

Agricultura irrigada: a importância da adubação

Davi José Silva¹ & Cícero Antonio de Sousa Araújo²

1. Introdução

A agricultura se desenvolveu à medida que o homem evoluiu, deixando de ser nômade e passando a viver em famílias, clãs e vilas. Há evidências de uma civilização muito antiga, na Mesopotâmia, situada entre os rios Tigres e Eufrates, onde é hoje o Iraque. Documentos datados de 2.500 anos a.C. mencionam a fertilidade de suas terras e as produtividades fenomenais obtidas pelos seus habitantes, devido, provavelmente, a um sistema de irrigação bem desenvolvido e a alta fertilidade dos solos (Tisdale et al., 1985).

A agricultura é a atividade antrópica que mais consome água. Da área dispensada à agricultura no mundo, 17,8% são irrigadas, respondendo por 40% de toda a produção agrícola (FAO, 1998). A origem da prática de irrigação é muito antiga e não é possível estabelecer o seu início na história da civilização humana. Existem evidências de que esta técnica foi usada no Egito, China e Índia, além da Mesopotâmia, a mais de 5.000 anos.

A prática de adicionar esterco animal ou resíduos vegetais ao solo para restaurar a sua fertilidade se desenvolveu a partir do momento que o homem percebeu que o cultivo contínuo de alguns solos poderia levar a queda de produtividade, mas não se sabe como ou quando a fertilização começou.

A associação da técnica de irrigação com a aplicação de fertilizantes, denominada fertirrigação, também é muito antiga e começou com os fertilizantes orgânicos. Os jardins e bosques de oliveiras nos arredores de Atenas eram irrigados com a água dos esgotos da cidade. Os gregos também adubavam seus vinhedos e bosques com água que continha esterco dissolvido. Em Atenas havia um sistema de canais e existem evidências de um dispositivo para regular o fluxo (Tisdale et al., 1985).

Da era dos Gregos até os dias atuais, a ciência evoluiu muito e a pesquisa na área agronômica procurou adequar o vegetal e o solo de modo que melhores colheitas pudessem ser obtidas. Para estudar o relacionamento entre os fatores de produção foram desenvolvidos modelos matemáticos. Em virtude do grande número de fatores que influenciam nos fenômenos biológicos, não é possível trabalhar com todos eles, em conjunto. Por isto, costuma-se limitar o número de fatores em estudo (Xi), controlar outros (Xj) e deixar atuar

¹ Pesquisador, Embrapa Semi-Árido, Caixa Postal 23, 56302-970, Petrolina-PE, davi@cpatsa.embrapa.br

² Professor Adjunto, Centro Federal de Educação Tecnológica de Petrolina, 56314-520, Petrolina-PE
araujocas@superig.com.br

livre outros (X_k). Assim, as observações dependem da ação conjugada de inúmeros fatores, e elas se representariam da seguinte forma (Alvarez, 1985):

$$Y = f(X_i, \theta's \parallel X_j, X_k) + \epsilon_{ijk}$$

Sendo:

Y = resposta (produção, por exemplo);

$\theta's$ = conjunto de parâmetros relacionados com X_i ;

ϵ_{ijk} = componente aleatório que depende dos fatores em estudo, dos controlados e dos que atuam livremente.

De forma mais simplificada, observou-se que diferentes produções eram obtidas quando se variava o tipo de solo, o clima e as culturas, sugerindo que a produção agrícola é função dos fatores clima, solo e vegetal. Entretanto, cada uma dessas variáveis é formada de muitos outros fatores, sendo impossível estudar todos eles ao mesmo tempo. Daí a necessidade de relacionar um fator com a produção, permanecendo os demais constantes. Desta maneira, pode-se relacionar a Fertilidade do Solo, como a única variável influenciando a produção do vegetal. Neste caso, a equação de produção pode ser assim representada (Braga, 1990):

$$\text{Produção} = f(\text{Fertilidade do solo}) (\text{Solo}, \text{Clima}, \text{Vegetal})$$

O modelo usado supõe que o solo tenha condições próprias, que são características de sua fertilidade, as quais implicam numa alteração de produção do vegetal. Estas condições podem ser físicas, químicas, físico-químicas e biológicas, as quais governam as transformações dos nutrientes no solo e sua disponibilidade para as plantas.

A fertilidade do solo deve ser interpretada num contexto de interação com a disponibilidade de água, um fator de grande importância em regiões áridas e semi-áridas (Sampaio et al., 1995).

O semi-árido do nordeste do Brasil estende-se por uma área estimada entre 764 e 950 km² (Nogueira et al., 1994), o que corresponde, aproximadamente, a 70% das terras da região Nordeste. De todas as regiões brasileiras, a Nordeste é aquela que mais se destaca na necessidade de utilização da irrigação, participando, no entanto com apenas 17% da área irrigada nacional (Resende et al., 2003). Por outro lado, o uso da irrigação em áreas úmidas vem aumentando nos últimos anos como forma de proteção contra a irregularidade pluviométrica.

Existem poucas informações sobre avaliações gerais de fertilidade dos solos no Nordeste. As mais abrangentes foram realizadas por Galvão & Cate Jr. (1969), para os estados

do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas e Oliveira et al. (1988) para todo o Nordeste. Em ambos os trabalhos foram avaliadas apenas as necessidades de calcário, fósforo e potássio. Sampaio et al (1995), a partir do trabalho de Oliveira et al. (1988), estima que a maior parte da área semi-árida (53 %) não tem necessidade de calcário e que a carência mais alta é de fósforo (89 %).

Como a cobertura pedológica do Nordeste apresenta uma grande diversidade de solos, que contempla solos pouco evoluídos, como Neossolos e Luvisolos, a solos altamente intemperizados, como Latossolos e Argissolos, o uso da irrigação permite que muitos deles expressem o seu potencial de fertilidade ao mesmo tempo em que evidencia a baixa disponibilidade de um ou mais nutrientes.

2. A fertilidade do solo nos perímetros irrigados do Nordeste

Em solos submetidos a cultivos irrigados, normalmente ocorrem alterações de ordem química, física e biológica em um tempo relativamente curto e em uma intensidade que varia em função da qualidade e quantidade da água aplicada, do manejo, uso de fertilizantes e características químicas e físicas dos solos. Dependendo dos cultivos, estes podem manter, melhorar ou piorar as características iniciais do solo que refletem sua capacidade produtiva. As principais características do solo que influenciam a produtividade das culturas são a disponibilidade de nutrientes, a capacidade de troca catiônica, a saturação de bases, a matéria orgânica, a macroporosidade (aeração), a água disponível, a saturação de alumínio, a densidade aparente (compactação) e a salinidade (Black, 1968; Tisdale et al., 1985).

Quando fatores de produção relacionados com o manejo de solo e água não são conduzidos adequadamente, principalmente em regiões semi-áridas, ocorre sempre um aumento na concentração de sais solúveis e/ou sódio trocável no solo, os quais vão afetar a produtividade das culturas, em conseqüência do efeito dos sais e das dificuldades no manejo do solo.

Toda água de irrigação contém sais dissolvidos, principalmente cloretos, bicarbonatos e carbonatos em combinação com sódio, cálcio e magnésio. Estes sais, dependendo das condições, poderão acumular-se no solo e atingir níveis que afetam a capacidade produtiva. O processo de salinização do solo provocado pelo homem exerce um grande impacto do ponto de vista econômico, pois a recuperação de solos salinizados é uma técnica onerosa e demorada.

A adubação mineral contínua, sem a preocupação de avaliar periodicamente o efeito residual dos fertilizantes aplicados, além de contribuir para o aumento da salinidade de solos

irrigados, também pode provocar uma mudança nas características químicas do solo, e, conseqüentemente, no equilíbrio dos nutrientes, acarretando problemas de ordem nutricional das culturas, como conseqüência dos possíveis efeitos antagônicos entre os nutrientes.

Em função da natureza do fertilizante aplicado, o pH do solo pode aumentar ou diminuir, criando, assim, condições para a imobilização de alguns nutrientes e liberação de outros, tendo em vista que a disponibilidade de muitos nutrientes está condicionada à reação do solo.

Serão apresentados e discutidos alguns trabalhos sobre a avaliação da fertilidade do solo em perímetros irrigados do Nordeste. Embora a metodologia não seja padronizada, é possível observar algumas características comuns entre os diferentes perímetros.

Perímetro Irrigado de Bebedouro – Petrolina-PE

Pereira & Siqueira (1979) compararam as características químicas de um Oxissolo (Latossolo) em uma área de 130 ha do Projeto de Irrigação de Bebedouro, antes e depois de sete anos de cultivo intensivo sob irrigação por infiltração. As culturas desenvolvidas foram: tomate, melão, melancia, sorgo, milho, cebola e feijão. A aplicação de fertilizantes era feita a cada ciclo de cultura sem que fosse observado o residual resultante das aplicações anteriores. Os fertilizantes usados eram sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio. Para cada ciclo da cultura eram aplicados 90, 90 e 50 kg/ha de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. A amostragem de solo foi realizada nas camadas de 0-30, 30-60 e 60-90 cm profundidade. Os dados obtidos mostraram que o pH do solo não se alterou, apesar da utilização de fertilizantes acidificantes, como o sulfato de amônio. A condutividade elétrica aumentou em torno de quatro vezes em relação ao valor original, de forma uniforme em todo o perfil, devido ao uso de fertilizantes e ao manejo de irrigação. Os teores de cálcio e magnésio trocáveis também aumentaram em todo o perfil. Houve redução do teor de sódio na primeira camada, decrescendo com a profundidade. Com relação ao potássio, ocorreu um nítido incremento desse elemento na camada de 0-30 cm, decrescendo, entretanto, com a profundidade. O fósforo disponível aumentou em torno de 10 vezes na camada de 0-30 cm, decrescendo abruptamente nas camadas inferiores (Figuras 1 e 2).

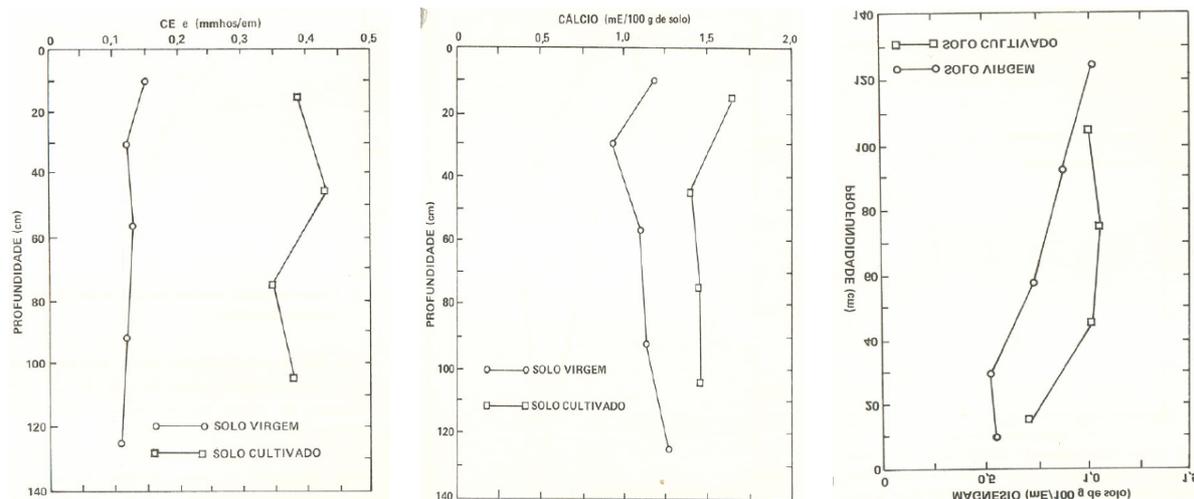


Figura 1. Valores de pH, concentrações de cálcio e magnésio no solo virgem e após sete anos de cultivo. Perímetro Irrigado de Bebedouro (Pereira & Siqueira, 1979).

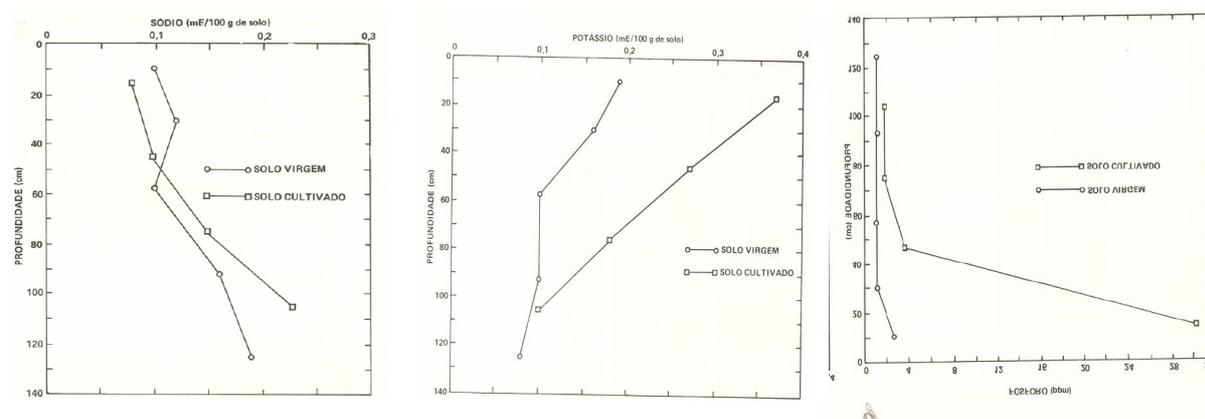


Figura 2. Concentrações de sódio, potássio e fósforo no solo virgem e após sete anos de cultivo. Perímetro Irrigado de Bebedouro (Pereira & Siqueira, 1979).

Faria et al. (1982) realizaram uma avaliação da fertilidade do solo em uma área mais ampla, de 1.100 ha, também do Projeto de Irrigação de Bebedouro, depois de 13 anos de exploração agrícola. Os solos foram classificados como Latossólicos (Pereira & Souza, 1967) e apresentam como característica marcante textura arenosa na camada superficial e presença de seixos e concreções ferruginosas em camadas mais profundas. As amostras de solo foram coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade. Os valores de pH continuavam praticamente inalterados (Quadro 1). Houve um pequeno incremento nos teores de Ca, Mg e K, de 90, 36 e 41%, respectivamente, sendo que os dois primeiros continuam abaixo dos valores desejados. O aumento nos teores de potássio era esperado, devido ao tempo em que esses solos receberam adubação potássica. Os teores de sódio diminuíram em relação ao solo virgem. Os maiores incrementos foram observados em relação ao fósforo e a condutividade

elétrica, demonstrando o efeito das aplicações contínuas de fertilizantes que apresentavam alto índice salino sem que fosse considerado o efeito residual da adubação, os baixos teores de cálcio, magnésio e matéria orgânica do solo, que permitem o acúmulo de fósforo e potássio em níveis elevados, causando desequilíbrios nutricionais e prejuízos de ordem econômica e o manejo de água deficiente, com irrigação por infiltração e ausência de drenagem. Os dados obtidos apresentam o mesmo comportamento daqueles apresentados por Pereira & Siqueira (1979).

Quadro 1. Determinações analíticas do solo do Projeto Bebedouro, virgem e após 13 anos de cultivo (Faria et al., 1982).

Determinações	Solo virgem ¹	Solo após 13 anos de cultivo	Variações(%)
pH em H ₂ O	6,40	6,00	- 6
Al ⁺⁺⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	-	0,8	-
Ca ⁺⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	9,3	17,7	+ 90
Mg ⁺⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	5,0	6,8	+ 36
Na ⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	1,4	0,5	- 64
K ⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	1,7	2,4	+ 41
CTC (mmol _c kg ⁻¹)	28,5	36,4	+ 27
P (mg dm ⁻³)	2,6	22,4	+ 761
C.E. (dS m ⁻¹)	0,14	0,95	+ 578

¹ Extraído de Pereira & Souza (1967)

Perímetro Irrigado de Mandacaru – Juazeiro-BA

Em uma área da Estação Experimental da Embrapa Semi-Árido localizada no Projeto de Irrigação de Mandacaru, foram avaliadas as alterações das características químicas de um Vertissolo cultivado com videira a 17 anos, sob irrigação por infiltração (Pereira & Cordeiro, 1987). O solo dessa área é argiloso (62% de argila), e como consequência da predominância de montmorilonita na fração argila, tem a CTC elevada (246 mmol_c kg⁻¹ na camada superficial), sendo o cálcio o elemento predominante (90% da CTC). Na camada superficial foi verificada baixa condutividade elétrica e pH em torno de 8,0. Verificou-se que os valores de pH do solo na área de videira foram mais baixos que de uma área virgem contígua a cultura (Figura 3 e 4). Os fertilizantes nitrogenados, usados na dosagem de 90 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na forma de uréia e sulfato de amônio, possivelmente contribuíram para esta redução. Com relação ao teor de sais, verificou-se que a condutividade elétrica não sofreu grandes variações, apresentando alternância de valores em relação à profundidade. Isto demonstra que após 17 anos de manejo intensivo, sob condições de irrigação e na ausência de um sistema de

drenagem que permitisse o fluxo de sais para fora da área, não houve incremento da concentração de sais solúveis no solo. As características químicas da água de irrigação são apresentadas na Quadro 2. Neste período foram adicionados ao solo aproximadamente $200.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de água, que, de acordo com a equação: $\text{ppm de sal} = \text{CE} \times 640$ (Richard, 1954), adicionou-se ao solo cerca de 10 t ha^{-1} de sais, quantidade suficiente para que a CEE do perfil de solo alcançasse $1,7 \text{ dS m}^{-1}$, sem considerar o efeito salino residual dos fertilizantes usados anualmente. Os teores de cálcio e magnésio trocáveis também variaram muito pouco, devido a natureza do solo, que tem de 2 a 5% de carbonatos livres, e da precipitação de íons cálcio e magnésio adicionados ao solo através da água de irrigação. Os teores de sódio também não aumentaram devido à lixiviação dos sais para camadas mais profundas do solo. Os teores de potássio trocável aumentaram em 34-40 % em relação ao solo da área virgem, na camada de 0-30 cm de profundidade, devido ao emprego de fertilizante potássico e da água de irrigação, que juntos agregaram $65 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O . O aumento no teor de potássio não foi maior, devido a provável fixação por minerais de ilita presentes nas argilas deste solo, ou até mesmo a lixiviação deste elemento pela água de irrigação. Os teores de fósforo disponível aumentaram dez vezes na camada superficial do solo em relação ao solo não cultivado. Os teores de N total aumentaram em 40% em relação ao solo virgem na camada superficial do solo, com predominância de N na forma nítrica. Os teores de nitrato foram cinco vezes maiores no solo cultivado com videira na camada de 0-15 cm de profundidade. Não houve alteração nos teores de matéria orgânica.

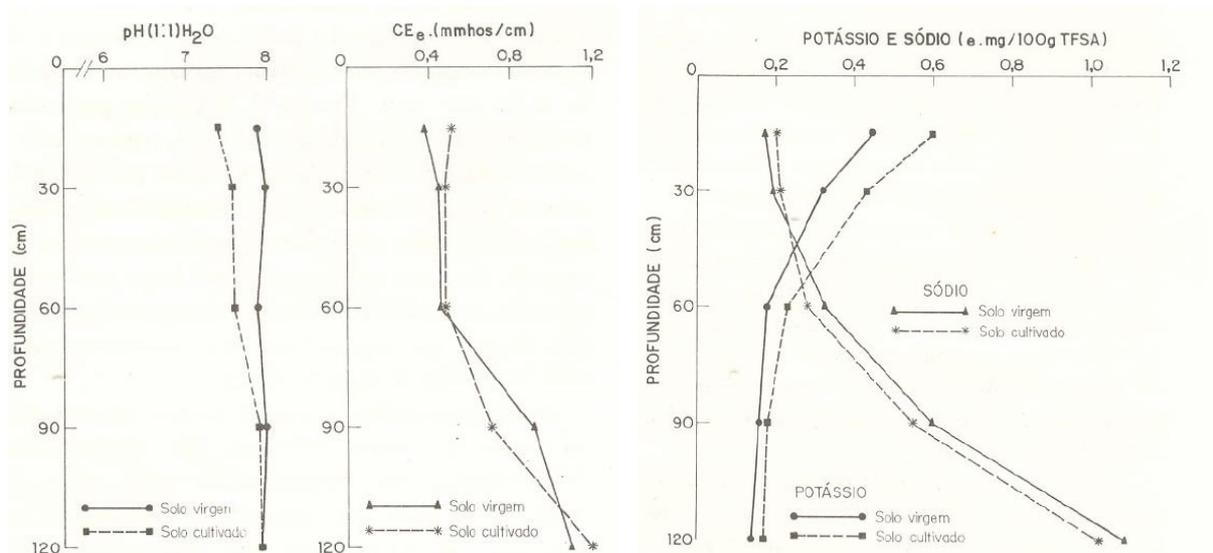


Figura 3. Valores de pH, CEE, concentrações de potássio e sódio nos solos virgem e cultivado. Perímetro Irrigado de Mandacaru (Pereira & Cordeiro, 1987).

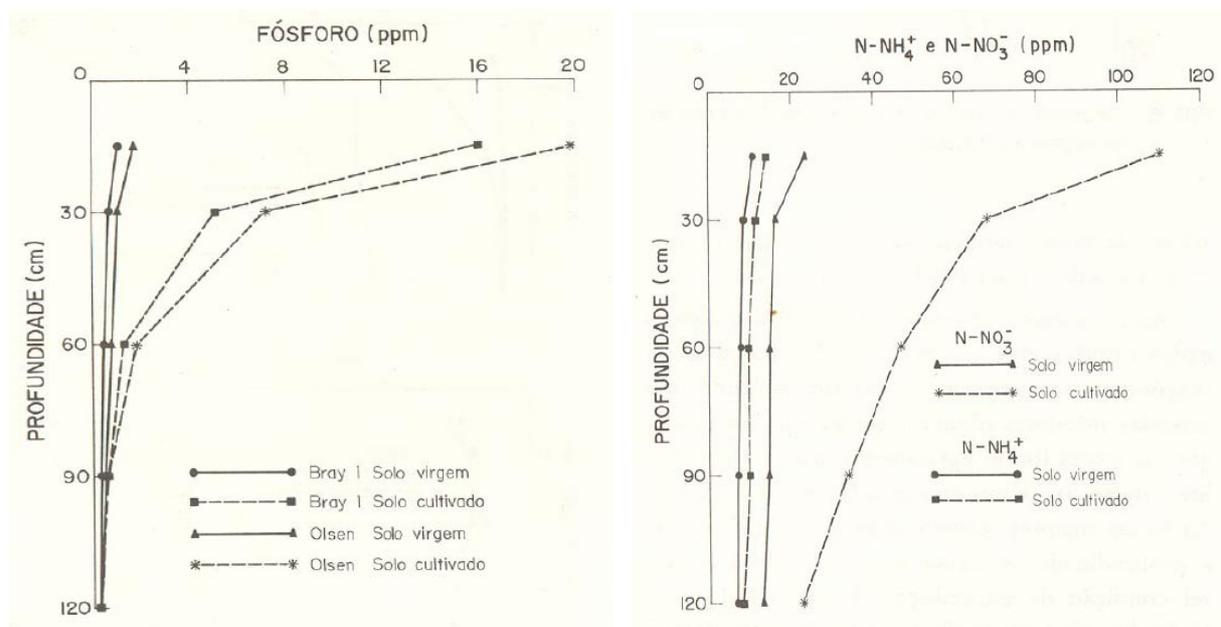


Figura 4. Concentrações de fósforo, $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$ nos solos virgem e cultivado. Perímetro Irrigado de Mandacaru (Pereira & Cordeiro, 1987).

Quadro 2. Características químicas da água do Rio Francisco em Juazeiro-BA (média de 12 meses). (Pereira & Cordeiro, 1987).

pH	CE	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^{2-}	RAS
	$dS m^{-1}$	----- $mmol L^{-1}$ -----							
7,3	0,078	0,38	0,20	0,10	0,06	0,14	0,18	0,54	0,13

Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho – Petrolina-PE

As condições de fertilidade do solo de 610 lotes do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, Núcleos 01, 02, 03, 04, e 05, compreendendo uma área de 4.113 ha, foi avaliada pela AP-AGROPECUÁRIA S/C (1988). O levantamento detalhado de solos encontrou 45 unidades de mapeamento, distribuídas em quatro classes: Latossolos, Argissolos (Podzólicos), Planossolos e Neossolos Quartzarênicos (Areias Quartzosas). A maior parte dos solos é profunda (89%), não apresentando ou apresentando moderadas restrições para irrigação. Os solos são todos de textura arenosa e apresentavam baixos índices de fertilidade natural, em relação à CTC, fósforo, nitrogênio e matéria orgânica. Os solos não necessitaram de corretivos para acidez. A calagem foi realizada visando exclusivamente a elevação dos teores de cálcio e magnésio. Os solos foram cultivados por quatro anos com tomate, cebola, melancia e feijão, além de milho, pimentão, abóbora, melão e algodão em menor escala. Eram realizados dois cultivos por ano. A irrigação foi realizada por aspersão. Na área em exploração, em decorrência da calagem e adição de fertilizantes, constatou-se que apesar do

pouco tempo de exploração ocorreram alterações significativas nas características químicas da camada 0-20 cm, como pH, cálcio, magnésio, potássio e fósforo e, conseqüentemente, no índice de saturação de bases (Quadro 3). Na camada de 20-40 cm as alterações foram pequenas. Houve um aumento considerável nas concentrações de fósforo e potássio na camada de 0-20 cm. No caso do potássio, 50% da área apresentava teores acima de $2,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, situação na qual as plantas não mais respondem a adubação potássica, a não ser as mais exigentes. Os teores de matéria orgânica eram baixos, por não ter havido por parte dos produtores, preocupação em aumentar ou mesmo manter o teor de matéria orgânica do solo. O manejo de irrigação inadequado provocou, em algumas áreas, a elevação do lençol freático do solo. Contudo, não foi verificado nenhum indício do processo de salinização nos solos estudados. A condutividade elétrica do extrato de saturação e o sódio trocável praticamente não se alteraram com o manejo do solo, apesar dos sais contidos nos fertilizantes e na água de irrigação.

Quadro 3. Valores médios dos parâmetros de fertilidade do solo dos lotes dos Núcleos 1, 2, 3, 4 e 5, em duas profundidades. Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, Petrolina-PE, 1988. (AP-AGROPECUÁRIA S/C, 1988).

Parâmetros			Núcleo 1		Núcleo 2		Núcleo 3		Núcleo 4		Núcleo 5	
			-----Profundidade (cm)-----									
			0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
pH	H ₂ O	(1:2,5)	6,3	5,6	6,3	5,3	6,5	5,7	6,0	5,6	6,4	5,7
CE		dS m ⁻¹	0,57	0,52	0,47	0,44	0,47	0,51	0,35	0,35	0,34	0,33
Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺		mmol _c dm ⁻³	25,7	19,0	24,0	15,0	28,3	19,2	27,0	19,0	22,0	14,0
K ⁺		mmol _c dm ⁻³	2,6	1,9	2,5	1,5	2,9	2,1	2,2	1,7	2,0	1,4
Na ⁺		mmol _c dm ⁻³	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Al ⁺⁺⁺		mmol _c dm ⁻³	0,5	1,7	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,1	0,5	1,4
H ⁺ + Al ⁺⁺⁺		mmol _c dm ⁻³	7,5	11,0	8,1	10,5	7,9	12,2	7,9	11,2	7,8	10,0
S		mmol _c dm ⁻³	27,8	21,2	31,4	21,6	31,4	21,6	29,4	20,9	24,2	15,6
T		mmol _c dm ⁻³	35,1	32,2	39,3	33,8	39,3	33,8	37,3	32,1	32,0	55,6
V		%	79	66	77	61	80	64	76	65	76	60
P		mg dm ⁻³	17,7	6,3	12,9	5,4	20,5	5,9	17,6	5,7	17,1	4,9
M.O.		g kg ⁻¹	8,8	6,2	7,8	5,1	10,8	6,0	8,2	5,1	7,6	4,3

Perímetros Irrigados do Submédio São Francisco

Faria & Silva (2005) avaliando as alterações em características de solos do Submédio São Francisco, cultivados por períodos que variam de 4 a 20 anos, sob diferentes sistemas de irrigação, observaram que o cultivo de hortaliças (tomate industrial, cebola, melão e melancia)

contribuiu para reduzir os teores de matéria orgânica dos solos, enquanto o de fruteiras (bananeira, videira e mangueira), sabiá e cana-de-açúcar para aumentá-los. De um modo geral, a capacidade de troca catiônica do solo aumentou em todos os cultivos. As principais alterações nestas características ocorreram nas duas primeiras camadas do solo, ou seja, até a profundidade de 20 cm (Quadro 4).

Quadro 4. Capacidade de troca catiônica (CTC) e matéria orgânica (M.O.) em três profundidades do solo em diferentes locais do Vale do Submédio São Francisco com diversos cultivos (Faria & Silva, 2005).

Local ¹	Cultivo	CTC			Matéria Orgânica		
		0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
		----- mmol _c dm ⁻³ -----			----- g kg ⁻¹ -----		
C.E.B.	Solo virgem	32,7	36,4	38,5	10,66	6,31	4,09
	Hortaliças	37,5	36,5	37,6	7,50	6,41	4,97
	Banana	52,3	47,1	39,0	12,10	10,41	5,50
	Uva	51,1	37,9	39,5	13,04	7,86	6,16
	Sabiá	124,7	66,6	35,3	34,44	11,79	4,45
C.E.M.	Solo virgem	226,3	196,8	199,9	27,51	22,96	10,30
	Hortaliças	334,8	333,2	330,2	11,43	10,14	7,50
	Manga	334,9	332,5	344,9	37,71	27,62	10,50
	Banana	306,8	310,4	312,0	38,79	27,30	9,21
Vale das Uvas	Solo virgem	43,6	42,5	37,9	7,86	3,62	3,00
	Uva	43,9	33,1	38,3	7,97	3,21	2,53
	Uva orgânica	49,8	33,2	29,4	10,14	5,11	3,47
FRUTEX	Solo virgem	27,6	19,5	20,2	7,76	4,14	3,72
	Manga	34,5	25,6	22,8	10,45	5,12	4,07
	Manga - rua	31,7	23,4	23,1	9,41	4,60	3,67
AGROVALE	Solo virgem	388,6	404,6	413,6	26,27	25,45	23,79
	Cana-de-açúcar	466,0	528,0	513,0	61,30	31,10	24,80

¹C.E.B.: Campo Experimental de Bebedouro; C.E.M.: Campo Experimental de Mandacaru

Perímetro Irrigado Itans/Sabugi – Caicó-RN

O Perímetro Irrigado Itans em Caicó-RN, criado desde os anos 70, tem a sua cobertura pedológica composta, predominantemente, de Neossolos flúvicos eutróficos (antigos solos Aluviais). Tem uma área total de 236 ha, sendo 46% irrigada predominantemente por sulcos. Gomes et al. (1994) avaliaram o nível de alteração na fertilidade dos solos irrigados. Observou-se um incremento nos valores de pH, condutividade elétrica e PST, caracterizando o avanço da salinidade e redução da fertilidade natural dos solos (Quadro 5). A salinidade mostrou-se mais evidente nos primeiros 10 cm de profundidade. As áreas afetadas por sais representaram 62,8% e 40,8% nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Há predomínio dos solos salino-sódicos e sódicos. A qualidade da água de irrigação, proveniente

do açude Itans, classificava-se como C2S1 em outubro de 1984 e C3S1 em outubro de 1993, data da última coleta, evidenciando o aumento na concentração de sais. Embora não tenham sido apresentados os dados de CTC e M.O. os solos são de alta fertilidade natural com elevadores teores de cátions trocáveis, inclusive sódio, que associados a irrigação com água de baixa qualidade, contribuem para aumentar o risco de salinização.

Quadro 5. Características químicas dos solos aluviais dos lotes irrigados do perímetro de Itans, em Caicó- RN em duas profundidades de amostragem (Gomes et al., 1994).

Lote	Prof. cm	pH	CE ⁽¹⁾	CE ⁽²⁾	PST	P
		H ₂ O 1:2,5	-----dS m ⁻¹ -----		%	mg kg ⁻¹
1	0-10	7,4	0,34	3,0	13,6	126
	10-20	7,6	0,39	3,5	22,7	140
2	0-10	7,3	1,66	17,2	30,5	98
	10-20	7,6	0,40	3,6	26,0	90
3	0-10	7,3	0,36	3,2	17,9	78
	10-20	7,5	0,15	0,9	16,0	65
4	0-20	7,6	3,05	32,1	25,5	91
	10-20	7,6	1,13	11,5	26,0	79
5	0-10	7,4	0,24	1,9	7,1	87
	10-20	7,5	0,15	0,9	6,0	78
6	0-10	7,7	0,53	5,0	24,2	115
	10-20	7,6	0,22	1,6	14,7	121
7	0-10	7,6	1,59	16,4	33,6	31
	10-20	7,6	0,64	6,2	25,8	42

⁽¹⁾extrato 1:5; ⁽²⁾estimada, à partir do extrator 1:5

Perímetro Irrigado do Brumado - Livramento do Brumado-BA

Melo Filho (1998) realizaram a avaliação da fertilidade do solo do Perímetro Irrigado do Brumado, com 2.800 ha de terras irrigáveis, distribuídas em três classes de solos: Latossolo Vermelho-Escuro (LE), Latossolo Amarelo (LA) e Neossolo Quartzarênico (Areia Quartzosa - AQ). Foram coletadas 84 amostras de solo em pontos não trabalhados anteriormente, na profundidade de 0-30 cm. Os resultados indicaram que os teores de matéria orgânica e fósforo eram muito baixos, sendo esta a limitação mais crítica, do ponto de vista de fertilidade do solo (Quadro 6). O potencial de perdas de nutrientes por lixiviação é marcante nas áreas de baixa CTC e de textura arenosa. No LA 94% das amostras apresentaram CTC baixa, requerendo o parcelamento da adubação potássica, associado ao manejo de restos de cultura e adubação verde para aumentar o teor de matéria orgânica e consequentemente reduzir este potencial de perdas.

Quadro 6. Resultados das análises de solo das áreas de Latossolo Vermelho-Escuro (LE), Latossolo Amarelo (LA) e Neossolo Quartzarênico (AQ) do Perímetro Irrigado do Brumado. Livramento do Brumado-BA (Melo Filho, 1998).

Solo	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	S	CTC	V%	MO	
		mg dm ⁻³	-----mmolc kg ⁻¹ -----									g kg ⁻¹
LE	6,5	7	3,0	44	10	0	12	57,0	69,0	83	5	
LA	5,9	3	1,9	19	7	2	14	27,9	41,9	66	7	
AQ	6,1	7	1,0	37	13	0	18	51,0	69,0	74	9	

Perímetro Irrigado de Morada Nova - Morada Nova-CE

A fertilidade natural dos solos do Projeto de Irrigação Morada Nova foi avaliada nos setores que ainda não haviam sido implantados, com o objetivo de estabelecer um programa racional e adequado de adubação para as diversas culturas (SUDEC, 1977). Foram coletadas 2.600 amostras na profundidade de 0-20 cm. As amostras foram agrupadas levando-se em consideração apenas a textura superficial, de acordo com a legenda estabelecida no Levantamento Detalhado de Solos, em unidades que vão de A a D, de textura arenosa a argilosa, respectivamente. Os teores de fósforo e potássio foram classificados como médio a alto, indicando que nestes solos não havia necessidade de fornecimento destes nutrientes (Quadro 7). Em alguns solos da Unidade D poderia ser realizada adubação de manutenção com fósforo em cultivos posteriores. Os teores de cálcio e magnésio também variaram de médio a alto e estão relacionados com a textura do solo, sendo mais elevados nos solos da unidade D, que são mais argilosos. Os solos não apresentaram acidez trocável. O pH da grande maioria dos solos também se encontrava na faixa de ótima disponibilidade de nutrientes (6,0-6,5), não havendo necessidade de correção. Os teores de sódio eram muitos elevados, principalmente nos solos mais argilosos, mas não existem informações sobre a condutividade elétrica nem sobre a CTC que permitam avaliar qual era o grau de saturação de sódio no complexo sortivo. De maneira generalizada, os solos apresentaram um nível de fertilidade elevada, não requerendo fertilização, nem correção da acidez. Os teores de sódio e a condutividade elétrica devem ser monitorados para evitar problemas de salinidade e sodicidade.

Quadro 7. Resultados analíticos médios das amostras para fins de fertilidade, por Unidade de Solo – Projeto de Irrigação Morada Nova, Morada Nova-CE (SUDEC, 1977).

Unidade de Solo	pH	Fósforo mg dm ⁻³	Potássio	Sódio	Ca + Mg	Alumínio
			-----mmol _c dm ⁻³ -----			
Mancha MN 1						
A	6,45	44,83	4,9	2,0	130,7	0,00
B	6,57	39,83	6,0	5,7	160,0	0,00
C	6,17	37,83	6,7	5,5	182,8	0,00
D	6,02	34,33	5,8	8,6	234,5	0,00
Mancha U'						
A	6,80	24,00	6,1	1,8	64,0	0,00
B	6,60	58,00	6,2	3,7	117,0	0,00
C	6,50	46,00	6,7	6,0	162,0	0,00
D	6,30	11,00	5,3	10,2	191,0	0,00
Mancha U''						
A	6,60	45,00	4,1	2,7	120,7	0,00
B	6,60	44,67	4,9	2,5	133,7	0,00
C	6,50	33,67	5,4	5,6	196,7	0,00
D	6,40	31,00	4,7	9,0	236,7	0,00

A análise da fertilidade do solo destes perímetros irrigados permite que sejam feitas algumas considerações. Esses perímetros faziam parte das políticas públicas, apoiadas no estatuto da terra, que tinham como objetivo realizar assentamentos rurais em projetos de irrigação no semi-árido do Nordeste. Com tais projetos de colonização visava-se a criação de uma classe média rural através da irrigação de lotes agrícolas com o emprego de agricultura de alto nível de insumos. Dentre os inúmeros problemas que surgiram, merecem ser destacados a poluição e salinização dos solos (Gomes et al., 1994). Assim, podem ser feitas as seguintes considerações:

- A fertilidade dos solos dos perímetros irrigados, de modo geral, aumentou com a adubação, principalmente dos solos de textura arenosa e de baixa fertilidade. Os aportes de Ca, Mg e K contribuíram para aumentar a saturação em bases, tanto nas áreas que exploraram culturas anuais, como as hortaliças, quanto nos cultivos perenes.
- A adubação contínua sem considerar o efeito residual das adubações anteriores, principalmente de fertilizantes contendo fósforo e potássio provocou elevação de seus teores no solo, o que acarretou desequilíbrios nutricionais. No caso do excesso de fósforo os nutrientes mais prejudicados são zinco e ferro. Já o excesso de potássio desequilibra a relação Ca:Mg:K. Estes desequilíbrios se refletiram negativamente na produção.

- A CE do solo aumentou em algumas áreas, devido ao aporte de sais presentes nos fertilizantes e na água de irrigação. Os usos de água de irrigação de má qualidade e de fertilizantes de alto índice salino contribuíram para agravar este problema.
- Nos solos rasos e mal drenados ou que apresentaram camadas de impedimento físico, pode ter ocorrido elevação do lençol freático. Nestes casos, os fertilizantes podem ter contribuído para o aumento da CE, embora isto esteja mais relacionado a um manejo de água deficiente.
- O pH do solo não sofreu grandes alterações, com exceção dos casos em que foi aplicado calcário para a sua correção ou foram usados fertilizantes de reação ácida ou alcalina que podem abaixar ou aumentar o pH do solo. Neste aspecto, fertilizantes nitrogenados como uréia e sulfato de amônio tem um papel importante, pois além de aumentar a disponibilidade de N, podem promover o abaixamento do pH de solos ligeiramente alcalinos. A qualidade da água de irrigação também exerce influência sobre o pH do solo. Dependendo da quantidade e qualidade dos sais contidos na água pode haver elevação do pH, da CEE e também da PST.
- Os teores de matéria orgânica aumentaram nos cultivos perenes, mas foram reduzidos nos cultivos anuais. Esta constatação também foi feita por Tiessen et al. (1992) em condições de cultivo dependente de chuva na região da Chapada do Araripe em Pernambuco-PE. Estes autores observaram que o cultivo de mandioca, algodão e feijão com o uso de fertilização mínima reduziu a concentração de C, N, e P orgânicos em 30% ou em torno de 10 t ha^{-1} de C, após um período de seis anos. Por outro lado, nos cultivos perenes os teores de matéria orgânica aumentaram devido ao aporte de adubos orgânicos, a adição de material vegetal da própria cultura, formando uma cobertura considerável em alguns casos, como a cobertura morta nos cultivos de bananeira e a serrapilheira sob a copa das árvores de sabiá, cuja sombra, ainda diminui a temperatura do solo, retardando o processo de decomposição e mineralização da matéria orgânica (Faria & Silva, 2005).
- As alterações mais evidentes nas características químicas do solo ocorreram na primeira camada, de 0 a 10 cm de profundidade, em todos os perímetros estudados.

3. Distribuição do sistema radicular das culturas em sistemas irrigados e a disponibilidade de nutrientes

Em agricultura irrigada, a distribuição das raízes das plantas no solo é fortemente influenciada pelo método e manejo de irrigação, que por sua vez afetam a área explorada pelo sistema radicular e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes. Não obstante o geotropismo do crescimento radicular, o hidrotropismo também atua, permitindo a detecção de água e o crescimento das raízes em direção a regiões do solo com maior disponibilidade hídrica e também de nutrientes (Robinson, 1996; Young, 1998).

Alguns trabalhos foram realizados com o objetivo de avaliar a distribuição radicular das plantas cultivadas em condições irrigadas e também dependentes de chuva, e estabelecer a sua influência na absorção de água e nutrientes pelas raízes. A absorção de água e nutrientes pelas plantas é dependente das raízes finas, que constituem a maior parte da extensão total de qualquer sistema radicular. Em milho, as raízes laterais finas são responsáveis por cerca de 90% do total de água absorvido (Doussant et al., 1988).

Mangueiras adultas cultivadas em solo de textura arenosa, plantadas no espaçamento 10 x 10 m e irrigadas por aspersão sobcopa, requerem a aplicação de água (área efetivamente molhada) e de fertilizantes na faixa de solo com maior concentração de raízes de absorção (com diâmetro menor do que 2 mm), que está compreendida entre 0,90 e 2,60 m em relação ao caule (Choudhury & Soares, 1992). Em uma outra situação, na qual as mangueiras foram plantas no espaçamento 10 x 8 m e irrigadas por sulcos de infiltração, os fertilizantes deverão ser aplicados tanto ao longo dos dois sulcos de irrigação situados em ambos os lados da fileira de plantas, no trecho compreendido entre 0 e 2 m em relação à planta, assim como, nos segmentos de sulcos transversais que interligam estes sulcos (Soares & Nascimento, 1997).

Videiras da variedade Superior, cultivadas em solo de textura arenosa, sobre diferentes porta-enxertos e irrigadas por microaspersão apresentaram 90% das raízes distribuídas a 60 cm de profundidade e até 1,10 m de distância do tronco (Basso et al., 2002). Videiras da variedade Italia, enxertadas sobre IAC 313, irrigadas por microaspersão tiveram a maior parte de suas raízes distribuídas de 0,8 a 1,0 m de distância do tronco enquanto as irrigadas por gotejamento apresentaram maior distribuição (0,2 a 0,6 m do tronco), ou seja, mais próximo dos emissores. Com relação à profundidade, matéria seca, densidade de comprimento e área de raízes foram maiores nas camadas de solo até 0,6 m de profundidade em ambos os sistemas de irrigação, mas as videiras irrigadas por microaspersão apresentaram uma maior presença de raízes com o aumento da profundidade (até 1,0 m). Em todas as situações, as raízes com diâmetro menor do que 2 mm representaram 80 % do comprimento total de raízes (Basso et

al., 2003). Quando cultivadas em solo de textura argilosa, tanto irrigadas por microaspersão quanto por gotejamento, as raízes de videira da variedade Italia apresentaram o mesmo padrão de comportamento que no solo de textura arenosa (Soares & Nascimento, 1998).

Coqueiros anões, em início de desenvolvimento, cultivados em solo de textura arenosa, em uma região com média de precipitação anual de 1.430 mm, apresentaram maior distribuição de raízes entre 0,6 e 1,8 m de distância do tronco; assim, na fase jovem, a zona para distribuição de fertilizantes não deve ultrapassar o raio de 1,5 m, em relação ao tronco dos coqueiros (Cintra et al., 1992). Plantas adultas de coqueiro gigante também cultivadas em solo de textura arenosa, apresentaram 50% das raízes finas localizadas nos primeiros 30 cm do solo e, 65% distribuíram-se lateralmente até 1,8 m de distância do tronco (Cintra et al., 1996). De acordo com este padrão de distribuição, a aplicação de fertilizantes no coqueiro gigante deve ser realizada em um raio semelhante ao do coqueiro anão.

O conhecimento acerca da distribuição do sistema radicular das culturas não é critério suficiente para orientar a distribuição de fertilizantes para as mesmas. A questão levantada por Sousa (1992) com relação ao efeito dos resíduos superficiais e da reduzida movimentação do solo que ocorrem em sistemas de manejo conservacionistas, coloca em evidência o acúmulo superficial de fertilizantes nestes sistemas. No caso do sistema plantio direto recomenda-se determinar a profundidade de amostragem que tenha o índice de disponibilidade de nutrientes similar ao do solo preparado pelo sistema convencional, tendo como suporte a similaridade de resposta das culturas nos dois sistemas (Anghinoni & Salet, 1995; Silveira & Stone, 2002).

Os mecanismos pelos quais os nutrientes alcançam as raízes, fluxo de massa e difusão, estão diretamente relacionados com a disponibilidade de água no solo. Filmes de água mais finos reduzem a quantidade total de água que é transportada para as raízes, reduzindo simultaneamente a quantidade de nutrientes transportados por fluxo de massa. Os nutrientes que devem difundir seguindo gradientes de concentração também têm sua disponibilidade afetada, uma vez que aumenta o fator de tortuosidade e diminui a seção disponível para a difusão. Assim, o transporte de nutrientes é afetado tanto pela disponibilidade do nutriente quanto pelo potencial hídrico do solo, como foi demonstrado por Ruiz et al. (1988) ao avaliar o transporte de fósforo em doses crescentes (0, 60, 120 e 240 mg dm⁻³) sob três potenciais matriciais (-0,01, -0,04 e -0,30 MPa). Estes autores analisaram a concentração de fósforo no exsudato xilemático de plantas de soja, coletado durante uma hora, imediatamente após a decaptação das plantas um centímetro acima do colo. O acúmulo de fósforo no exsudato para os tratamentos de potencial matricial -0,04 e -0,30 MPa, estabiliza-se praticamente a 60 mg dm⁻³ de P, mostrando, acima desse valor, uma resposta pouco acentuada às doses crescentes

de fósforo (Figura 5). Por outro lado, os tratamentos de potencial matricial -0.01 MPa apresentaram um incremento pronunciado do conteúdo de fósforo, tanto em relação aos tratamentos com menor disponibilidade de água quanto em resposta às doses crescentes do nutriente. Isso mostra a importância da água como veículo para difusão de fósforo até as raízes, evidenciando que a aplicação de doses menores de fósforo, com um manejo adequado de água assegura maior disponibilidade de fósforo que a aplicação de grandes quantidades de fósforo, em condições de baixa disponibilidade de água no solo.

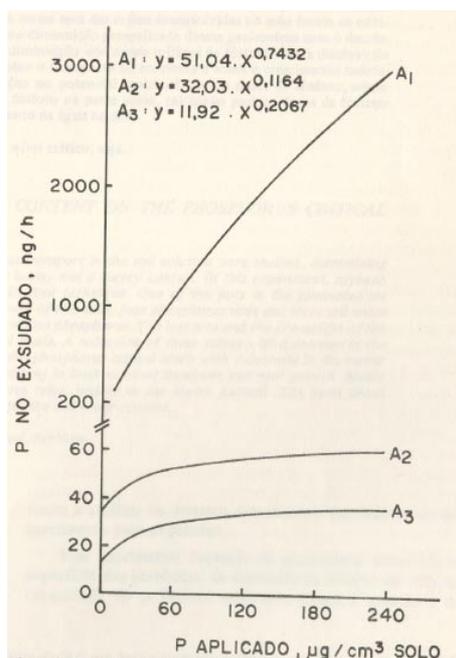


Figura 5. Conteúdo de fósforo no exsudato xilemático de plantas de soja, considerando as doses de fósforo aplicadas em amostras de um Latossolo Vermelho Amarelo e os potenciais matriciais de $-0,01$ MPa (A_1), $-0,04$ MPa (A_2) e $-0,30$ MPa (A_3). (Ruiz et al., 1988).

Portanto, o processo de amostragem de solo em sistemas irrigados assume uma maior complexidade em função do método de irrigação e da forma como os nutrientes são aplicados ao solo. Nutrientes tidos como de baixa mobilidade no solo, como o fósforo, podem apresentar mobilidade considerável em função do método de irrigação e da forma como são aplicados.

A mobilidade do fósforo no solo está relacionada com a textura do mesmo. Solos de textura argilosa possuem maior capacidade de adsorção de fósforo. Não somente a quantidade, mas também o tipo de mineral de argila interfere nesse fenômeno. Além da textura, a frequência de aplicação e a quantidade de água aplicada são variáveis que também afetam o transporte de fósforo no solo. Assim, em solos arenosos irrigados por métodos de

irrigação localizada, como gotejamento, pode ocorrer uma movimentação considerável do fósforo, colocando-o, inclusive, fora da zona de maior concentração de raízes. Faria & Pereira (1993) observaram que o movimento de fósforo em colunas de solo foi maior nos solos de textura arenosa em relação aos de textura argilosa. Soares et al. (1997) também obtiveram movimentação de fósforo para regiões profundas (56,13 mg dm⁻³ de P na camada de 50-80 cm de profundidade), abaixo da zona de maior concentração de raízes de videira, em um Neossolo Quartzarênico (94 % de areia), irrigado por gotejamento, devido a sua aplicação na forma de ácido fosfórico, na frequência de duas vezes ao dia. O aumento na mobilidade deve-se a taxa de aplicação e a pequena área de molhamento, o que satura os sítios de adsorção próximos ao ponto de aplicação.

As formas de fósforo aplicadas ao solo também interferem na sua movimentação. Na adubação convencional, a aplicação de fósforo é bem localizada, na forma de fosfatos solúveis ou parcialmente solúveis como, os superfosfatos e termofosfatos. Já na fertirrigação, o fósforo é aplicado na forma de ácido fosfórico, MAP e DAP e mais recentemente como MKP (PeaK) e fosfato de uréia. Esses fertilizantes apresentam como característica comum alta solubilidade e elevada acidez, principalmente o ácido fosfórico e o fosfato de uréia.

Os trabalhos de calibração e correlação para estabelecimento dos níveis críticos de nutrientes, que são difíceis de serem realizados para fruteiras, por exemplo, adquirem também uma maior complexidade, uma vez que no estabelecimento dos níveis críticos deverão ser considerados a disponibilidade de água e o volume de solo efetivamente explorado pelo sistema radicular das plantas. Assim, é de se esperar que o nível crítico de um nutriente no solo seja menor em condições de manejo de água e nutrientes eficientes, para uma planta irrigada (sistema de irrigação localizada e aplicação de nutrientes via fertirrigação), em comparação com a mesma planta cultivada em condições dependentes de chuva, considerando-se o mesmo nível de produção.

4. A fertirrigação e o fator de retardamento

A utilização do sistema de irrigação como condutor e distribuidor de adubos juntamente com a água de irrigação é conhecida como fertirrigação. Não só adubos são aplicados por meio da água de irrigação, mas também inseticidas, fungicidas, herbicidas, reguladores de crescimento são conduzidos e aplicados e a prática de forma generalizada passou a ser conhecida como quimigação.

Entre as vantagens proporcionadas pela fertirrigação, podem ser destacadas a economia de mão-de-obra para a aplicação de fertilizantes nas grandes áreas de cultivo, maior

eficiência no uso da água e dos nutrientes e a possibilidade de aplicação do nutriente no momento de maior demanda pela planta (Costa et al., 1986).

Hoje, a fertirrigação é empregada em mais de 75% de toda a produção agrícola de Israel e em praticamente 100% da produção irrigada por gotejamento em países como Estados Unidos, Espanha, Holanda, Austrália, Israel e África do Sul. Assim, nos países em que a agricultura irrigada é desenvolvida, a fertirrigação tornou-se uma das principais práticas responsáveis pela obtenção de altas produtividades.

Embora a fertirrigação seja uma técnica bastante difundida e utilizada, as lâminas de aplicação e de deslocamento da solução fértil no perfil são recomendadas empiricamente como $2/4$ e $1/4$ da lâmina de irrigação a ser aplicada, respectivamente, independente do tipo de solo, sistema de irrigação e distribuição do sistema radicular. Essa prática é, na verdade, um deslocamento de fluidos miscíveis (Nielsen & Biggar, 1962, Kirkham & Powers, 1972). Contudo, nesse sistema de manejo a frente de dispersão de nutrientes é deslocada a uma posição no perfil que pode estar na zona de maior absorção, acima ou abaixo desta. Nos dois últimos casos, diminuiria a eficiência de uso dos nutrientes.

Quando uma solução se movimenta no perfil de um solo apresenta diferentes velocidades de avanço, dependendo da sua localização nos espaços inter e intra-agregados, sendo denominada de solução *móvel* e *imóvel*, respectivamente.

O fenômeno em que um fluido contendo um soluto em solução é deslocado no meio poroso pelo mesmo fluido sem o soluto, a exemplo da fertirrigação, é denominado de deslocamento miscível. Durante o deslocamento de um fluido por outro, ocorrem vários processos físicos. No instante $t = 0$, quando esses dois fluidos entram em contato, a interface entre eles é nitidamente definida. No instante t_1 , imediatamente após esse contato, inicia-se a mistura entre os fluidos. Essa mistura é influenciada pela velocidade do escoamento, taxa de difusão do soluto e por outros processos químicos e físicos (Nielsen & Biggar, 1961; Biggar & Nielsen, 1962; Nielsen & Biggar, 1963).

A distância em que a zona de mistura entre os dois fluidos, antes interface nítida, se encontra em relação a superfície de um elemento controle no perfil pode ser estimada. O grau de mistura dos dois fluidos miscíveis pode ser quantificado determinando a relação entre a concentração do soluto no efluente (C), coletado na secção de saída do elemento controle, e concentração desse mesmo soluto na solução deslocadora (C_0). A curva obtida num gráfico confeccionado colocando-se C/C_0 na ordenada e o número de volume de poros (p), passado no elemento controle, na abscissa, é dita curva de eluição. Em geral, a relação C/C_0 é unitária, em materiais não reativos, quando se tem passado um volume de fluido deslocador igual a duas

vezes o número de volume de poros que estão contribuindo para o escoamento no perfil. No solo a adsorção e a difusão dos solutos da solução interagregado (solução móvel) para a intra-agregado (solução imóvel) promove um atraso da velocidade de avanço dos solutos em relação à velocidade de avanço da frente de molhamento, isto é chamado de fator de retardamento, definido por Campos & Elbachá, (1991) e Matos (1995) como a capacidade de retenção ou efeito-tampão do solo para o deslocamento de determinado elemento ou composto existente no solo. Genuchten & Wierenga (1986) consideraram esse fator de retardamento (R) como sendo igual ao número de volume de poros para $C/Co = 0,5$.

Coelho et al. (2000) observaram que o transporte de NH_4^+ aplicado nas formas de sulfato de amônio, nitrato de amônio e cloreto de amônio sofreu um retardamento entre 2,4 e 3,4 vezes o volume de poros de um Latossolo Vermelho distrófico. Isto significa que, na fertirrigação, após a aplicação do NH_4^+ , a irrigação deveria continuar, objetivando transportar o nutriente até a profundidade onde se encontra o maior volume de raízes ativas.

Araújo et al. (2003 a,b) ao estudar a capacidade de dois modelos teóricos, um que considerava o deslocamento de P e K em função apenas do fluxo dispersivo (Modelo 1) e um outro, que considerava o transporte destes em função do coeficiente dispersivo-difusivo (Modelo 2), em colunas de eluição com diferentes classes de agregados, saturadas, observou que o coeficiente dispersivo-difusivo para potássio foi maior que para o fósforo nas maiores classes de agregados. Nas menores classes verificou-se o contrário, indicando que o fósforo se moveria mais facilmente que o potássio, nessas colunas de agregados, nas condições estudadas. O modelo que considera apenas o fluxo dispersivo apresentou melhor predição do transporte do fósforo e do potássio, em todas as classes de agregados. As curvas teóricas descreveram melhor o transporte do potássio que o do fósforo, pelo fato daquele elemento sofrer menor interação com a superfície reativa dos agregados. As curvas de eluição para fósforo, estimadas pelo modelo 1, de melhor predição, apresentadas na Figura 6, mostram um deslocamento para a direita, para $p < 4,5$, com a redução do tamanho dos agregados. Isso indica que os agregados maiores retiveram menos fósforo que os menores durante o deslocamento. Isso, possivelmente, deve-se ao fato de os agregados de menor tamanho apresentarem maior exposição de superfície adsorvedora externa do que os maiores. Nesse caso, a magnitude do desvio para direita representa a adsorção do fósforo na superfície dos agregados, e está relacionada ao tamanho dos agregados e à sua reatividade (Biggar & Nielsen, 1962). Este desvio pode expressar a magnitude do fator de retardamento.

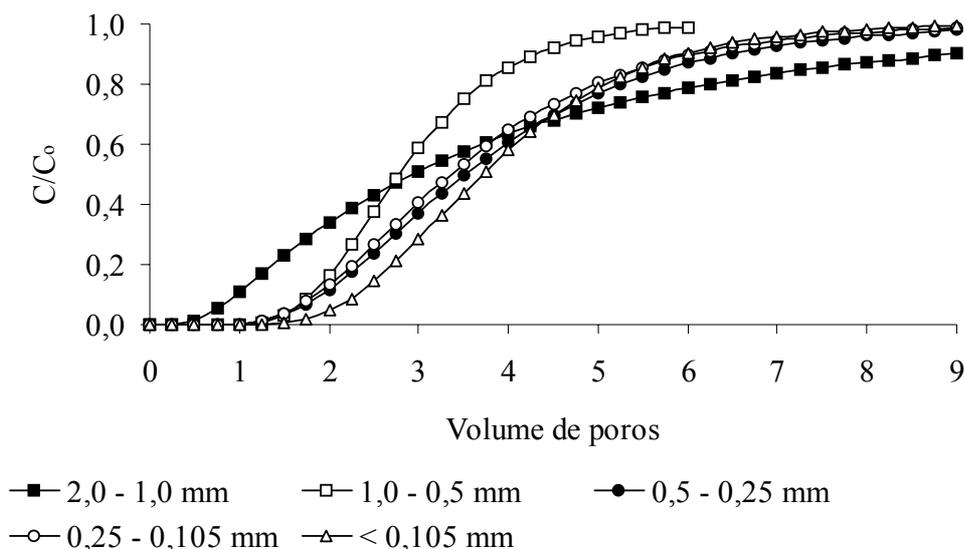


Figura 6. Curvas de eluição para fósforo calculadas pelo modelo 1, considerando as classes de agregados (Araújo et al., 2003a).

Em estudo realizado com cinco solos (um Neossolo Quartzarênico órtico - RQo; três Latossolos Vermelhos distróficos - LVd1, LVd2 e LVd3; e um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico - LVAd) que receberam aplicações de soluções de 15 e 60 mg L⁻¹ de P, na forma de fosfato (H₂PO₄⁻), de 75 e 300 mg L⁻¹ de K, e de 15 e 60 mg L⁻¹ de N-amônio, o fator de retardamento (R) dependeu da concentração dos solutos. No caso do fósforo, a menor concentração resultou em maiores valores de R para os cinco solos estudados. Nos Latossolos, os maiores valores de R para potássio e amônio aumentaram com a fração argila, porém sem tendência definida quanto à concentração do íon em estudo ou do íon acompanhante (Oliveira et al., 2004).

O fator de retardamento para fósforo sob condição de insaturação de um Latossolo Vermelho-Amarelo, determinado por Araújo et al. (2005), variou de 2,28 a 3,04 volume de poros, com média de 2,66 (Quadro 8), indicando que, para se localizar a solução nutritiva na zona de maior concentração de raízes ativas, deve-se aplicar um volume de água, como lâmina de deslocamento, igual a 2,66 vezes o volume de poros da parte do perfil do solo com baixa concentração radicular. Feito isto, este volume de solo apresentaria metade da concentração de fósforo da solução nutritiva.

Quadro 8. Modelos de regressão ajustados, coeficientes de determinação (R^2) e fator de retardamento para fósforo em um solo cultivado com videiras irrigadas por microaspersão (Araújo et al., 2005).

Regressão	R^2	Fator de Retardamento
$\hat{y} = 0,1382 - 0,0382VP + 0,0516VP^2$	0,8037	3,04
$\hat{y} = 0,4253 + 0,4907VP - 0,0374VP^2$	0,9507	2,28
Média		2,66

Assim, a determinação do fator de retardamento para nutrientes como, fósforo e potássio, representa um avanço na fertirrigação, uma vez que contribui para o manejo de água, de maneira que se desloquem os íons aplicados até a zona com maior concentração de raízes ativas, otimizando a eficiência de utilização dos fertilizantes, uma das vantagens da fertirrigação.

5. Adubação em solos afetados por sais

Problemas de estresse salino são comuns em regiões áridas e semi-áridas, onde a demanda evapotranspirativa anual é maior que a precipitação. Sob essa condição o problema é maximizado se combinado à presença de lençol freático elevado, que permita a ascensão de água, com alta concentração salina, para a zona radicular, fenômeno frequente em áreas irrigadas desprovidas de sistema de drenagem e com drenagem deficiente.

Uma característica da maior parte das áreas áridas e semi-áridas é a presença de minerais primários nos solos. Estes são fontes de nutrientes para as plantas, mas também são fontes de sais. Os minerais primários e secundários, sob intemperismo constante, liberam vários íons salinos na solução do solo: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- . Estes podem se acumular no perfil do solo e, ou, serem lixiviados e transportados para reservatórios de águas superficiais e, ou, subterrâneos, onde se acumulam. Os oceanos constituem-se no maior reservatório para acúmulo dos sais.

A presença de sais, em quantidade elevada, na solução do solo, afeta o rendimento das culturas. Isso decorre de alterações físicas, químicas e físico-químicas que os íons salinos promovem nos solos. As alterações mais comuns são: aumento da pressão osmótica da solução do solo e a redução da infiltração da água no solo. As plantas cultivadas sob essas condições terão limitação de água disponível além dos efeitos tóxicos de íons específicos e desequilíbrio nutricional em função do acúmulo de íons salinos. A atividade agrícola em áreas

salinizadas apenas seria viável manejando o sistema solo-água-planta de maneira a minimizar os estresses desencadeados pelo excesso de sais no solo.

Serão discutidos apenas aspectos relacionados a adubação em solos afetados por sais, uma pequena parte deste sistema solo-água-planta, procurando contribuir para a elucidação de alguns questionamentos sobre a exploração de solos salinizados.

Os solos salinizados apresentam alterações de suas propriedades físico-químicas, principalmente de pH, condutividade elétrica e percentagem de sódio trocável. Essas propriedades são usadas para classificar os solos salinizados. No Quadro 9 são apresentados a classificação dos solos afetados por sais e os problemas característicos de cada tipo de solo.

Quadro 9. Classificação dos solos afetados por sais segundo Salinity Laboratory (1954) e seus problemas característicos

Solo	CE dS/m	pH	PST (%)	Problema característico
Salino	>4	<8,5	<15	Redução de água disponível devido o efeito osmótico dos íons.
Salino-Sódico	>4	<8,5	>15	Redução da água disponível devido ao efeito osmótico e a menor infiltração. Problema de toxidez de Na ⁺ e Cl ⁻ .
Sódico ou Alcalino	<4	>8,5	>15	Redução da infiltração de água e toxidez de Na ⁺ e Cl ⁻ .

Mecanismos de resposta das plantas à salinidade

As plantas respondem diferentemente a salinidade por apresentarem mecanismos fisiológicos capazes de permitir que elas resistam os estresses causados pelo excesso de sais. De modo geral, as plantas respondem a salinidade do meio de duas formas:

- a) Absorvendo os íons salinos e translocando-os para a parte aérea. Essas serão chamadas de inclusoras;
- b) Excluindo os sais das raízes, e, ou, da parte aérea. Nesse caso, a planta apresenta mecanismo para não absorver excesso de íons salinos pelas raízes, e, ou, se absorvê-los, apresenta mecanismo para evitar que estes cheguem as folhas (sítios fotossintéticos). Essas serão chamadas de exclusoras.

As plantas inclusoras serão tolerantes quando seus tecidos toleram aos íons. Para isso, a planta realiza a compartimentarização dos sais nos vacúolos, promovendo o seu ajuste osmótico e controlando a relação K⁺/Na⁺ nas células. Outros meios para essas plantas serem tolerantes são: a translocação dos íons pelo floema, até as raízes, e sua extrusão para a solução externa; aumento do teor de água nos tecidos para diluir os sais; promoção da excreção dos

íons; e eliminação dos íons salinos por meio de queda de folhas.

As plantas inclusoras não serão tolerantes se não resistirem à toxicidade do cloreto e do sódio e ao desbalanceamento intracelular de potássio e de cálcio provocado pelo excesso de sódio. Estas plantas se adaptarão ao estresse salino se conseguirem evitar o déficit hídrico resultante do efeito osmótico dos sais. Para isso elas promovem a síntese de osmoreguladores orgânicos e, ou, reduzem a área superficial visando concentrar os solutos em um menor volume de suco celular. Caso contrário sofrerão déficit hídrico, com conseqüente redução da expansão celular, da fixação de CO₂ e da síntese de proteínas.

A planta cultivada em solos afetados por sais poderá estar exposta as seguintes condições:

a) Déficit hídrico - quando o solo é salino os sais promovem o aumento da pressão osmótica da solução do solo, conseqüentemente, reduz a disponibilidade de água para as plantas. Nessa condição, para desenvolver atividade econômica, deve-se explorar culturas que apresentem mecanismos de ajuste osmótico interno, quer seja por inclusão dos íons salinizantes, que não devem atingir níveis tóxicos, quer por exclusão destes e síntese de osmorreguladores (Greenway & Munns, 1980). Neste caso pode-se utilizar a adubação como meio para mitigar a deficiência e ou toxicidade de alguns nutrientes, em função da análise solo ou do seu extrato de saturação, de forma que possamos equilibrar a Ca:Mg:Na. Neste caso deve-se fazer a opção por fertilizantes com menor índice salino (Quadro 10). Cada fertilizante tem um poder salinizante, por isso quando se vai aplicar fertilizantes em solos salinos, além da tolerância da cultura, deve-se escolher produtos de menor índice salino.

O agricultor deve ter consciência de que não se consegue aumentar a tolerância das plantas à salinidade aumentando a fertilização acima do ótimo para desenvolvimento da cultura. Porém, se a produção está sendo limitada pela baixa fertilidade e salinidade, a correção de uma ou ambas poderá promover aumento nos rendimentos da cultura.

b) Efeito tóxico de íons específicos e desequilíbrio nutricional - plantas que conseguem fazer o ajuste osmótico com íons específicos podem ter redução de produção devido ao efeito tóxico destes íons. Assim, o manejo da adubação deve focalizar o aumento da disponibilidade de íons desejados com vistas ao equilíbrio nutricional da planta. Nesta situação a adubação foliar com produtos a base de Ca, Mg e K pode reduzir a elevada relação Na/Ca, Mg, K, otimizando o rendimento da cultura.

c) Redução da infiltração de água - A concentração de íons monovalente na solução do solo provoca o aumento da dupla camada difusa e conseqüentemente a dispersão dos colóides

do solo e obstrução de poros, reduzindo a infiltração de água no solo e sua disponibilidade para as plantas.

Quadro 10. Efeito relativo de fertilizantes sobre a solução do solo

Material Fertilizante	Índice de Salinidade	Índice de salinidade por Unidade de Nutriente
Amônia anidra	47,1	0,572
Carbonato de cálcio (calcário)	4,7	0,083
Cloreto de potássio, 50%	109,4	2,189
Cloreto de potássio, 60%	116,3	1,936
Cloreto de potássio, 63 %	114,3	1,812
Cloreto de sódio	153,8	2,899
Dolomita (carbonato de cálcio e magnésio)	0,8	0,042
Fosfato de amônio (11 - 48 %)	26,9	2,442
Monofosfato de amônio	34,2	2,453
Monofosfato de cálcio	15,4	0,274
Nitrato de amônio	104,7	2,990
Nitrato de cálcio	52,5	4,409
Nitrato de potássio	73,6	5,336
Nitrato de sódio	100,0	6,060
Solução nitrogenada, 37%	77,8	2,104
Solução nitrogenada, 40%	70,4	1,724
Sulfato de amônio	69,0	3,253
Sulfato de cálcio (gesso)	8,1	0,247
Sulfato de potássio	46,1	0,853
Sulfato de potássio e magnésio	43,2	1,971
Superfosfato, 16%	7,8	0,487
Superfosfato, 20%	7,8	0,390
Superfosfato, 45%	10,1	0,224
Superfosfato, 48%	10,1	0,210
Uréia	75,4	1,618

Fonte: Adaptado de Rader Jr. et al. (1943) citado por Ayers & Westcot (1999).

Na Figura 7 é mostrada a redução da infiltração de água no solo em função da salinidade (expressa pela CEa) e da relação de adsorção de sódio (RAS). Percebe-se que a infiltração de água no solo é diretamente proporcional à sua salinidade e inversamente proporcional à RAS, isto é, quanto maior a CEa maior a infiltração e quanto menor a CEa, menor a infiltração. Quanto maior a RAS, menor a infiltração, quanto menor a RAS, maior será a infiltração de água no solo.

Atenção deve ser dispensada a Figura 7, pois se observa que há uma faixa de CEa e RAS, que mesmo para valores baixos, a redução da infiltração é severa. Isto indica que mesmo irrigando com água de baixa salinidade e baixa RAS, pode-se ter problemas de infiltração. Deve-se também alertar para o fato de que se lixivamos um solo com água de

CEa muito baixa, podemos retirar excessivamente cátions divalentes do complexo de adsorção e provocar uma dispersão das argilas, com consequente vedação dos poros do solo. Isso é comum em áreas salinas que são lixiviadas naturalmente pela água de chuva. Para evitar este problema, deve-se, antes das primeiras chuvas de inverno, aplicar gesso ou outro produto que forneça cálcio ao sistema.

A redução da infiltração de água é comum nos solos sódicos. O uso de sais de cálcio dissolvidos na água de irrigação favorece a infiltração nesses solos, permitindo o armazenamento de água e a lixiviação do Na^+ , responsável pela dispersão das argilas e consequente obturação dos poros do solo.

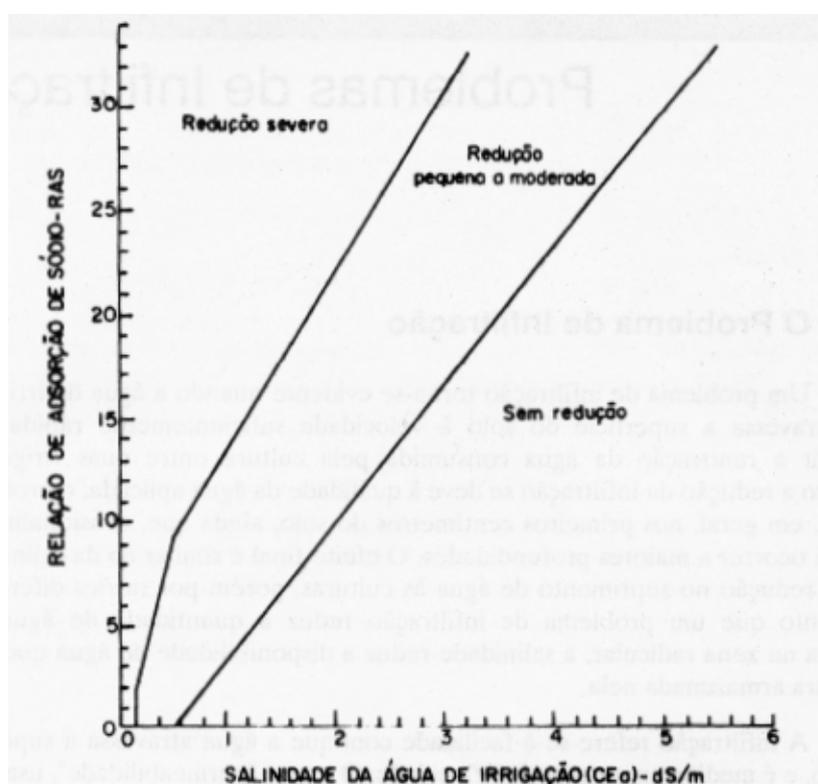


Figura 7. Redução relativa da infiltração em função da salinidade e da relação de adsorção de sódio da água de irrigação (Ayers & Westcot (1999)).

Disponibilidade de nutrientes em solos afetados por sais

Os solos afetados por sais são de natureza diversa; alguns são ricos em vários nutrientes, com exceção de nitrogênio, cujo manejo em solos sódicos e salinos requer particular atenção. O P disponível em muitos solos sódicos é satisfatório para a maioria das culturas. Já em solos salinos isto não é comum. Com relação ao potássio, muitos dos solos salinos e sódicos são ricos neste nutriente (Bandyopadhyay et al., 2004).

Os micronutrientes assumem papel fundamental na produção das culturas em solos salinizados, principalmente, o Zn em solos sódicos. Alguns solos sódicos levam a deficiência de Fe e de Mn, sendo comum, nos salinos, as suas toxicidades. Bandyopadhyay et al. (2004) relata a ocorrência de toxidez de boro em muitos solos afetados por sais na Índia, particularmente os de baixadas. Estes autores afirmam que as condições de solos salinos e sódicos influenciam, fortemente, a disponibilidade de nutrientes no solo e a absorção desses pela planta e que a substituição de parte do fertilizante requerido pela cultura por adubos orgânicos ou adubação verde melhora a eficiência de uso de nitrogênio sendo altamente benéfico à produção em solos salinos e sódicos.

Assim, com o uso de conhecimentos técnicos, a adubação pode contribuir para melhorar a fertilidade e as condições gerais de cultivo nos solos afetados por sais, mitigando os efeitos da salinidade e, ou, sodicidade. Nestas condições, o manejo de irrigação e drenagem é tão importante quanto o manejo da fertilidade do solo.

6. Bibliografia

- ALVAREZ V., V.H. **Avaliação da fertilidade do solo** (Superfícies de resposta - modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta). Viçosa, UFV, 1985. 75p.
- ANGHINONI, I. & SALET, R.L. Necessidades e metodologias de pesquisa para calibração de métodos de análise de solo e para determinação de necessidade de calagem no sistema plantio direto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO. 1., 1995, Passo Fundo. Resumos. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPQ, 1995. p.107-110.
- AP-AGROPECUARIA LTDA S/C (AGROPRINCIPAL) (Petrolina, PE). **Estudos da fertilidade e das características hídricas dos solos e respectivas recomendações de manejo para o perímetro irrigado Senador Nilo Coelho**: núcleos 01, 02, 03, 04 e 05. Petrolina, PE: CODEVASF, 1988. 153p.
- ARAÚJO, C. A. S.; RUIZ, H. A.; SILVA, D. J.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ V., V. H. & BAHIA FILHO, A. F. de C. Eluição de fósforo em relação ao tempo de difusão em colunas com agregados de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 7(1): 24-30, 2003a.
- ARAÚJO, C.A.S.; RUIZ, H.A.; SILVA, D.J.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ V., V.H. & BAHIA FILHO, A.F.C. Eluição de magnésio, cálcio e potássio de acordo com o tempo de difusão em colunas com agregados de um latossolo vermelho distrófico típico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27(2): 231-238, 2003b.
- ARAÚJO, C.A.S.; SILVA, D. J.; DAMASCENO, F. C. & ANJOS, J. B. Fator de retardamento para fósforo em colunas de um solo cultivado com videiras irrigadas por microaspersão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife, PE. Anais. Recife: SBCS, 2005. CD-ROM.

- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução H.R. Gheyi; J.F. Medeiros & F.A.V. Damasceno. Campina Grande, UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 Revisado, 1)
- BANDYOPADHYAY, B.K; MAJI, B. & SEN, H.S. Nutrient management in saline and alkali soils. **Fertiliser News**, **45**(5): 33-40, 2000.
- BASSOI, L.H.; GRANGEIRO, L.C.; SILVA, J.A.M. & SILVA, E.E.G. Root distribution of irrigated grapevine rootstock in a coarse texture soil of the Sao Francisco Valley, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, **24**(1): 35-38, 2002.
- BASSOI, L. H.; HOPMANS, J. W.; JORGE, L. A. C.; ALENCAR, C. M. & SILVA, J. A. M. Grapevine root distribution in drip and microsprinkler irrigation. **Scientia Agricola**, **60**(2): 377-387, 2003.
- BIGGAR, J.W. & NIELSEN, D.R. Miscible displacement: II. Behavior of tracers. **Soil Science Society of America Proceedings**, **26**:125-128, 1962.
- BLACK, C. A. **Soil-plant relationship**. New York, John Wiley, 1968. 792p.
- BRAGA, J.M. **Avaliação da fertilidade do solo** (Ensaio de campo). Viçosa, UFV, 1990. 101p.
- CAMPOS, T.M. & ELBACHÁ, A.T. Avaliação do fator retardamento por adsorção no transporte de zinco em solos argilosos. In: SIMPÓSIO SOBRE BARRAGENS DE REJEITOS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 1991, Rio de Janeiro. Resumos expandidos. Rio de Janeiro, 1991. p.271-282.
- CHOUDHURY, E. N. & SOARES, J. M. Comportamento do sistema radicular de fruteiras irrigadas. I. mangueira em solo arenoso sob irrigação por aspersão sobcopa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, **14**(3): 169-176, 1992.
- CINTRA, F.L.D.; LEAL, M.L.S. & PASSOS, E.E.M. **Avaliação da distribuição do sistema radicular de coqueiros anões**. Aracaju: EMBRAPA-CNPCo, 1992. 8p. (EMBRAPA-CNPCo. Comunicado Técnico, 36).
- CINTRA, F.L.D.; FONTES, H.R. & LEAL, M.L.S. Distribuição do sistema radicular do coqueiro gigante do Brasil submetido a diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **20**(2): 327-332, 1996.
- COELHO, F.C.; RUIZ, H.A.; FERREIRA, P.A.; FRANÇA, G.E.; ARAÚJO, C.A.S. & DUARTE, M.A. Transporte do amônio em colunas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, **4**(3): 362-367, 2000.
- COSTA, E.F.; FRANÇA, G.E. & ALVES, V.M.C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. **Informe Agropecuário**, **12**(139): 63-68, 1986.

- DOUSSANT, C.; PAGÈ, L. & VERCAMBRE, G. Modelling of the hydraulic architecture of root systems: an integrated approach to water absorption. Model description. **Annals of Botany**, **81**: 213-223, 1988.
- FAO. **Production yearbook**. Roma, 1998. v.52, 233p.
- FARIA, C.M.B. & PEREIRA, J.R. Movimento de fósforo no solo e seu modo de aplicação no tomateiro rasteiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, **28**(12): 1363-1370, 1993.
- FARIA, C.M.B.; CABRAL, F.J.G.; FERRAZ, M.L.; CHOUDHURY, E.N. & MARTINS, C.E. **Avaliação da fertilidade do solo do projeto de irrigação de Bebedouro em Petrolina**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1982. 38p. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 12).
- FARIA, C.M.B. & SILVA, M.S.L. Alterações na capacidade de troca catiônica e matéria orgânica dos solos do Submédio São Francisco sob diferentes cultivos. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30. 2005, Recife, PE. Anais. Recife, SBCS, 2005. CD-ROM.
- GALVAO, S.J. & CATE JUNIOR, R. **Levantamento da fertilidade de solos do Nordeste**. Recife, IPEANE, 1969. 14p.
- GENUCHTEN, M.Th. & WIERENGA, P.J. Solute dispersion: coefficients and retardation factors. In: KLUTE, A., ed., **Methods of soil analysis**. Part 1: Physical and mineralogical methods. Madison, ASA, SSSA, 1986. p.1025-1031.
- GOMES, L.L.; OLIVEIRA, M. de; MOURA, A.R.B. Alterações na fertilidade do solo pela salinização induzida no perímetro irrigado de ITANS/SABUGI, RN. IN: REUNIAO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRICAÇÃO DE PLANTAS, 21. Petrolina, PE, 1994. Anais. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA; SBCS, 1994. p.131-133.
- GREENWAY, H. & MUNNS, R. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review of Plant Physiology**, **31**: 149-190, 1980.
- KIRKHAM, D. & POWERS, W. L. **Advanced soil physics**. New York, John Wiley-Interscience, 1972. 534p.
- MATOS, A.T. **Fatores de retardamento e coeficiente de dispersão-difusão do zinco, cádmio, cobre e chumbo, em solos do Município de Viçosa, MG**. Viçosa, UFV, 1995. 110p. Tese de Doutorado.
- MELO FILHO, J.F. de. **Avaliação da fertilidade do solo do perímetro irrigado do Brumado**. Salvador, EBDA, 1998. 11p. (EBDA. Comunicado Técnico, 20).
- NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Miscible displacement in soils: I. Experimental information. **Soil Science Society of America Proceedings**, **25**: 1-5, 1961.
- NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Miscible displacement: III. Theoretical considerations. **Soil Science Society of America Proceedings**, **26**: 216-221, 1962.

- NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Miscible displacement: IV. Mixing in glass beads. **Soil Science Society of America Proceedings**, **27**: 10-13, 1963.
- NOGUEIRA, M.J.N.; MARTINS, M.L.R.; SOARES, Z.M.L.; FREITAS FILHO, M.R.F.; ALMEIDA, M.A.G.; PINHEIRO, F.S.A.; SAMPAIO, M.A.B.; CARVALHO, G.M.B.S.; SOARES, A.M.L.; GOMES, E.C.B. & SILVA, R.A. Redimensionamento da região semi-árida do nordeste do Brasil. Fortaleza, Conferência Nacional e Seminário Latinoamericano da Desertificação, 1994. 25p.
- OLIVEIRA, E.M.M.; RUIZ, H.A.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ V., V.H. & BORGES JÚNIOR, J.C.F. Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão de fosfato, potássio e amônio em solos de Minas Gerais Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, **8**: 196-203, 2004.
- OLIVEIRA, L.B.; SILVA, S.B.R.; ALMEIDA, J.C.; PARAHYBA, R.B.V.; SÁ, R.F. & LESSA, A.S.N. Condições fito-edafoclimáticas do Nordeste. Parte III. Níveis de necessidade de calcário e carências de potássio e de fósforo para os solos do Nordeste do Brasil. Recife, EMBRAPA/SNLCS, 1988.
- PEREIRA, J.R. & CORDEIRO, G.G. Efeito da irrigação e adubação sobre algumas características químicas de um vertissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, **22**(6): 627-633, 1987.
- PEREIRA, J.R. & SIQUEIRA, F.B. Alterações nas características químicas de um oxisol sob irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, **14**(2): 189-192, 1979.
- RESENDE, M; ALBUQUERQUE, P. & COUTO, L. **A cultura do milho irrigado**. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 317p.
- ROBINSON, D. Resource capture by localized root proliferation: why do plants bother? **Annals of Botany**, **77**: 179-185, 1996.
- RUIZ, H.A.; FERNANDES, B.; NOVAIS, R.F. & ALVAREZ, V.H. Efeito da umidade do solo sobre o volume e o conteúdo de fósforo no exsudato xilemático de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **12**(1): 39-42, 1988.
- SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. & SILVA, F.B.R. Fertilidade de solos do semi-árido do Nordeste. In: REUNIAO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina, PE. Fertilizantes: insumo básico para agricultura e combate à fome. Anais. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA; SBCS, 1995. p.51-71.
- SILVEIRA, P.M. & STONE, L.F. Profundidade de amostragem do solo sob plantio direto para avaliação de características químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **26**(1): 157-162, 2002.
- SOARES, J.M. & NASCIMENTO, T. Comportamento do sistema radicular da mangueira em Podzólico Bruno Vermelho-Amarelo Distrófico sob irrigação por sulco na região do Submédio São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA

- AGRICOLA, 26., 1997, Campina Grande, PB. Resumos. Campina Grande: SBEA; UFPB, 1997. CD-ROM.
- SOARES, J.M. & NASCIMENTO, T. Distribuição do sistema radicular da videira em vertissolo sob irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2(2): 142-147, 1998.
- SOARES, J.M.; LIMA, M.I.; CORDEIRO, G.C.; PEREIRA, J.R. NASCIMENTO, T. & BARRETO, D.S.B. Monitoramento de manejo de água e nutrientes em videira sob irrigação por gotejamento na Fazenda Boa Esperança. In: SOARES, J.M. et al. **Rede de Cooperação técnica entre a EMBRAPA-CPATSA/Fazenda Boa Esperança: relatório técnico de atividades de pesquisas desenvolvidas na cultura da videira e da mangueira**. Petrolina-PE: EMBRAPA-CPATSA, 1997. Não paginado. Não publicado.
- SOUZA, L.S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. Porto Alegre: UFRGS, 1992. 162p. Tese de Doutorado.
- SUDEC (Fortaleza, CE). **Fertilidade e níveis críticos dos solos do perímetro irrigado de Morada Nova**. Fortaleza, 1977. 48p.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. & BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4.ed. New York, Macmillan Publishing Company, 1985. 754p.
- TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 38(3): 139-151, 1992.
- YOUNG, I.M. Biophysical interactions at the root-soil interface: a review. **Journal of Agricultural Science**, 130: 1-7, 1998.