

**Reavaliação da Irrigabilidade das Terras do
Projeto Salitre**



ISSN 1678-0892

Dezembro, 2007

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

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 114

Reavaliação da Irrigabilidade das Terras do Projeto Salitre

*Fernando César Saraiva do Amaral
Waldir de Carvalho Júnior
Luiz Augusto Costa Fernandes*

Rio de Janeiro, RJ
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1.024 Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ
Fone: (21) 2179-4500
Fax: (21) 2274-5291
Home page: www.cnps.embrapa.br
E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: Aluísio Granato de Andrade

Secretário-Executivo: Antônio Ramalho Filho

Membros: Marcelo Machado de Moraes, Jacqueline S. Rezende Mattos,
Marie Elisabeth C. Claessen, José Coelho de A. Filho, Paulo Emílio
F. da Motta, Vinícius de Melo Benites, Rachel Bardy Prado, Maria
de Lourdes Mendonça S. Brefin, Pedro Luiz de Freitas.

Supervisor editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Revisor de Português: *André Luiz da Silva Lopes*

Normalização bibliográfica: *Marcelo Machado Moraes*

Editoração eletrônica: *Pedro Coelho Mendes Jardim*

1ª edição

1ª impressão (2007): online

Todos os direitos reservados.

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

631.587

A479

Amaral, Fernando César Saraiva do.

Reavaliação da irrigabilidade das terras do Projeto Salitre / Fernando
César Saraiva do Amaral, Waldir de Carvalho Júnior, Luiz Augusto Costa
Fernandes. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007.

(Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-
0892 ; 114)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <[http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/
conhecimentos.html](http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html)>

Título da página da Web (acesso em 6 set. 2007).

ISSN 1678-0892

1. Irrigação. 2. Projeto Salitre. I. Carvalho Júnior, Waldir de. II.
Fernandes, Luiz Augusto Costa. III. Embrapa. IV. Título. V. Série.

© Embrapa 2007

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
1. Introdução	9
2. Revisão de Literatura	9
2.1. Condutividade Hidráulica (K) em Solos Vérticos	11
2.2. Salinização e Sodificação em Solos Vérticos	17
3. Material e Métodos	28
3.1. Aferição da Condutividade Hidráulica em Vertissolo Irrigado	32
3.2. Aferição da Existência de Horizonte CR	36
4. Resultados e Discussão	37
4.1. Aferição da Condutividade Hidráulica em Vertissolo Irrigado	37
4.2. Aferição da Existência de Horizonte CR	38
4.3. Irrigabilidade das terras do Projeto Salitre	38
5. Conclusões	44
6. Referências Bibliográficas	45

Reavaliação da Irrigabilidade das Terras do Projeto Salitre

Fernando César Saraiva do Amaral¹

Waldir de Carvalho Júnior¹

Luiz Augusto Costa Fernandes²

Resumo

As terras que compõem o Projeto de Irrigação Salitre, município de Juazeiro-BA, são formadas, basicamente, por Vertissolos, sendo 60% profundos e sem problemas de salinização e/ou sodificação, 34% profundos e com problemas de salinização/sodificação em subsuperfície e 6% rasos e pedregosos.

Solos desse tipo são considerados não irrigáveis ou irrigáveis com severas limitações de acordo com as metodologias de classificação atualmente existentes. Devido a essa avaliação da irrigabilidade, o projeto encontra-se paralisado há mais de 15 anos, não obstante o elevado montante de capital investido.

Foi realizado um convênio entre a Embrapa e a Codevasf, objetivando reavaliar a irrigabilidade de suas terras, de acordo com as modernas práticas de manejo e a fundamentação metodológica do Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação (SiBCTI). Concluiu-se que

¹ Pesquisador Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico 1024, Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ. E-mail: fernando@cnps.embrapa.br, waldir@cnps.embrapa.br.

² Engenheiro Agrônomo Codevasf. SGAN Gol - Ed. Manoel Novaes - Brasília, DF. luizac@codevasf.org.br.

aproximadamente 60% das terras do Projeto de Irrigação Salitre podem ser exploradas imediatamente com irrigação, utilizando espécies de sistema radicular pouco profundo. O restante da área deve passar por um período experimental em torno de cinco anos, para que sua irrigabilidade seja ou não confirmada.

Termos de Indexação: irrigabilidade, Projeto Salitre, terras, vertissolo, SiBCTI, salinidade.

Irrigability land classification of the Salitre Project

Abstract

The Salitre Irrigation Project / Juazeiro County / Bahia State, has approximately 60% of deep vertisol, 34% of deep vertisol with problems of salinisation and sodification and 6% of shallow and rocky soils.

Despite the higher capital involved, the project is stopped at 15 years because there is doubt about their real reclamation.

The Embrapa and Codevasf companies carried out a study in order to investigate the real irrigability of the of the Salitre Irrigation Project and concluded that 60% has potential to immediate exploitation with irrigation, and 40% should be parceled, experimented and monitored before use with irrigation. These informations will improve the Irrigation Suitability Land Classification Brazilian System (SiBCTI).

Index Terms: irrigability, Salitre Project, land, vertisol, salinisation.

1. Introdução

O Projeto de Irrigação Salitre situa-se no município de Juazeiro, Estado da Bahia. Este projeto foi orçado em aproximadamente R\$ 600.000.000,00, valores corrigidos, e não obstante o elevado volume de recursos financeiros já investidos, da ordem de R\$ 160.000.000,00, encontra-se praticamente paralisado há muitos anos. Esta paralisação deveu-se principalmente sobre a correta classificação da irrigabilidade de suas terras. Constituído essencialmente por Vertissolos, alguns já naturalmente salinizados e/ou sodificados em subsuperfície, esses solos apresentam elevada dificuldade de manejo e baixíssima condutividade hidráulica, o que implica numa drenagem natural praticamente inexistente. A ocorrência também de solos rasos e pedregosos e de áreas abaciadas, que foram a drenagem para o centro da unidade de mapeamento e não para os drenos principais, se constituem num grave risco para o surgimento ou agravamento do processo de salinização e/ou sodificação, também conhecido como alcalinização.

Objetivando dirimir a dúvida de uma vez por todas quanto aos efetivos benefícios e riscos da incorporação destas terras ao processo produtivo com agricultura irrigada intensiva, que justificasse a continuidade do projeto ou seu completo abandono, a Codevasf firmou um convênio com a Embrapa para apresentar uma completa reavaliação da irrigabilidade das terras do Projeto Salitre, sob a perspectiva do retorno econômico e os riscos ambientais de sua exploração.

2. Revisão de Literatura

A ordem dos Vertissolos é muito importante na região de Juazeiro, já que dos 115.000 ha mapeados no Vale do São Francisco, 67.000 ha encontram-se nesse município. Desses, 9.500 ha são irrigados pela Companhia Usina Agrovale, há mais de vinte anos, utilizando basicamente cana-de-açúcar, com excelente resultado (BATISTA; CALDAS JUNIOR, 1996). Do restante, boa parte desses solos encontra-se no chamado Projeto Salitre, fruto deste estudo de reavaliação técnica de sua irrigabilidade.

Vertissolos são solos constituídos por material mineral com horizonte vÉrtico entre 0,25 e 1,00 m de profundidade (EMBRAPA, 2006). São solos tipicamente argilosos e muito argilosos, com presença marcante de argila expansiva do tipo 2:1, distribuída uniformemente ao longo do perfil. Essas argilas expansivas, pelo seu poder de contração e expansão, provocam típicas superfícies de fricção e rachaduras, podendo originar micro relevo do tipo gilgai. Possuem boas propriedades químicas e elevada capacidade de reter nutrientes, porém, apresentam propriedades físicas que dificultam o manejo e uso do solo. Caracterizam-se basicamente pela baixíssima macroporosidade e condutividade hidráulica em condições naturais. Essa propriedade pode torná-los suscetíveis à salinização (com ou sem sodificação) quando irrigados, principalmente se não forem manejados corretamente, em relação à manutenção do teor de umidade no solo e à drenagem.

A questão da salinidade do solo, contemplando ou não a sodicidade, é uma variável de elevada importância e como tal, merece alguns comentários. A salinidade é um dos importantes fatores causadores da degradação físico-química dos solos e que, portanto, afeta o rendimento dos cultivos. Em se tratando de regiões áridas e semi-áridas irrigadas, constitui um sério problema, limitando a produção agrícola e reduzindo a produtividade das culturas a níveis antieconômicos. Nessas regiões, caracterizadas por baixo índice pluviométrico e intensa evapotranspiração, a baixa eficiência da irrigação e a drenagem insuficiente contribuem para acelerar o processo de salinização (AMARAL, 2005).

Segundo Raine e Foley (2002), existem três vantagens básicas de se fazer a correta irrigação:

- (a) Minimizar perdas de produção devidas ao encharcamento do solo;
- (b) Evitar água perdida por drenagem profunda, incrementando a máxima aplicação de água e com isso, permitindo que se possa produzir mais com a mesma quantidade;
- (c) Conservar o recurso natural, minimizando o risco de salinização e ou sodificação, e com isso, aumentando a sustentabilidade.

Nesse ponto cabe destacar a diferença entre perigo de salinização e risco de salinização. A primeira é uma função das características inerentes à relação solo x paisagem; enquanto a segunda é uma função das consequências do manejo no surgimento dessa predisposição natural.

A salinização dos solos é um processo restrito às áreas de climas áridos e semi-áridos ou de solos compactos, de drenagem difícil e evaporação rápida. A acumulação dos sais se dá, preferencialmente, nas depressões argilosas de baixa permeabilidade e de lixiviação reduzida (BIGARELLA et al. 1996), exatamente como boa parte da paisagem onde está localizado o Projeto de Irrigação Salitre.

A salinização do solo e em maior escala dos aquíferos, associada à retirada da vegetação, abre o caminho numa primeira fase ao incremento do processo de erosão, criando as condições para o desenvolvimento do processo final de degradação ambiental que é a desertificação. Esse processo de intensa degradação ambiental, infelizmente, tem crescido em algumas regiões do semi-árido nordestino.

2.1. Condutividade Hidráulica (K) em Solos Vérticos

Batista e Caldas Junior (1996) tiveram sucesso ao implementar drenagem subterrânea com drenos entubados nos Vertissolos do Projeto Mandacaru (Juazeiro, Bahia), com os drenos distanciados de 20 m em um lote e 30 m em outro, com a profundidade variando de 1,2 a 1,7 m. A salinidade que se encontrava em níveis crescentes nesta parte do perímetro foi controlada. Constatou-se redução da condutividade elétrica das águas de drenagem (dessalinização) com valores aproximados de 9,5 para 1,7 dS m⁻¹ na camada 0 a 0,3 m e de 7,1 para 2,7 dS m⁻¹ na camada de 0,3 a 0,6 m, em um período de 190 dias de lavagem do perfil (figura 1). Os autores sugeriram ainda que, em Vertissolos onde não se possa realizar drenagens subterrâneas devido à ausência de saprolito drenável, seja feita a instalação de furos verticais de alívio, para ajudar na retirada do excesso de água da área.

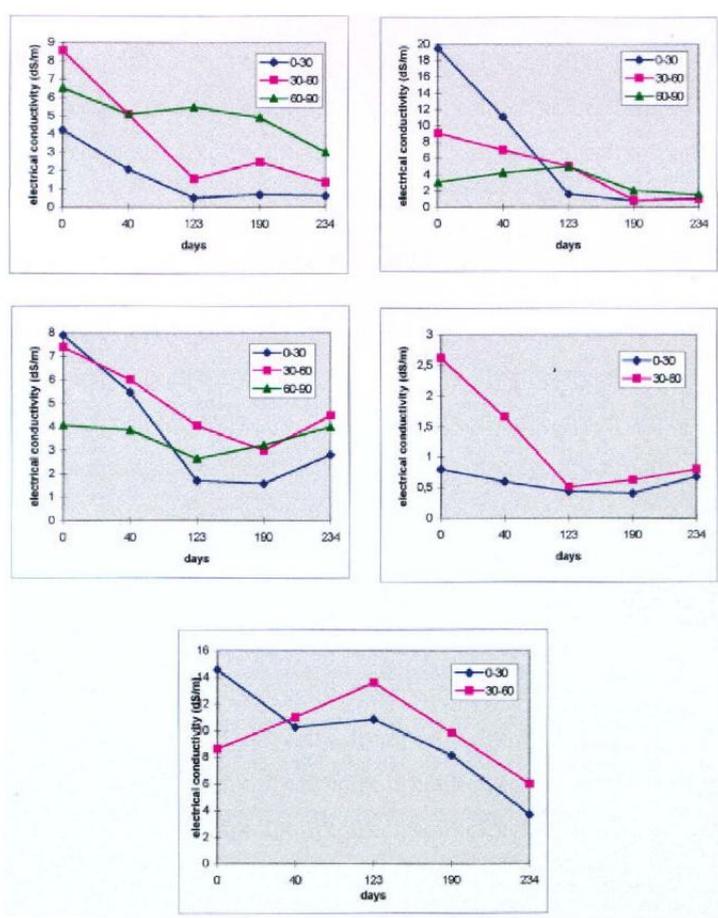


Fig. 1. Redução da salinidade ao longo do tempo em Vertissolo através da drenagem subsuperficial.

Quanto à condutividade hidráulica, foi constatado que os valores aumentaram em subsuperfície, medida que se aproximava do saprolito (horizonte CR). Os autores devem estar se referindo ao solo excluindo o horizonte superficial, ou seja, a partir do topo do horizonte Cv1 (nesses casos variando de 0,12 a 0,25 m) como de menores valores de condutividades hidráulicas, já que o horizonte A (superficial, 0 a 0,12 m), por conter maiores teores de matéria orgânica, frações de areia e apresentarem autogranulação (*self-mulching*), normalmente apresentam valores de K superiores aos do topo do Cv1. Essa conclusão é muito importante, uma vez que práticas de manejo do solo que melhorem a condutividade hidráulica, melhorarão o retorno econômico e a avaliação desses solos para a agricultura irrigada.

Em termos de condutividade hidráulica, os Vertissolos do Projeto Mandacaru se assemelham aos do Projeto Toura (área da Usina Agrovale), bem como a parte dos Vertissolos do Projeto Salitre, ou seja, apresentam valores de K em torno de 3 mm dia^{-1} , obtidos pelo teste do furo do trado com e em ausência de lençol freático. Isso permite que, associados a outros parâmetros importantes, possa-se replicar resultados de manejo de um local para outro, facilitando e dando segurança para avaliações de seu futuro comportamento.

Silburn e Montgomery (2006) de igual forma, atribuíram vantagens para o uso dos Vertissolos profundos que apresentam camadas em subsuperfície com maior K, em relação às camadas superiores (horizontes Cv), uma vez que possuem baixo risco de salinização e precisam de pouca água para irrigação, já que a drenagem é muito lenta.

Segundo a FAO (1979), a condutividade hidráulica média de rochas porosas, incluindo o caliche (material carbonático acumulado em camadas proveniente de intemperismo químico) duro ou semi-duro (substrato semelhante ao dos solos do Projeto Salitre) é de $25,4 \text{ cm h}^{-1}$, com máximo de 320 e mínimo de 0,02. Esse dado é muito importante, pois a ideia da drenabilidade em subsuperfície desse material. Como a velocidade em subsuperfície é maior que em superfície, isso garante a formação de lençol freático e consequentemente, elimina o risco de salinização/sodificação em áreas que têm gradiente de relevo, ou seja, que não são abaciais (deprimidas).

São poucos os estudos de drenagem subterrânea em Vertissolos, a maioria realizada na Índia e na América Central. Alguns desses estudos foram bem sucedidos no rebaixamento do lençol freático e na diminuição da salinidade do solo (BATISTA; CALDAS JUNIOR, 1996). Para facilitar o entendimento dessa recuperação, na Tabela 1 são apresentados alguns exemplos da melhoria da condutividade hidráulica em solos verticais, depois da implementação da drenagem, acompanhada ou não de outras práticas complementares, exemplificadas pela adição de matéria orgânica no solo, adubação verde, subsolagem e gessagem. O espaçamento entre drenos diferiu para cada situação dependendo da peculiaridade de cada ambiente, sendo normalmente superior a 20 m.

Tabela 1. Aumento da condutividade hidráulica (K) em alguns solos verticais, através da drenagem, complementada ou não por: gessagem (G), elevação da matéria orgânica (MO), subsolagem (S) ou outros (O).

local	condutividade hidráulica (cm h ⁻¹)		espaçamento (m)	complemento	referência
	Antes da drenagem	Depois da drenagem			
Vale do Curu/CE	0,03	1,00	20,00	G, MO, S, O	Oliveira Junior et al. (1998)
Parbhani/Índia	-	5,60	13,00	-	Holsambre (1982)
Projeto Mandacaru/BA	0,03	0,70	30,00	O	Batista e Caldas Junior (1996)
Austrália	1,4	2,5	não informado	G	Slavich et al. (1995)
Índia	0,013	0,05	não informado	G	Verma e Abrol (1980)

Para muitos autores como Heck et al. (2003), a topografia superficial do terreno tem maior influência na acumulação de sais que a elevação em relação ao nível da drenagem e a profundidade do solo. Esta conclusão está em concordância com o manejo praticado nos Vertissolos australianos usados com irrigação, principalmente no noroeste e sul de Queensland. Esses solos são alguns dos mais pesados do mundo, com uma condutividade hidráulica muito baixa. De maneira geral, no total das áreas irrigadas na Austrália, 14% têm superfície ou subsuperfície com (K) muito baixo (bem menos que a velocidade média dos valores obtidos no Projeto Salitre em condições naturais).

Entretanto, esses solos podem ser apropriadamente sistematizados para um grau de declive em torno de 3% ou menos, para minimizar o encharcamento. Ou seja, com cuidados apropriados podem ser perfeitamente irrigáveis com riscos mínimos de elevação do lençol freático ou salinização¹.

Segundo Tolmie et al. (2003) e Silburn et al. (2003), em condições de vegetação nativa na Austrália, a condutividade hidráulica variou de 0,3 mm ano⁻¹ em Planossolos e Vertissolos acinzentados a pouco mais de 1,0 mm ano⁻¹ em Vertissolos escuros. Comparando com solos semelhantes explorados sob agricultura de sequeiro, constataram a ocorrência de um significativo aumento da condutividade hidráulica em cerca de 10 vezes, a uma taxa de aproximadamente 1,2% ao ano, com a consequente redução da salinidade. Nesses solos cultivados não houve *input* salino via adubação e nesse dado já está descontado o *input* salino proveniente da água da chuva. Essa taxa foi contínua até atingir novo equilíbrio como fração da original, de acordo com a lei de Equilíbrio Donnan (balanço entre cargas solo x solução). No entanto, para que ocorra efetiva redução da salinidade é necessária drenagem profunda, ou seja, drenagem abaixo do sistema radicular. Quando confrontaram essas condições com situações semelhantes sob agricultura irrigada, os autores encontraram vantagens e desvantagens. A desvantagem é que aumenta o *input* salino via água de irrigação enquanto como vantagens consideraram, como resultado da maior biomassa, o aumento da matéria orgânica do solo e consequentemente o aumento da porosidade. O balanço final mostrou o aumento da condutividade hidráulica, devido em grande parte a diminuição do ciclo de contração e expansão do solo. A porosidade do solo é dependente da estabilidade estrutural, e consequentemente a condutividade hidráulica.

Concordando com a influência da matéria orgânica, Hulugalle et al. (2002) encontraram maior eficiência do sistema radicular do trigo na estabilização de bioporos estáveis em Vertissolos, quando comparado com algodão e dolichos. Essa melhor porosidade constituída pela gramínea foi a responsável pelo aumento da drenabilidade sob condições de *steady state* (drenagem lenta e contínua).

¹Inakwu Odeh, The University of Sydney, Austrália, informação pessoal.

Segundo Friend e Chan (1995), as minhocas podem estar relacionadas com o aumento da porosidade em Vertissolos, contribuindo desta forma para o aumento da condutividade hidráulica. Esses autores verificaram que a população de minhocas em área com pastagem/gramínea foi maior do que nas áreas cultivadas com culturas anuais, devido ao número de revolvimento do solo. Hartmann et al. (2006) concordaram com os autores acima, constatando que Vertissolos cultivados com gramíneas sob irrigação há mais de 20 anos, elevaram seus valores de condutividade hidráulica devido à porosidade proveniente da renovação do sistema radicular das gramíneas.

Para que haja esse efeito benéfico no solo, número das minhocas, como também de outros organismos, torna-se importante que a colheita seja feita sem a utilização do fogo. Considerando a cana-de-açúcar, podem ser adicionadas 10-15 toneladas de matéria seca por hectare por ano de matéria orgânica. Além disso, a fertilidade do solo é beneficiada com a colheita da cana crua, já que importantes nutrientes como nitrogênio e o enxofre número número são perdidos por volatilização.

Segundo Jayawardane e Chan (1994), a porosidade total de um Vertissolo pode ser bastante melhorada com um manejo que contemple a utilização de melhoradores químicos (gesso por exemplo), biológicos (adição de matéria orgânica) e mobilização mínima (cultivo mínimo ou culturas perenes ou semi-perenes), bem como a escolha de espécies com sistema radicular vigoroso para aprofundamento e à afofamento do solo. Weaver et al. (2004) também constataram que a ausência ou o pouco revolvimento do solo contribuiu para uma melhoria da porosidade devido à continuidade poral, refletindo em um nível de drenagem quase três vezes superior à mesma condição com preparo convencional do solo.

Mesma conclusão chegaram Silva et al. (2005) através de ensaios realizados em solos verticos no Estado do Ceará, determinando entre outros parâmetros a condutividade hidráulica. Concluíram que os ciclos de umedecimento e secamento das amostras de solos interferiram em sua condutividade hidráulica, diminuindo-a bastante devido à destruição de parte de sua porosidade.

Essa influência positiva ou negativa da espécie vegetal nas características físico-químicas do solo foi investigada por diversos autores. Por exemplo, Heck et al. (2002) para a uva e Heck et al. (2003) para a manga demonstraram que as práticas de manejo, como irrigação, drenagem e adubação, alteraram a variabilidade das propriedades químicas da solução do solo e o complexo de troca, comparando os solos de áreas cultivadas com os solos em condições naturais. A concentração de sais do solo nas áreas cultivadas foi muito maior que nas áreas sem cultivo (testemunha) e, esse aumento não foi devido apenas à adubação e calagem, mas também à ascensão capilar, principalmente nas partes mais próximas à drenagem e/ou mais rasas.

Resultados semelhantes chegaram Tomie et al. (2003) e Holanda et al. (2003), sendo que esses autores trabalharam com solos de argilas expansivas. Constataram que a rotação de culturas e o pouco revolvimento do solo através do cultivo mínimo, contribuiu para a melhoria da permeabilidade em Luvisolos Crômicos do Projeto Califórnia, Estado de Sergipe.

Pode-se concluir portanto, com base nesses resultados, que, dependendo do tipo de manejo, há uma indicação de que a condutividade hidráulica obtida em solo com dominância de argila expansiva (tipo 2:1) explorado sob sistema de irrigação, apresenta valores discrepantes em relação aos obtidos em condições naturais. O desenvolvimento de poros pela renovação do sistema radicular, pela atividade da mesofauna, ou pelo poder estruturante do solo proveniente dos microorganismos e resíduos orgânicos advindos do maior teor de matéria orgânica contribuem para o aumento da porosidade e consequentemente da condutividade hidráulica.

2.2. Salinização e Sodificação em Solos Vérticos

A salinidade/sodicidade é hoje, seguramente, o principal problema mundial no manejo dos solos irrigados. Oliveira (1997) afirmou que a salinização afeta hoje em dia a produtividade de cerca de 25% das terras irrigadas no mundo, num total de 70 milhões de hectares. No Brasil, estimou um valor de solos afetados por sais superior a 4.000.000 de ha.

Segundo Heck et al. (2003), áreas irrigadas no Vale do São Francisco têm experimentado declínio em sua produtividade, como reflexo de mudanças nas propriedades químicas do solo devidas ao manejo. Pereira e Cordeiro (1987) indicaram o grupamento dos solos verticais como os mais recorrentes em termos de problemas de salinização nessa mesma região. Magalhães (1995) quantificou em 20% das áreas irrigadas dessa região como apresentando perdas econômicas devidas à salinização/sodificação.

Para Ayers e Westcot (1999), muitos dos problemas de salinidade estão associados à presença de lençol freático a pouca profundidade, dentro dos primeiros dois metros da superfície. Os sais acumulados no lençol freático ascendem até a zona radicular e constituem fonte adicional de sais, razão porque o controle do nível freático é prática essencial para controlar a salinidade e se manter com êxito a agricultura irrigada.

A salinização (incluindo no conceito a sodificação) também é agravada por problemas com a deficiência de drenagem ou pelo excesso de irrigação, ou pelo dois. Outra via da salinização é a utilização de água com elevada quantidade de sais.

A condutividade elétrica da água de irrigação e do extrato de saturação do solo é uma medida indireta da salinidade do meio, estando relacionada aos seus constituintes iônicos totais, ou seja, com a soma de cátions ou ânions determinados quimicamente e com os sólidos dissolvidos.

A água do rio São Francisco é considerada de excelente qualidade para a irrigação (Tabela 2). Apesar disso, os valores totais de sais adicionados ao solo pela irrigação são elevados, uma vez que a quantidade total de água utilizada para irrigar uma lavoura em ambiente semi-árido é elevada.

Tabela 2. Características químicas das águas do rio São Francisco coletadas em Petrolina e Juazeiro (média de 12 meses).

pH	CE dS m ⁻¹	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	RAS	classificação
7,26	0,075	0,38	0,21	0,06	0,10	0,14	0,18	0,54	-	0,18	C1S1

Fonte: Pereira e Cordeiro (1987) e Pereira e Siqueira (1979).

Com base na quantidade média de sais no rio São Francisco, podemos considerar uma contribuição anual da ordem de 60 g m^{-3} . Considerando uma lâmina média de $18.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ como aplicada na Usina Agrovale, isso representa um aporte anual médio aproximado de $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Essa relação embasa a necessidade cada vez maior de se utilizar sistemas de irrigação que apresentem elevada eficiência na quantidade de água aplicada, bem como se atender às prescrições e técnicas do sistema, evitando-se exceder as lâminas de irrigação recomendadas pelo projeto.

Segundo informações dos técnicos da Usina Agrovale, quando a condutividade elétrica no extrato de saturação atinge valores próximos de $2,0 \text{ dS m}^{-1} \text{ j}^{-1} \text{ h}^{-1}$ uma queda de produção perceptível.

Nunes et al. (2006), trabalhando com solos expansíveis em Portugal, constataram que após uma média de 20 anos sob irrigação, os Vertissolos aumentaram a condutividade elétrica no extrato de saturação de 0,10 para 0,22 dS m^{-1} , enquanto os valores de sódio trocável no complexo sortivo passaram de 47,9 para 76,8 mg kg^{-1} , estando portanto, os dois parâmetros abaixo dos níveis de dano. Os autores recomendaram como práticas para se evitar o aumento da salinidade a escolha de sistemas de irrigação que diminuam as lâminas aplicadas ao solo e o uso de adubos com menor efeito salino. Essa escolha do sistema de irrigação é muito importante na sustentabilidade da agricultura irrigada, uma vez que sistemas mais eficientes na aplicação da água postergam, ou mesmo evitam, o surgimento do processo de salinização/sodificação, conforme se depreende analisando a tabela 3.

Tabela 3. Vazão contínua média de acordo com os diferentes tipos de irrigação

sistema de irrigação	vazão contínua média ($\text{L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$)
inundação	2,0 a 2,5
infiltração	1,2
aspersão	1,0
microaspersão	0,5 a 0,7
gotejamento	0,3 a 0,5

Se a irrigação não obedece as doses recomendadas tecnicamente e se aplica quantidades bem maiores que a planta exige (superirrigação), o que infelizmente é prática comum para muitos irrigantes, o processo de salinização/sodificação ocorre com maior velocidade, chegando inclusive a formação de lençol em Neossolo Quartzarínico profundo (Figura 2).

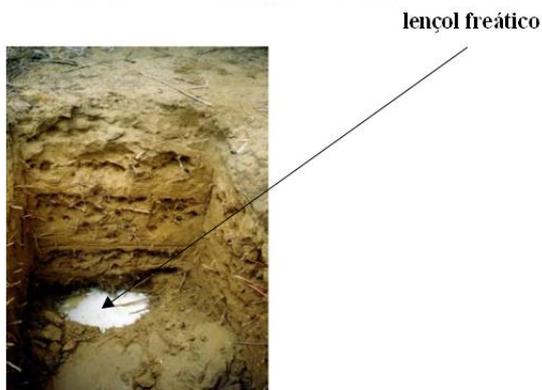


Fig. 2. Elevação do lençol freático pelo excesso de irrigação em Neossolo Quartzarínico profundo. (Projeto Apolônio Salles ã Petrol, ndia PE).

Da mesma forma que a drenagem de um solo não deve ser excessivamente inferior ao *input* de sais devido ao risco de salinização do solo, também não deve ser excessivamente superior, pois a consequência é o empobrecimento da fertilidade do solo, uma vez que retira nutrientes passíveis de absorção pelas raízes além de elevar, nesse caso, a salinização do lençol freático (Tolmie et al., 2003). Desta forma, a interferência do homem no ciclo hidrológico do solo deve ser mínima, e isso implica na prática da irrigação mais racional possível.

Na estruturação do Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação / SiBCTI (AMARAL, 2005), foi atribuída importância muito grande à questão da drenabilidade natural dos ambientes, visando restringir ao máximo os riscos de salinização dos solos. Como consequência, em boa parte dos parâmetros elencados que fundamentam essa metodologia, existe uma ponderação muito grande nas interações relacionadas à drenagem.

Assim como a drenabilidade, a salinidade é uma variável de grande importância para o SIBCTI, uma vez que complementada pela saturação com sódio trocável e pH do solo, fornece informações sobre a natureza do solo.

O sódio é um elemento muito importante na agricultura irrigada, pela fitotoxicidade, quando presente na solução do solo e pela capacidade desestruturante, agindo como um agente desfloculador, o que confere ao solo propriedades físicas extremamente desfavoráveis à penetração da água e das raízes. Esses solos têm um elevado custo de recuperação e dependendo da intensidade da sodicidade, podem ser descartados, à luz do nível tecnológico atual, para o aproveitamento com irrigação. Quando justificável, a fitotoxicidade pode ser remediada pela aplicação de bases fortes, principalmente cálcio e magnésio, seqüenciada pela lixiviação intensa, também conhecida como lavagem do perfil. Quando a retirada do sódio do sistema não é possível ou economicamente inviável, pode-se minorar o problema com a exploração de plantas adaptadas ao elevado nível de alcalinidade do solo. Essa operação no entanto não é sustentável se o nível de sódio continuar se elevando no solo acima da capacidade de eliminação pela drenagem e pela retirada (exportação) via biomassa.

Segundo Trufem et al. (2000), a salinidade afeta a biota do solo mas não a ponto de causar sua esterilização. Trabalhando com agrupamento de Latossolos e Vertissolos (Projeto Mandacaru) irrigados no vale do São Francisco, esses autores encontraram uma diminuição na diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em todas as áreas estudadas, mas não encontraram alteração no número de esporos. Em contrapartida, Santos (1997), trabalhando com solos argilosos, encontrou efeitos deletérios da salinidade na biomassa microbiana.

Segundo Ayers e Westcot (1999), pesquisas recentes têm indicado que o efeito depressivo se deve principalmente à menor participação relativa do cálcio que a elevada participação do sódio no complexo sortivo do solo. Desta forma, uma das maneiras de se contornar o problema é a aplicação de cálcio no solo, via gesso, nitrato de cálcio ou outro veículo de baixo custo.

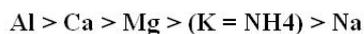
Na Tabela 4 é apresentada a classificação do solo de acordo com a concentração de sódio, segundo Pizarro (1978).

Tabela 4. Classificação dos solos segundo a percentagem de saturação por sódio trocável (PST).

Classe	PST
Não Sódicos	< 7
Ligeiramente Sódicos	7 - 10
Mediamente Sódicos	11 - 20
Fortemente Sódicos	21 - 30
Excessivamente Sódicos	> 30

De acordo com essa classificação, pode-se perceber que muitos solos da parte central do Perímetro de Irrigação Salitre, ocorrentes em zonas abaciadas, enquadram-se na categoria “medianamente sódicos”.

O processo de sodificação em Vertissolo é difícil de ocorrer principalmente no começo do processo de irrigação, uma vez que devido às suas características de formação esses solos apresentam elevada capacidade de troca catiônica (valor T), bem como elevada concentração de cálcio e magnésio. Dessa forma, o sódio não encontra ambiente quimicamente favorável para se acumular na solução do solo, uma vez que, pela série liotrópica (abaixo), sua energia de ligação com a superfície das partículas do solo é muito reduzida.



Pela “Lei de Ação das Massas”, é preciso uma concentração muito grande de sódio para que ocorra substituição dos outros cátions, principalmente os divalentes cálcio e magnésio, nas ligações de superfície das argilas. No entanto, como a drenagem desses solos é limitada, com o avanço do processo de irrigação, no longo prazo, dependendo principalmente do excesso de irrigação aplicado, o processo de sodificação vai se intensificando, até influenciar a estrutura do solo e conseqüentemente a produtividade vegetal.

Apesar da quase consensualidade de que os solos argilosos, com argila do tipo 2:1 (argilas expansivas), têm maior facilidade para acumular sais devido, principalmente, à maior capacidade de troca catiônica e às menores condutividade hidráulica e velocidade de infiltração, alguns autores como Pereira e Cordeiro (1987) discordaram da afirmação que esses solos têm uma aptidão natural à salinização. Constataram que os sais como os de sulfatos, carbonatos e bicarbonatos quando colocados em solos com altos teores de cálcio e magnésio (por exemplo os Vertissolos derivados de calcário) precipitam como sais destes elementos.

Concordando em parte com esses autores, Moutier et al. (1998) verificaram reduções na condutividade hidráulica quando concentrações eletrolíticas estavam abaixo do nível crítico de floculação de $0,25 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ em Vertissolos, enquanto Russo e Bresler (1977) e Keren e Singer (1988) encontraram valor crítico de floculação de $5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ em um sistema Na/Ca-montmorilonita-areia.

Cabe destacar que apesar da baixíssima drenabilidade implícita dos solos vérticos, esses têm menor suscetibilidade à salinização/sodificação que os solos com camada barreira (fragipan por exemplo) ou alguns com transição textural abrupta, principalmente aqueles com camada arenosa superficial. Isso se explica pelo fato desses solos precisarem de elevada dosagem de irrigação já que o material arenoso retém pouca água. Com isso, há uma tendência de elevação do lençol freático, uma vez que a camada subsuperficial, de condutividade hidráulica bem mais baixa, não consegue dar vazão ao excessivo volume aplicado para atender a camada superficial. Dessa forma, com a drenagem limitada em subsuperfície, os sais (principalmente o sódio) vão se acumulando até atingir níveis danosos à produção vegetal. Já os solos formados de material vértico, principalmente os Vertissolos, precisam de pequena lâmina de irrigação, uma vez que a capacidade de reter água é elevada. Com isso, o solo mesmo apresentando baixa drenabilidade, tem condições de receber apenas o que a planta precisa, sem desperdício, diminuindo portanto a suscetibilidade à salinização e/ou sodificação.

Landon (1984) dividiu a condutividade elétrica em classes múltiplas de dois e agrupou diversas culturas vegetais em termos de resistência à salinização do

extrato de saturação do solo. Apesar de ter contribuído para um melhor entendimento do comportamento das espécies em relação a esse importante parâmetro da agricultura irrigada, o trabalho foi parcialmente prejudicado por não apresentar as resistências específicas de cada espécie vegetal (tabela 5).

Tabela 5. Efeito na planta a diferentes níveis de condutividade elétrica no extrato de saturação do solo (CEes).

CEes (dS/m)	Resposta das plantas
0,0 a 2,0	Os efeitos da salinidade são geralmente negligenciáveis
2,0 a 4,0	A produtividade de culturas muito sensíveis à salinidade pode ser reduzida
4,0 a 8,0	A produtividade de culturas sensíveis à salinidade é reduzida
8,0 a 16,0	Somente culturas tolerantes à salinidade produzem satisfatoriamente
> 16,0	Somente poucas culturas muito tolerantes à salinidade produzem satisfatoriamente

Fonte: Landon (1984).

Nunes et al. (2006), investigando o impacto da irrigação em vários grupamentos de solos em Portugal, concluíram que em todas as épocas estudadas: menos de 15 anos, entre 15 e 25 anos e mais de 25 anos, houve aumento na condutividade elétrica na solução do solo e aumento na participação do sódio no complexo sortivo. Nesses grupamentos, os Vertissolos foram os que apresentaram os maiores valores de condutividade elétrica após a irrigação. No entanto, esses aumentos não chegaram a atingir níveis danosos à produção vegetal, mesmo nos solos irrigados há mais de 25 anos.

Dessa forma, muitas experiências em todo o mundo vêm mostrando que, dependendo do tipo de Vertissolo e do manejo empregado, esses solos podem ser utilizados para a agricultura irrigada sem maiores problemas. Silburn et al. (2003) constataram um aumento da drenabilidade e uma redução da concentração de cloretos em áreas irrigadas contíguas a áreas com vegetação nativa ou com agricultura de sequeiro. Esses mesmos autores constataram que esses solos, mesmo os solúndicos, apresentaram drenagem intensa quando saturados e que era falsa a presunção que Vertissolos não apresentavam drenagem profunda. Esses solos, quando profundos, apresentavam um tipo de drenagem considerada *steady state*, ou seja, drenam quase que continuamente, uma vez que a velocidade de infiltração é baixíssima e um

ciclo completo de drenagem pode demorar anos. Esses solos, quando apresentam camadas em subsuperfície com condutividade hidráulica maiores que na superfície, são considerados bons para a agricultura, pois têm baixo risco de salinização e baixa demanda hídrica devido à elevada retenção de água.

Silburn e Montgomery (2006) encontraram valores de 100 a 200 mm ano⁻¹ de drenagem profunda em Vertissolos de baixíssima condutividade hidráulica. Podemos interpretar esses dados de duas formas: a primeira é que correspondem a uma taxa diária de aproximadamente 0,4 mm dia⁻¹, portanto, muito baixo. Isso satisfaz aqueles que defendem ainda o ponto de vista que solos com argilas expansivas não drenam. A segunda interpretação é aquela embasada na fração de lixiviação (FL). Nesse caso, esses valores corresponderiam a uma FL relativamente alta, de 10 a 20%, portanto, suficiente para retirar o excesso de sais do sistema, eliminando ou afastando o fantasma da salinização/sodificação. Esse enfoque vem ao encontro da corrente que ganha corpo na qual os Vertissolos são perfeitamente drenáveis, desde que sejam feitas as obras para tal. Inclusive, em países em que a água é escassa, como a Austrália, as pesquisas estão sendo direcionadas para se diminuir/evitar a perda de água por drenagem profunda nesse tipo de solo (!)

Willis et al. (1997) encontraram em alguns Vertissolos profundos australianos frações de lixiviação equivalentes a 17% o que, por si só, são suficientes para a drenagem profunda e consequentemente evitar o acúmulo de sais no solo. Enquanto McGarry et al. (2006) trabalhando com Vertissolos irrigados por sulcos longos (500 a 1.000 metros) encontraram valores correspondentes a aproximadamente 20% para a fração de lixiviação (100 mm ha⁻¹ ano⁻¹).

Weaver et al. (2004) compararam a drenagem profunda em Vertissolos através de três métodos concluindo que o que apresentou melhor comportamento foi o *water balance model*, seguido pelo *chloride mass balance model* e apresentando a pior correlação o *Darcian flux equation*, também conhecida como Lei de Darcy. Esses dados ajudaram a corroborar a ideia crescente que, para solos com argilas expansivas, a Lei de Darcy não seja a mais apropriada para representar o fluxo de água no solo.

Silburn e Montgomery (2006) encontraram valores de porosidade drenável correspondente a 3 a 7% da drenagem total. Mesmo esses valores aparentemente baixos foram suficientes para permitir a drenagem profunda de Vertissolos localizados em regiões onde a evapotranspiração era maior que a drenagem potencial. Os mesmos autores se valeram de uma prática para minorar os efeitos da baixa porosidade dos solos verticais e da consequente baixa aeração desses solos. Utilizaram uma pequena concentração de água oxigenada na água de irrigação, no caso a irrigação localizada subsuperficial. Alguns experimentos constataram aumentos de produção entre 20 e 50% para várias culturas (BHATTARAI et al. 2006) utilizando essa técnica.

Os Vertissolos possuem porosidade total relativamente elevada, na faixa de 50%. No entanto, essa porosidade é constituída basicamente de microporos, que não possuem papel de destaque na aeração e na drenagem. Ao contrário, esse tipo de poro apresenta o fenômeno da capilaridade, o que nos solos com salinidade e/ou sodicidade em subsuperfície pode causar prejuízo para as culturas devido à ascensão desses sais para a zona radicular.

Um acréscimo de produtividade de no mínimo 30% para a cana, quando se substitui a irrigação por sulco pelo gotejamento subsuperficial, concorda com valores de aumento de produtividade para o algodão na Austrália, com economia de 20 a 30% na lâmina de água aplicada, mesmo considerando que a eficiência dos irrigantes australianos no sistema por sulcos é um dos mais altos do mundo. Resultados ainda mais substanciais dessa troca de modelo de irrigação foram obtidos nos EUA e em Israel. Essa economia de água pode ser devida à maior eficiência do sistema por gotejamento e a maior possibilidade de aproveitamento da água da chuva, uma vez que, sendo a frequência de irrigação maior no sistema localizado, pode-se interrompê-la quando necessário, enquanto na irrigação por sulco a lâmina é aplicada para durar vários dias. Se nesse período sobrevier uma chuva, além da perda de água, pode ocorrer alagamento da área com impacto na produtividade vegetal. Raine e Foley (2002) concordaram que o gotejamento subsuperficial foi mais eficiente em evitar o encharcamento do solo do que outros métodos de irrigação.

Para cada situação, se aplica um determinado manejo para a recuperação dos solos salinizados. No entanto, deve-se ressaltar os bons resultados obtidos por Ruiz et al. (1997) e Gomes et al. (2000) na recuperação de solos salino-sódicos utilizando a vinhaça. Esse subproduto da industrialização da cana-de-açúcar, por conter elevados teores de matéria orgânica e de cálcio e baixo teor de sódio, proporciona a troca de sódio por cálcio, possibilitando através da drenagem do solo com elevada quantidade de água, a diminuição da concentração de sódio da solução do solo. Além disso, seu baixo pH contribui para o aumento da floculação do solo, melhorando sua permeabilidade.

A recuperação de um solo salinizado é um processo caro e demorado. Salazar et al. (1988) calcularam em 3 anos o tempo necessário para recuperar o capital investido na recuperação de solos salinizados no perímetro irrigado Vaza-Barris, região de Cocorobó, Estado da Bahia. A recuperação de um solo salino-sódico ou sódico é muito mais demorada e custosa.

O manejo para a recuperação de solos salinizados pode contar com a coloração de plantas halófitas ou seja, *halossanilizadoras*, espécies extremamente eficientes na acumulação de sais, incluindo o sódio, possibilitando sua retirada do sistema. Uma das mais eficientes é a erva-sal (*Atriplex nummularia*), que consegue extrair aproximadamente 1.140 kg de sal por hectare por ano (PORTO et al. 1999), dependendo evidentemente das concentrações existentes no solo. Informa-se ainda, o conta de um prazo médio de sete anos² para a recuperação de um solo sodificado utilizando plantas extratoras como algaroba e atriplex. A cana-de-açúcar não pode ser considerada uma planta extratora, mas absorve intensamente o potássio ($K > N > Ca > Mg > S > P$). Como esse elemento, juntamente com o sódio, é um dos principais responsáveis pelo efeito desfloculador do solo, essa planta acaba tendo uma vantagem comparativa para a exploração de vertissolos, como são os solos dominantes no Projeto de Irrigação Salitre.

Ruiz et al. (2004), trabalhando com amostras de vários solos verticos, sendo um deles um Vertissolo de Mossoró, Estado do Rio Grande do Norte, concluíram que o uso de condicionadores como $CaCl_2$ e $MgCl_2$ foram eficientes na

² Usina Agrovale, informação pessoal.

redução da PST para menos de 15% e da condutividade elétrica para menos de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, quando associados com o parcelamento da lâmina de lixiviação, considerando um intervalo de 22 dias entre as aplicações de água.

3. Material e Métodos

De acordo com o levantamento de solos realizado na área do Projeto de Irrigação Salitre (PROTECS, 1988), os solos ocorrentes são constituídos basicamente de Vertissolos (82%) e Cambissolos (10%) (Tabela 6). Essa totalização foi obtida a partir da digitalização do mapa de solos (figura 3), realizada pela empresa VIASAT GEOTECNOLOGIA.

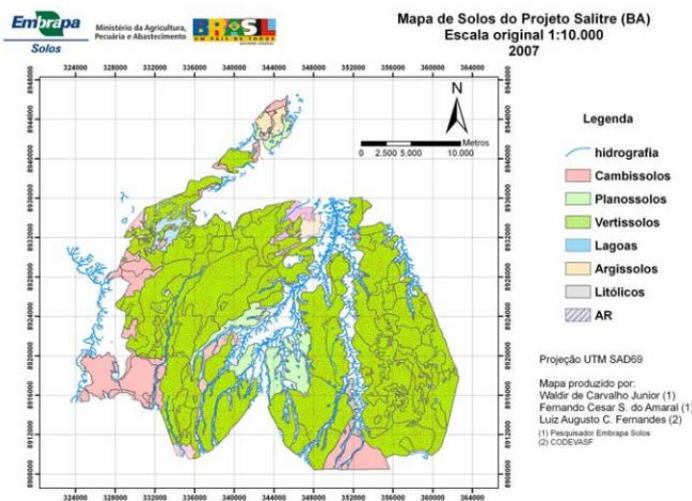


Fig. 3. Mapa de solos do Projeto Salitre em BA.

Tabela 6. Distribuição dos solos com área em hectares e percentual em relação à área total.

Classes de solos	hectares	%
Planossolos	3.131	4,86
Neossolos Litólicos	726	1,13
Cambissolos	6.494	10,07
Argissolos	505	0,78
Vertissolos	53.063	82,28

A maior parte (60%) dos Vertissolos do Projeto Salitre é constituída de solos profundos (EMBRAPA, 2006), com mais de 1,5 m de profundidade, de cor amarelo-bruno-oliva a amarelo-brunado, desenvolvidos a partir do calcário caatinga, assente sobre rochas cristalinas, razão pela qual não existem sumidouros para drenagem profunda. Essa drenagem tem que ser feita pelo horizonte CR ou (transição solo/rocha) normalmente de maior permeabilidade que os horizontes ocorrentes acima. A presença dessa camada foi constatada no levantamento detalhado citado, na maior parte das unidades de mapeamento. A seguir, apresentam-se as descrições morfológica, química e física de um perfil modal de vertissolo ocorrente no Projeto de Irrigação Salitre (PROTECS, 1988).

Classificação: VERTISSOLO HAPLICO " típico, textura argilosa, A fraco, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano.

Localização, Município e coordenadas: 700 metros da ponte sobre o rio Jurema (em Juremal), município de Juazeiro.

Situação, Declive e Cobertura Vegetal: Corte de estrada em terreno inferior de superfície aplainada com 0,5 % de declividade.

Altitude: 520 metros.

Clima: BSwhë

Material Originário: Sedimentos Terciário-Quaternário. Calcário caatinga.

Pedregosidade: Calhaus e matacões em quantidade pouca a moderada na superfície e na massa do solo.

Relevo Local: Plano.

Relevo Regional: Plano.

Erosão: laminar moderada e severa.

Drenagem: Moderada a imperfeitamente drenado.

Vegetação Primária: Caatinga hiperxerófila.

Uso Atual: Pecuária extensiva na caatinga.

Descrito e Coletado por: Fonte: Protecs.

Descrição Morfológica

- A** **0 – 8 cm;** bruno-acinzentado muito escuro (2,5Y3/2, úmido e seco); argila; moderada a forte, pequena a grande granular e em blocos angulares e subangulares; macio, friável, muito plástico e muito pegajoso; transição clara e plana.
- Cv1** **8 – 35 cm;** bruno-acinzentado muito escuro (2,5Y3/2, úmido e seco); franco-argilosa; moderada, pequena a grande blocos angulares; extremamente duro, firme, muito plástico e muito pegajoso; transição gradual e plana.
- Cv2** **35 – 110 cm;** bruno-acinzentado muito escuro (2,5Y3/2, úmido e seco); argila; moderada, média e grande blocos angulares; slickenside muito e forte; extremamente duro, firme a muito firme, muito plástico e muito pegajoso; transição clara e plana.

Cv3 110 – 125 cm; mistura de cores bruno-acinzentado muito escuro (2,5Y3/2, médio) e branco (2,5Y8/1, médio); franco; transição abrupta e plana.

CR 125 – 130 cm +

Observação: Raízes comuns no A, poucas no Cv1 e Cv2; Muitos poros muito pequenos no A; poros comuns muito pequenos no Cv1 e Cv2; Solo com carbonato até 110 cm.

Análises Físicas e Químicas																
Horizonte		Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra fina g/kg						Argila dispersa em água g/kg	Grau de flocculação %	Relação Silt/Argila	Densidade g/cm ³		Porosidade cm ³ /100cm ³
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,25 mm	Areia fina 0,25-0,075 mm	Silt 0,075-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partículas			
A	0 - 8	40	1	950	210	100	270	420	380	10	0,64					
Cv1	8 - 35	0	70	930	240	110	270	380	340	11	0,71					
Cv2	35 - 110	0	100	900	210	100	290	400	330	18	0,73					
Cv3	110 - 125	50	120	830	280	180	300	240	20	92	1,25					
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sorbivo cmol/kg							Valor V (sat. por bases) %	100 Al ³⁺ S + Al ³⁺ %	P assimilável mg/kg				
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T						
A	8,5	7,3	47,1	2,4	0,11	0,22	49,8	0	0	49,8	100	0	<1			
Cv1	8,4	7,2	44,5	1,4	0,02	0,32	46,2	0	0	46,2	100	0	<1			
Cv2	8,3	7,2	44,9	2,0	0,02	0,58	47,5	0	0	47,5	100	0	1			
Cv3	8,7	7,5	24,9	1,6	0,03	0,74	27,3	0	0	27,3	100	0	<1			
Horizonte	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico g/kg						Relações Moleculares			Fe, O livre g/kg	Equivalente de CaCO ₃ g/kg		
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ / Al ₂ O ₃ (g/g)	SiO ₂ / Fe ₂ O ₃ (g/g)	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃				
A	5,9	0,7	8	227	110	42	5,3	0,2		3,51	2,82	4,10		50		
Cv1	4,4	0,6	7	211	108	40	4,8	20,2		3,32	2,69	4,24		70		
Cv2	4,0	0,5	8	220	107	42	4,9	0,2		3,50	2,79	3,99		120		
Cv3	2,2	0,3	7	140	59	26	2,8	0,2		4,04	3,15	3,35		450		
Horizonte	100 Na T %	Pasta saturada		Salis solúveis cmol/kg						Constantes hídricas g/100g						
		C.E. do extrato mS/cm 25°C	Água %	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻ / CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Umidade		Água disponível máxima			
										0,033 MPa	1,5 MPa					
A	X															
Cv1	1															
Cv2	1															
Cv3	3															

3.1. Aferição da Condutividade Hidráulica em Vertissolo Irrigado

Para dirimir dúvidas quanto à melhoria ou não da condutividade hidráulica em Vertissolos cultivados sob irrigação a longo prazo, foram realizados alguns testes na área da Usina Agrovale. A escolha dessa área, como já manifestado, justifica-se pelo fato da semelhança com os solos do Projeto Salitre e por serem explorados há muito tempo sob irrigação. Escolheu-se uma área com 8 anos de irrigação por gotejamento subterrâneo em cana-de-açúcar, com gotejadores enterrados a 0,3 m e espaçamento de 2,0 x 0,6 m. As figuras 4 e 5 apresentam a visão geral da área onde foi realizado o teste de condutividade hidráulica e a figura 6 destaca a frente de molhamento gerada pelo gotejador enterrado, 4 dias após início da irrigação. A largura média da frente de molhamento era aproximadamente de 1,0 m e essa relativa alta velocidade justificava-se por estar ocorrendo basicamente no horizonte superficial (horizonte A), com 0,12 m de espessura aproximadamente.

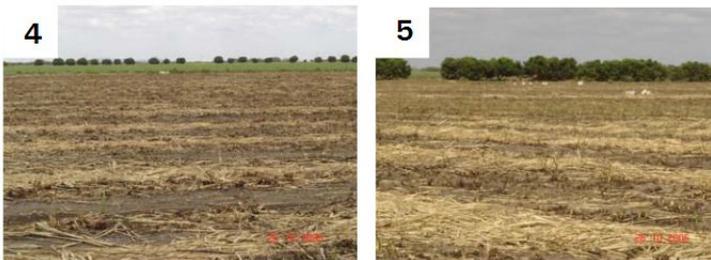


Fig. 4 e 5. Vista da área onde foi realizado o teste

O teste foi realizado com repetição nos dias 26 e 27 de outubro de 2006, e as leituras tomadas até a estabilização, o que ocorreu relativamente rápido pois esse solo se encontrava úmido devido à irrigação prévia, mesmo tendo sido suspensa a mais de 30 dias para facilitar a colheita. A metodologia utilizada para os testes foi a de Porchet, adaptada por Batista et al. (1999).



Fig. 6. Detalhe da frente de molhamento, gotejador enterrado.

As figuras 7 e 8 apresentam a retirada dos tambores de água do carro e condução para o local do teste de condutividade hidráulica. A figura 9 apresenta os tambores no local do teste. As figuras 10, 11 e 12 apresentam a realização do furo do trado e o enchimento com água até a profundidade desejada. As figuras 13 e 14 apresentam detalhes da instalação dos suportes e marcadores. As figuras 15, 16, 17 e 18 apresentam detalhes dos tambores, marcadores e bússolas posicionados ao lado do furo do trado. Nessa oportunidade o teste está sendo realizado e as medições são realizadas a intervalos definidos até a estabilização da velocidade e finalmente as figuras 19 e 20 apresentam a leitura, anotação e cálculo da condutividade hidráulica.



Fig. 7 e 8. Retirada dos tambores de água para o teste de condutividade hidráulica.



Fig. 9 e 10. Abertura do furo com trado.



Fig. 11 e 12. Sifonagem para enchimento com água no furo do trado.



Fig. 13 e 14. Instalação dos suportes para os marcadores.

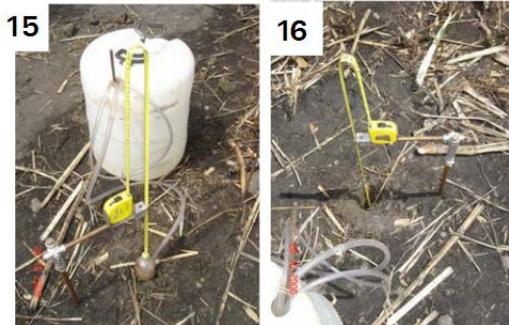


Fig. 15 e 16. Detalhe dos marcadores (trens metálicas).

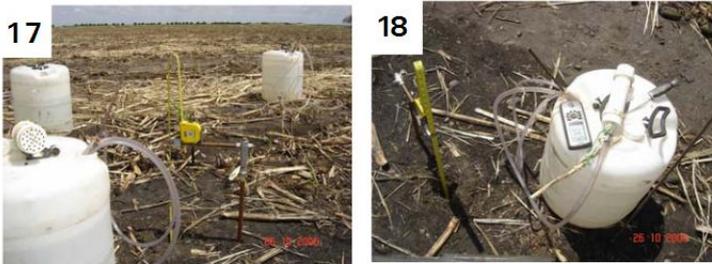


Fig. 17 e 18. Detalhe dos tambores, marcadores e bôia no fundo do furo do trado.



Fig. 19 e 20. Leitura, anotação e cálculo da condutividade hidráulica.

3.2. Aferição da Existência de Horizonte CR

Buscando dirimir dúvidas quanto a existência ou não de camadas de maior condutividade hidráulica em subsuperfície nos solos do Projeto Salitre, foi feita mais uma investigação de campo especificamente para atender essa demanda. O levantamento de solos realizado na área pela empresa PROTECS (PROTECS, 1988) já acusava a ocorrência de horizonte CR com espessuras variáveis na maior parte dos perfis analisados e coletados. A investigação de campo feita em alguns solos representativos das principais unidades de mapeamento, permitiu corroborar a ocorrência de horizonte CR, ilustrada pelas figuras 20 a 25.



Fig. 21 a 25. Identificação e avaliação do horizonte CR.

4. Resultados e Discussão

4.1. Aferição da Condutividade Hidráulica em Vertissolo Irrigado

A presença de maior atividade biológica na área irrigada quando comparada com área de sequeiro, em amostras retiradas com o trado no ponto do teste, induziu a equipe a acreditar que realmente os valores de condutividade hidráulica pudessem ser maiores nesse tipo de agricultura do que nas áreas que não praticam a irrigação (Figuras 26 e 27).



Fig. 26 e 27. Indicação da atividade biológica na área irrigada.

Contrariando essa expectativa, os valores encontrados na área cultivada a longo prazo com cana-de-açúcar irrigada na Usina Agrovale, foram da ordem de 2 mm por dia, valores próximos dos encontrados na área dos Vertissolos semelhantes ocorrentes no Projeto Salitre (vegetação natural), mostrando que a drenagem nos pontos estudados comporta-se do mesmo jeito, ou seja, condição de *steady state*, processo muito lento e contínuo. Considerando que a variabilidade da condutividade hidráulica dos vertissolos nessa região é muito baixa,³ pode-se considerar que esses dados obtidos na Usina Agrovale sejam representativos da comparação da condutividade hidráulica de vertissolos irrigados com os de sequeiro.

Foi feita uma tradagem até a rocha (gnaisse), situada a 1,63 m, para constatar a presença de lençol freático e este não foi encontrado, mostrando que a

³Condutividade hidráulica nos vertissolos do Projeto de Irrigação Salitre ã Codevasf, dados de campo, não publicados.

irrigação, estando bem feita com a aplicação da lâmina de água necessária ao uso da cultura. Não foi constatada, da mesma forma, a presença de saprolito facilmente observável, que permitisse a confirmação de sua existência utilizando como ferramenta o trado. Para se ter certeza da existência ou não dessa camada drenante seria necessária a abertura de trincheira profunda no solo. No entanto, mesmo sem a constatação visual dessa camada, foi observado que o solo a partir de 0,3 m estava úmido uniformemente, indicando que a drenagem do tipo *steady state* estava ocorrendo.

4.2. Aferição da Existência de Horizonte CR

A campanha de campo confirmou a presença de horizonte CR nos solos amostrados no Projeto Salitre. É importante salientar que mesmo sendo pouco espessas, a existência dessas camadas de maior condutividade hidráulica que os horizontes Cv posicionados acima, exercem um papel fundamental na drenagem do ambiente, evitando a formação de lençol freático e consequentemente acúmulo de sais. Desta forma, a pequena quantidade de água que infiltra no solo, encontrando essa camada de maior condutividade hidráulica em subsuperfície, acaba por ser retirada da área para as posições adjacentes. Evidentemente, para que a drenagem de toda a área seja funcional (retirada do excesso de água e sais), é preciso que a área não seja abaciada (deprimida), uma vez que, nesse caso, mesmo a existência do horizonte CR não seria suficiente para a retirada do excesso de água e sais para os drenos principais, ficando a água concentrada na porção central da depressão. Essa situação traria grave risco de ascensão de sais por capilaridade se a irrigação não for conduzida a contento.

4.3. Irrigabilidade das terras do Projeto Salitre

É importante destacar que boa parte dos solos do Projeto Salitre é constituída de solos mais profundos e possuem saprolito, mesmo que incipiente, comportando-se dessa forma com maior capacidade drenante que os da Usina Agrovale. Desta forma, desconsiderando aqueles rasos e pedregosos ou aqueles ocorrentes em depressões abaciadas, os solos do Projeto Salitre, por serem mais profundos, sem pedregosidade e por terem maior drenabilidade (saprolito), têm potencialmente melhor aptidão para a agricultura irrigada que esses solos testados na Usina Agrovale.

As principais limitações são elencadas a seguir referem-se às diferentes causas de restrições que impactam a produtividade/rentabilidade proveniente da interpretação das unidades simples do mapeamento de solos da área do Projeto Salitre (PROTECS, 1988) ou pelo solo dominante, no caso de associação. Essa interpretação é considerada em relação a um solo referência, ou seja, aquele que apresenta-se sem restrições ou, se ocorrentes, de intensidade mínima, utilizando como base a fundamentação metodológica do Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação, o SIBCTI (AMARAL, 2005).

Condutividade hidráulica (K) - característica do solo que ao dificultar a livre circulação da água, seja verticalmente seja lateralmente, restringe a retirada do excesso de sais tóxicos ou não. A drenabilidade limitada dos solos da área estudada não impede sua utilização agrícola, mas exige um manejo cuidadoso. Considerando a cana-de-açúcar como exemplo, os valores de K depreciam a produtividade média em relação a um solo referência em situações similares, na ordem de 30 a 50%.

Espessura (E) - Pequena profundidade do solo que limita o volume a ser explorado pelas raízes. Essa limitação comparativamente, considerando a cana-de-açúcar como exemplo, tem um nível de impacto esperado da ordem de 40 a 60% na produtividade média em relação a um solo referência em situações similares.

Pedregosidade (P) - Pequeno volume a ser explorado pelas raízes além de dificultar a uniformidade do plantio. Essa limitação comparativamente, considerando a cana-de-açúcar como exemplo, tem um nível de impacto esperado da ordem de 50 a 65% na produtividade média em relação a um solo referência em situações similares.

Drenabilidade (D) - Os solos que apresentam essa limitação como principal, ocorrem em áreas abaciadas ou deprimidas, o que conduz as águas e sais da drenagem para o centro da depressão e não para fora da área irrigada. Esses solos já apresentam salinidade e ou sodicidade natural em subsuperfície e podem, dependendo dos drenos a serem instalados e do manejo empregado, apresentarem elevação do lençol freático próximo à superfície, ascendendo esses sais para a zona radicular, praticamente inviabilizando seu uso agrícola, já que a correção dessa limitação é muito dispendiosa e demorada. Algumas parcelas desses solos devem ser explorados experimentalmente

por até cinco anos e monitorados por técnicos experientes para constatar o agravamento ou não dessa limitação. Se após esse prazo de exploração experimental os níveis de sais se mantiverem como atualmente, esses solos poderão ser incorporados ao processo produtivo como um todo. Sendo, a experimentalção ter servido para se evitar que uma boa parcela de recursos fosse desperdiçada além do impacto ambiental que seria gerado pela perda desses solos para a agricultura mesmo que de sequeiro.

Com base na representatividade dos parâmetros abordados nos solos ocorrentes no Projeto Salitre, e na experiência dos técnicos envolvidos na interpretação, estruturou-se a avaliação de sua irrigabilidade, apresentada na tabela 7 e figura 28.

Tabela 7. Unidades de mapeamento e correspondente classificação.

Solo	Limitações ¹	Grau	Classificação
Ce 3.4 Ta (pd1)			Exploração imediata
Ce 3.5 Ta	E	moderada	Exploração imediata
Ce 3.5 Ta (pd1)	E	moderada	Exploração imediata
Ce 3.6 Ta (pd1)	E	forte	Experimentação
**Ce 3.6 Ta **Re 5 (pd)	E	forte	Experimentação
Ce 3.7 Ta	E	forte	Experimentação
Ce 3.7 Ta (pd1)	E	forte	Experimentação
**Ce 3.7 Ta (pd1) **Re 3 (pd2)	E, P	forte	Experimentação
Ce 4.2 Ta			Exploração imediata
Ce 5.3			Exploração imediata
Ce 5.5 Ta	E	moderada	Exploração imediata
**Ce 5.6 Ta **Re 5 (pd1)	E	forte	Experimentação
**Ce 5.6 Ta **Re 5 Ta (pd1)	E	forte	Experimentação
Ce 5.7 Ta	E	forte	Experimentação
***Ce 3.6 Ta (pd2) *V 2.7 (ca)	E, P	forte	Experimentação
Cek 3.5 (pd1)	E	moderada	Exploração imediata
Cek 3.5 Ta	E	moderada	Exploração imediata
Cek 3.7 Ta	E	forte	Experimentação
Cek 5.5 Ta	E	moderada	Exploração imediata
Cek 5.7 Ta	E	forte	Experimentação
Cev 4/3.5 (pd1)			Exploração imediata
Cevzn 5/3.3	D, K	forte	Experimentação
PAe 6/4.3			Exploração imediata
PAe 7/5.3			Exploração imediata
PLn 5/3.5 (pd1)	D	forte	Experimentação
***PLn 7/4.4 (pd2) *NCn 7/4.4 (pd2)	D, P	forte	Experimentação
PLzn 5/3.3 (pd1)	D	forte	Experimentação
Re 4 (pd1)	E	moderada	Exploração imediata
Re 5 (pd1)	E	moderada	Exploração imediata
V 1.3 (pd1,cd)	K		Exploração imediata
V 1.4 (pd1,ca)	E	moderada	Exploração imediata

V 1.5 (cd)	E	moderada	Exploração imediata
V 1.5 (pd1,cp)	E	moderada	Exploração imediata
V 2.3 (c)	K		Exploração imediata
V 2.3 (ca)	K		Exploração imediata
V 2.3 (cp)	K		Exploração imediata
V 2.4 (ca)	E	moderada	Exploração imediata
V 2.4 (pd1,c)	E	moderada	Exploração imediata
V 2.4 (pd1,cp)	E	moderada	Exploração imediata
V 2.5 (cp)	E	moderada	Exploração imediata
V 2.5 (pd1,ca)	E	moderada	Exploração imediata
V 2.5 (pd1,cp)	E	moderada	Exploração imediata
V 2.5 (pd2,c)	P	forte	Experimentação
V 2.5 (pd2,ca)	P	forte	Experimentação
V 2.6 (pd1,cd)	K		Exploração imediata
V 2.7 (pd1,cp)	E	forte	Experimentação
V 3.3 (ca)	K		Exploração imediata
V 3.3 (pd1,ca)	K		Exploração imediata
V 3.3 (pd1,cd)	K		Exploração imediata
V 3.3 (pd1,cp)	K		Exploração imediata
V 3.4 (pd1,cp)	E	moderada	Exploração imediata
V 3.5 (cp)	E	moderada	Exploração imediata
V 3.5 (pd1,ca)	E	moderada	Exploração imediata
V 3.5 (pd1,cp)	E	moderada	Exploração imediata
V 3.5 (pd1,ca)	E	moderada	Exploração imediata
V 3.5 (pd2,ca)	P	forte	Experimentação
V 3.6 (pd2,ca)	E, P	forte	Experimentação
***V 3.6 (cd) *Cek 3.5 Ta	E	forte	Experimentação
**V 3.6 (pd1,cp) *Re 3 (pd1)	E	forte	Experimentação
**V 3.7 (pd1,ca) *Re 3 (pd1)	E	forte	Experimentação
V 3.7 (pd1,ca)	E	forte	Experimentação
V 3.7 (pd1,cd)	E	forte	Experimentação
Vg 1.3 (cd)	K		Exploração imediata
***Vg 1.3 (cp) *Vgzn 1.3 (cp)	K		Exploração imediata
Vg 3.2 (cp)	K		Exploração imediata
Vg 3.3 (pd1,ca)	K		Exploração imediata
Vg 3.3 (pd1,cd)	K		Exploração imediata
Vg 3.3 (pd1,cp)	K		Exploração imediata
**Vg 3.3 (pd1,i,ca) **Vzn 3.3 (pd1,ca)	K		Exploração imediata
Vg 3.4 (ca)	E	moderada	Exploração imediata
Vg 3.4 (cp)	E	moderada	Exploração imediata
Vg 3.4 (pd1,cp)	E	moderada	Exploração imediata
Vg 3.5 (cp)	E	moderada	Exploração imediata
**Vg 3.5 (pd1,ca) **Ce 3.5 Ta (pd1)	E	moderada	Exploração imediata
Vg 3.5 (pd1,ca)	E	moderada	Exploração imediata
Vg 3.5 (pd1,cp)	E	moderada	Exploração imediata
Vg 3.6 (pd2,cp)	E, P	forte	Experimentação
Vg 3.7 (pd1,cp)	E	forte	Experimentação
Vgn 3.3 (pd1,ca)	D	forte	Experimentação
Vgn 3.4 (pd1,ca)	D	forte	Experimentação

Vgn 3.4 (pd1,i,ca)	D	forte	Experimentação
Vgn 3.5 (pd1,ca)	D	forte	Experimentação
Vgzn 1.3 (pd1,cd)	D	forte	Experimentação
Vgzn 2.3 (pd1,ca)	D	forte	Experimentação
Vgzn 3.2 (cd)	D	forte	Experimentação
Vgzn 3.2 (cp)	D	forte	Experimentação
Vgzn 3.3 (ca)	D	forte	Experimentação
Vgzn 3.3 (pd1,i,ca)	D	forte	Experimentação
***Vgzn 3.3 (ca) **PL n 5/3.5	D	forte	Experimentação
Vgzn 3.4 (pd1,cp)	D	forte	Experimentação
Vgzn 3.5 (pd1,ca)	D	forte	Experimentação
Vn 1.3 (pd1,cp)	D	forte	Experimentação
Vn 3.3 (pd1,ca)	D	forte	Experimentação
Vzn 1.3 (c)	D	forte	Experimentação
Vzn 2.2 (cap)	D	forte	Experimentação
Vzn 2.3 (c)	D	forte	Experimentação
Vzn 2.3 (ca)	D	forte	Experimentação
Vzn 2.3 (c,ca)	D	forte	Experimentação
Vzn 2.3 (cp)	D	forte	Experimentação
Vzn 2.3 (pd1,cp)	D	forte	Experimentação
**Vzn 2.3 (pd1,ca) *Vzn 3.3 (pd1,ca)	D	forte	Experimentação
**Vzn 2.4 (pd2,i,c) *V 3.7 (pd2,i,c)	D, P	forte	Experimentação
Vzn 3.2 (ca)	D	forte	Experimentação
Vzn 3.2 (cd)	D	forte	Experimentação
Vzn 3.2 (cp)	D	forte	Experimentação
Vzn 3.2 (pd1,ca)	D	forte	Experimentação
Vzn 3.3 (ca)	D	forte	Experimentação
Vzn 3.3 (cp)	D	forte	Experimentação
Vzn 3.3 (pd1,ca)	D	forte	Experimentação
Vzn 3.3 (pd1,i,ca)	D	forte	Experimentação
Vzn 3.3 (pd1,cd)	D	forte	Experimentação
Vzn 3.3 (pd1,cp)	D	forte	Experimentação
Vzn 3.3 (pd2,ca)	D, P	forte	Experimentação
Vzn 3.4 (pd1,cp)	D	forte	Experimentação
Vzn 3.5 (pd1,ca)	D	forte	Experimentação
Vzn 3.5 (pd1,cp)	D	forte	Experimentação

*K = condutividade hidráulica, E = espessura, P = pedregosidade, D = drenabilidade.

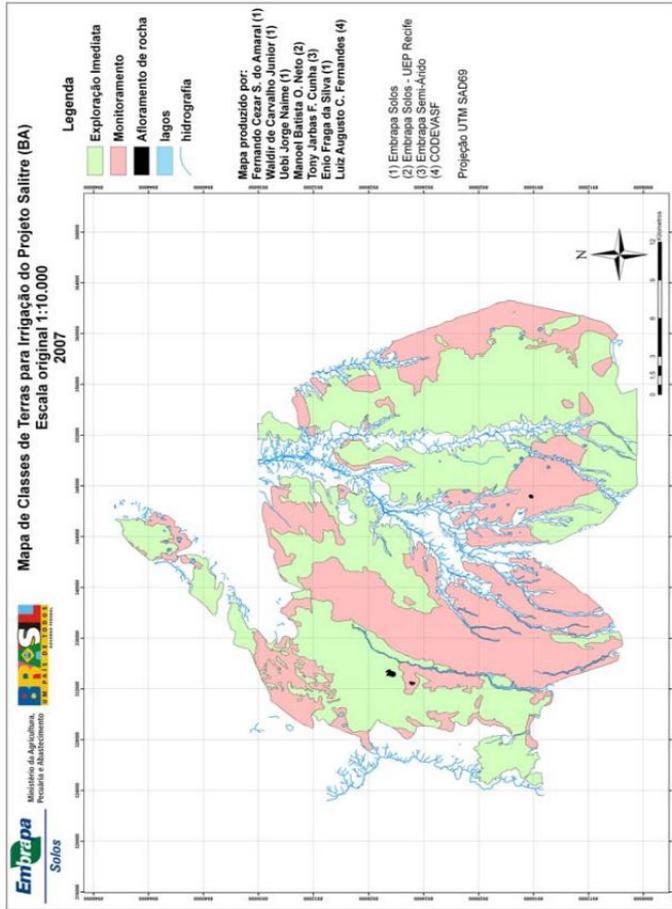


Fig. 28. Classificação da irrigabilidade das terras do Projeto Salitre.

5. Conclusões

Investigações de campo realizadas em alguns vertissolos do Projeto de Irrigação Salitre encontraram horizonte CR, concordando com o levantamento de solos realizado previamente.

A presença de um horizonte em subsuperfície, como o CR, com maior condutividade hidráulica que a dos horizontes acima posicionados, garante a esses solos uma condição de drenabilidade suficiente para evitar acúmulo de sais, contanto que a área não seja abaciada.

Os vertissolos da Usina Agrovale, derivados da Formação Caatinga e semelhantes aos do Projeto Salitre, não tiveram a condutividade hidráulica elevada quando explorados com cana-de-acúcar irrigada por mais de vinte anos.

O Projeto de Irrigação Salitre possui aproximadamente 60% de solos profundos. Estes são posicionados nas partes mais elevadas do terreno, não possuem áreas abaciadas e a drenagem, mesmo que lenta, é suficiente para evitar acúmulo de água ou hidromorfismo. Esses solos são aptos para imediata utilização com agricultura irrigada, considerando espécies da família das gramíneas ou anuais de sistema radicular pouco profundo.

Os 40% restantes da área do Projeto de Irrigação Salitre possuem fortes limitações, tais como a posição na paisagem em áreas abaciadas passíveis de acumulação de sais (salinização-sodificação), a presença de horizontes já naturalmente salinizados-sodificados, pequena profundidade, acompanhados ou não de elevada pedregosidade. Esses solos não possuem aptidão para o desenvolvimento imediato de agricultura irrigada sustentável, necessitando de estudos complementares.

6. Referências Bibliográficas

AMARAL, F. C. S. do (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque no Região Semi-árida**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 218 p. Convênio Embrapa Solos / CODEVASF.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campinas Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO. Irrigação e drenagem, 29 Revisado 1). Tradução de Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Damasceno, F. A. V.

BATISTA, M. J.; CALDAS JUNIOR, W. Drenagem subterrânea de Vertissolo In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 1996, Campinas. **Anais...** Brasília: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1996.

BATISTA, M. de J.; NOVAES, F. de; SANTOS, D. G. dos; SUGUINO, H. H. **Drenagem de solos no combate à desertificação**. Brasília, DF: MMA-SRH, 1999. 203 p. (Ministério do Meio Ambiente. Série informes técnicos).

BHATTARAI, S.; MIDMORE, D. J.; PENDERGAST, L. **Aerated water for subsurface drip irrigation (oygation) improves yield, quality and water use efficiency of horticultural crops**. Disponível em: <<http://pirc.cqu.edu.au>>. Acesso em: 14 set. 2006.

BIGARELLA, J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais; intemperismo biológico, pedogênese, laterização, bauxitização e concentração de bens minerais**. Florianópolis: UFSC, 1996. 875 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FAO. **Soil survey investigations for irrigation**. Rome: FAO, 1979. 189 p. (FAO. Soils bulletin, 42).

FRIEND, J. J.; CHAN, V. I. Influence of cropping on the population of a native earth worm and consequent effects on hydraulic properties of vertisols. **Australian Journal of Soil Research**, East Melbourne, v. 33, n. 6, p. 995-1006, 1995.

GOMES, E. M.; GHEYI, H. R.; SILVA, E. F. de F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 355-361, set./dez. 2000.

HARTMANN, C.; BLANCHART, E.; LOURI, J.; RANGON, L.; BERNARD, J. **Rehabilitation processes under fallow and pasture of a compacted vertisol in Martinique (FWI)**. Disponível em: <natres.psu.ac.th/link/soilcongress/bdd/symp2/710-t.>. Acesso em: 2 set 2006.

HECK, R. J.; TIESSEN, H.; SALCEDO, I. H.; SANTOS, M. C. Soil chemical changes under irrigated mango production in the central São Francisco river valley, Brazil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 32, n. 4, p. 1414-1421, July 2003.

HECK, R. J.; TIESSEN, H.; SANTOS, M. C.; SALCEDO, I. H.; ALVES, R. J. T. Chemical changes in argisols under irrigated grape production in the central São Francisco river valley, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26; n. 1, p. 191-202, jan./mar. 2002.

HOLANDA, F. S. R.; PEDROTTI, A.; AGUIAR, J. F.; SANTOS, V. P. dos Sistema de manejo de água e solo como tecnologias de prevenção da salinização e reabilitação de solos salinizados, no Perímetro Hidroagrícola do Califórnia-Semi-árido Sergipano. SEMINÁRIO RIO DE PESQUISA, 2., 2003, Aracaju. **Anais...** Aracaju: FAP, 2003.

HOLSAMBRE, D. G. Drainage characteristics of vertisols. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, New Delhi, v. 30, n. 2, p. 116-121, 1982.

HULUGALLE, N. R.; ROHDE, K. H.; YULE, D. F. Cropping systems and bed width effects on runoff, erosion and soil properties in a rainfed vertisol. **Land Degradation and Development**, Hoboken, v. 13, n. 5, p. 363-374, Sep./Oct. 2002.

JAYAWARDANE, N. S.; CHAN, K. Y. The management of soil physical properties limiting crop production in Australian sodic soils - a review. **Australian Journal of Soil Research**, East Melbourne, v. 32, n. 1, p. 13-44, 1994.

KEREN, R.; SINGER, M. J. Effect of low electrolyte concentration on hydraulic conductivity of sodium/calcium-montmorillonite-sand system. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, n. 2, p. 368-373, Mar./Apr. 1988.

LANDON, J. R. (Ed). **Booker tropical soil manual**. London: Booker, 1984. 450 p.

MAGALHÃES, A. F. Manejo da fertilidade dos solos irrigados: produtividade, degradação e correção. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1995, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Embrapa-CPATSA: SBCS, 1995. p. 77-86.

MCGARRY, D.; GUNAWARDENA, T. A.; GARDNER, E. A.; MILLAR, G.; MCHUGH, A. D. **Improved measurement and prediction of deep drainage under irrigated cotton fields in the Condamine - balonne - McIntyre catchments and likely groundwater responses**. Disponível em: <<http://www.irrigation.org.au/Irrig2005/papers/.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2006.

MOUTIER, M.; SHAINBERG, I.; LEVY, G. J. Hydraulic gradient, aging, and water quality effects on hydraulic conductivity of a Vertisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n. 6, p. 1488-1496, Nov./Dec. 1998.

NUNES, J. M.; COELHO, J. P.; LOPES, P. P.; PEZ-PIREIRO, A.; RASQUILHA, M. P. **Impacto da prática continuada do regadio na salinização do solo.** Disponível em: <www.cotr.pt/informacao/web2/Papers/37>. Acesso em: 30 ago. 2006.

OLIVEIRA, L. B.; GILBERTO, S. M.; OLIVEIRA, A. S. M. S. Classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. de. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada.** Campina Grande: UFPB: SBEA, 1997. p. 1-35.

OLIVEIRA JUNIOR, N. M.; COSTA, R. N. T.; SAUNDERS, L. C. U.; BISERRA, J. V. Análise econômico-comparativa de planos de cultivo em um solo salino submetido a um manejo integrado de recuperação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 165-169, maio/ago. 1998.

PEREIRA, J. R.; CORDEIRO, G. G. Efeito da irrigação e adubação sobre algumas características químicas de um Vertissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 6, p. 627-633, jun. 1987.

PEREIRA, J. R.; SIQUEIRA, F. B. Alterações nas características químicas de um oxissolo sob irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 2, p. 189-195, abr. 1979.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos.** Madrid: Agrícola Española, 1978. 520 p.

PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C.; ARAÚJO, O. J.; SILVA JUNIOR, L. G. A. Aproveitamento dos rejeitos da dessalinização. In: SIMPÓSIO SOBRE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO, 1., 1997, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Embrapa Semi-árido: IRPAA: IRCSA, 1999. p. 51-57.

PROTECS. **Levantamento detalhado de solos e classes de terras para irrigação:** relatório técnico. Recife, 1988. 15 v.

RAINE, S. R.; FOLEY, J. P. Comparing application systems for cotton irrigation - what are the pros and cons ?. In: COTTON CONFERENCE, 11., Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: ACGRA, 2002. p. 575-583.

RUIZ, H. A.; GHEYI, H. R.; ALMEIDA, M. T.; RIBEIRO, A. C. Torta de filtro e vinhaça na recuperação de um solo salino-sódico e no desenvolvimento de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 4, p.659-665, out./dez. 1997.

RUIZ, H. A.; SAMPAIO, R. A.; OLIVEIRA, M.; VENEGAS, V. H. A. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lmina de lixiviação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1119-1126, nov. 2004.

RUSSO, D.; BRESLER, E. Effect of mixed Na^+ - Ca^{2+} solutions on the hydraulic properties of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41, n. 4, p. 713-717, July 1977.

SALAZAR, C. R. V.; FELIX, S. G.; CORDEIRO, G. G. **Avaliação econômica da recuperação de solos salinos no perímetro irrigado de Vaza-Barris - Cocorobó, BA**. Petrolina: EMBRAPA, 1988. 16 p. (Documentos, 48).

SANTOS, J. G. R. dos. **Desenvolvimento e produção da bananeira nanica sob diferentes níveis de salinidade e lâminas de água**. 1997. 173 p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) ã Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

SILBURN, D. M.; MONTGOMERY, J. **Deep drainage under irrigated cotton in Australia: a review**. Disponível em: <http://cotton.pi.csiro.au/Assets/PDFFiles/WATERpak/WP2_4.pdf>. Acesso em: 14 set. 2006.

SILBURN, D. M.; VERVOORT, R. W.; SCHICK, N. Deep Drainage ã so what ? In: NORTHERN MURRAY-DARLING BASIN WATER BALANCE WORKSHOP, 2., 2003, Narrabri. **Anais**ã Narrabri: Cotton Research and Development Corporation, 2003. 1 CD-ROM. Seção Apresentações.

SILVA, E. F.; ASSIS JUNIOR, R. N.; SOUSA, J. I. G. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre atributos hídricos de um neossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 389-396, jul./set. 2005.

SLAVICH, P. G.; PETERSON, G. H.; GRIFFIN, D. The effect of gypsum on deep drainage from clay soil used for rice. In: NAIDU, R.; SUMMER, M. E.; RENGASAMY, P. (Ed.) **Australian sodic soils: distribution, properties and management**. Melbourne: CSIRO, 1995. p. 205-210.

TOLMIE, P. E.; SILBURN, D. M.; BIGGS, A. J. W. **Estimating deep drainage in the Queensland Murray-Darling Basin using soil chloride**. Brisbane: Department of Natural Resources and Mines, 2003. 47 p.

TRUFEM, S. F. B.; YANO-MELLO, A. M.; MAIA, L. C. Fungos micorrízicos arbusculares em áreas salinizadas e adjacentes do semi-árido brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE MICROBIOLOGIA AMBIENTAL, 7., 2000, Recife. **Anais...** Recife, 2000. p. 132

VERMA, K. S.; ABROL, I. P. Effects of gypsum and pyrites on soil properties in a highly sodic soil. **Indian Journal of Agricultural Science**, New Delhi, v. 50, n. 11, p. 844-851, Nov. 1980.

WEAVER, T.; HULUGALLE, N.; GHADIRI, H. Deep drainage under irrigated cotton farming systems in New South Wales estimated with the chloride mass balance method. In: AUSTRALIAN COTTON CONFERENCE, 11., 2004, Broadbeach. **Proceedings** Narrabri: ACGRA, 2004. p. 183-191.

WILLIS, T. M.; BLACK, A. S.; MEYER, W. S. Estimates of deep percolation beneath cotton in the Macquarie Valley. **Irrigation Science**, Sidney, v. 17, n. 4, p. 141-150, Sep. 1997.

