

COMPOSIÇÃO MINERAL DA BANANEIRA 'PRATA' SUBMETIDA A DIFERENTES DOSES DE SÓDIO E CÁLCIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA¹

Ludmila Lafetá de Melo Neves²
Dalmo Lopes de Siqueira³
Hermínia Emília Prieto Martinez³
Luiz Carlos Chamhum Salomão³
Paulo Roberto Cecon⁴

RESUMO

O cálcio vem sendo utilizado com o intuito de incrementar a tolerância a sais nas plantas, pois sabe-se que a salinidade pode causar desbalanço nutricional, restringindo a produtividade de muitas culturas. Este estudo objetivou avaliar os efeitos da aplicação de sódio e cálcio sobre a composição mineral da bananeira 'Prata'. O experimento foi realizado em casa de vegetação, em Viçosa-MG, de 27 de setembro a 21 de novembro de 1997. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados, com arranjo fatorial 4 x 4 [quatro doses de sódio (0, 5, 10 e 15 mmol L⁻¹) e quatro de cálcio (2, 4, 8 e 12 mmol L⁻¹)] e três repetições. As plantas utilizadas foram provenientes do Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais do Setor de Fruticultura da UFV. Foram selecionadas plantas com altura de 10 ± 2 cm para serem utilizadas no experimento, conduzido em solução nutritiva. A parcela experimental foi composta por um vaso contendo nove litros de solução e, em cada vaso, foram colocadas duas plantas. Foram determinados os teores de todos os macronutrientes e de sódio. Os dados foram submetidos às análises de variância e regressão. O Ca e o Na, em concentrações elevadas na solução, reduziram os teores de N, P, K e Mg nos tecidos da bananeira 'Prata'. Os dados parecem indicar que o Ca, em vez de beneficiar, provavelmente agravou os efeitos do Na, contribuindo para o aumento da salinização da solução. Os teores médios de Na encontrados nas plantas foram superiores ao limite considerado adequado para a bananeira, podendo ter causado algum efeito tóxico.

Palavras-chave: *Musa* sp., salinidade, estresse salino, macronutrientes.

¹ Aceito para publicação em 18.10.2002.

² Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000 Viçosa, MG. E-mail: llafeta@alunos.ufv.br (bolsista do CNPq).

³ Departamento de Fitotecnia da UFV.

⁴ Departamento de Informática da UFV.

ABSTRACT

MINERAL COMPOSITION OF BANANA 'PRATA' EXPOSED TO DIFFERENT LEVELS OF SODIUM AND CALCIUM IN NUTRIENT SOLUTION

Calcium has been used to increase salt tolerance in plants since salinity may cause nutrient imbalance, limiting productivity in many crops. This study aimed to evaluate the effects of sodium and calcium application on the mineral composition of banana cultivar 'Prata'. The experiment was conducted in a greenhouse in Viçosa, state of Minas Gerais, from September 27 to November 21, 1997. The experimental layout was a 4 x 4 factorial with three replications in a randomized complete-block design. The factors tested were levels of sodium (0, 5, 10 and 15 mmol L⁻¹) and levels of calcium (2, 4, 8 and 12 mmol L⁻¹). Each experimental unit was made up of a single pot containing nine liters of nutrient solution in which two plants were planted. The plants utilized were selected when they were 10±2 cm tall, from the tissue culture laboratory of the Fruit Culture Sector of the Department of Plant Science, Federal University of Viçosa. The levels of all macronutrients and sodium were determined. Analysis of variance and linear regression were used to analyze the effect of the treatments on the data collected. Ca and Na in high concentrations reduced N, P, K and Mg contents in plants. A combination of effects between Ca and Na has been suggested increasing solution salinity. The average levels of Na found in the banana plants were superior to the limits considered to be adequate for the crop and may have a toxic effect.

Key words: *Musa* sp., salinity, salt stress, macronutrients.

INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada em climas áridos e semi-áridos freqüentemente conduz à acumulação de sais no solo, restringindo o crescimento e a produção de muitas culturas (10).

Vários fatores contribuem para o aumento da salinidade, entre eles estão água de má qualidade, drenagem deficiente do solo, baixa precipitação pluvial, baixa permeabilidade do solo e oscilação da superfície freática (19). Os íons que contribuem para a salinização do solo são Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e, raramente, NO₃⁻ ou K⁺. Os sais formados por estes íons variam em relação a suas concentrações e proporções no solo (2). A salinidade do solo reduz o conteúdo e a absorção de certos elementos nas plantas, o que pode acarretar a redução do crescimento e da produção, devido à deficiência nutricional provocada (29).

Dentre os elementos presentes em solos salinos, o sódio normalmente é o cátion predominante (30), e sua toxicidade pode ser a maior responsável pelos danos causados pelos sais (15). A alta concentração de Na⁺ no substrato inibe a absorção e o transporte de Ca²⁺ e

pode, conseqüentemente, induzir a deficiência de cálcio em plantas crescidas em substrato com baixa concentração de Ca^{2+} (22).

O cálcio é um nutriente particularmente importante em plantas expostas a estresse salino, porque tem papel fundamental na atividade da membrana, na extensão da parede celular e na recuperação do estresse celular (17).

Considerando que o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de banana (*Musa sp.*) e que esta cultura vem se expandindo, cada vez mais, para áreas com problemas de salinidade, é importante o estudo do comportamento de determinado cultivar nestes ambientes e do que pode ser feito para amenizar os efeitos negativos das altas concentrações de sais. O cultivo em solução nutritiva permite que se realizem estudos sobre salinidade sem que outros fatores interfiram nos resultados, como pode ocorrer quando se trabalha com o solo como substrato.

Tendo como base estas informações, o presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da aplicação de sódio e cálcio sobre a composição mineral da bananeira 'Prata' em fase inicial de crescimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Para se estudar o efeito do sódio e cálcio sobre a bananeira, instalou-se um experimento em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), de 27 de setembro a 21 de novembro de 1997, onde foram avaliados os teores de macronutrientes e de sódio nos tecidos da bananeira, cultivar 'Prata'.

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados, com arranjo fatorial 4×4 [quatro doses de sódio (0, 5, 10 e 15 mmol L^{-1}) e quatro doses de cálcio (2, 4, 8 e 12 mmol L^{-1})], com três repetições. As plantas utilizadas no experimento foram provenientes do Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais do Setor de Fruticultura da UFV. Foram selecionadas plantas com altura de pseudocaule de 10 ± 2 cm para o experimento, que foi conduzido em solução nutritiva.

As concentrações dos micronutrientes foram estabelecidas de acordo com a solução de Hoagland e Arnon (13).

As concentrações de N-NO_3^- , $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$, K^+ , Mg^{2+} e S-SO_4^{2-} foram 15,0; 2,0; 8,0; 3,0 e 2,5 mmol L^{-1} , respectivamente. Os cátions Ca^{+2} e Na^+ tiveram suas concentrações definidas de acordo com os tratamentos.

A parcela experimental foi composta por um vaso contendo nove litros de soluções de tratamento, e em cada vaso foram cultivadas duas plantas.

O pH da solução nutritiva foi monitorado diariamente, sendo mantido em $6,1 \pm 0,1$, utilizando-se solução de KOH ou HCl a 1N, e o volume da solução nutritiva foi mantido pela reposição diária de água

deionizada. A solução foi renovada por acompanhamento dos níveis de potássio e magnésio. Quando um destes atingia a depleção de 40% da concentração inicial, a solução era substituída.

Para a determinação da composição mineral, as plantas foram colhidas e subdivididas em quatro partes (folhas superiores, folhas inferiores, pseudocaule e raízes). Foram definidas como folhas superiores as duas últimas folhas emitidas e a folha "vela". O material foi seco em estufa de circulação forçada de ar, a 70 ± 5 °C, até atingir peso constante. Após ser seco, foi moído em moinho tipo Wiley e mineralizado para o elemento nitrogênio via digestão sulfúrica. Para os demais elementos, o material foi mineralizado pela mistura nítrico-perclórica. As determinações dos teores de nitrogênio orgânico foram feitas pelo método de Nessler (14), enquanto os teores de nitrato foram determinados pelo método do ácido salicílico (6); o fósforo foi dosado colorimetricamente pelo método de redução do fosfomolibdato pela vitamina C, descrito por Braga e Defelipo (4); o potássio e o sódio foram determinados por fotometria de emissão de chama; o cálcio e o magnésio, determinados por espectrofotometria de absorção atômica; e o enxofre por turbidimetria do sulfato (3).

Os dados foram analisados utilizando-se o Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas da UFV (SAEG-UFV), sendo submetidos às análises de variância e regressão. Vários modelos foram testados, com escolha daqueles que apresentaram os coeficientes de regressão significativos até 10% de probabilidade, pelo teste t de Student, e baseado no coeficiente de determinação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

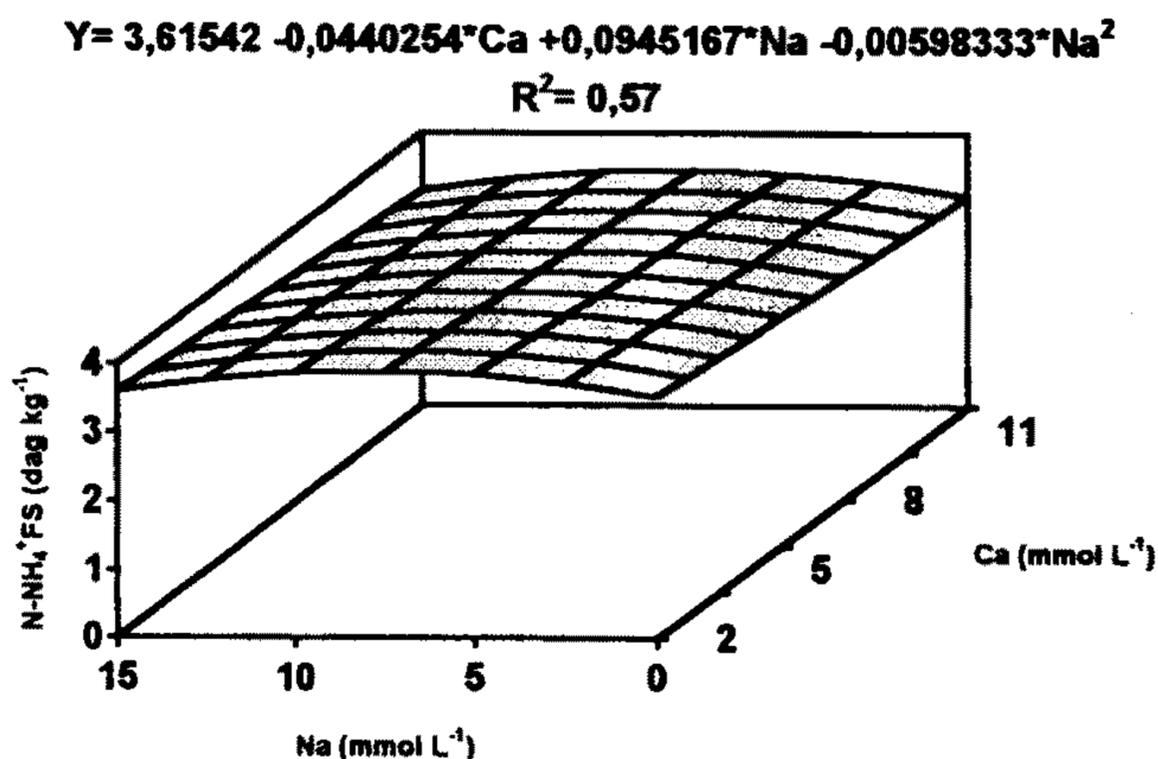
Nitrogênio orgânico (N-NH₄⁺)

Os teores de N-NH₄⁺ nas folhas superiores variaram linearmente com as concentrações de Ca e de forma quadrática com as de Na (Figura 1). O incremento de Ca na solução reduziu os teores de N-NH₄⁺ nos tecidos. O teor máximo de N-NH₄⁺ nas folhas superiores seria obtido com a presença de 8 mmol L⁻¹ de sódio na solução.

Nas folhas inferiores e no pseudocaule, os teores de N-NH₄⁺ responderam de forma linear às concentrações de Ca e Na (Figuras 2 e 3). Nestas duas partes das plantas, o aumento da concentração de Ca na solução reduziu os teores de N-NH₄⁺. Nas concentrações de 2 e 4 mmol L⁻¹ de Ca, o incremento de Na na solução fez com que decrescessem os teores de N-NH₄⁺. Porém, a partir de 8 mmol L⁻¹ de Ca na solução, a presença do Na elevou os teores de N-NH₄⁺.

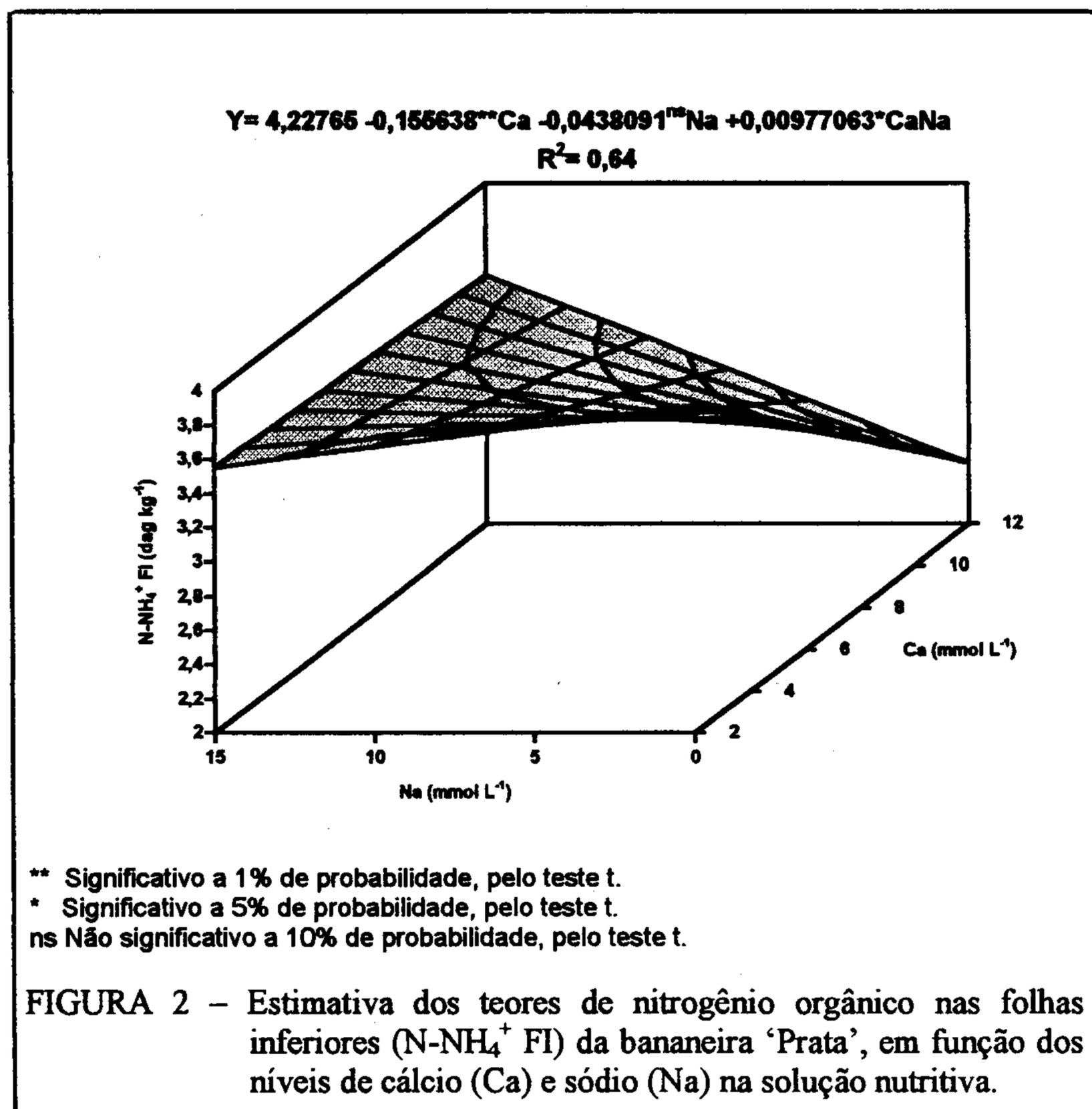
Nas raízes não foram observadas diferenças significativas nos teores de N-NH_4^+ . Os teores médios nos tecidos foram de $2,96 \text{ dag kg}^{-1}$.

O nitrogênio é um dos elementos minerais que a planta requer em grande quantidade, pois é constituinte de muitos componentes celulares, incluindo aminoácidos e ácidos nucleicos. O amônio e o nitrato são as maiores fontes de N inorgânico absorvidas pelas raízes das plantas superiores. Entretanto, o nitrato absorvido deve ser necessariamente reduzido a amônio, para ser assimilado em compostos orgânicos. Esta redução e assimilação podem ocorrer no próprio sistema radicular ou o nitrato pode ser transportado pelo xilema para a parte aérea e, no citossol, ser reduzido e assimilado principalmente na forma de amidas (asparagina e glutamina) (31). Neste experimento, o N utilizado na solução nutritiva foi fornecido integralmente em forma de nitrato, mas, segundo Marschner (22), existe grande competição entre o nitrato e o íon cloro (constituente do NaCl que foi utilizado para elevar os teores de Na na solução) durante sua absorção. Em ambientes salinos, o efeito da competição com o íon cloro pode reduzir o conteúdo de N nos tecidos, prejudicando o crescimento das plantas, fato este observado neste trabalho: nos tratamentos nos quais as concentrações de Na foram muito altas, as plantas apresentaram menor produção de matéria seca, que é uma das características mais utilizadas para a avaliação do crescimento de plantas em determinadas condições de meio.



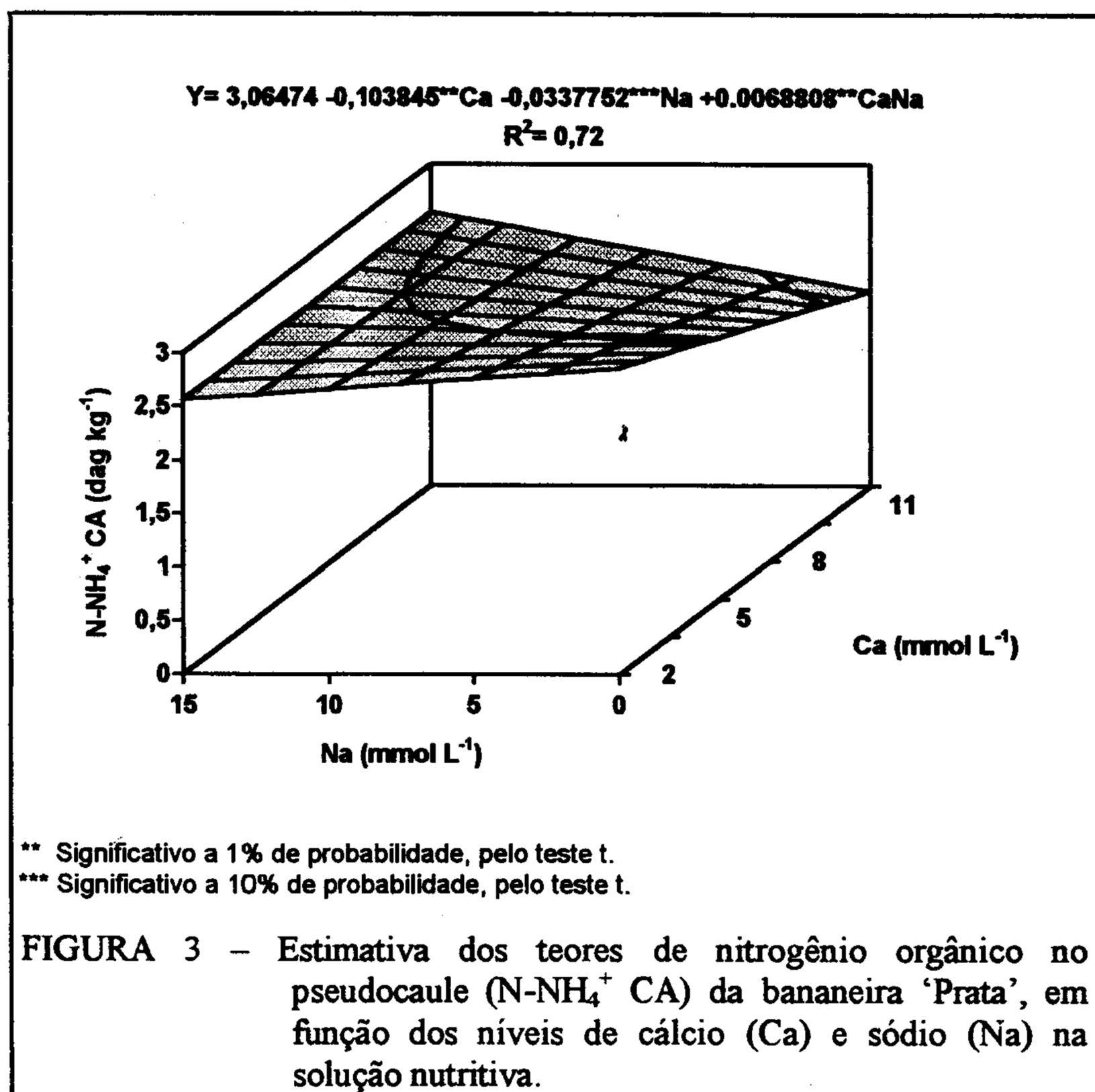
Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

FIGURA 1 – Estimativa dos teores de nitrogênio orgânico nas folhas superiores (N-NH_4^+ FS) da bananeira 'Prata', em função dos níveis de cálcio (Ca) e sódio (Na) na solução nutritiva.



Nitrato (NO_3^-)

Os teores de nitrato nas folhas superiores responderam linearmente às concentrações de Ca e de forma quadrática às de Na (Figura 4). A presença de até 5 mmol L^{-1} de Na na solução levou ao aumento dos teores de nitrato à medida que se elevou a concentração de Ca na solução. Nas concentrações acima de 5 mmol L^{-1} de Na, os teores de nitrato decresceram com o aumento da concentração de Ca. Os teores de nitrato aumentaram nas concentrações de 2 e 4 mmol L^{-1} de Ca com a elevação do Na na solução. A partir da concentração de 8 mmol L^{-1} de Ca, a presença do Na reduziu os teores de nitrato nas folhas do terço superior. O teor mínimo de nitrato nas folhas superiores seria correspondente à concentração de $6,6 \text{ mmol L}^{-1}$ de Na na solução.



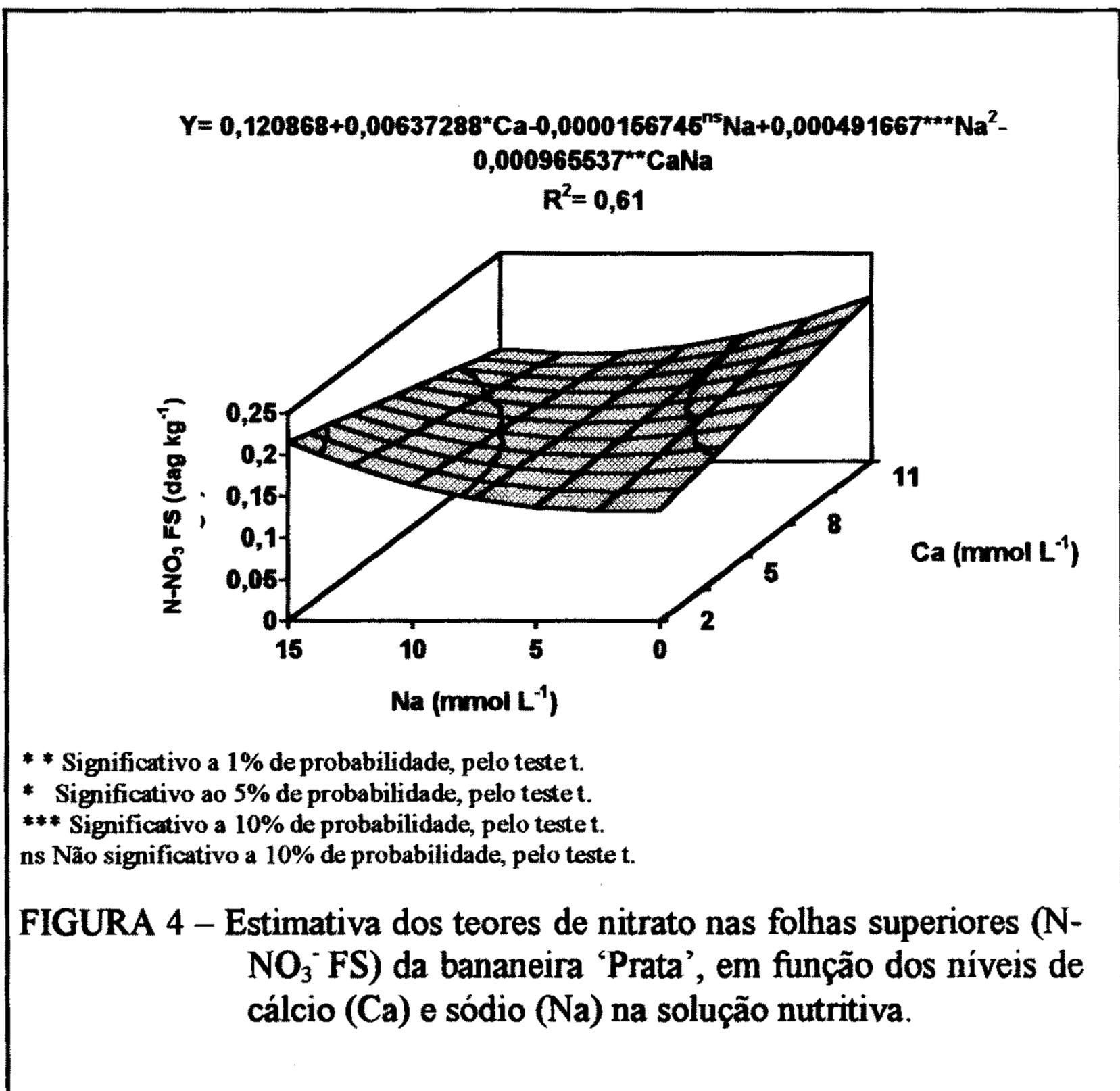
As folhas inferiores responderam de forma quadrática às concentrações de Ca e Na (Figura 5). O incremento de até 8 mmol L^{-1} de Ca na solução elevou os teores de nitrato nas folhas inferiores, indicando que o cálcio apenas nas menores concentrações utilizadas beneficiou o acúmulo de nitrato nas folhas quando a planta foi submetida à salinidade. A adição crescente de Na favoreceu o acúmulo de nitrato nas folhas inferiores. O teor mínimo de nitrato nas folhas inferiores corresponderia à concentração de $6,3 \text{ mmol L}^{-1}$ de Na, enquanto o teor máximo ocorreria com a presença de $6,7 \text{ mmol L}^{-1}$ de Ca na solução. Girdhar (8), Zekri (32) e Norrie et al. (23) também observaram o aumento dos teores de nitrogênio nas folhas de arroz, citros e tomate, respectivamente, com a elevação da salinidade do meio.

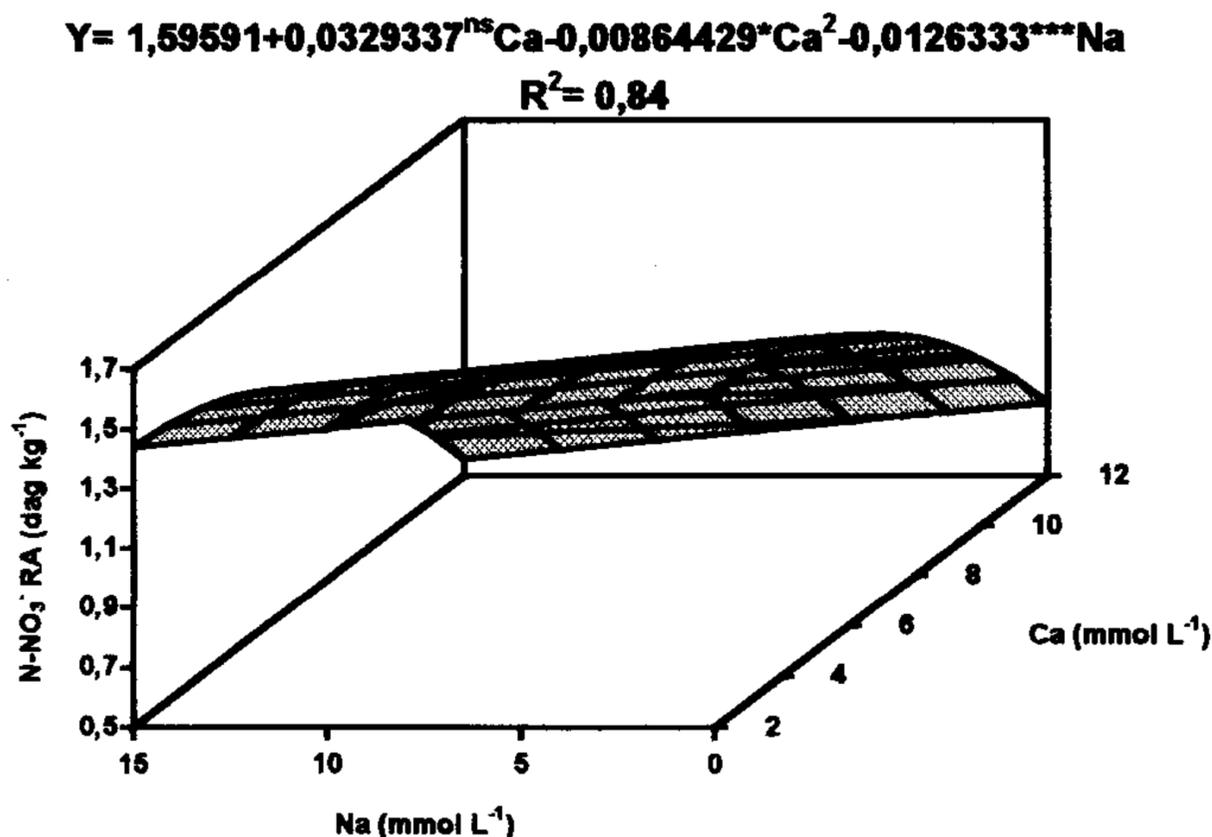
Entre os tratamentos estudados não foram observadas diferenças significativas nos teores de nitrato no pseudocaule. Os teores médios encontrados nos tecidos foram de $0,970 \text{ dag kg}^{-1}$.

Os teores de nitrato nas raízes responderam de formas quadrática e

linear às concentrações de Ca e Na, respectivamente (Figura 6). O acúmulo máximo de nitrato ocorreu na concentração de 2 mmol L⁻¹ de cálcio. Comparando os teores de nitrato encontrados nas partes da planta, a raiz foi o local de maior acúmulo de nitrato. A maior presença de nitrato nas raízes pode ter ocorrido porque a velocidade de absorção talvez tenha sido superior à capacidade de transporte pelo xilema. Pode ter ocorrido também a redução do nitrato a amônio na parte aérea da planta, pois, comparando-se os teores encontrados de nitrato com os de amônio, os de amônio foram superiores em todas as partes da planta.

Na maioria das plantas, as raízes e as folhas são capazes de reduzir o nitrato, sendo as raízes capazes de reduzir entre 5 e 95% do nitrato absorvido. A proporção de redução do nitrato depende de vários fatores, incluindo o nível de fornecimento de nitrato, a espécie e a idade da planta (22). Segundo Rufty et al. (27), quando o cálcio ou o sódio é o cátion que acompanha o nitrato, a redução do nitrato é consideravelmente alta, concordando com os resultados encontrados.



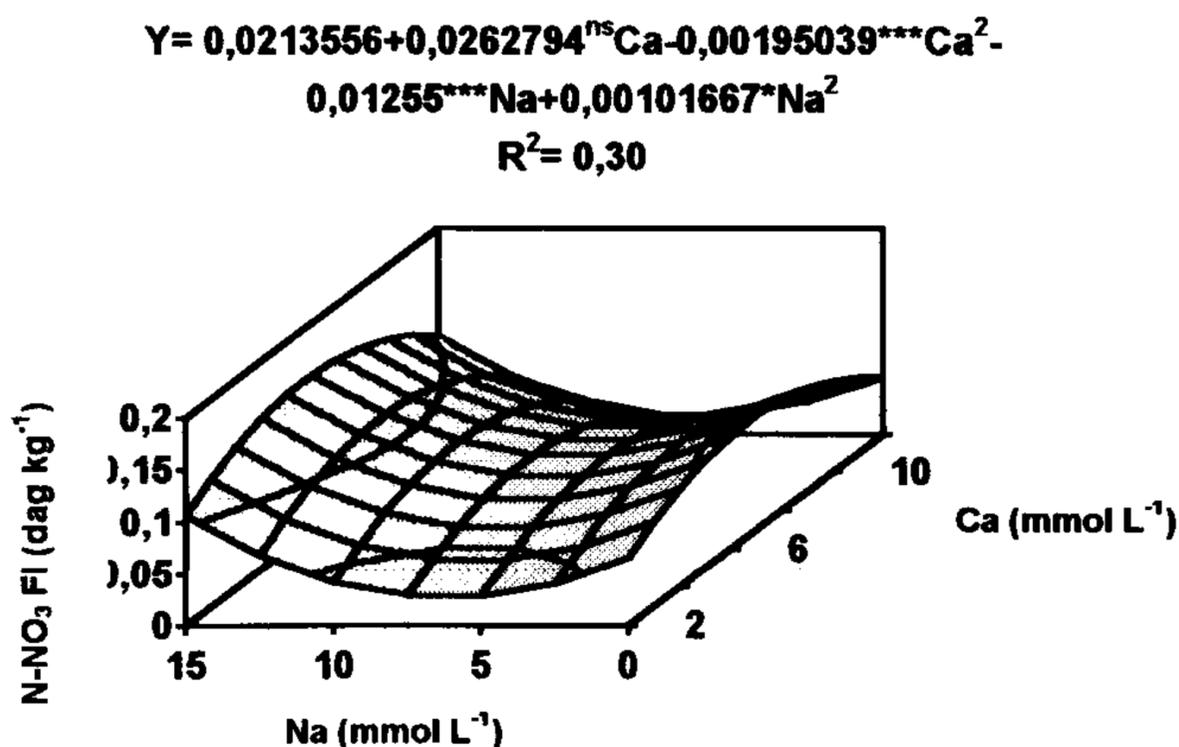


* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

*** Significativo a 10% de probabilidade, pelo teste t.

ns Não significativo a 10% de probabilidade, pelo teste t.

FIGURA 5 – Estimativa dos teores de nitrato nas folhas inferiores ($N-NO_3^-$ FI) da bananeira 'Prata', em função dos níveis de cálcio (Ca) e sódio (Na) na solução nutritiva.



* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

*** Significativo a 10% de probabilidade, pelo teste t.

ns Não significativo a 10% de probabilidade, pelo teste t.

FIGURA 6 – Estimativa dos teores de nitrato nas raízes ($N-NO_3^-$ RA) da bananeira 'Prata', em função dos níveis de cálcio (Ca) e sódio (Na) na solução nutritiva.

Fósforo

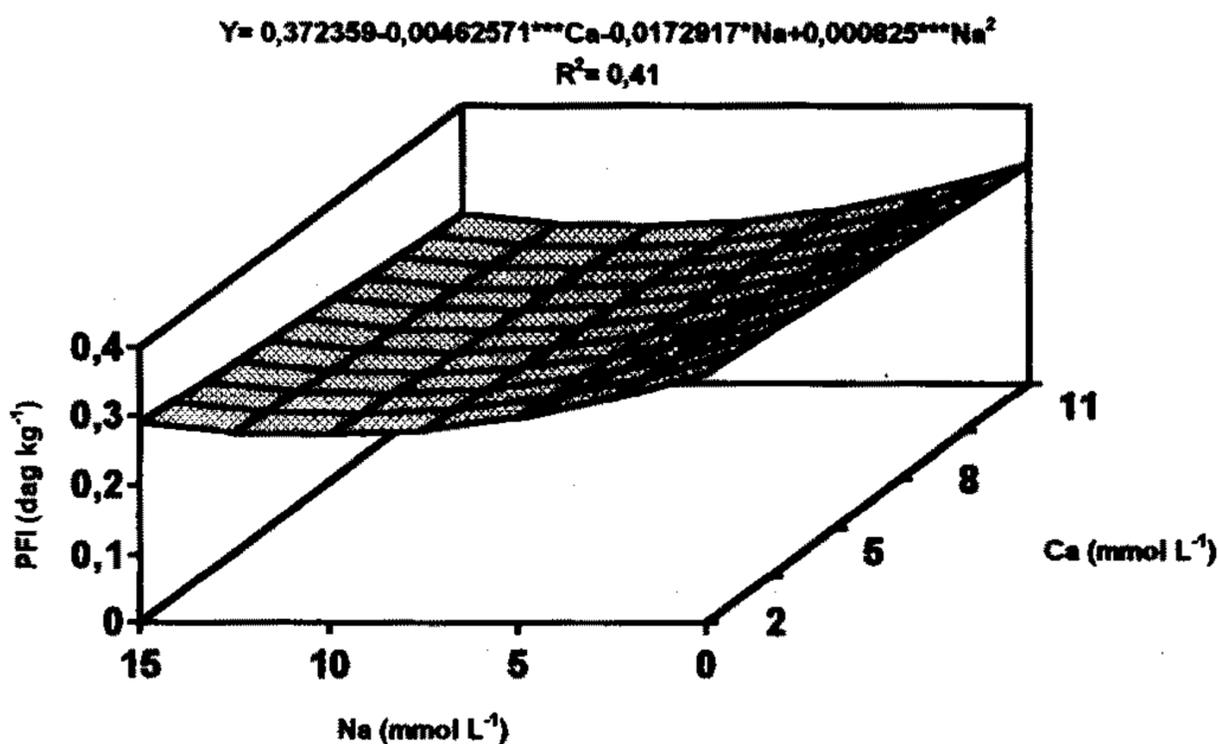
Os tratamentos estudados não interferiram nos teores de fósforo nas folhas superiores e raízes, sendo de 0,38 e 0,78 dag kg⁻¹ os teores médios encontrados, respectivamente.

Os teores de fósforo nas folhas inferiores variaram linearmente com o aumento das concentrações de Ca e de forma quadrática com o aumento das concentrações de Na (Figura 7). A concentração de Na que proporcionaria o menor teor de fósforo nas folhas inferiores seria de 10,5 mmol L⁻¹. Os teores de fósforo nas folhas inferiores reduziram-se à medida que se aumentou a concentração de Ca na solução. Satti et al. (28) também observaram o decréscimo nos teores de fósforo em folhas de tomateiro com o incremento da salinidade e o acréscimo de Ca ao meio.

Os teores de fósforo no pseudocaule responderam linearmente às concentrações de Ca e Na (Figura 8). O aumento do Ca na solução elevou os teores de fósforo no pseudocaule até a concentração de 10 mmol L⁻¹ de Na. Na concentração de 15 mmol L⁻¹ de Na, os teores reduziram-se à medida que se aumentou o Ca. Com apenas 2 mmol L⁻¹ de Ca no meio, o incremento na concentração de Na elevou os teores de fósforo. Concentrações de Ca superiores a 2 mmol L⁻¹ reduziram os teores de fósforo à medida que se aumentou o Na na solução.

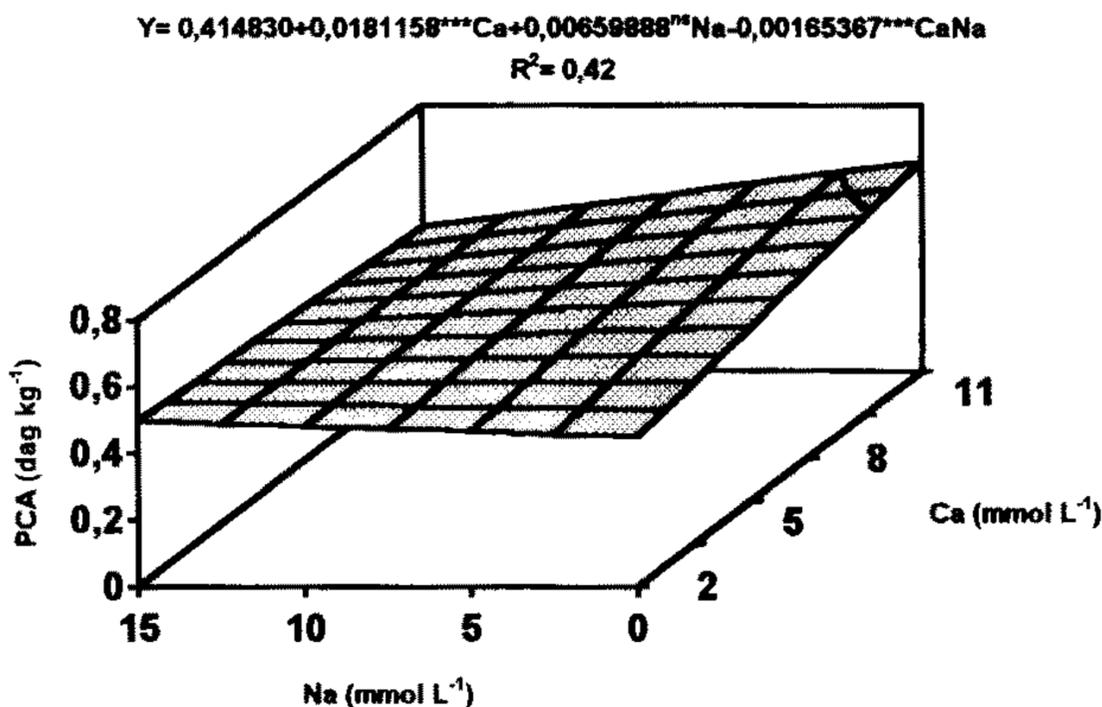
Apesar de se observar redução dos teores de fósforo com o aumento das concentrações de Na e, ou, Ca na solução, os teores encontrados são considerados adequados por Reuter e Robinson (26).

Para Gomes (9), é normal a pequena absorção de fósforo pela bananeira durante o processo inicial de desenvolvimento vegetativo, porque a necessidade de fósforo é quantitativa e relativamente pequena quando comparada com a de outros nutrientes. Entretanto, segundo Marschner (22), em substratos com concentrações elevadas de NaCl ocorre redução na absorção e translocação de P, fazendo com que o crescimento da planta seja prejudicado pela salinidade do meio. O estresse hídrico induzido pelo estresse salino reduz o crescimento não apenas pela diminuição da absorção de nutrientes, mas também pela redução da divisão e do alongamento celular. O efeito do estresse hídrico é mais evidente na expansão da parede celular, uma vez que a extensão da parede depende da pressão de turgescência. A diminuição dessa pressão acarreta desbalanço do conteúdo de água da planta, resultando em reduzido crescimento e baixa produção de matéria seca (25).



* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.
 *** Significativo a 10% de probabilidade, pelo teste t.

FIGURA 7 – Estimativa dos teores de fósforo nas folhas inferiores (PFI) da bananeira ‘Prata’, em função dos níveis de cálcio (Ca) e sódio (Na) na solução nutritiva.



*** Significativo a 10% de probabilidade, pelo teste t.
 ns Não significativo a 10% de probabilidade, pelo teste t.

FIGURA 8 – Estimativa dos teores de fósforo no pseudocaule (PCA) da bananeira ‘Prata’, em função dos níveis de cálcio (Ca) e sódio (Na) na solução nutritiva.

Potássio

Os teores de potássio nas folhas superiores seguiram uma resposta linear às concentrações de cálcio e sódio (Figura 9). Com a presença de até 5 mmol L⁻¹ de Na na solução, o aumento da concentração de Ca foi acompanhado pelo aumento dos teores de potássio nos tecidos, mas quando a concentração de Na foi elevada para 10 mmol L⁻¹, ocorreu o inverso: o aumento do Ca no meio reduziu os teores de K. Até a concentração de 4 mmol L⁻¹ de Ca, maiores concentrações de Na elevaram os teores de K.

Nas folhas inferiores, os teores de potássio variaram linearmente com as concentrações de Na e de forma quadrática com as concentrações de Ca (Figura 10). O incremento de 8,1 mmol L⁻¹ de Ca causaria a redução máxima dos teores de K nas folhas. Esses resultados indicam que, dependendo da concentração de Ca na solução, o K se acumula preferencialmente em determinada posição na planta. Maiores concentrações de Ca na solução induzem ao maior acúmulo de K nas folhas inferiores, enquanto menores concentrações fazem com que o K se acumule preferencialmente nas folhas superiores.

O aumento da concentração de Na na solução reduziu os teores de K nas folhas inferiores.

Várias espécies absorvem e translocam K em preferência ao Na, mas em espécies mais sensíveis essa afinidade é reduzida, uma vez que, quando cultivadas em substratos com altos níveis salinos, os teores de K no tecido vegetal são sensivelmente reduzidos (25).

No pseudocaule, os teores de potássio responderam linearmente às concentrações de Ca e Na (Figura 11). Os teores de K no pseudocaule decresceram com o incremento de Ca até a concentração de 5 mmol L⁻¹ de Na. A partir da concentração de 10 mmol L⁻¹ de Na, o aumento na concentração de Ca elevou os teores de K. Esses resultados demonstraram efeito benéfico da presença do Ca na solução, amenizando os efeitos negativos da alta concentração de Na sobre o acúmulo de K no pseudocaule.

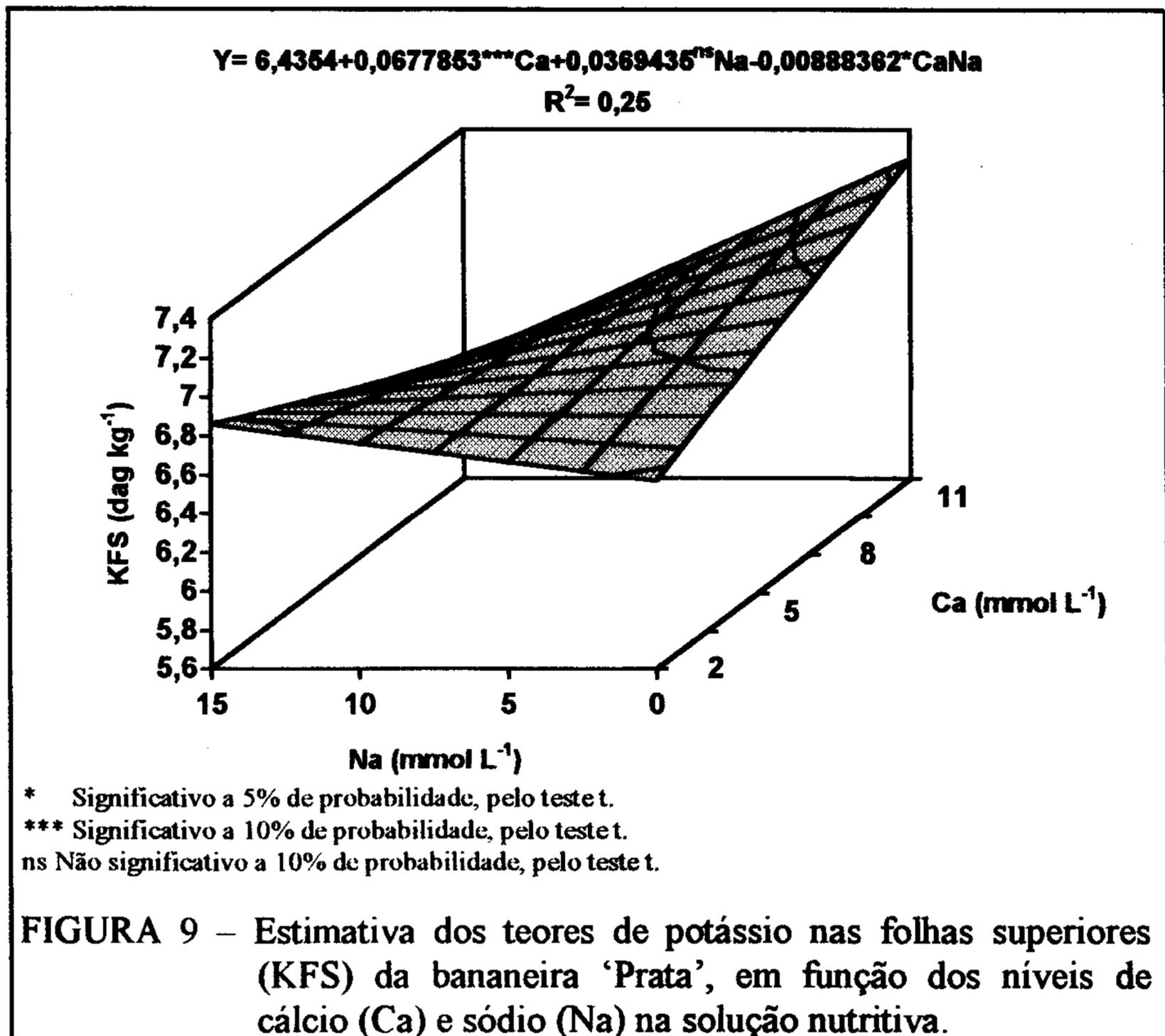
Com a concentração de 4 mmol L⁻¹ de Ca, o aumento na concentração de Na elevou os teores de K no pseudocaule.

Quanto às raízes, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Os teores médios nas raízes foram de 8,22 dag kg⁻¹, sendo superior ao acúmulo máximo encontrado nas folhas.

O incremento da concentração de sódio em plantas tolerantes a sais é geralmente associado ao decréscimo de potássio. Em contraste, espécies sensíveis a sais, com a inclusão de sódio, usualmente incrementam potássio. A bananeira 'Prata' tem apresentado relativa tolerância à salinidade quando se analisa este aspecto.

salinidade quando se analisa este aspecto.

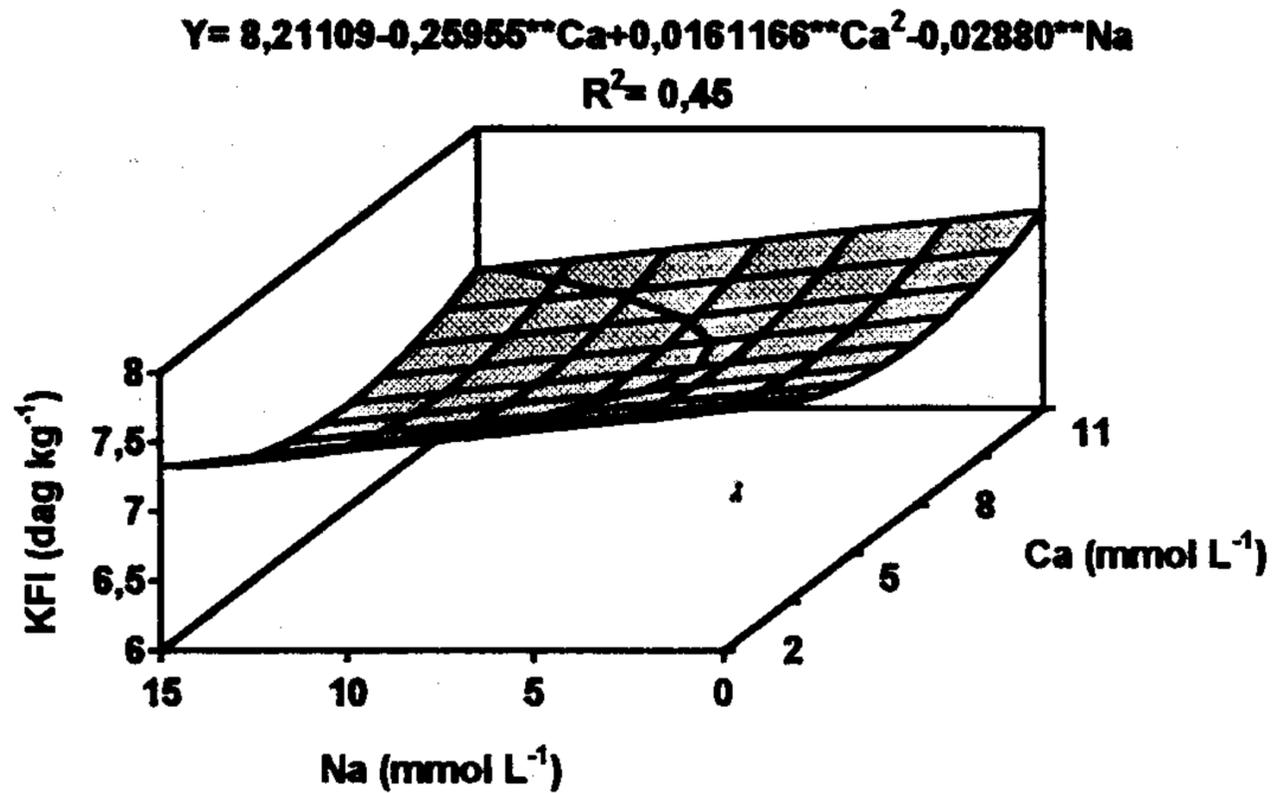
O sódio é conhecido por inibir a absorção de potássio, o que é possível devido ao efeito antagônico entre estes dois cátions (15, 28). Em arroz, Girdhar (8) observou que os teores de potássio decresceram em todos os estádios de crescimento das plantas quando se elevou a salinidade do meio. Prior et al. (24), trabalhando com videiras, obteve redução nos teores de potássio em folhas de plantas em condições salinas.



Cálcio

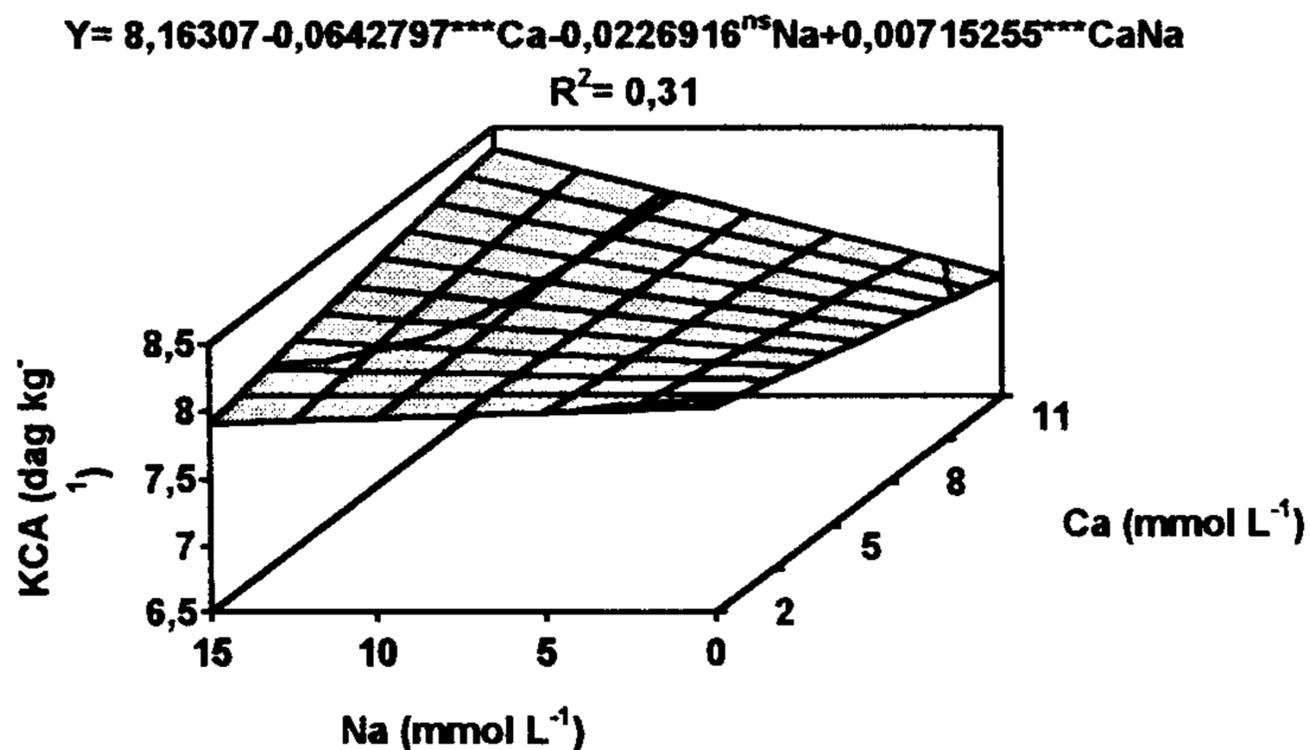
Nas folhas superiores e no pseudocaule não foram observadas diferenças significativas nos teores de cálcio entre os tratamentos. Os teores médios nos tecidos foram 0,368 e 0,461 dag kg⁻¹, respectivamente.

Os teores de cálcio nas folhas inferiores responderam de forma quadrática às concentrações de Ca e Na (Figura 12). As concentrações de Na e Ca que proporcionariam teores máximos de cálcio nas folhas inferiores seriam 10,5 e 12 mmol L⁻¹, respectivamente. A redução dos teores de cálcio nas folhas inferiores, observada com o aumento da concentração de sódio na solução, era esperada, pois altas concentrações de sódio no meio reduzem a absorção de cálcio pelas raízes (22).



** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

FIGURA 10 – Estimativa dos teores de potássio nas folhas inferiores (KFI) da bananeira 'Prata', em função dos níveis de cálcio (Ca) e sódio (Na) na solução nutritiva.



*** Significativo a 10% de probabilidade, pelo teste t.

ns Não significativo a 10% de probabilidade, pelo teste t.

FIGURA 11 – Estimativa dos teores de potássio no pseudocaule (KCA) da bananeira 'Prata', em função dos níveis de cálcio (Ca) e sódio (Na) na solução nutritiva.

Os teores de cálcio nas raízes apresentaram comportamento semelhante ao das folhas inferiores, respondendo de forma quadrática às concentrações de Ca e Na na solução (Figura 13). Porém, a concentração de Na que proporcionaria teores máximos de Ca nas raízes seria de 7,5 mmol L⁻¹. A partir dessa concentração, aumentos na concentração de Na provocam redução nos teores de Ca nas raízes. Esses resultados sugerem que a presença de baixa concentração de sódio na solução estimula a absorção e o acúmulo de cálcio na planta.

A redução na absorção de cálcio com o aumento da concentração de Na pode ser devida ao efeito direto do estresse osmótico causado no processo de absorção ou no desenvolvimento das raízes (7), ou ao efeito indireto da salinidade sobre a transpiração devido à redução no tamanho das folhas [Abd-alla et al., 1993, citados por Ho e Adams (12)].

Com o aumento da concentração de Ca na solução, houve aumentos nos teores de Ca nos tecidos. Este fato pode ter ocorrido em razão da maior disponibilidade deste nutriente, favorecendo sua absorção pela planta. Em tomateiro, Satti e Al-Yahyai (29) também observaram que a aplicação de Ca na solução resulta em aumento nos teores de Ca nas plantas.

Em experimento realizado por Lynch e Lauchli (20), foram verificados distúrbios na nutrição de cálcio em plantas de cevada sob estresse salino. Este reduziu a quantidade de Ca na parte aérea em razão da inibição do transporte de Ca proveniente das raízes. Os autores concluíram que o excesso de sais inibiu o transporte de Ca por meio da inibição do movimento radial do Ca do meio externo para o xilema das raízes. No xilema, é possível que a atividade do Ca seja diretamente afetada pelo Na. Excesso de íons Na pode aumentar a permeabilidade das membranas ou decrescer sua seletividade, desordenando a associação do Ca à membrana (10).

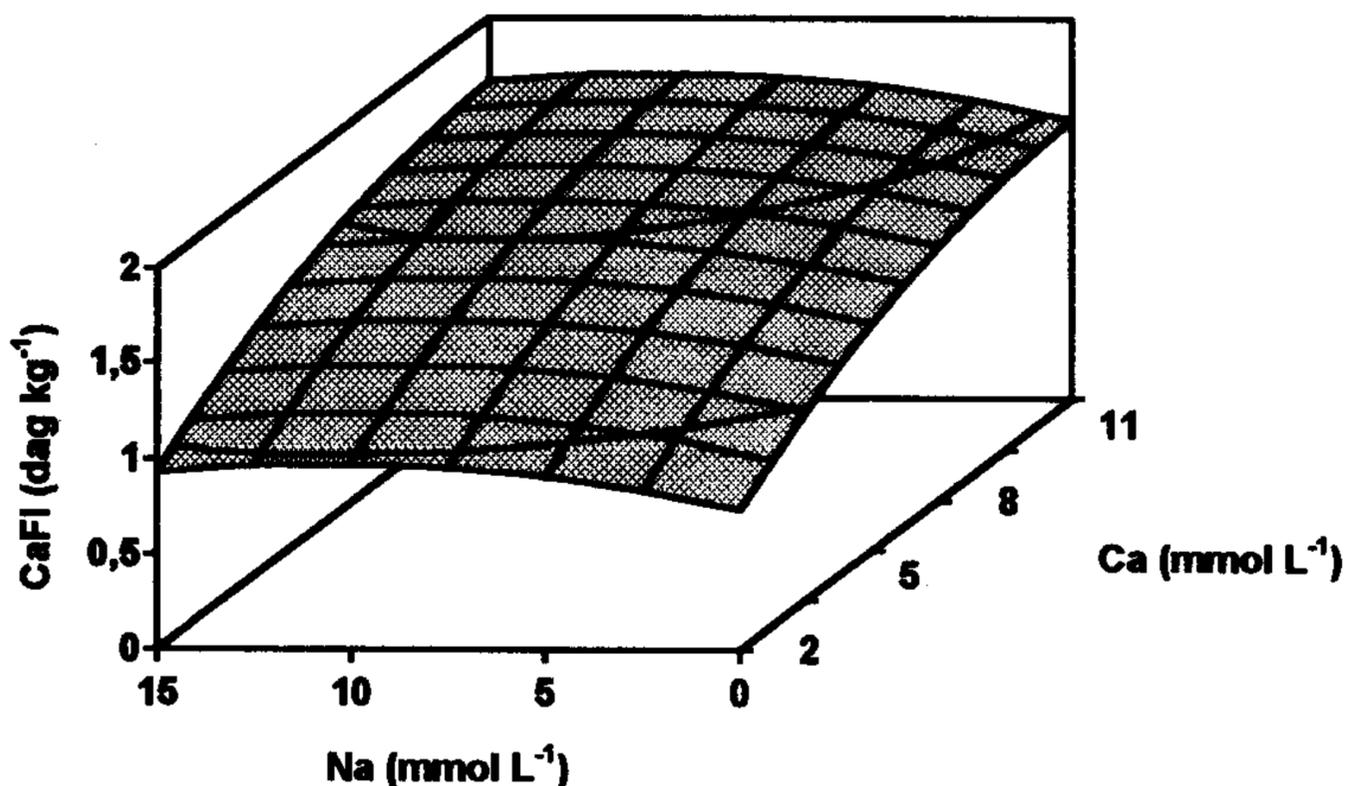
Magnésio

Os teores de magnésio nas folhas superiores não foram afetados pelos tratamentos, sendo de 0,30 dag kg⁻¹ os teores médios nos tecidos.

Os teores de Mg nas folhas inferiores responderam de forma quadrática às concentrações de Ca e Na (Figura 14). A utilização de Ca na concentração de 10,5 mmol L⁻¹ provocaria um teor mínimo de magnésio nas folhas inferiores, enquanto o teor máximo deste elemento seria encontrado com a presença de 14,3 mmol L⁻¹ de Na na solução. Girdhar (8) também observou incremento nos teores de Mg em plantas de arroz quando a salinidade do meio foi aumentada.

$$Y = 0,439847 + 0,163246^{**}Ca + 0,0451833^{**}Na - 0,00644056^{**}Ca^2 - 0,00215^{**}Na^2$$

$$R^2 = 0,89$$

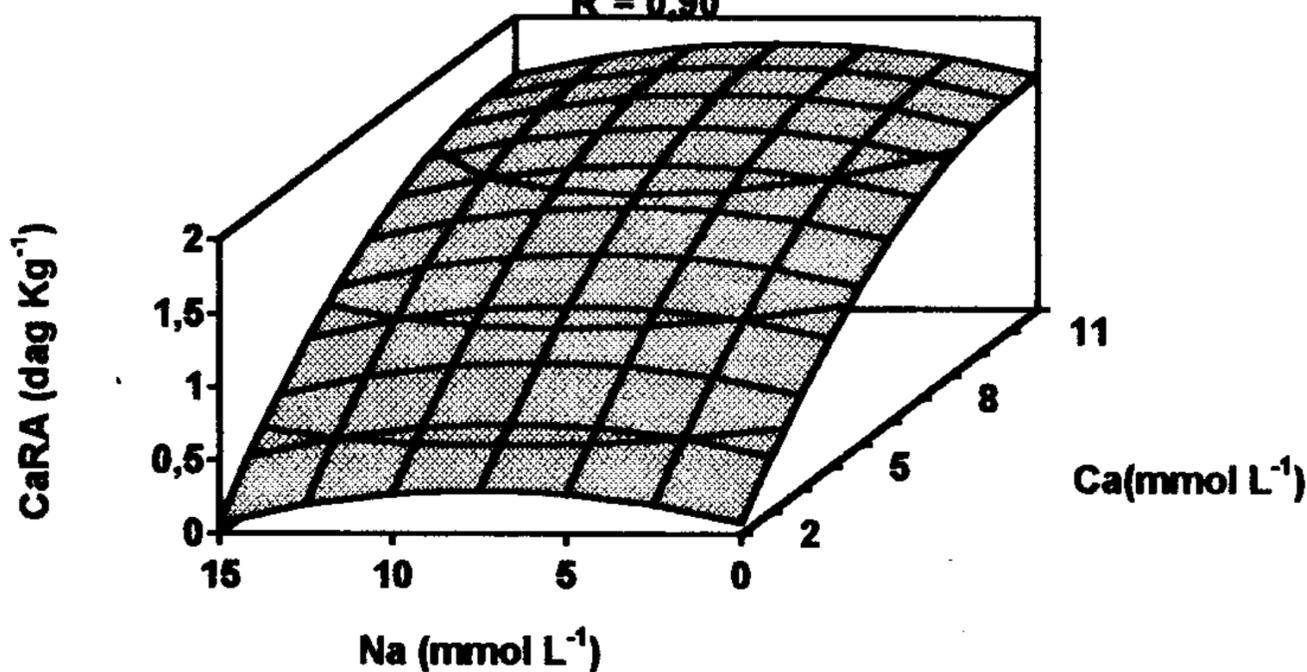


** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

FIGURA 12 – Estimativa dos teores de cálcio nas folhas inferiores (CaFI) da bananeira 'Prata', em função dos níveis de cálcio (Ca) e sódio (Na) na solução nutritiva.

$$Y = -0,601573 + 0,373954^{**}Ca - 0,0158795^{**}Ca^2 + 0,0593^{***}Na - 0,00396667^{***}Na^2$$

$$R^2 = 0,90$$



** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

*** Significativo a 10% de probabilidade, pelo teste t.

FIGURA 13 – Estimativa dos teores de cálcio nas raízes (CaRA) da bananeira 'Prata', em função dos níveis de cálcio (Ca) e sódio (Na) na solução nutritiva.

Os teores de Mg no pseudocaule variaram linearmente com as concentrações de Na e responderam de forma quadrática às concentrações de Ca (Figura 15). A concentração de 8,4 mmol L⁻¹ de Ca na solução proporcionaria o menor acúmulo de Mg no pseudocaule da bananeira 'Prata'. Os teores de Mg no pseudocaule aumentaram com o aumento da concentração de Na até a concentração de 8 mmol L⁻¹ de Ca. Na concentração de 12 mmol L⁻¹ de Ca, à medida que se elevou a concentração de Na os teores de Mg decresceram.

Nas raízes, houve interação entre as concentrações de Ca e Na (Figura 16). A presença de 5 mmol L⁻¹ de Na na solução levou ao aumento nos teores de Mg à medida que se elevou a concentração de Ca, mas a partir da concentração de 10 mmol L⁻¹ de Na, os teores de Mg nos tecidos decresceram com o aumento do Ca na solução. O Na aumentou os teores de Mg nas raízes até a concentração de 8 mmol L⁻¹ Ca na solução. Na concentração de 12 mmol L⁻¹ de Ca, os teores de Mg decresceram com o incremento de Na.

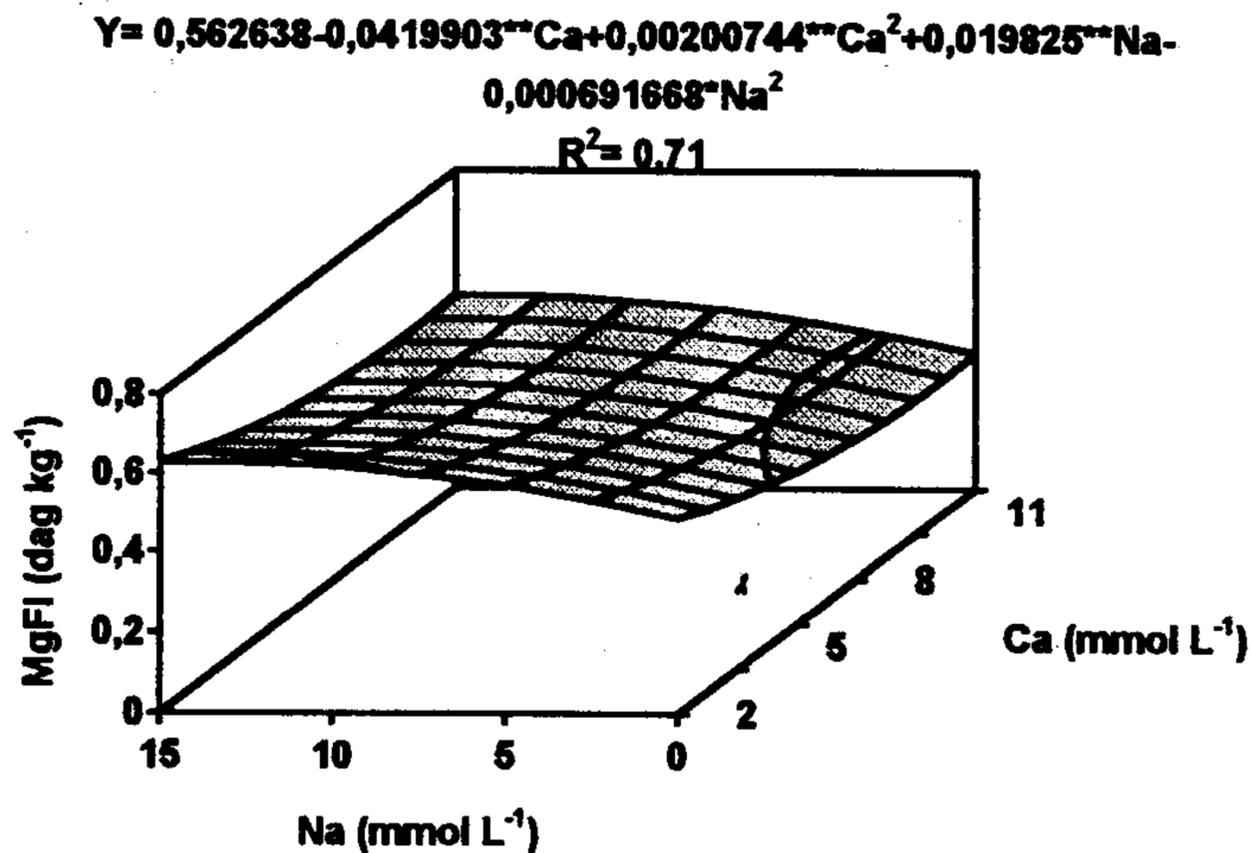
Analisando esses resultados, observou-se que o aumento da concentração de Ca na solução causou redução dos teores de Mg na bananeira 'Prata'. Este fato pode ter sido ocasionado por uma competição entre estes dois cátions pelo mesmo sítio do carregador, sendo o Ca transportado preferencialmente devido a sua maior disponibilidade na solução. O padrão de absorção do magnésio pode ser muito reduzido pela presença de outros cátions na solução (22).

Alguns trabalhos mostram que a adição de cálcio em soluções salinas não foi consistentemente benéfica em todas as culturas, todos os cultivares dentro de uma mesma espécie ou todos os estádios de crescimento.

Em feijão-de-corda em tratamento salino em solução nutritiva, a adição de cálcio ao ambiente radicular tendeu a reduzir os teores de magnésio (16). A redução, dos teores de Mg, quando foi aplicado o Ca em plantas estressadas, foi também observada na parte aérea de milho (21) e sorgo (11). Entretanto, Zekri (32), ao adicionar cálcio à solução salina de crescimento de porta-enxertos de citros, não observou a interferência deste cátion nos teores de Mg.

Enxofre

Os teores de enxofre no pseudocaule e nas folhas superiores e inferiores não foram influenciados pelos tratamentos. Os teores médios encontrados nos tecidos destas três partes foram de 0,13; 0,14; e 0,09 dag kg⁻¹, respectivamente. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Araújo Filho et al. (1), que, estudando os efeitos da salinidade do solo sobre os teores de nutrientes em cultivares de bananeira, observaram que os teores de enxofre nas plantas não foram afetados significativamente pela salinidade.

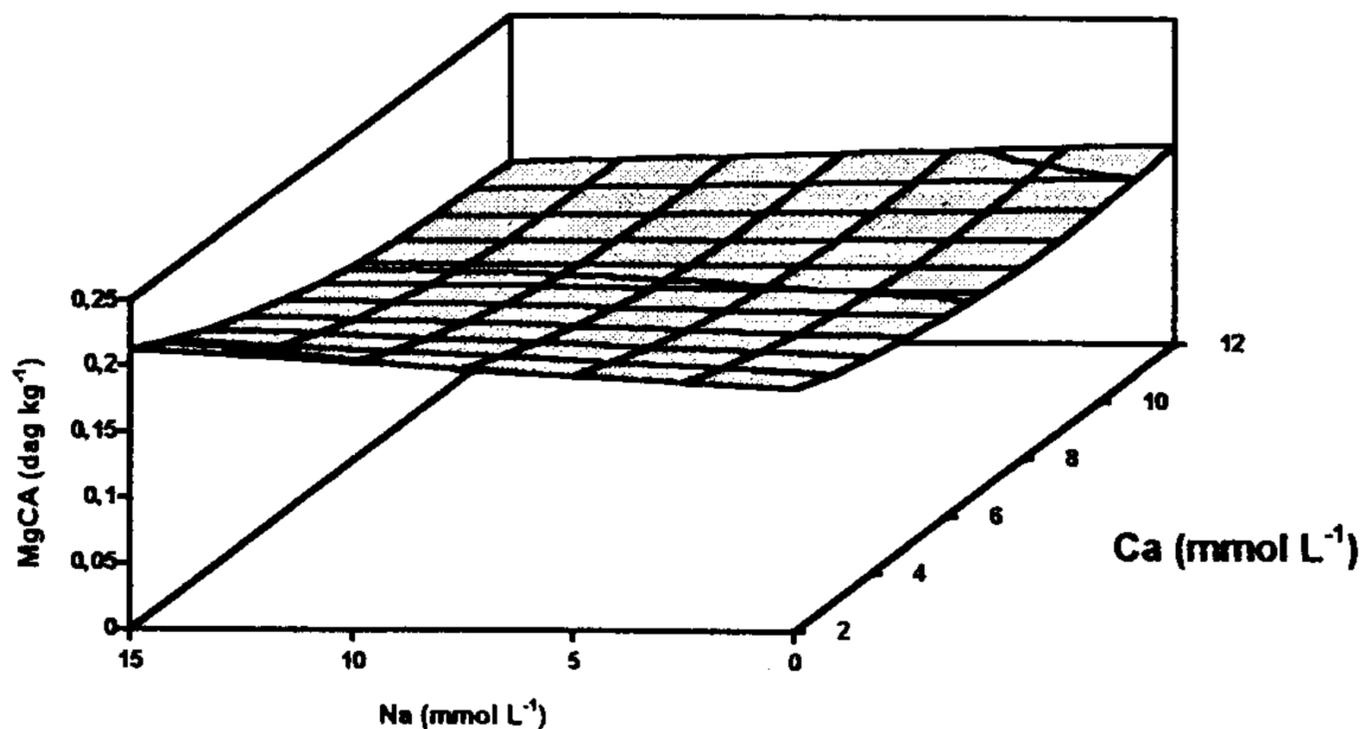


- ** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.
* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

FIGURA 14 - Estimativa dos teores de magnésio nas folhas inferiores (MgFI) da bananeira 'Prata', em função dos níveis de cálcio (Ca) e sódio (Na) na solução nutritiva.

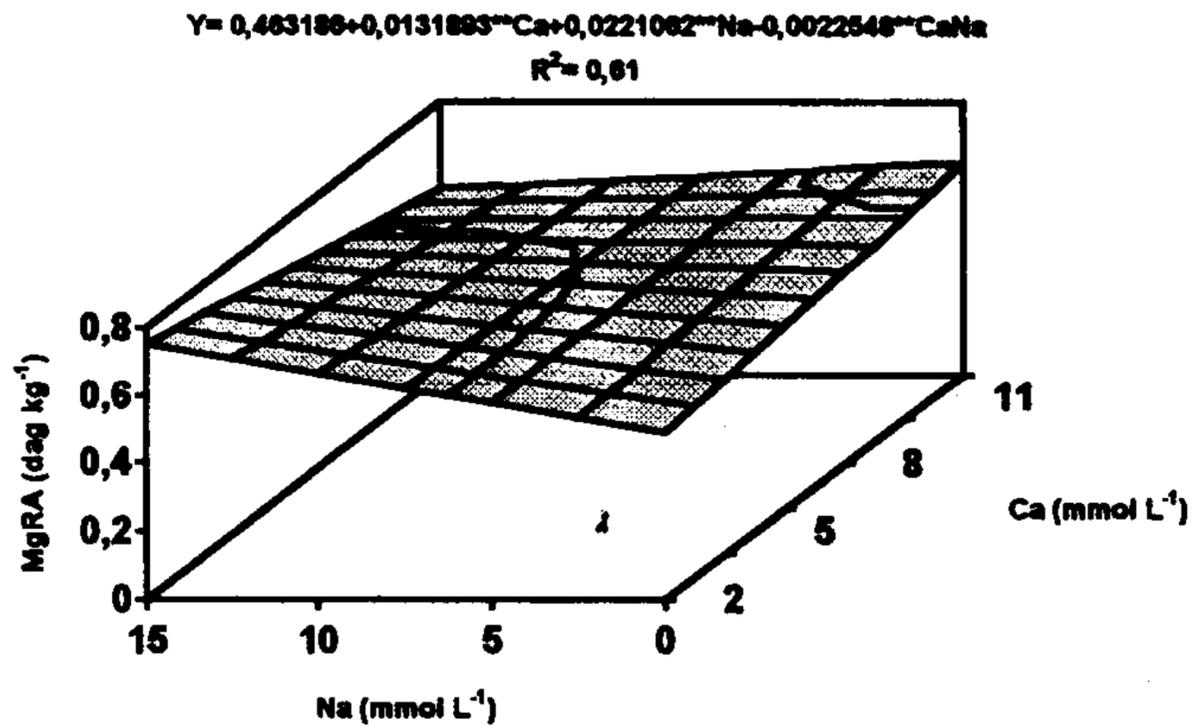
$$Y = 0,209517 - 0,0145415^{*}Ca + 0,000830458^{*}Ca^2 + 0,00244859^{***}Na - 0,00029209^{ns}CaNa$$

$$R^2 = 0,73$$



- * Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.
*** Significativo a 10% de probabilidade, pelo teste t.
ns Não significativo a 10% de probabilidade, pelo teste t.

FIGURA 15 - Estimativa dos teores de magnésio no pseudocaule (MgCA) da bananeira 'Prata', em função dos níveis de cálcio (Ca) e sódio (Na) na solução nutritiva.



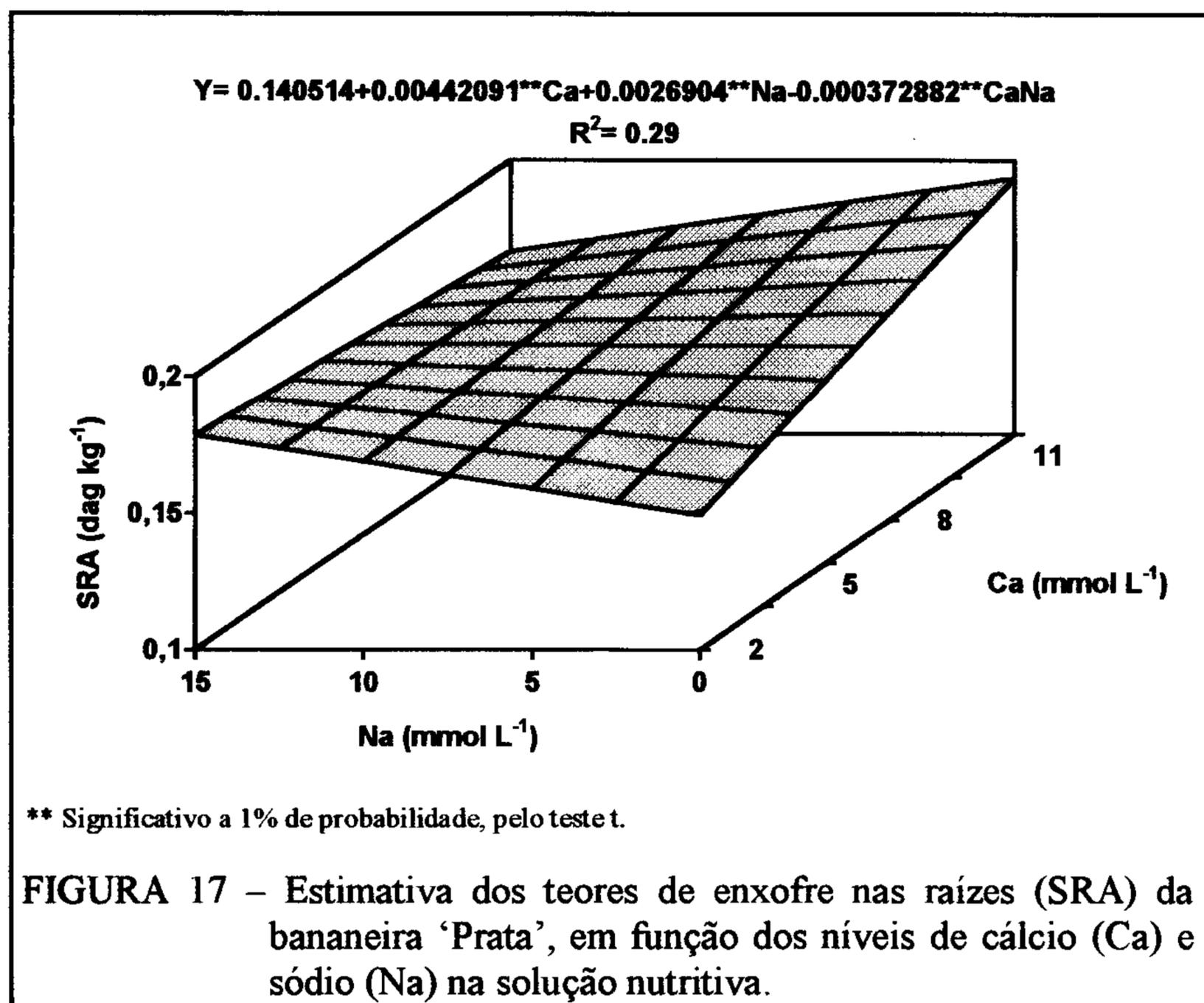
** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

FIGURA 16 – Estimativa dos teores de magnésio nas raízes (MgRA) da bananeira 'Prata', em função dos níveis de cálcio (Ca) e sódio (Na) na solução nutritiva.

Os teores de enxofre nas raízes responderam linearmente às concentrações de Ca e Na (Figura 17). À medida que se aumentou a concentração de Ca, os teores de enxofre aumentaram até a concentração de 10 mmol L⁻¹ de Na. Na concentração de 15 mmol L⁻¹ de Na, a elevação do Ca na solução reduziu os teores de enxofre nas raízes. O S absorvido é pouco retido pelas raízes, sendo translocado preferencialmente para a parte aérea para fins metabólicos (5), pois faz parte da constituição dos aminoácidos cisteína e metionina e, conseqüentemente, de proteínas. Esses dois aminoácidos são precursores de outros compostos que contêm S, assim como coenzimas e produtos secundários das plantas (31).

Apesar de apenas os teores de enxofre das raízes terem sido afetados pela salinidade da solução, a comparação dos teores de enxofre encontrados neste trabalho com os obtidos por Reuter e Robinson (26) demonstra que os teores médios encontrados em todas as partes das plantas não são considerados adequados para a bananeira. Segundo estes autores, para que a bananeira esteja suprida adequadamente com este nutriente, os teores médios deveriam se situar na faixa de 0,23 a 0,27 dag kg⁻¹, mas, para definir a faixa de teores adequados de enxofre, eles trabalharam com plantas adultas e realizaram a amostragem apenas da antepenúltima folha

emitida. Como neste trabalho as análises foram realizadas em plantas jovens e utilizando todos os órgãos das plantas, isso pode ter provocado essa diferença nos resultados. A necessidade de S para o crescimento ótimo varia de 0,1 a 0,5% do peso da matéria seca das plantas. Nas espécies cultivadas, a exigência varia de acordo com as famílias: gramineae < leguminoseae < cruciferae (22).



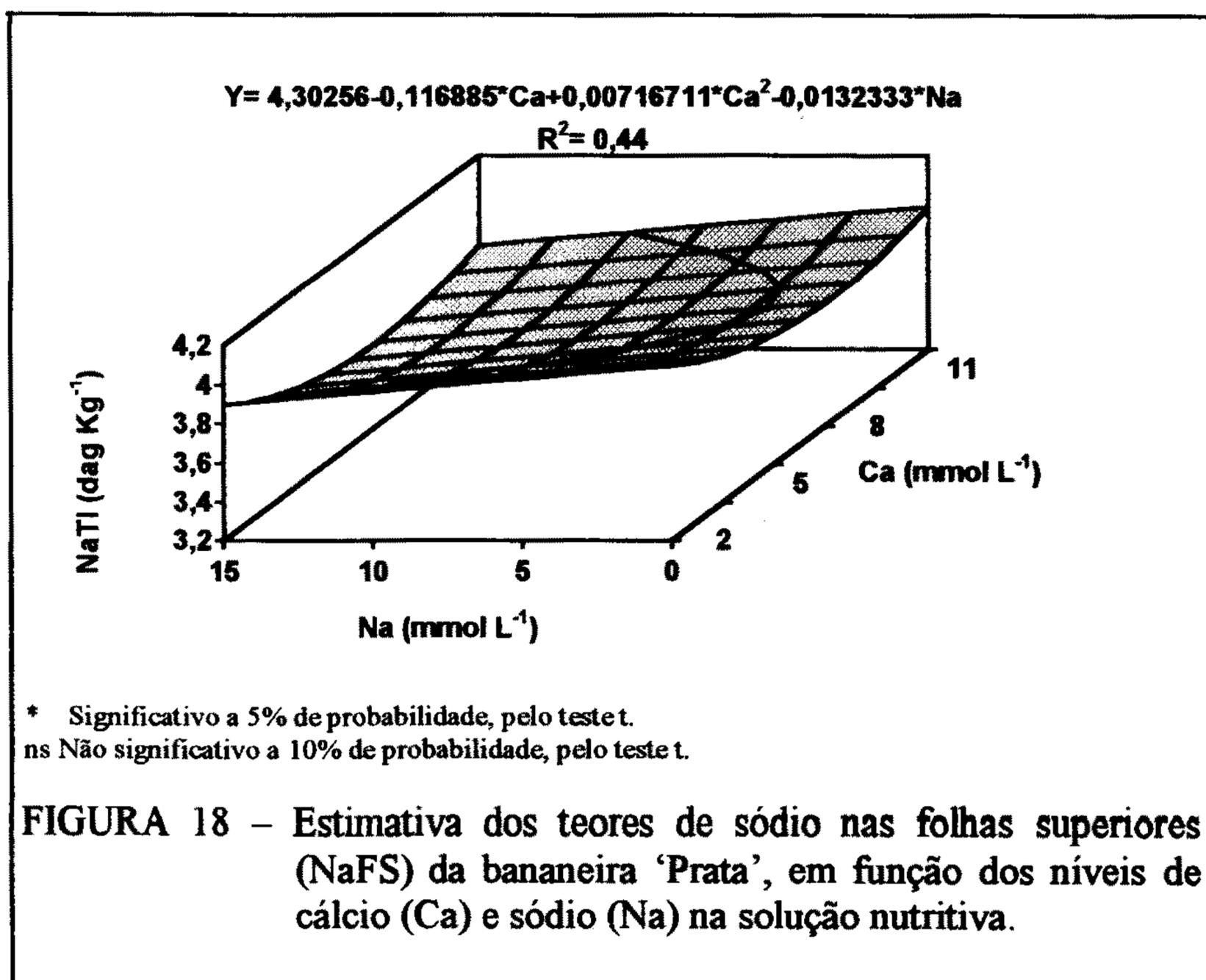
Sódio

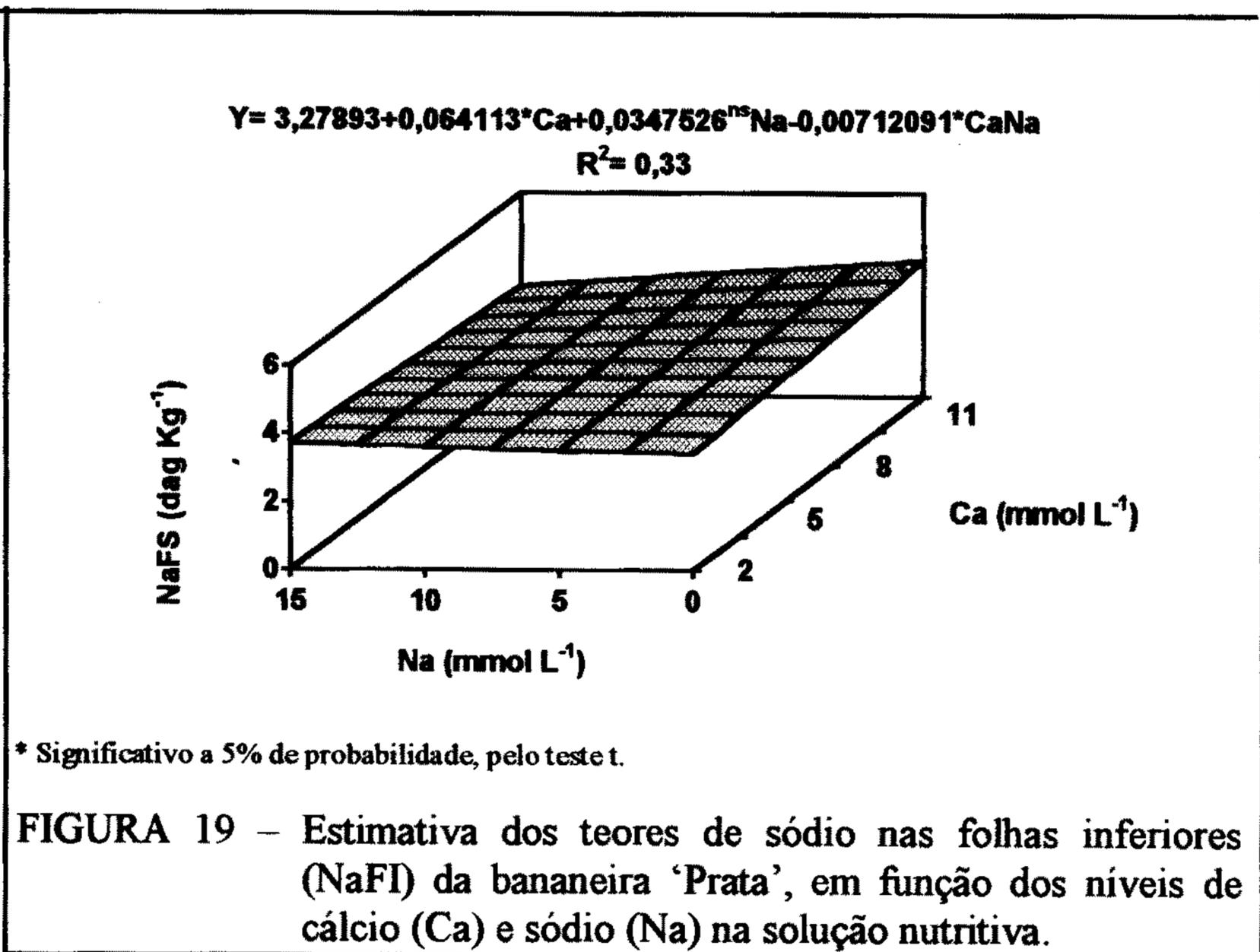
Os teores de sódio nas folhas superiores responderam de forma linear às concentrações de Ca e Na na solução nutritiva (Figura 18). A presença de até 5 mmol L⁻¹ de Na na solução aumentou os teores de Na nas folhas superiores à medida que se aumentou a concentração de Ca no meio. Nas concentrações acima de 5 mmol L⁻¹ de Na, os teores de Na nos tecidos decresceram com o aumento da concentração de Ca na solução, verificando-se, com isso, efeito benéfico da presença do Ca. Até a concentração de 4 mmol L⁻¹ de Ca, os teores de Na nos tecidos aumentaram à medida que se elevou o Na na solução. A partir da concentração de 8 mmol L⁻¹ de Ca, o incremento de Na na solução reduziu

os teores de Na. A redução dos teores de Na nas folhas com o aumento da concentração de Ca no ambiente radicular pode ser consequência da redução da absorção radicular e do transporte de sódio para a parte aérea. De acordo com Lahaye e Epstein (18), o efeito benéfico do cálcio prevenindo a entrada de sódio ocorre primariamente na plasmalema das células da raiz, onde a entrada de íons na planta é controlada.

Os teores de Na nas folhas inferiores reduziram-se linearmente com o aumento das concentrações de Na e responderam de forma quadrática ao aumento das concentrações de Ca (Figura 19). Os teores de Na nas folhas inferiores decresceram até o incremento de 8 mmol L⁻¹ de Ca na solução. O teor mínimo de Na nas folhas inferiores seria correspondente à presença de 8,2 mmolL⁻¹ de Ca na solução, indicando que concentrações acima deste valor podem aumentar o transporte e a alocação de Na nas folhas inferiores.

No pseudocaule e nas raízes, não foram observadas diferenças significativas dos teores de sódio. Os teores médios nos tecidos foram de 4,26 e 4,48 dag kg⁻¹, respectivamente. Esses valores foram superiores aos teores máximos encontrados nas folhas, demonstrando que o Na se acumulou preferencialmente nas raízes e no pseudocaule, o que poderia levar à redução dos danos causados aos processos fisiológicos das células. A presença do cálcio na solução é que deve ter provocado esta resposta das plantas.





CONCLUSÕES

- 1) O Ca e o Na, em concentrações elevadas na solução, reduzem os teores de N, P, K e Mg nos tecidos da bananeira 'Prata'.
- 2) A presença de 2, 4, 8 ou 12 mmol L⁻¹ de Ca na solução causa seu acúmulo nas folhas inferiores e nas raízes das plantas.
- 3) O Ca, em vez de beneficiar, provavelmente agrava os efeitos do Na, contribuindo para o aumento da salinização da solução.

REFERÊNCIAS

1. ARAÚJO FILHO, J.B.; GHEYI, H.R.; AZEVEDO, N.C. & SANTOS, J.G.R. Efeitos da salinidade no crescimento e no teor de nutrientes em cultivares de bananeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 19:417-22, 1995.
2. BERNSTEIN, L. Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Annual Review of Phytopathology*, 13:295-312, 1975.
3. BLANCHAR, R.W.; REHM, G. & CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acid. *Proceeding of the Soil Science Society of America*, 29:71-2, 1965.
4. BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. *Revista Ceres*, 21:73-85, 1974.

5. BOUMA, D. The uptake and translocation of sulphur in plants. In: Mclauchlan, K.D. (ed.). Sulphur in Australian agriculture. Australia, Sidney University Press, 1975. p.79-85.
6. CATALDO, D.A.; HAROON, M. & SCHARDER, M. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitritation of salicylic acid. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 6:71-81, 1975.
7. EHRET, D.L. & HO, L.C. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Annals of Botany*, 58:679-88, 1986.
8. GIRDHAR, I.K. Effect of saline irrigation water on the growth, yield and chemical composition of rice crop grown in a saline soil. *Journal Indian Society Soil Science*, 36:324-29, 1988.
9. GOMES, J.A. Absorção de nutrientes pela bananeira cultivar Prata (*Musa* AAB, subgrupo Prata) em diferentes estádios de desenvolvimento. Piracicaba, Escola Sup. de Agric. "Luiz de Queiroz", 1998. 98p. (Tese de doutorado).
10. GREENWAY, H. & MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, 31:149-90, 1980.
11. GRIEVE, C.M. & MAAS, E.V. Differential effects of sodium/calcium ration on sorghum genotypes. *Crop Science*, 28:659-65, 1988.
12. HO, L.C. & ADAMS, P. Regulation of the partitioning of dry matter and calcium in cucumber in relation to fruit growth and salinity. *Annals of Botany*, 73:539-45, 1994.
13. HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.I. The water culture method for growing plants without soil. *Cal. Agric. Exp. Sta. Cir.*, 1950. 347p.
14. JACKSON, M.L. Nitrogen determinations for soil and plant tissue. In: Chiffis, E. (ed). *Soil chemical analysis*. Prentice- Hall, 1958. p.183-204.
15. JOSHI, S.S. Effect of salinity stress on organic and mineral constituents in the leaves of pigeonpea (*Cajanus cajan* L. var. C-11). *Plant and Soil*, 82:69-76, 1984.
16. LACERDA, C.F. Efeitos da salinidade no desenvolvimento e composição mineral do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L. Walp.) e utilização do Ca^{+2} como meio para minorar tais efeitos. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 1995. 87p. (Tese de mestrado).
17. LAUCHLI, A. & EPSTEIN, E. Transport of potassium and rubidium in plant roots. *Plant Physiology*, 45:639-41, 1970.
18. LAHAYE, P.A. & EPSTEIN, E. Salt tolerance by plants: enhancement with calcium. *Science*, 166:395-6, 1969.
19. LOPES, M.S. Salinidade: quais as conseqüências. *Lavoura Arrozeira*, 42(383):6-10, 1989.
20. LYNCH, J. & LAUCHLI, A. Salt stress disturbs the calcium nutrition of barley (*Hordeum vulgare* L.). *New Phytologist*, 19:345-54, 1985.
21. MAAS, E.V. & GRIEVE, C.M. Sodium-induced deficiency in salt-stressed corn. *Plant, Cell and Environment*, 10:559-64, 1987.
22. MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press, 1995. 889p.
23. NORRIE, J.; GRAHAM, M.E.D.; CHARBONNEAU, J. & GROSSELIN, A. Impact of irrigation management of greenhouse tomato: yield, nutrition, and salinity of peat substrate. *Canadian Journal of Plant Science*, 75:497-503, 1995.
24. PRIOR, L.D.; GREIVE, A.M. & CULLIS, B.R. Sodium chlorine and soil texture interactions in irrigated field growth sultana grapevines .III. Soil and root system effects. *Australian Journal Agriculture Research*, 43:1051-66, 1992.
25. PUGNAIRE, F.I.; ENDOLZ, L.S. & PARDOS, J. Constrains by water stress on plant growth. In: Pessarakli, P. (ed.). *Handbook of plant and crop stress*. New York, Marcel Dekker, 1993. p.247-59.

26. REUTER, D.J. & ROBINSON, J.B. Plant analysis. A interpretation manual. Sydney, Inkata Press, 1986.
27. RUFTY JUNIOR, T.W.; JACKSON, W.A. & RAPER JUNIOR, C.D. Nitrate reduction in roots as affected by presence of potassium and by flux of nitrate through the roots. *Plant Physiology*, 68:605-9, 1981.
28. SATTI, S.M.E.; LOPEZ, M. & AL-RAWAHY, S.A. Effects of saline nutrient solution on the growth and accumulation of mineral elements in some tomato cultivars. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26:2097-106, 1995.
29. SATTI, S.M.E. & AL-YAHYAI, R.A. Salinity tolerance in tomato: implications of potassium, calcium, and phosphorus. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26:2749-60, 1995.
30. SHAINBERG, I. Salinity of soils – Effects of salinity on the physics and chemistry of soils. In: Poljakoff-Mayber, A. & Gale, J. (eds.). *Plants in saline environments*. New York, Heidelberg Berlin Book, 1975. p.39-55.
31. TAIZ, L. ZEIGER, E. *Plant Physiology*. 2nd ed. Sunderland, Sinauer Associates, 1998. 792p.
32. ZEKRI, M. Salinity and calcium effects on emergence, growth and mineral composition of seedlings of eight citrus rootstocks. *Journal of Horticultural Science*, 68:53-62, 1993.