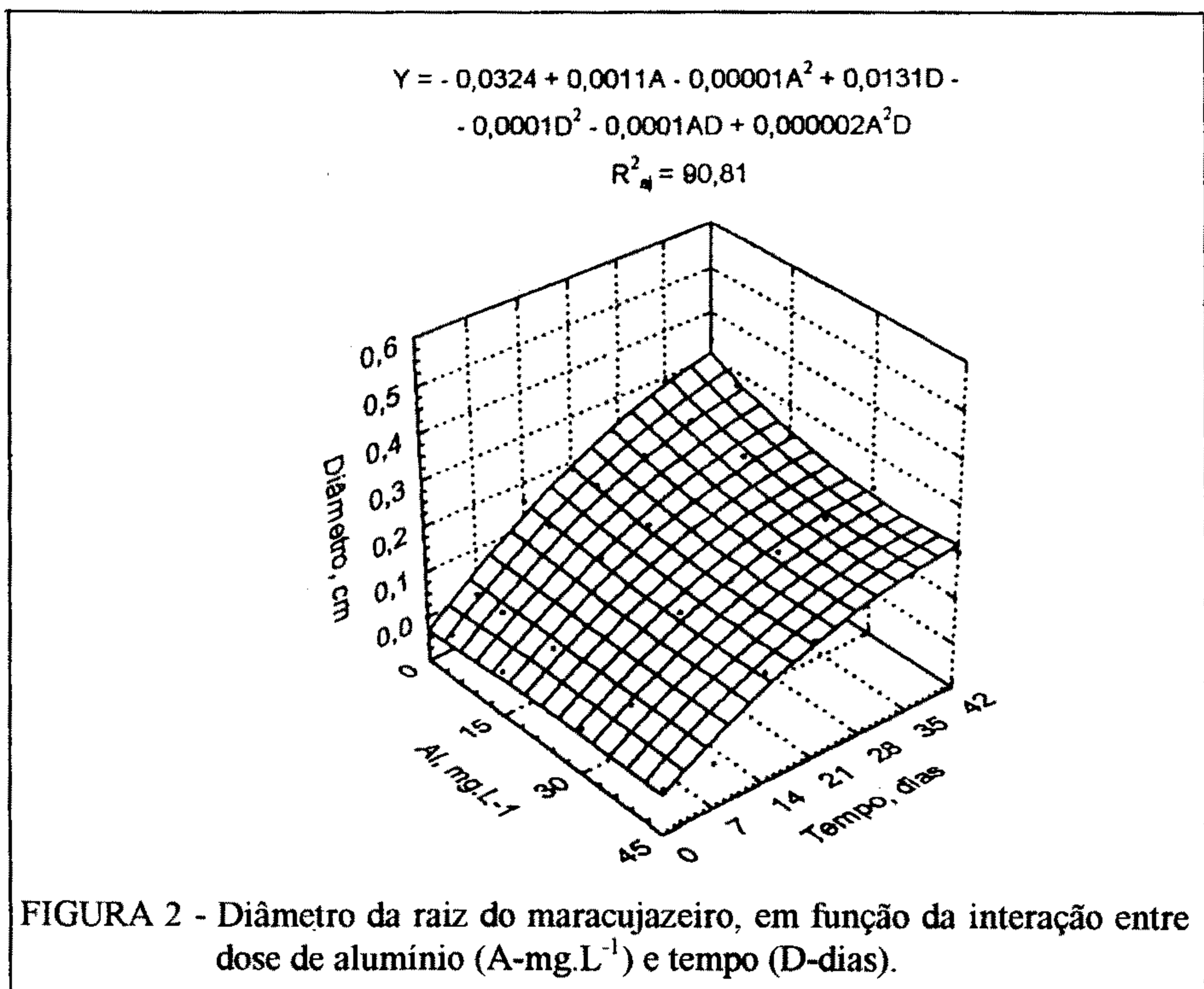
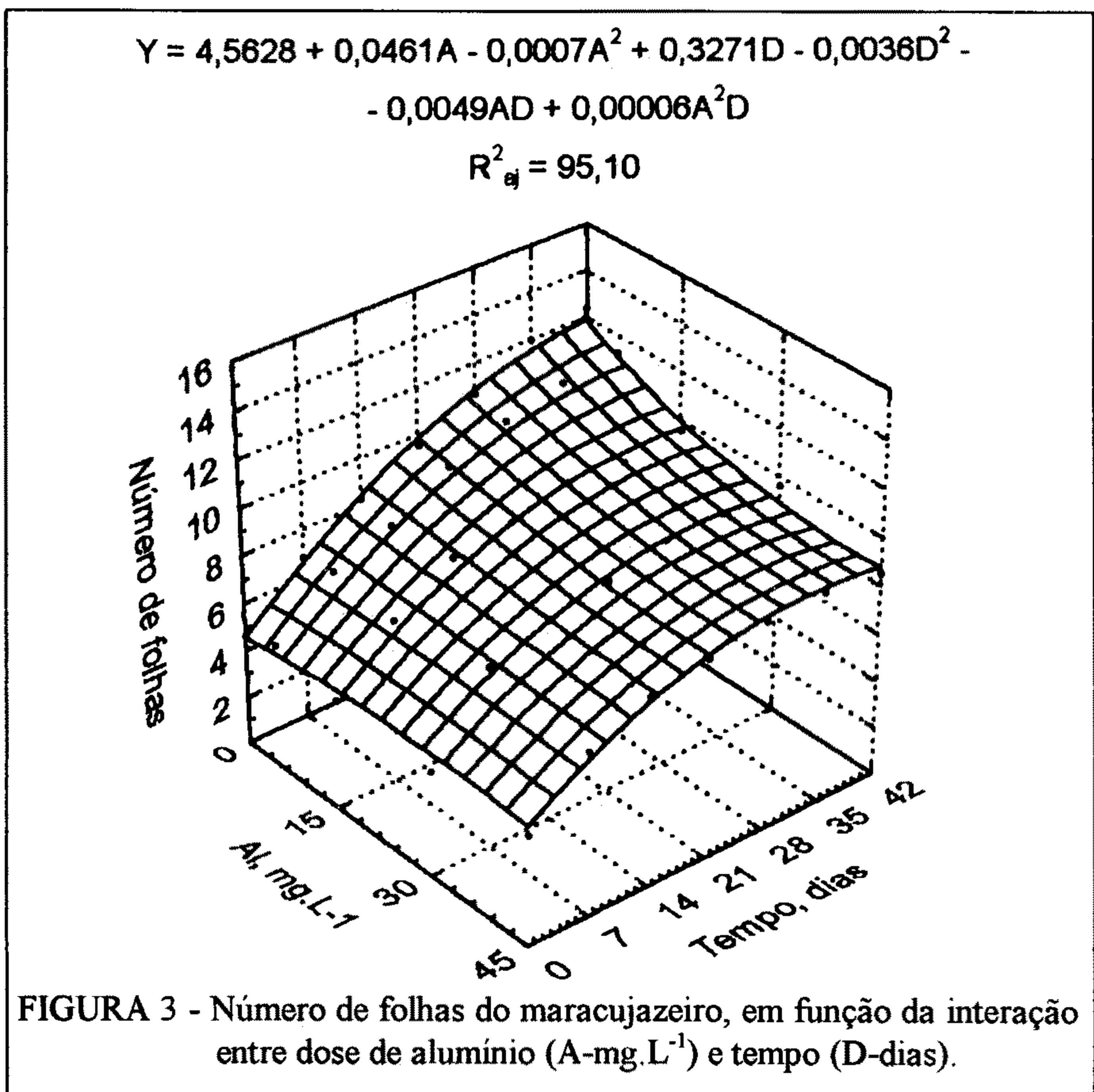


FIGURA 1 - Comprimento da haste principal (CHP) e da raiz (CRA) do maracujazeiro, em função da interação entre dose de alumínio ($A\text{-mg.L}^{-1}$) e tempo ($D\text{-dias}$).

(10-30 μ M) de alumínio (14, 16, 24). Este decréscimo no comprimento, tanto da parte aérea da planta como das raízes pode, segundo alguns pesquisadores, ser resultante da limitação na absorção de nutrientes pelas plantas, principalmente de Ca, Mg, P e K, bem como devido à interferência na aquisição e no metabolismo nitrogenado, havendo diminuição na absorção e redução do nitrato em raízes de diversas plantas, quando o alumínio se encontra em níveis tóxicos (3, 10). PAN *et al.* (16) sugerem que um outro modo de ação, pelo qual o alumínio pode afetar o crescimento da parte aérea, é por meio da inibição na biossíntese de citocinina nas raízes, hormônio que estimula a divisão celular, seguida pelo subsequente decréscimo na sua translocação para as gemas axilares, alterando, assim, a morfogênese nos brotos, pela modificação do suprimento de citocinina para os sítios de ação. As raízes aumentaram sua espessura com o aumento das doses de alumínio (Figura 2). Este fato reforça a idéia de que a redução no crescimento das raízes pela toxidez de alumínio se deve mais ao impedimento do alongamento celular que da inibição da divisão celular. Segundo RENGEL (17), o alumínio dificultaria o crescimento da parede celular, necessário para o alongamento da célula, pelo deslocamento do cálcio das pontes de ligação entre os ácidos urônicos presentes em substâncias pécnicas, localizadas na sua camada interna.



Na parte aérea, o número de folhas (NF) parece não ser afetado sob baixas concentrações de alumínio (Figura 3). Observa-se, entretanto, que, em doses maiores que 5 mg.L^{-1} , já se faz notar uma redução significativa. Outros parâmetros, como DI e NG, mostraram-se altamente sensíveis ao aumento das doses de alumínio a partir do 21º dia, com reduções altamente significativas (Figuras 4 e 5). Segundo alguns autores, esses resultados devem-se, principalmente, a um efeito secundário da toxidez do alumínio, em razão das reduções na absorção e no transporte de nutrientes pelas plantas, principalmente cálcio e fósforo. FOY (7) comenta que a toxidez de alumínio geralmente reduz a concentração de vários elementos na parte aérea, mas o padrão desta interferência varia com a espécie e o genótipo da planta.



$$Y = -0.6226 + 0.0992A - 0.0022A^2 + 0.0757D + 0.0037D^2 - 0.0105AD + 0.0003A^2D - 0.0001AD^2$$

$$R^2_{aj} = 85,54$$

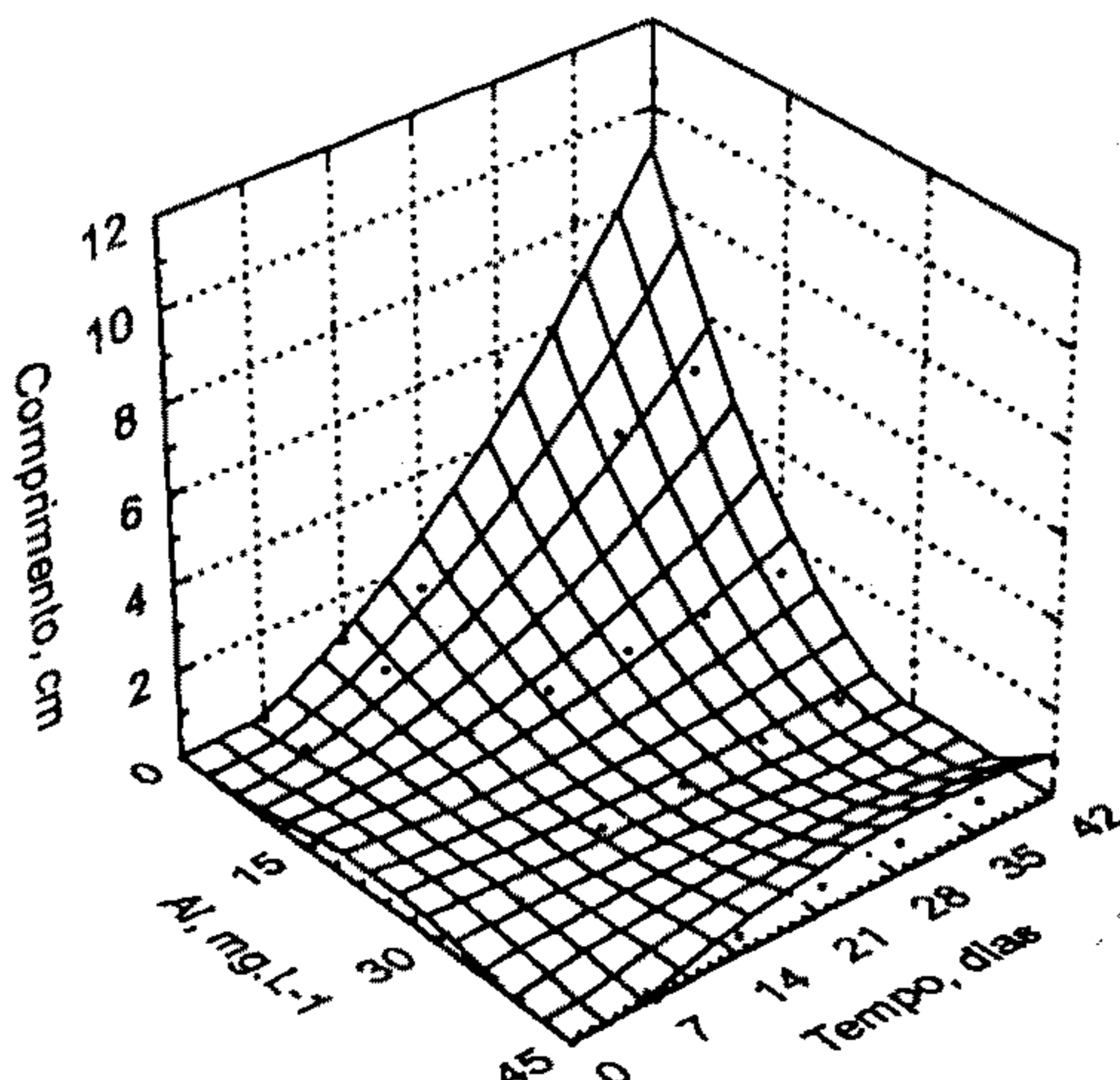


FIGURA 4 - Comprimento do internócio do maracujazeiro, em função da interação entre dose de alumínio (A-mg.L⁻¹) e tempo (D-dias).

$$Y = 0.1691 - 0.0142A + 0.0002A^2 - 0.0674D + 0.0028D^2 + 0.0055AD - 0.00009A^2D - 0.0002AD^2 + 0.00000A^2D^2$$

$$R^2_{aj} = 78,39$$

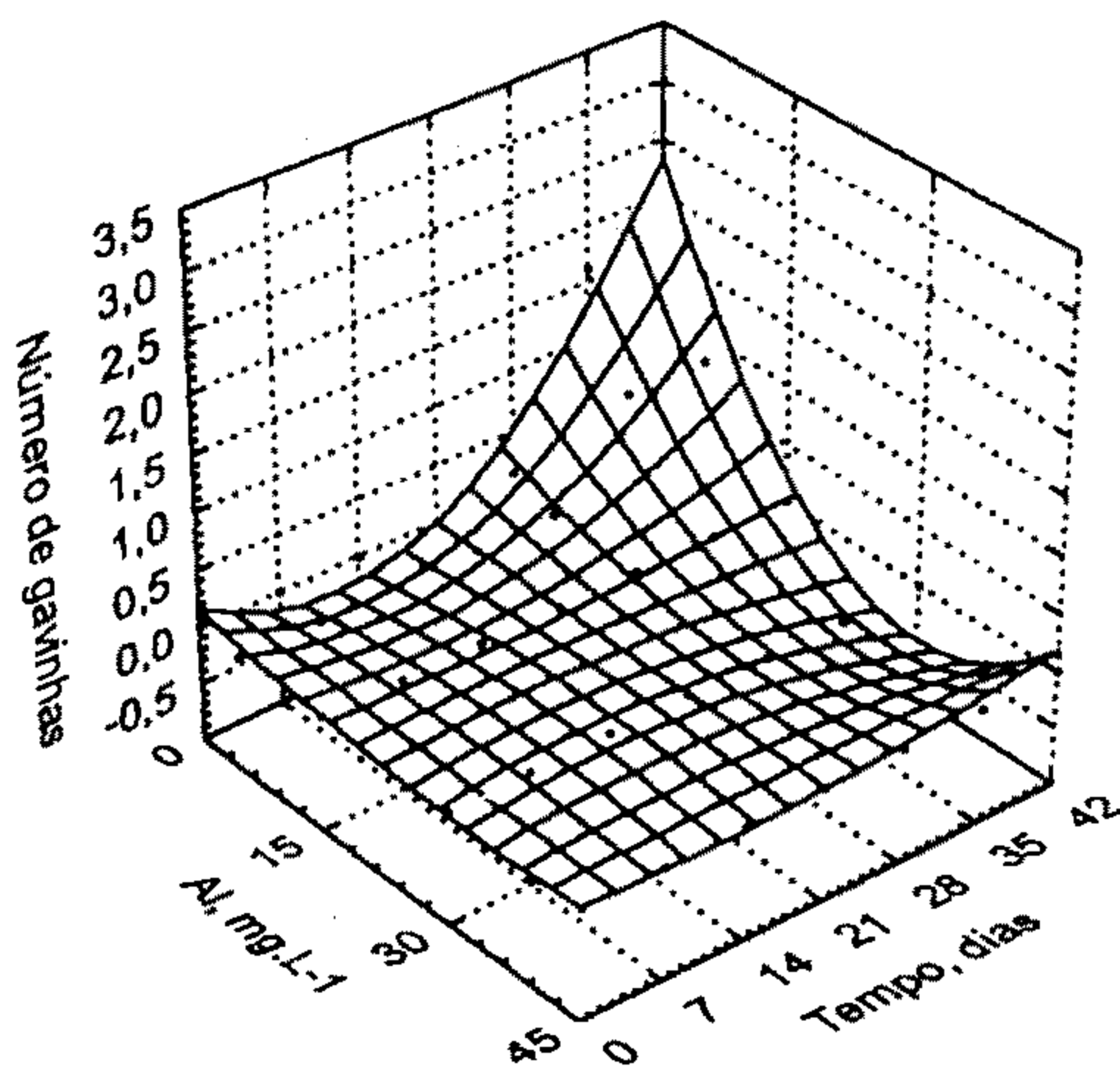
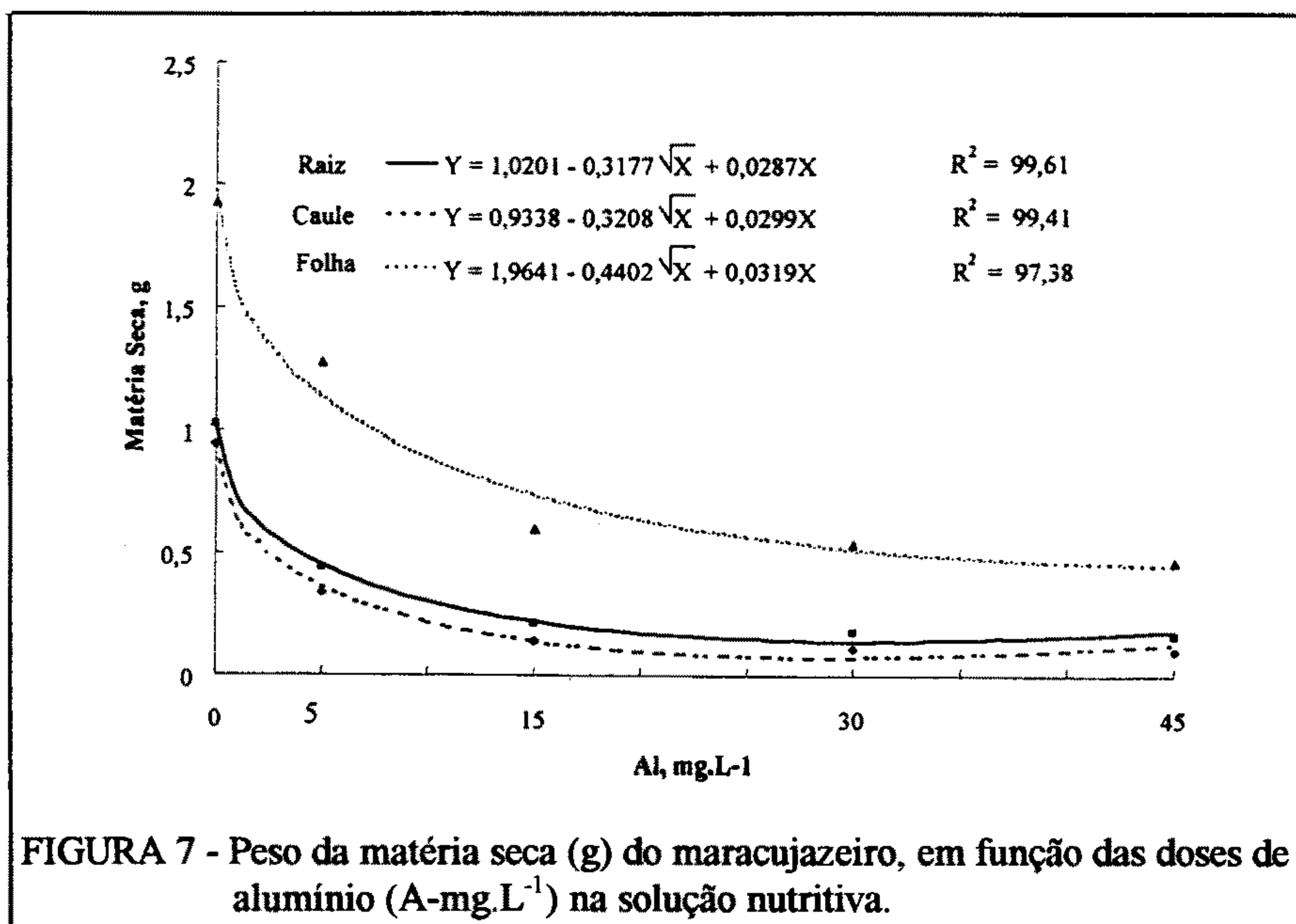
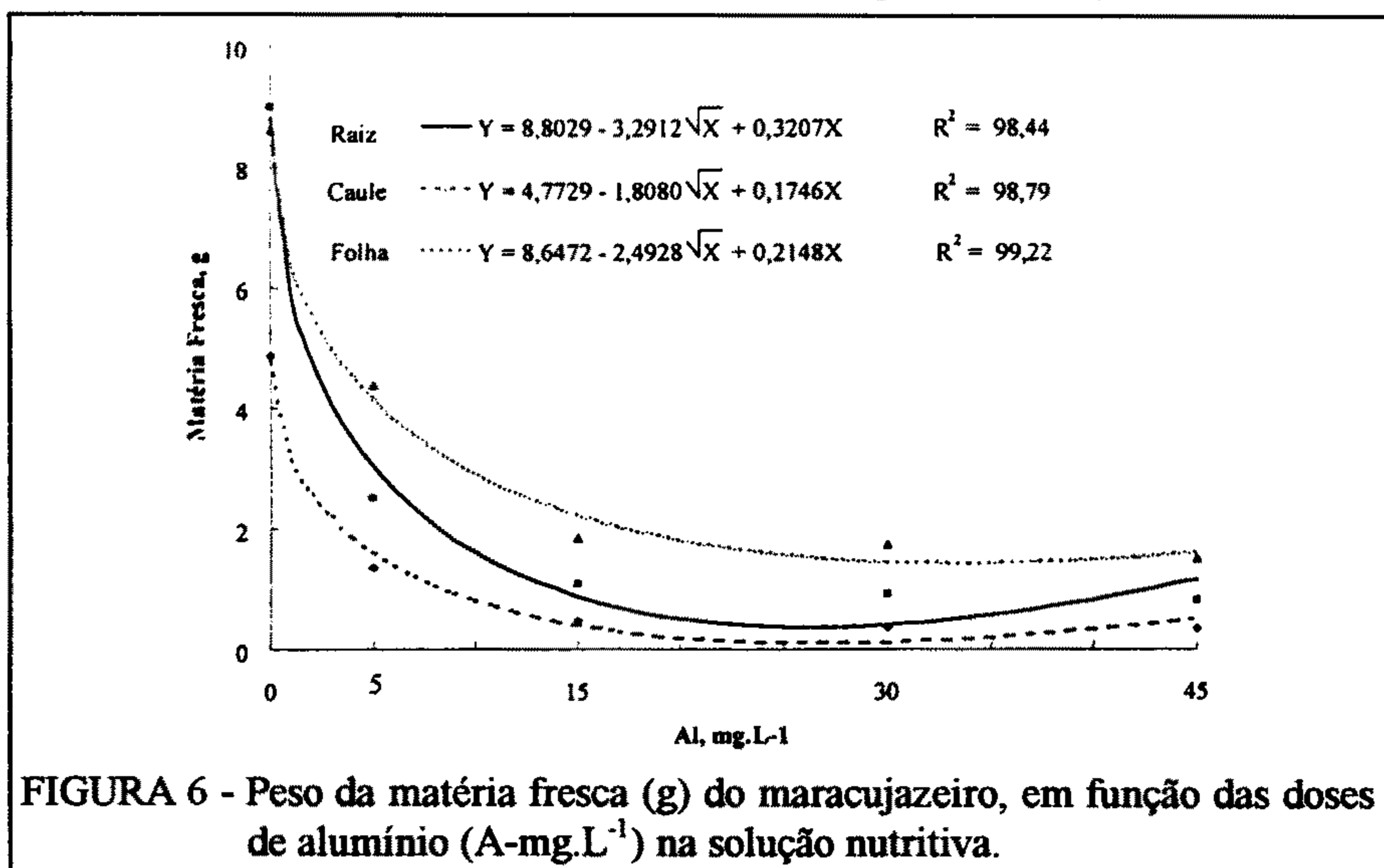
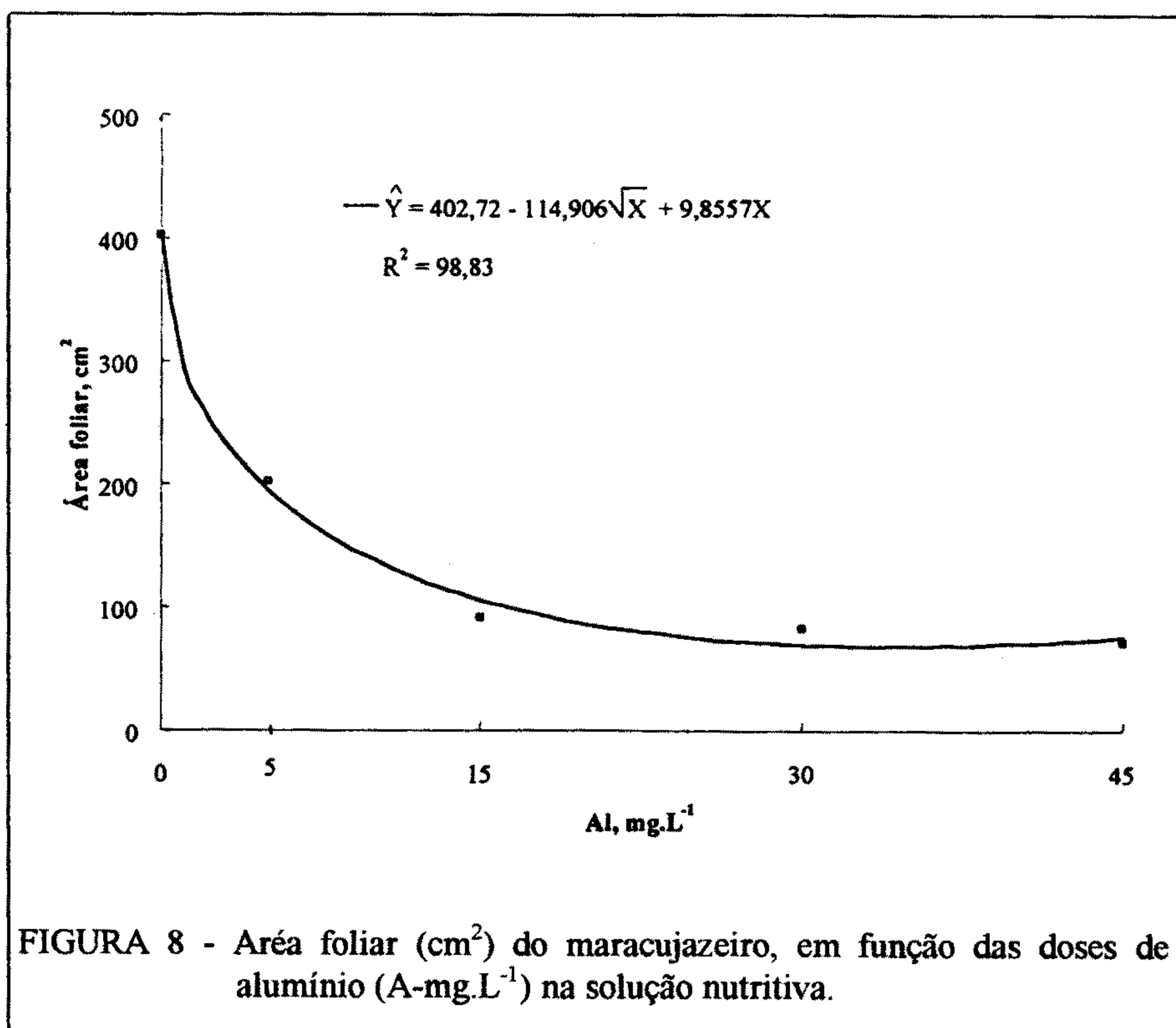


FIGURA 5 - Número de gavinhas do maracujazeiro, em função da interação entre dose de alumínio (A-mg.L⁻¹) e tempo (D-dias).

A redução no peso da matéria fresca e seca da raiz, do caule e da folha foi altamente significativa quando as plantas foram submetidas a doses crescentes de alumínio (Figuras 6 e 7), apresentando já na dose de 5 mg.L⁻¹ reduções de mais de 50% nos referidos pesos do caule e de raiz, tendo as folhas as menores variações. Observa-se, ainda, que o peso de matéria fresca e seca de raiz, caule e folha apresentaram, nas doses de 15, 30 e 45 mg.L⁻¹, os menores valores, tendo estes pouca variação entre si.



Com relação à área foliar (Figura 8), observa-se que doses de alumínio maiores de 5 mg.L^{-1} já apresentam reduções de mais de 50% e que as doses de 15, 30 e 45 mg.L^{-1} pouco diferiram entre si. Esta elevada redução na área foliar pode ser resultante tanto da deficiência de nutrientes como pela dificuldade no alongamento celular (17).



Verifica-se, na Figura 9, que as maiores concentrações de alumínio estão nas raízes, seguidas por folhas e caules, respectivamente, sendo elas ascendentes com as doses do elemento aplicado em solução. Este resultado confirma as observações de que o alumínio tem acúmulo preferencial no sistema radicular, sendo uma pequena quantidade translocada para a parte aérea, evidenciando assim sua baixa mobilidade na planta (4, 23).

Houve decréscimo das concentrações de fósforo com o aumento das concentrações de alumínio (Figura 10), podendo este resultado estar

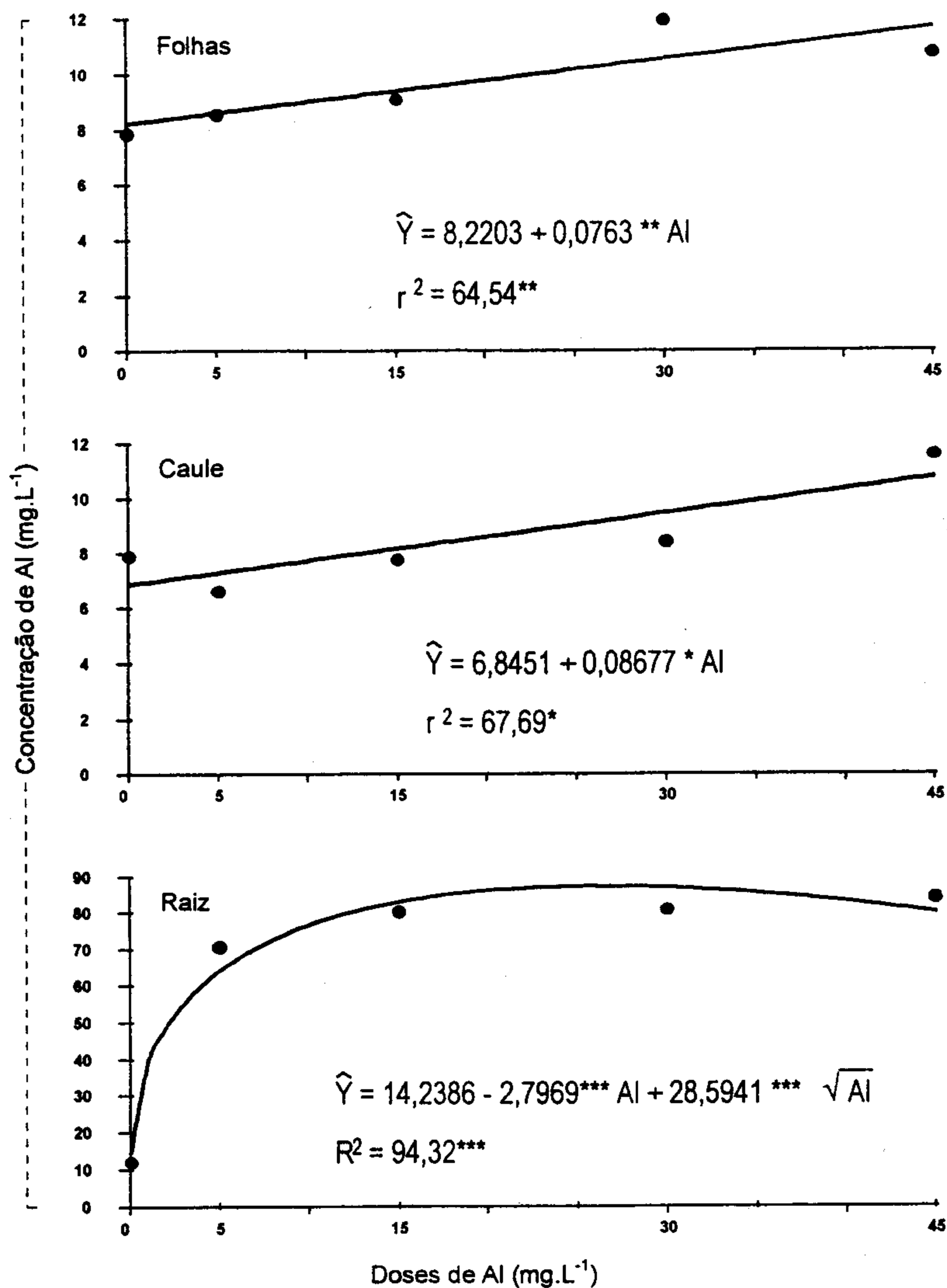


FIGURA 9 - Efeito de diferentes doses de alumínio (Al-mg.L⁻¹) na concentração deste elemento nas folhas, caule e raízes de mudas de maracujazeiro amarelo.

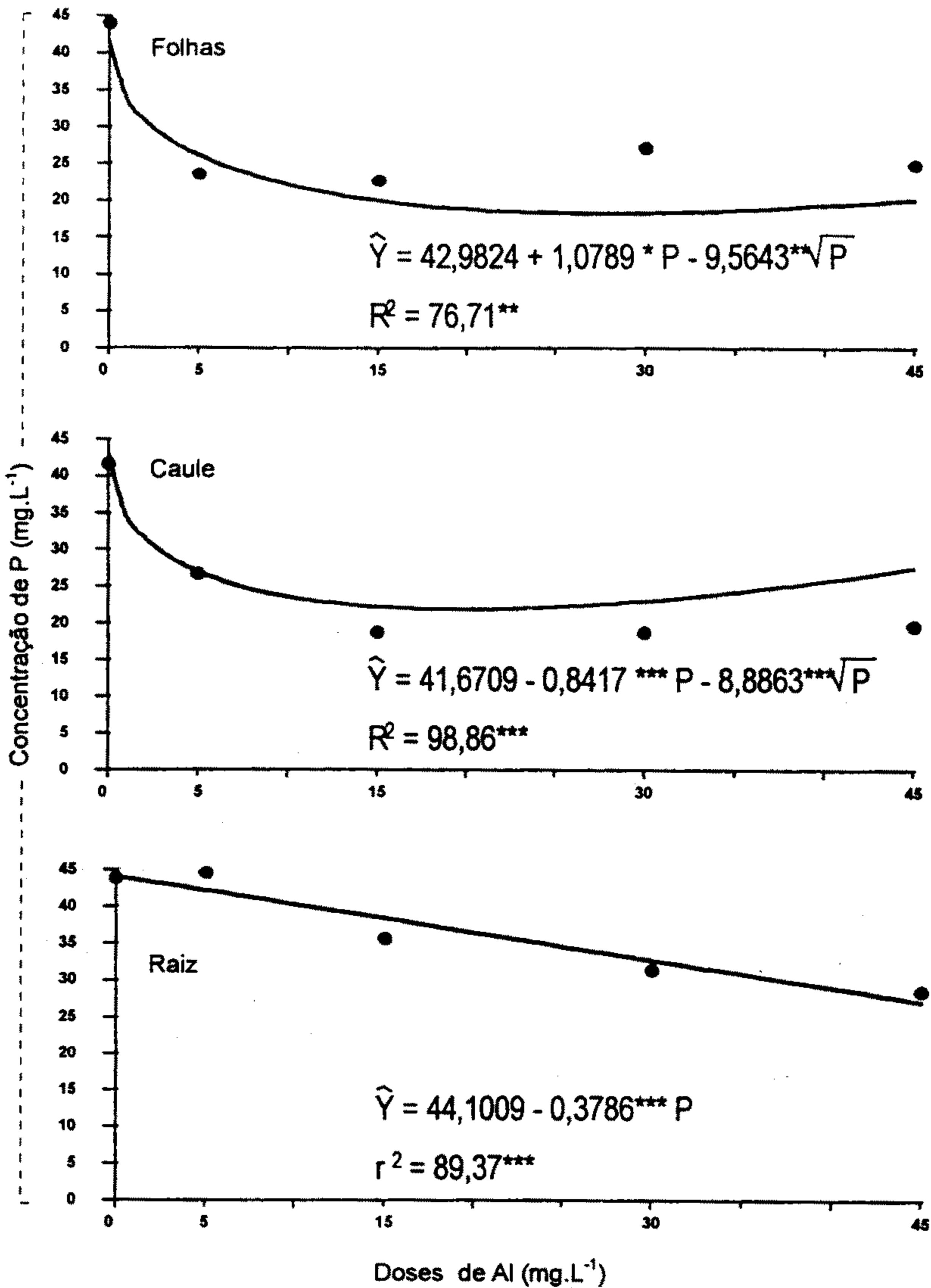


FIGURA 10 - Efeito de diferentes doses de alumínio (Al-mg.L⁻¹) na concentração de fósforo (P-mg.L⁻¹) nas folhas, caule e raízes de mudas de maracujazeiro amarelo.

relacionado com os efeitos deletérios do alumínio sobre a disponibilidade, absorção e utilização de vários nutrientes, dentre estes o fósforo. Nota-se também que o maior acúmulo de fósforo foi detectado nas raízes, caracterizando redução da translocação desse elemento para a parte aérea. Este efeito pode evidenciar a toxidez de alumínio, uma vez que ela está associada ao acúmulo de fósforo no sistema radicular, resultando na precipitação deste elemento nas raízes e reduzindo sua translocação para a parte aérea (1, 8, 25).

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento de mudas de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.), cultivadas em solução nutritiva em diferentes níveis de alumínio. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da UFV, Viçosa-MG, no período de 4 de março a 17 de junho de 1995. Os tratamentos foram constituídos de uma testemunha (dose 0 de alumínio) e quatro doses de alumínio (5, 15, 30 e 45 mg.L⁻¹). O pH da solução foi mantido a 4,2 ± 2. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo cada unidade experimental constituída de recipientes de 10 L com duas plantas. Os resultados obtidos permitem concluir que, com a elevação das doses de alumínio, houve redução no comprimento da haste principal, no comprimento da raiz, no número de folhas, no peso de matéria fresca e seca da raiz, do caule e da folha, na área foliar e na concentração de fósforo nas plantas; o aumento dos teores de alumínio na solução nutritiva resultou em aumento no diâmetro do sistema radicular; e o comprimento de internódios e o número de gavinhas foram reduzidos com o aumento das doses de alumínio. O maior acúmulo de fósforo foi observado nas raízes.

5. SUMMARY

(RESPONSE OF PASSION FRUIT (*PASSIFLORA EDULIS* F. *FLAVICARPA* DEGENER) SEEDLINGS, TREATED IN NUTRIENT SOLUTION, TO DIFFERENT ALUMINUM LEVELS)

The response of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) seedlings, treated in a nutrient solution, to different levels of aluminum was determined. The treatments consisted of a control treatment (zero aluminum dose) and four doses of aluminum (5, 15, 30, 45 mg.L⁻¹), with pH kept at 4.2 ± 0.2. The treatments were arranged in a complete

randomized design with four replications, with each experimental unit consisting of 10 L pots with two plants. The results indicated that as aluminum doses increased, there was a decrease in the main shoot and root length, number of leaves, fresh and dry matter weight of shoots and leaves, leaf area and phosphorus content in the plants. The increase of aluminum in the nutrient solution caused an increase in root diameter; internode length and number of tendrils decreased as aluminum increased. Phosphorus content was highest in the roots.

6. LITERATURA CITADA

1. CALBO, A.G. & CAMBRAIA, J. Efeito do alumínio sobre a composição mineral de dois cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Rev. Ceres*, 27: 369-378. 1980.
2. CAMBRAIA, J. Mecanismos de tolerância e toxidez de alumínio em plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO. ACIDEZ E CALAGEM NO BRASIL, 15, Campinas, 1983. *Anais...* Campinas, SBCS, 1983. p.85-99.
3. CAMBRAIA, J.; PIMENTA, J.A.; ESTEVÃO, M.M. & SANT'ANNA, R. Aluminum effects on nitrate uptake and reduction in sorghum. *J. Plant. Nutr.*, 12: 1435-1445. 1989.
4. CLARK, R.B. Effect of aluminum on growth and mineral elements of Al-tolerant and Al-intolerant corn. *Plant Soil*, 47: 633-662, 1977.
5. FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. & WRIGHT, R.J. Aluminum toxicity in crop plants. *J. Plant Nutr.*, 11: 303-319, 1988.
6. FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W. (Ed.). *The plant root and its enviromental*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.601-642.
7. FOY, C.D. Plant adaptation to acid, aluminium-toxic soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19: 959-987. 1988. (Special Issue).
8. FOY, C.D. & BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils. I. Characterization of aluminum toxicity in cotton. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 27: 403-407. 1963.
9. FOY, C.D.; CHANEY, R.L. & WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plant. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 29: 511-566. 1978.
10. FURLANI, P.R. Efeitos fisiológicos do alumínio em plantas. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2º, Piracicaba, 1983. *Anais...* Campinas, Fundação Cargil, 1989, p. 73-92.
11. HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.L. *The water-culture method for growing plants without soil*. Berkeley, California, University of California College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, 1938. 39 p. (Circular, 347).
12. LEE, E.H. & FOY, C.D. Aluminum tolerance of two snapbean cultivars related to organic acid content evaluated by high-performance liquid chromatography. *J. Plant Nutr.*, 9: 1481-1498. 1986.
13. LEITE, R.S. da S.; BLISKA, F.M. de M. & GARCIA, A.E.B. Aspectos econômicos da produção e mercado. In: *Maracujá: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos*. 2ª ed. Campinas, Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1994. 267 p. (Série Frutas Tropicais, n.9).
14. MATSUMOTO, H. & MORIMURA, S. Repressed template activity of chromatins of pea roots treated by aluminum. *Plant Cell Physiol.*, 21: 951-959. 1980.

15. OHKI, K. Aluminium stress on sorghum growth and nutrient relationships. *Plant Soil*, 98: 195-202. 1987.
16. PAN, W.L.; HOPKINS, A.G. & JACKSON, W.A. Aluminum inhibition of shoot lateral branches of *Glycine max* and reversal by exogenous cytokinin. *Plant Soil*, 120: 1-9. 1989.
17. RENGEL, Z. Role of calcium in aluminium toxicity. *New Phytol.*, 121: 499-513. 1992.
18. SALISBURY, F.B. & ROSS, C.W. *Plant Physiology*. Belmont, California, Wadsworth Publishing Company, 1991. 682p.
19. SANCHEZ, A.J. Accion del aluminio del suelo sobre los vegetales, microflora y microfauna edaficas. *An. Edafol. Agrobiol.*, 43: 1369-1388, 1986.
20. SPIERS, J.M. Influence of aluminium and manganese on rabbiteye blueberries. *HortScience*, 25: 515-516. 1990.
21. TAYLOR, G.J. Current views of the aluminum stress response: the physiological basis of tolerance. *Curr. Top. Plant Biochem. Physiol.*, 10: 57-93. 1991.
22. VALE, F.R.; RENÓ, N.B.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O. & CARVALHO, J.C.B. Sensibilidade de quinze espécies arbóreas à acidez do solo: efeito no crescimento de raízes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, Goiânia, 1993. *Resumos...* Goiânia, SBCS, 1993. 2º vol., p. 259-260.
23. WAGATSUMA, T. Characteristics of upward translocation of aluminum in plants. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 30: 345-358. 1984.
24. WAGATSUMA, T.; KANEKO, M & HAYASAKA, Y. Destruction process of plant root cells by aluminium. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 33: 161-175. 1987.
25. WRIGHT, K.E. Internal precipitation on phosphorus in relation to aluminum toxicity. *Plant Physiol.*, 18: 708-712. 1943.