

Avaliação Agronômica de Substratos contendo Zeólita Enriquecida com Nitrogênio, Fósforo e Potássio



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva

Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues

Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Luís Carlos Guedes Pinto

Presidente

Clayton Campanhola

Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires

Ernesto Paterniani

Hélio Tollini

Marcelo Barbosa Saintive

Membros

Diretoria-Executiva

Clayton Campanhola

Diretor-Presidente

Gustavo Kauark Chianca

Herbert Cavalcante de Lima

Mariza Marilena T. Luz Barbosa

Diretores-Executivos

Embrapa Solos

Celso Vainer Manzatto

Chefe Geral

Alúísio Granato de Andrade

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

David Dias Moreira Filho

Chefe Adjunto de Administração



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1678-0892

Dezembro, 2004

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 57

Avaliação Agronômica de Substratos contendo Zeólita Enriquecida com Nitrogênio, Fósforo e Potássio

Alberto Carlos de Campos Bernardi

Carlos G. Werneck

Patrick G. Haim

Nélio G.A.M. Rezende

Hélio Salim de Amorim

Fernando de Souza Barros

Paulo Renato Perdigão Paiva

Marisa Bezerra de Mello Monte

Rio de Janeiro, RJ

2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1.024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ

Fone:(21) 2274.4999

Fax: (21) 2274.5291

Home page: www.cnps.embrapa.br

E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br

Supervisor editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Normalização bibliográfica: *Cláudia Regina Delaia*

Revisão de Português: *André Luiz da Silva Lopes*

Editoração eletrônica: *Pedro Coelho Mendes Jardim*

1ª edição (2004): 100 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Avaliação agronômica de substratos contendo zeólita enriquecida com nitrogênio, fósforo e potássio. / Alberto Carlos de Campos Bernardi... [et al.]. - Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2004.

28 p. - (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n.57)

ISSN 1678-0892

1. Fertilizante. 2. Micronutriente. 3. Avaliação agronômica - Micronutriente. I. Bernardi, Alberto Carlos de Campos. II. Werneck, Carlos G. III. Haim, Patrick G. IV. Rezende, Nélio G. A. M. V. Amorim, Helio Salim de. VI. Barros, Fernando de Souza. VII. Paiva, Paulo Renato Perdigão. VIII. Mello Monte, Marisa Bezerra de. IX. Embrapa Solos (Rio de Janeiro). X. Série.

CDD (21.ed.) 631.11

© Embrapa 2004

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Material e Métodos	11
Avaliação do crescimento inicial de plantas de alface.....	13
Determinação da dose ideal e efeito residual do concentrado zeolítico.....	13
Resultados e Discussão	15
Experimento nas placas de Petri.....	15
Cultivo de alface, tomate, arroz e capim-Andropogon em vasos com concentrado zeolítico.....	16
Teores e extração de nutrientes.....	21
Conclusões	27
Referências Bibliográficas	27

Avaliação Agronômica de Substratos contendo Zeólita Enriquecida com Nitrogênio, Fósforo e Potássio

Alberto Carlos de Campos Bernardi¹

Carlos G. Werneck²

Patrick G. Haim²

Nélio G.A.M. Rezende³

Hélio Salim de Amorim⁴

Fernando de Souza Barros⁴

Paulo Renato Perdigão Paiva⁵

Marisa Bezerra de Mello Monte⁵

Resumo

Zeólitas são minerais alumino-silicatos cristalinos hidratados de metais alcalinos ou alcalinos-terrosos, estruturados em redes cristalinas tridimensionais rígidas, formadas por tetraedros de AlO_4 e SiO_4 . No sistema zeopônico, as plantas são cultivadas em substrato artificial composto por minerais zeolíticos misturados a rochas fosfáticas, funcionando como um sistema de liberação controlada e renovável de nutrientes para as plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de zeólitas enriquecidas com NPK no substrato de cultivo sobre a produção e extração de nutrientes pelas culturas do alface, tomate, arroz e uma forrageira – capim-Andropogon. A zeólita natural foi concentrada e enriquecida. Os tratamentos foram 5 tipos de zeólitas enriquecidas: zeólita concentrada (Z); zeólita + KNO_3 (ZNK); zeólita + KH_2PO_4 (ZPK); zeólita + H_3PO_4 e apatita (ZP), mistura das zeólitas KNO_3 e KH_2PO_4 (ZNPK), além de um tratamento testemunha sem adição de zeólita cultivado com solução nutritiva. Utilizaram-se 4 níveis de zeólitas enriquecidas: 20, 40, 80 e 160 g por vaso. Os resultados indicaram que as zeólitas enriquecidas funcionaram adequadamente como fonte de nutrientes de

¹ Embrapa Solos / Pecuária Sudeste, Rod. Washington Luiz Km 234, Cx. Postal 339, São Carlos-SP
CEP: 13560-970. E-mail: alberto@cnpse.embrapa.br

² Curso de Engenharia Agrônoma, UFRRJ, Seropédica - RJ

³ CPRM, Belém, PA

⁴ Instituto de Física, UFRJ, Rio de Janeiro - RJ

⁵ Laboratório de Química de Superfície - Centro de Tecnologias Minerais – CETEM, Rio de Janeiro - RJ.

liberação lenta, sendo que os melhores efeitos sobre a produção da alface, tomate, arroz e capim-Andropogon (em ordem decrescente) foi: ZP > ZPK > ZNK > Z > ZNPK.

Termos de indexação: *Estilbita*, *Lactuca sativa*, *Lycopersicum esculentum*, *Oryza sativa*, *Andropogon gayanus*, fertilizante de liberação lenta, substrato de cultivo.

Agronomic Evaluation of Substrates with Nitrogen, Phosphorus and Potassium Enriched Zeolite

Abstract

Zeolite are hydrated crystalline aluminosilicate minerals of alkaline and alkaline earth metals, structured in rigid third dimension net, organized by AlO_4 and SiO_4 tetrahedral. Zeoponic systems means plants growing in an artificial substrate composed of zeolite and phosphate minerals, that can serve as a controllable and renewable fertilization system to plants. The main objectives of this research were evaluated the effect of NPK enriched zeolite in the plant growth substrate on yield and nutrients extraction by lettuce, tomato, rice and Andropogon-grass crops. Natural zeolite was concentrated and enriched. Treatments comprised 5 types of enrichment: concentrated zeolite (Z), zeolite + KNO_3 (ZNK); zeolite + KH_2PO_4 (ZPK); zeolite + H_3PO_4 and apatite (ZP); mix of KNO_3 and KH_2PO_4 zeolites (ZNPk), and a control grown in a nutrient solution without zeolite supply. Four levels of enriched zeolite: 20, 40, 80 and 160 g per pot were tested. Results showed that zeoponic systems adequately slow released plants nutrients, and the best effects on lettuce, tomato, rice and Andropogon-grass yields (in decrease order) were: ZP > ZPK > ZNK > Z > ZNPk.

Index terms: *Stilbite*, *Lactuca sativa*, *Lycopersicum esculentum*, *Oryza sativa*, *Andropogon gayanus*, slow-release fertilizer, growth substrate.

Introdução

Com a descoberta da estilbita, em 1756, as zeólitas (do grego *zeo*, ferver + *lithos*, pedra) foram reconhecidas pela primeira vez pelo mineralogista sueco Barão Axel Frederick Consted, o qual não conseguiu concluir que o mineral “fervia” sob aquecimento por causa da água armazenada em seus microporos. Em 1845, Way descobriu que determinados solos tinham a propriedade de reter sais de amônia, e Breck constatou que os silicatos hidratados de alumínio no solo eram os responsáveis pela troca iônica (Luna & Schuchardt, 2001; Luz, 1994).

Em 1925, Weigel e Steinholf foram os primeiros a constatar que a zeólita chabazita absorvia seletivamente moléculas orgânicas menores e rejeitava as maiores. Em 1932, McBain denominou esse fenômeno de peneiramento molecular (Luna & Schuchardt, 2001). Nas décadas de 40 e 50, as pesquisas sobre as propriedades das zeólitas tomaram um grande impulso (Luna & Schuchardt, 2001; Luz, 1994).

As zeólitas são alumino-silicatos cristalinos hidratados de metais alcalinos ou alcalinos-terrosos, estruturados em redes cristalinas tridimensionais rígidas, formadas por tetraedros de AlO_4 e SiO_4 , de constituição TO_4 ($T = \text{Si}, \text{Al}, \text{B}, \text{Ge}, \text{Fe}, \text{P}, \text{Co} \dots$), ligados entre si através de átomos de oxigênio (Luna & Schuchardt, 2001; Luz, 1994). Nas zeólitas mais comuns, na fórmula TO_4 , T representa o Si ou o Al. A fórmula química por célula unitária é:



M é o cátion de valência n, m é o número de moléculas de água e $(x + y)$ é o número de tetraedros por célula unitária.

Considerando a carga trivalente do alumínio em especial, os tetraedros AlO_4 induzem cargas negativas na estrutura das zeólitas. As zeólitas são catalisadoras eficientes porque a aproximação forçada entre moléculas reagentes, sob a influência dos fortes potenciais eletrostáticos existentes no interior dos canais e cavidades, provoca o abaixamento da energia de ativação necessário ao fenômeno da catálise (Luna & Schuchardt, 2001; Luz, 1994).

Estes alumino-silicatos cristalinos compõem um grupo com cerca de 50 tipos de zeólitas de ocorrência natural. Os anéis de tetraedros de AlO_4 e SiO_4 , ao se unirem, compõem um sistema de canais, cavidades e poros. A carga negativa do arranjo

aniônico de Al-O-Si se compensa com cátions trocáveis, como Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} e Ba^{+2} , o quais ocupam sítios específicos nas cavidades e canais do concentrado zeolítico. A estrutura tridimensional na forma de canais e cavidades interconectadas conferem aos concentrados zeolíticos vantajosas características e propriedades como: Alto grau de hidratação; Baixa densidade e grande volume de vazios (quando desidratadas); Estabilidade da estrutura cristalina; Elevada capacidade de troca catiônica; Canais uniformes (mesmo desidratada); Capacidade de captura de gases e vapores e; Propriedades catalíticas (Vaughan, 1978; Ming & Mumpton, 1989).

As 3 propriedades principais destes minerais, que são a alta capacidade de troca de cátions, alta capacidade de retenção de água livre nos canais, e a alta habilidade na captura de íons conferem-lhes grande interesse para uso na agricultura. A zeólita pode atuar na melhoria da eficiência do uso de nutrientes através do aumento da disponibilidade de P da rocha fosfática, no melhor aproveitamento do N (NH_4^+ e NO_3^-) e redução das perdas por lixiviação dos cátions trocáveis (especialmente K^+). Tem sido utilizada também no cultivo zeopônico de plantas em substrato artificial composto por minerais zeolíticos misturados a rochas fosfáticas, o qual funciona como um sistema de liberação controlada e renovável de nutrientes para as plantas (Allen et al., 1995; Notario-Del-Pino *et al.*, 1994; Barbarick *et al.*, 1990).

Para atender a necessidade de aumento de produção vegetal, surgiram novos sistemas de cultivo, em alternativa ao sistema tradicional a campo, como os protegidos (túneis e estufas) e o hidropônico. Existe ainda uma nova possibilidade que é o cultivo zeopônico, no qual plantas são cultivadas em substrato artificial composto pelo mineral concentrado zeolítico misturados a rochas fosfáticas e que funciona como um sistema de liberação gradativa e renovável de nutrientes para as plantas.

Apesar dos benefícios do uso da zeólita, ainda não existem no país rotinas de exploração e processamento deste mineral, as quais poderiam levar o desenvolvimento para regiões pouco desenvolvidas, onde estão as ocorrências deste mineral (Rezende & Angélica, 1999). Podendo inclusive, futuramente, estimular o surgimento de uma cadeia envolvendo a exploração, transformação e comercialização do produto.

As estimativas do U.S. Geological Survey (Virta, 2003) são de que a produção anual mundial de zeólitas naturais estejam entre 2,5 e 3 milhões de toneladas. Estes dados são baseados em relatos de alguns países produtores como China (de 1,5 a 2,5 milhões t), Japão (140 a 160 mil t), Coreia do Sul (160 mil t), Estados Unidos (46 mil t) e Cuba (37,5 mil t). Holmes (1994) relatou que, nos Estados Unidos, os preços de zeólita para utilização industrial ou agrícola variaram de 30 a 70 dólares por tonelada para produtos de granulometria mais grosseira (abaixo de 40 mesh) e de 50 a 120 dólares por tonelada para os produtos mais finamente moídos (40 a 325 mesh). Estes dados econômicos reforçam a idéia do potencial do Brasil para exploração das zeólitas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de zeólitas enriquecidas com NPK no substrato de cultivo sobre a produção e extração de nutrientes pelas culturas do alface, tomate, arroz e uma forrageira – capim-Andropogon.

Material e Métodos

A zeólita utilizada foi coletada na Bacia do Parnaíba, no Estado do Maranhão, que representa o principal depósito deste mineral no País, com potencial de aproveitamento econômico (Rezende & Angélica, 1999). O material coletado foi processado e obteve-se um concentrado zeolítico com 84% de estilbita com uma capacidade de troca de cátions de 250 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Fórmula química determinada da zeólita foi: $(\text{CaO})_{0,82} (\text{Na}_2\text{O})_{0,19} (\text{K}_2\text{O})_{0,15} (\text{MgO})_{0,56} (\text{Fe}_2\text{O}_3)_{0,30} (\text{TiO}_2)_{0,11} (\text{Al}_2\text{O}_3)_{1,85} (\text{SiO}_2)_{16} (\text{H}_2\text{O})_{4,7}$. O concentrado zeolítico (Z) foi acidificado e adicionado apatita (ZP), KNO_3 (ZNK) e KH_2PO_4 (ZPK).

A partir dos 4 tipos de concentrado zeolíticos preparados no CETEM, estabeleceu-se as seguintes etapas para avaliação destes materiais no crescimento de plantas: a) caracterização química; b) crescimento de plântulas de alface em placa de Petri; c) crescimento e extração de nutrientes de alface, tomate, arroz e capim-Andropogon, cultivados em vasos, visando o estabelecimento da dose ideal e avaliação do efeito residual do concentrado zeolítico.

No Laboratório de Solos da Embrapa Solos, realizou-se as determinações para a caracterização do material em estudo. Utilizou-se a metodologia de Embrapa (1997). Os resultados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização química dos concentrados zeolíticos.

Amostra	pH	CE mS cm ⁻¹	N g kg ⁻¹	P*	K*	Na*	Cu*	Fe*	Mn*	Zn*	B*	Ca**	Mg** cmol dm ⁻³ ou meq 100cm ⁻³	Al**	H	CTC	V	K*** mg kg ⁻¹	Na*** mg kg ⁻¹
Concentrado zeolítico	7,8	0,084	0,1	30	222	619	1,73	191	79,4	15,0	0,482	38,4	9,0	0	0	50,7	100	3,9	13,8
Concentrado zeolítico + KNO ₃	6,4	24	93796	17	7410	943	1,77	106	25,7	13,6	0,254	41,4	1,7	0	0	66,2	100	15210	1196
Concentrado zeolítico + KH ₂ PO ₄	7,6	0,024	0,1	11289	975	2346	-	0,4	2,68	0,31	3,21	4,8	0,7	0	36,0	54,2	34	41925	1564
Concentrado zeolítico + H ₃ PO ₄ + apatita	3,7	5	0,2	7130	121	361	4,83	609	135	19,1	1,49	43,8	15,5	8,4	23,4	93,0	66	3,9	41,4

* Extrator: solução de Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹).** Extrator: solução de KCl 1 mol L⁻¹

*** Extraídos em pasta de saturação (Embrapa, 1997).

Avaliação do crescimento inicial de plantas de alface

Placas de Petri com 99 g de material inerte (areia lavada) receberam 1g dos concentrados zeolíticos: Z (concentrado), ZNK (Z + KNO₃); ZPK (Z + KH₂PO₄) e, ZP (Z + H₃PO₄ + apatita), além de um tratamento testemunha contendo apenas areia. Foram semeadas 40 sementes de alface (*Lactuca sativa* L.) var. Regina em cada uma das placas.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com 4 repetições. Ao final de 20 dias de cultivo, as plantas foram colhidas, lavadas, secas em estufa e pesadas. Realizou-se uma análise de variância com os resultados obtidos e o teste de Tukey a 5% de significância para comparação das médias.

Determinação da dose ideal e efeito residual do concentrado zeolítico

A partir das quantidades de nutrientes disponíveis nos concentrados zeolíticos fornecidos (Tabela 1), estabeleceu-se o planejamento para o experimento descrito a seguir.

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com 3 repetições. Utilizou-se 21 tratamentos: Z20, Z40, Z80, Z160, ZP20, ZP40, ZP80, ZP160, ZNK20, ZNK40, ZNK80, ZNK160, ZPK20, ZPK40, ZPK80, ZPK160, ZNPK20, ZNPK40, ZNPK80, ZNPK160, e a testemunha (sem adição de concentrado zeolítico). A descrição deles está na Tabela 2. A testemunha recebeu todos os nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas através de uma solução nutritiva. As exigências nutricionais da alface foram estabelecidas com base na bibliografia disponível (Garcia *et al.*, 1988; Katayama, 1990; Barbosa, 1993; Takahashi, 1993).

Todos os tratamentos receberam as mesmas quantidades de Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn. Quando o concentrado zeolítico utilizado não possuía um dos macronutrientes, N, P ou K, este era adicionado na forma de solução nutritiva, na mesma dose fornecida à testemunha.

Foram realizados 4 cultivos sucessivos nos mesmos vasos: alface (*Lactuca sativa* L. var. Regina), tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. var. Finestra), arroz (*Oryza sativa* var. Soberana) e capim-Andropogon (*Andropogon gayanus* var. Baeti). As mudas de alface, tomate, arroz e capim-Andropogon foram transplantadas para os

vasos 30 dias após a germinação e receberam irrigação diária. Ao final de 30, 90 e 90 dias de cultivo, do cultivo de alface, tomate e arroz. No capim-Andropogon foram realizados dois cortes, um após 60 dias de cultivo e outro após 45 dias do crescimento da rebrota.

Tabela 2: Tratamentos utilizados em função dos nutrientes adicionados ao concentrado zeolítico e dose por vaso.

	Tratamentos	Zeólita	Concentração* (mg kg ⁻¹)			Dose (g por vaso)
			N (N-NO ₃)	P	K	
1	Z 20	concentrado zeolítico	0,1	30	3,9	20
2	Z 40	concentrado zeolítico	0,1	30	3,9	40
3	Z 800	concentrado zeolítico	0,1	30	3,9	80
4	Z 160	concentrado zeolítico	0,1	30	3,9	160
5	ZP 20	concentrado zeolítico + H ₃ PO ₄ + apatita	0,2	7130	3,9	20
6	ZP 40	concentrado zeolítico + H ₃ PO ₄ + apatita	0,2	7130	3,9	40
7	ZP 80	concentrado zeolítico + H ₃ PO ₄ + apatita	0,2	7130	3,9	80
8	ZP 160	concentrado zeolítico + H ₃ PO ₄ + apatita	0,2	7130	3,9	160
9	ZNK 20	concentrado zeolítico + KNO ₃	93796	17	15210	20
10	ZNK 40	concentrado zeolítico + KNO ₃	93796	17	15210	40
11	ZNK 80	concentrado zeolítico + KNO ₃	93796	17	15210	80
12	ZNK 160	concentrado zeolítico + KNO ₃	93796	17	15210	160
13	ZPK 20	concentrado zeolítico + KH ₂ PO ₄	0,1	11289	41925	20
14	ZPK 40	concentrado zeolítico + KH ₂ PO ₄	0,1	11289	41925	40
15	ZPK 80	concentrado zeolítico + KH ₂ PO ₄	0,1	11289	41925	80
16	ZPK 160	concentrado zeolítico + KH ₂ PO ₄	0,1	11289	41925	160
17	ZNPK 20	ZP + ZNK	93796	7130	15214	20
18	ZNPK 40	ZP + ZNK	93796	7130	15214	40
19	ZNPK 80	ZP + ZNK	93796	7130	15214	80
20	ZNPK 160	ZP + ZNK	93796	7130	15214	160
21	Testemunha	-	-	-	-	-

* Extraídos em pasta de saturação (Embrapa, 1997).

As plantas foram colhidas e pesadas para a determinação da produção de matéria verde e frutos (do tomateiro). Foram realizadas determinações da produção de matéria seca nos quatro cultivos sucessivos: alface, tomate, arroz e capim-Andropogon. Para esta determinação, o material vegetal foi levado para estufa de circulação forçada a 65°C por um período de 72 horas. Após a secagem, o material foi triturado em moinho tipo "Willey" com peneira 20 "mesh". Seguindo sugestão de Carmo et al. (2000), determinou-se os teores totais de N, no extrato da digestão sulfúrica, pelo método semi-micro Kjeldhal. E também de P e K, no extrato da digestão nitro-perclórica, e por espectrometria de plasma induzido (ICP-OES) e fotometria de chama, respectivamente.

Os resultados de produção e teores foliares foram analisados estatisticamente através da análise de variância e ajustadas as equações de regressão aos valores obtidos.

Resultados e Discussão

Experimento nas placas de Petri

Na Figura 1 são apresentados os resultados da produção de matéria seca de plântulas de alface cultivadas em placas de Petri com as zeólitas. Observa-se que o melhor tratamento neste estudo inicial indicou ser a zeólita ZNK seguida da zeólita apenas concentrada (Z) e da zeólita ZPK. A zeólita ZP tratada com ácido fosfórico e apatita apresentou o menor crescimento inicial entre os tratamentos testados. Na Figura 2 é apresentada uma foto com o aspecto geral das plantas cultivadas nas placas de Petri.

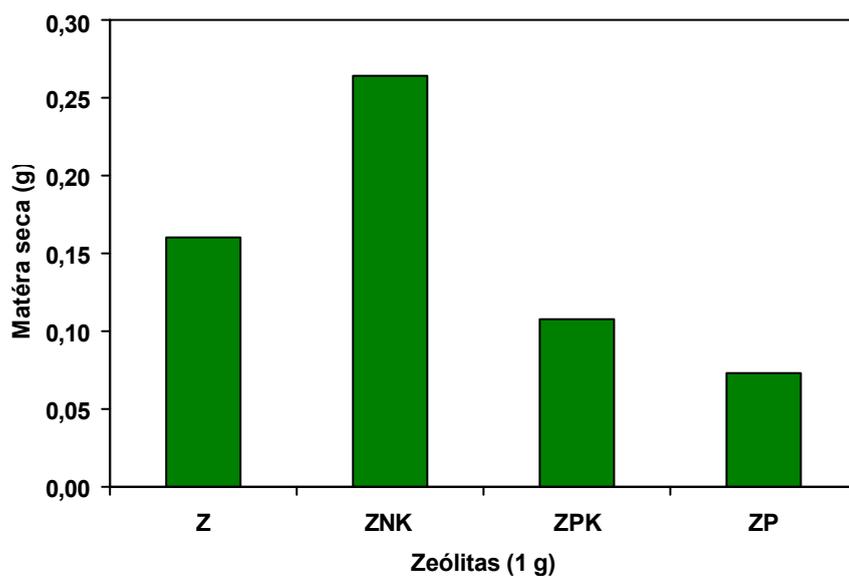


Fig. 1. Produção de matéria seca de plântulas de alface cultivadas em placas de Petri com os concentrados zeolíticos.

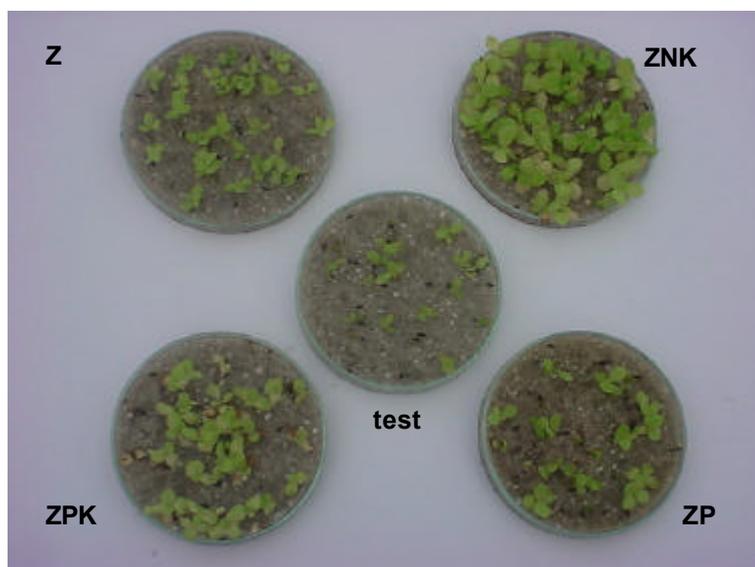


Fig. 2. Aspectos das placas de Petri com as plântulas de alface cultivadas com as 1g de concentrado zeolítico.

Cultivo de alface, tomate, arroz e capim-Andropogon em vasos com concentrado zeolítico

Produção

Na Figura 3 são apresentados os resultados do peso fresco e da produção de matéria seca de alface cultivadas com doses de zeólitas tratadas com N, P e K. Os melhores resultados foram obtidos com a zeólita com ácido fosfórico e apatita (ZP). A melhor produção de alface com este tratamento, considerando o ponto de inflexão da curva, foi obtido na dose de 76,7 g por vaso de zeólita. Com esta dose, obteve-se o valor de produção máxima de matéria seca de 16,7 g por vaso. Considerando que a média das testemunhas foi 9,7 g por vaso, a adição da zeólita proporcionou um aumento em torno de 40% na produção do alface. O tratamento ZPK na dose mínima utilizada (20 g) resultou na produção de 259,8 e 12,9 g de peso fresco e matéria seca de alface, respectivamente. Em seguida o tratamento ZNK, ZNPK e Z nas dose de 148, 112 e 160 g por vaso produziram 181, 235 e 208 g de alface (peso fresco). A produção de matéria seca seguiu a mesma tendência.

Na Figura 4 são mostrados os resultados do peso de frutos e da produção de matéria seca total de tomate cultivadas com doses de zeólitas tratadas com N, P e K. Os resultados indicaram que novamente a zeólita acidificada e enriquecida com apatita (ZP) foi a que apresentou melhor resultado de produção de frutos (839 g por vaso), obtido com a doses de 114 g por vaso. Esta produção foi 55% maior que a obtida com a testemunha (541 g por vaso). O segundo melhor tratamento foi o ZPK que nas doses de 109 e 127 proporcionou as produções de 730 g de frutos e 70,8 g por vaso de MS, respectivamente. Com o tratamento ZNK, obteve-se as produções mais altas de frutos e MS (339 e 28,6 g por vaso) nas maiores doses testadas (160 g por vaso). As menores produções foram obtidas com o tratamento ZNPK, cujas produções máximas foram 47,9 e 5,8 g por vaso de frutos e MS, respectivamente. Nos tratamentos apenas com zeólita (Z), a produção de frutos foi significativamente influenciada pelo fornecimento da zeólita, sendo que a maior produção (288 g por vaso) foi obtida na maior dose utilizada.

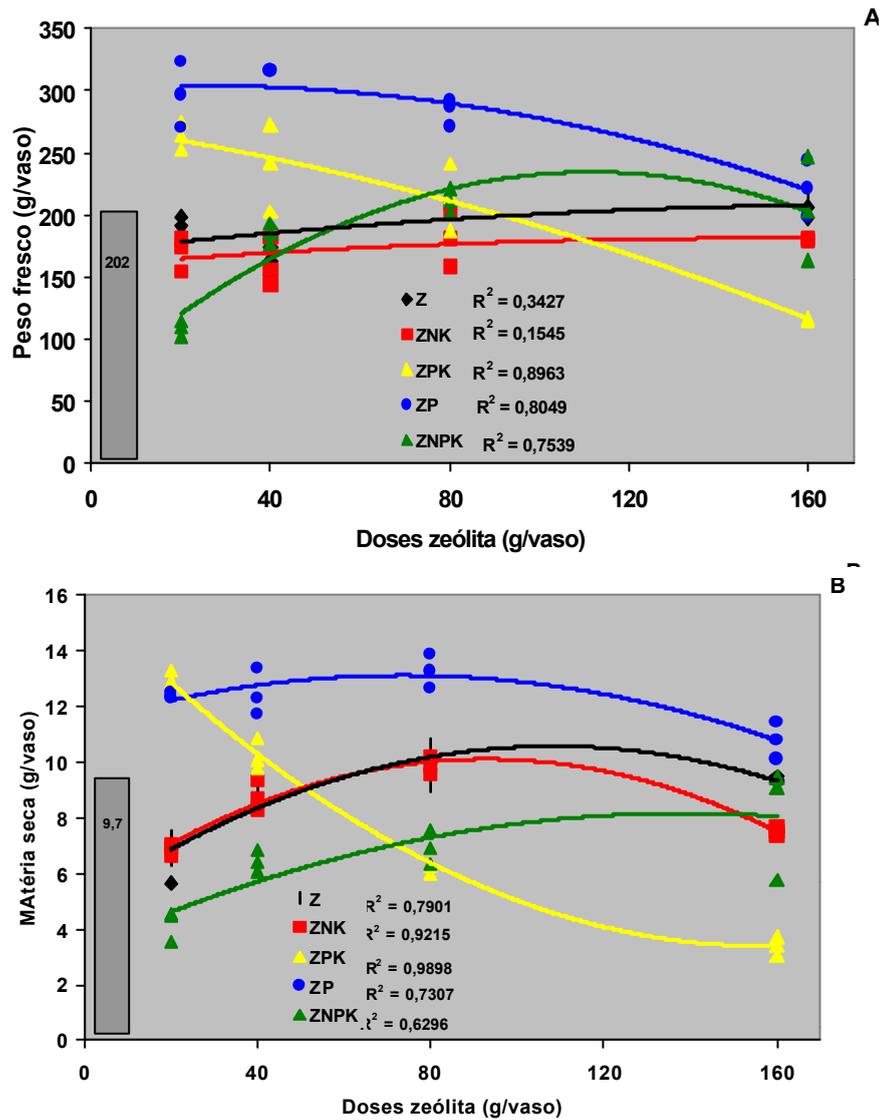
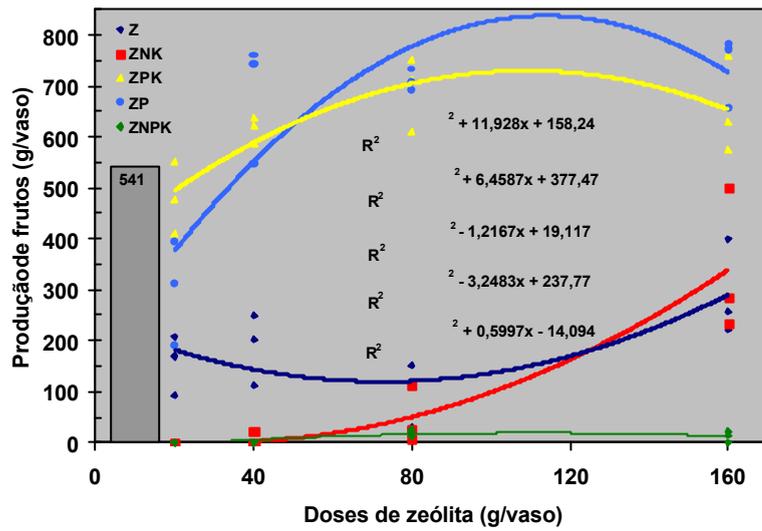
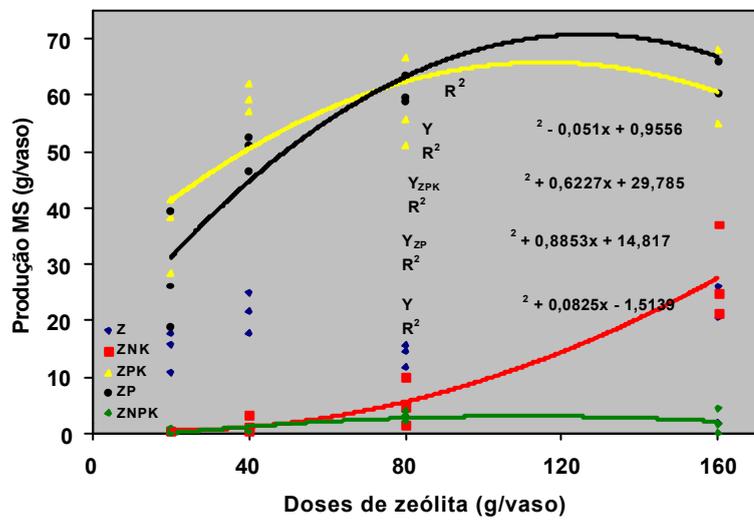


Fig. 3. Resultados obtidos para peso fresco (A) e produção de matéria seca (B) dos alfaces cultivados com doses de concentrado zeolítico com adição de N, P, e K. A barra indica os valores médios observados para a testemunha.



A



B

Fig. 4. Resultados obtidos para peso de frutos (A) e produção de matéria seca (B) do tomateiro cultivado com doses de concentrado zeolítico com adição de N, P, e K. A barra indica os valores médios observados para a testemunha.

A produção de arroz em função dos tratamentos estão na Figura 5. Observa-se que neste terceiro cultivo, houve uma queda nas produções obtidas com os concentrados zeolíticos enriquecidos com P, PK e ZK. Sendo que a testemunha e a zeólita sem adição prévia de nutrientes, porém com a reposição destes via solução nutritiva, foram os melhores resultados. Isso ocorre porque estes tratamentos têm a reposição de todos nutrientes efetuada a cada troca, ao passo que nos concentrados zeolíticos enriquecidos a reposição ocorre apenas para aqueles nutrientes que não foram adicionados. Desse modo as melhores produções para os tratamentos ZPK, ZP e ZNPK foram obtidas nas doses 99, 09 e 96 g por vaso, respectivamente.

Na Figura 6 são apresentados os resultados da produção de matéria seca da parte aérea do capim – *Andropogon*, no primeiro (A) e segundo (B) cortes. Observa-se a mesma tendência do arroz, ou seja a testemunha e o concentrado zeolítico (Z) apresentam os melhores resultados em função da reposição de nutrientes realizada após os cultivos. As figuras mostram que os tratamentos com NK já apresentaram uma alta diminuição da produção, enquanto que o tratamento em mistura com a apatita ainda mostra produção equivalente às obtidas com as fontes mais solúveis de P (KH_2PO_4).

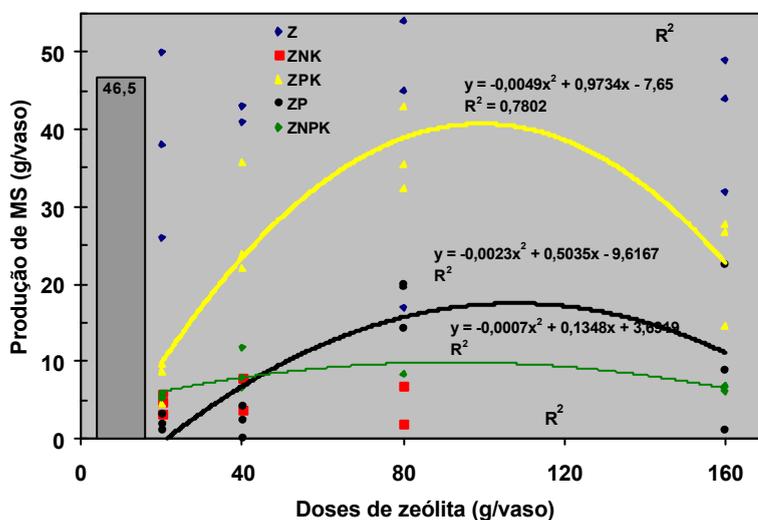


Fig. 5. Resultados obtidos para produção de matéria seca do arroz cultivado com doses de concentrado zeolítico com adição de N, P, e K. A barra indica os valores médios observados para a testemunha.

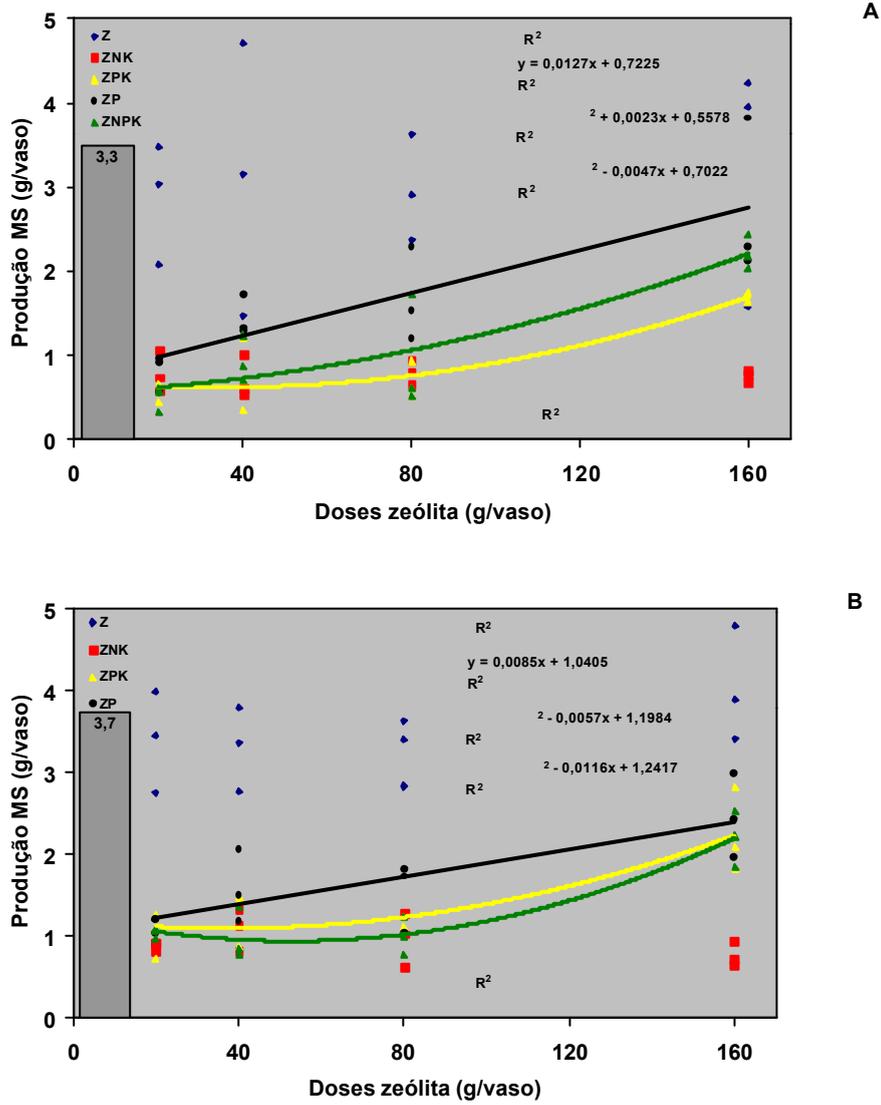


Fig. 6. Resultados obtidos produção de matéria seca do 1° e 2° corte (A e B) do capim - Andropogon cultivado com doses de concentrado zeolítico com adição de N, P, e K. A barra indica os valores médios observados para a testemunha.

Como foram feitas extrações seqüenciais, ou seja, no mesmo vaso cultivaram-se alface, e em seguida tomate, arroz e capim - *Andropogon*, observou-se que as doses para obtenção de produtividades máximas tenderam a ser maiores no últimos cultivos que no primeiro (alface). Assim como os melhores tratamentos iniciais foram gradualmente tendo suas produções reduzidas em função do esgotamento do substrato de cultivo pelas culturas subsequentes.

Teores e extração de nutrientes

A análise de tecidos vegetais é uma medida direta da disponibilidade de nutrientes no substrato de cultivo, pois os resultados correspondem à quantidade de nutriente absorvida pelas plantas. Desta forma, o teor de nutrientes nos tecidos vegetais reflete sua real disponibilidade, pois existe uma relação entre o fornecimento de um nutriente pelo substrato de cultivo ou por um fertilizante e a concentração na folha, e uma relação entre essa concentração e a produção da cultura. Tal técnica pode estar sujeita a algumas limitações tais como épocas de amostragem, interpretação, contaminação da amostra, deficiências e excessos de nutrientes. Apesar disso, é uma das melhores ferramentas disponíveis para avaliar o estado nutricional de plantas e para orientar programas de adubação, em conjunto com os resultados da análise de solo (Malavolta *et al.* 1997).

A Figura 7 (A, C e E) representa teores N, P e K respectivamente, observando-se variações significativas devido as diferentes doses utilizadas nos tratamentos. Os teores de nitrogênio variaram significativamente nos tratamentos ZNK e ZNPK, sendo os maiores teores calculados para as doses 160 e 139,6g por vaso respectivamente. Os teores de fósforo, nos tratamentos ZP e ZNPK, variavam significativamente, observando-se teores máximos calculados para as doses 114,8 e 160 g por vaso. Em relação ao potássio, o tratamentos ZPK apresenta variação significativa, obtendo-se teores máximos calculados para a dose 88,1 g por vaso valores.

Na figura 8 estão os resultados dos teores (A, C e E) e extração (B, D e F) de N, P e K pelo tomateiro. O maior teor de N ($16,2 \text{ g kg}^{-1}$) foi obtido com o tratamento ZNPK na dose de 122 g por vaso. Os maiores teores de P ($6,4$ e $4,7 \text{ g kg}^{-1}$) foram obtidos com as doses máximas (160 g por vaso) dos tratamentos ZPK e ZNPK. Já o maior teor de K, de $34,5 \text{ g kg}^{-1}$, foi obtido com a dose mínima (20 g por vaso) do tratamento ZNK.

Com relação à extração de N, os maiores valores foram obtidos com as menores doses (20 g por vaso) dos tratamentos ZPK e ZP. As maiores extrações de P e K (14 e 69 mg por vaso) foram obtidas com o tratamento ZNPK, ambos em sua dose máxima utilizada (160 g por vaso).

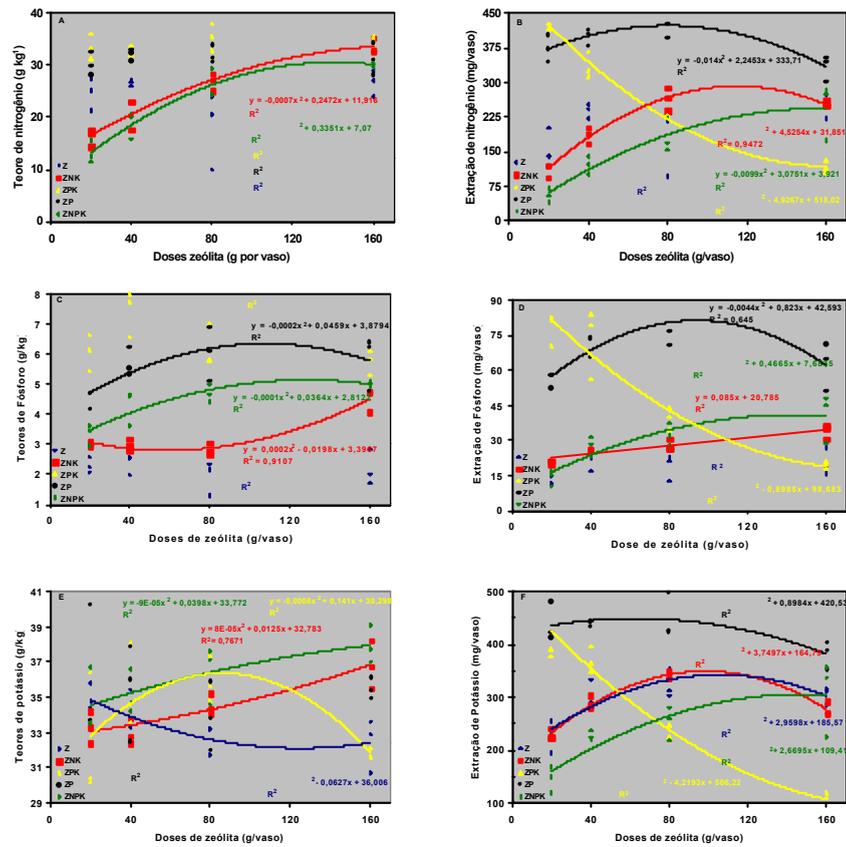


Fig. 7. Teores (A, C e E) e extração (B, D e F) de N, P e K pela cultura da alface cultivada em substrato com doses de concentrado zeolítico com adição de N, P, e K.

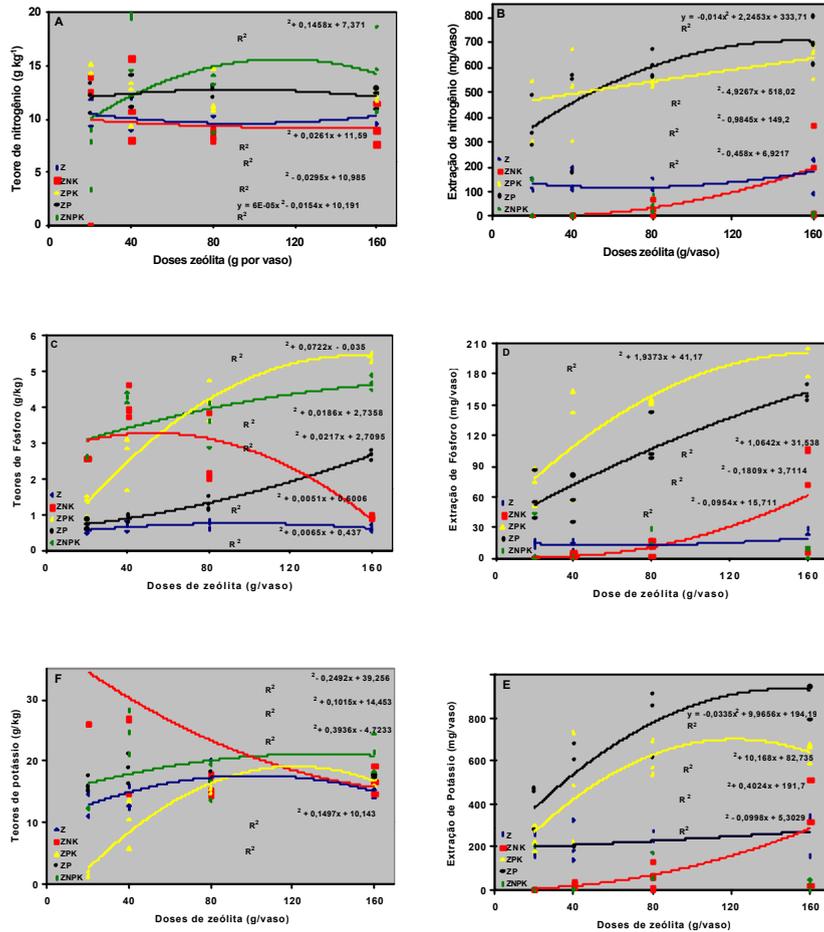


Fig. 8. Teores (A, C e E) e extração (B, D e F) de N, P e K pela cultura do tomateiro cultivado em substrato com doses de concentrado zeolítico com adição de N, P, e K.

Na figura 9 estão os resultados dos teores (A, C e E) e extração (B, D e F) de N, P e K pela cultura do arroz. Com relação aos teores de N, não houve efeito significativo dos tratamentos, apenas para aqueles que foram enriquecidos com o nutriente, ou seja ZNK e ZNPK. Nas doses mais baixas de fornecimento do concentrado zeolítico, estes tratamentos novamente mostraram sinais de exaustão. Os maiores teores observados de P foram nos tratamentos ZP e ZPK. Neste último, a alta extração de P, observada indica a presença de altas concentrações do nutriente. Os

teores de K seguiram a mesma tendência, ou seja, apresentar maiores teores nos tratamentos com enriquecimento deste nutriente. Já a extração não segue a mesma tendência dos teores, pois existe uma forte influência da produção de matéria seca. Desse modo, no caso do tratamento do concentrado zeolítico com apatita, apresenta geralmente as mais altas extrações, em função das mais altas produções de MS.

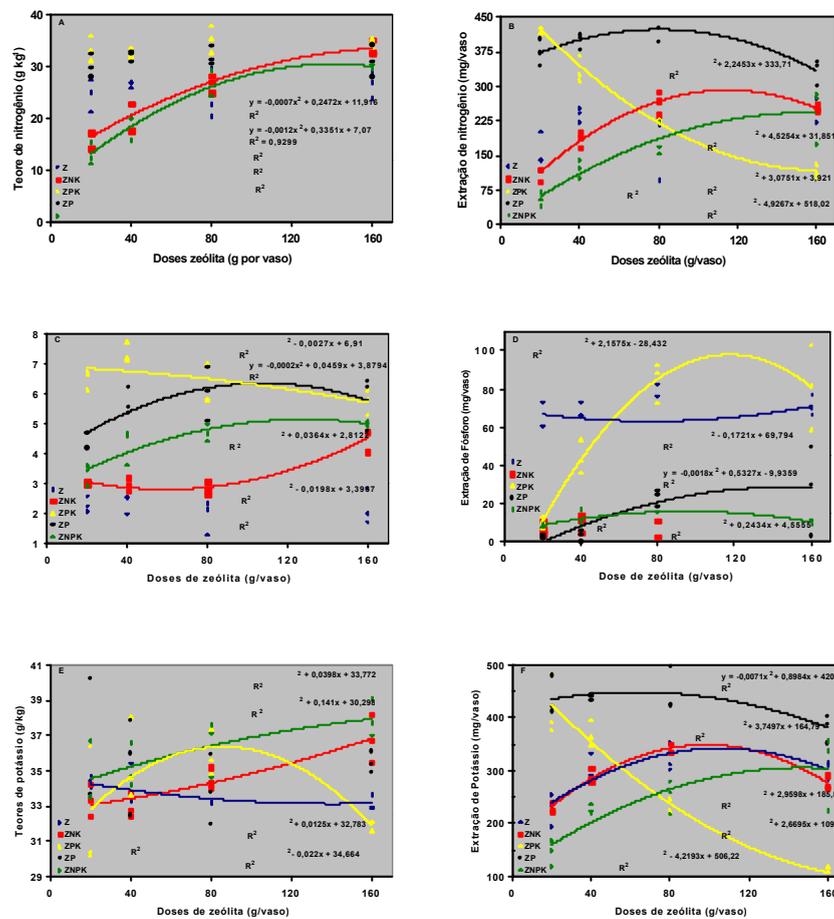


Fig. 9. Teores (A, C e E) e extração (B, D e F) de N, P e K pela cultura do arroz cultivado em substrato com doses de concentrado zeolítico com adição de N, P, e K.

A média dos resultados dos teores (A, C e E) e da extração (B, D e F) de N, P e K nos dois cortes do capim - Andropogon são apresentados na Figura 10. As tendências observadas para os teores de N, P e K são as mesmas discutidas para a cultura do arroz. Observa-se que as extrações de nutrientes dos tratamentos que não receberam complementação de nutrientes são baixas comparadas com as observadas para a testemunha e concentrado zeolítico (Z).

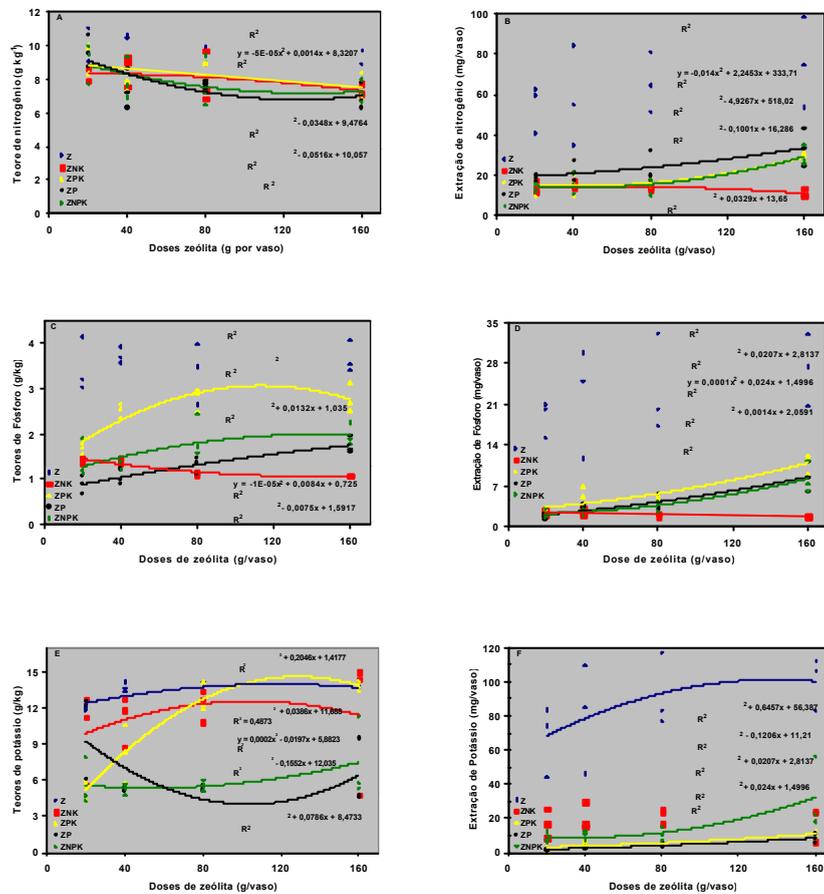


Fig. 10. Teores (A, C e E) e extração (B, D e F) de N, P e K pelo capim - Andropogon em 2 cortes cultivado em substrato com doses de concentrado zeolítico com adição de N, P, e K (Média de 2 cortes).

Conclusões

Os resultados indicaram, dentro das condições testadas, que:

- O fornecimento de nutrientes através do mineral zeólita enriquecido com NPK comprovou ser uma alternativa viável para a obtenção de plantas no sistema zeopônico.
- Os concentrados zeolíticos enriquecidos funcionaram adequadamente como fonte de nutrientes de liberação lenta, sendo que os melhores efeitos sobre a produção da alface e do tomate (em ordem decrescente) foi: zeólita + H_3PO_4 + apatita (ZP) > zeólita + KH_2PO_4 (ZPK) > zeólita + KNO_3 (ZNK) > zeólita concentrada (Z) > mistura das zeólitas KNO_3 e KH_2PO_4 (ZNPk).

Referências Bibliográficas

- ALLEN, E.; MING, D.; HOSSNER, L.; HENNINGER, D.; GALINDO, C. Growth and nutrient uptake of wheat in a clinoptilolite-phosphate rock substrate. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 6, p. 1052-1059, 1995.
- BARBARICK, K. A.; LAI, T. M.; EBERL, D. D. Exchange fertilizer (phosphate rock plus ammonium-zeolite) effects on sorghum-sudangrass. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 3, p. 911-916, 1990.
- BARBOSA, V. Nutrição e adubação de tomate rasteiro. In: FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: Potafos, 1993. p.323-339.
- CARMO, C. A. F. S.; ARAÚJO, W. S.; BERNARDI, A. C. C.; SALDANHA, M. S. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 41 p. (Embrapa Solos. Circular Técnica, 6).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
- GARCIA, L. L. C.; HAAG, H. P.; MINAMI, K.; DECHEN, A. R. Nutrição mineral de hortaliças: concentração e acúmulo de macronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Brasil 48 e Clause's Aurélia. In: HAAG, H. P.; MINAMI, K. **Nutrição mineral em hortaliças**. Campinas: Fundação Cargill, 1988. p.123-151.

- HOLMES, D. A. Zeolites. In: CARR, D. D. (Ed.). **Industrial minerals and rocks**. 4. ed. Littleton: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 1994. p. 1129-1158.
- KATAYAMA, M. Nutrição e adubação de alface, chicória e almeirão. In: FERRERA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. P. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal: Potafos, 1990. p.141-148.
- LUNA, F. J.; SCHUCHARDT, U. Modificação de zeólitas para uso em catálise. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n.6, p.885-892, 2001.
- LUZ, A. B. **Zeólitas: propriedades e usos industriais**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994. 37 p. (Série Tecnologia Mineral CETEM, 68).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MING, D. W.; MUMPTON, F. A. Zeolites in soils, in: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed.) **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 873-911.
- NOTARIO-DEL-PINO, J. S.; ARTEAGA-PADRON, I. J.; GONZALEZ-MARTIN, M. M.; GARCIA-HERNANDEZ, J. E. Response of alfalfa to a phillipsite-based slow-release fertilizer. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, n. 13-14, p. 2231-2245, 1994.
- REZENDE, N. G. A. M.; ANGÉLICA, R. S. Sedimentary zeolites in Brazil. **Mineralogica et Petrographica Acta**, Bologna, v. 42, p. 71-82, 1991.
- TAKAHASHI, H.W. Nutrição e adubação de tomate estaqueado. In: FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: Potafos, 1993. p.301-322.
- VAUGHAN, D. Properties of natural zeolites. In: SAND, L., MUMPTON, F. (Ed.). **Natural Zeolites: occurrence, properties, use**. New York: Pergamon Press, 1978. p. 353–372.
- VIRTA, R. L. Zeolites. In: ESTADOS UNIDOS. U. S. Geological Survey. **Minerals yearbook: metals and minerals**. 2003. v. 1. Disponível em: < <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/zeolites/zeolimyb03.pdf> >. Acesso em: 13 out. 2004.